

Harita Dergisi



Ocak 2023
Sayı:169

ISSN 1300-5790
E-ISSN 2667-4084

Sunar, A.F., Dervişoğlu, A., Yağmur, N.: **Sentinel-2 Uydu Görüntüleri ile Klorofil-a Parametresi Tahmininde Güneş Parıltısının Etkisi** (Effect of Sun Glint on Estimation of Chlorophyll-a Parameter by Sentinel-2 Satellite Imagery)

Şişman, S., Aydınöğlu, A.C.: **Toplu Taşınmaz Değerlemesi için Coğrafi Verilerin İşlenmesi ve Rastgele Orman Makine Öğrenmesi Tekniğiyle Tahmin Modelinin Geliştirilmesi** (Processing Geographical Data and Developing Prediction Model with Random Forest Machine Learning Technique for Mass Real Estate Valuation)

Erkoç, M.H.: **Türkiye'nin Karadeniz Kıyılarındaki Deniz Seviyesi Trendlerinin Mareograf Verileri ve Grid Altimetre Çözümleriyle Belirlenmesi** (Determination of Sea Level Trends in the Türkiye's Black Sea Coasts from Tide Gauge Stations and Grid Satellite Altimetry Solutions)

HARİTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, ANKARA

www.harita.gov.tr/harita-dergisi



HARİTA DERGİSİ

Ocak 2023

Yıl: 89 Sayı: 169

ALTI AYDA BİR YAYIMLANIR.
HAKEMLİ VE BİLİMSEL
BİR DERGİDİR.
YEREL SÜRELİ YAYINDIR.
YAZI DİLİ TÜRKÇE, İNGİLİZCE'DİR.

Sahibi

Harita Genel Müdürlüğü Adına
Tuğgeneral Hurşit AĞIRCAN

Sorumlu Müdür

Harita Yük.Tek.Ok.K.İği Adına
Doç.Dr.Müh.Alb. Hasan YILDIZ

Editör

Müh.Alb. Selçuk CEYLAN

Editör Yardımcıları

Müh.Ütgm. Çağrı ERBAY
Müh.Ütgm. Hasan GÜNER

Yönetim Kurulu

Doç.Dr.Müh.Alb. Hasan YILDIZ (Bşk.)
Dr.Müh.Alb. İbrahim NALCI
Dr.Müh.Alb. Osman Atila AKABALI
Müh.Alb. Selçuk CEYLAN
Doç.Dr.Müh.Alb. Mehmet SİMAV

Yönetim Yeri Adresi

Harita Genel Müdürlüğü
Harita Dergisi Yönetim Kurulu
Başkanlığı
06590 Cebeci / ANKARA

Tel: (312) 595 21 21-20

Faks: (312) 320 14 95

web: www.harita.gov.tr/harita-dergisi

e-posta: haritadergisi@harita.gov.tr

Basım Yeri

Harita Genel Müdürlüğü Matbaası
ANKARA

ISSN 1300 – 5790

E-ISSN 2667 – 4084

Bu dergide yayımlanan makaleler,
yazarlarının özel fikirlerini yansıtır.



TRTİZİN
Mühendislik ve Temel
Bilimler Veri Tabanı

İ Ç İ N D E K İ L E R

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

Sentinel-2 Uydu Görüntüleri ile Klorofil-a Parametresi Tahmininde Güneş Parıltısının Etkisi (Effect of Sun Glint on Estimation of Chlorophyll-a Parameter by Sentinel-2 Satellite Imagery)

Ayşe Filiz SUNAR, Adalet DERVİŞOĞLU,
Nur YAĞMUR

1 – 12

Toplu Taşınmaz Değerlemesi için Coğrafi Verinin İşlenmesi ve Rastgele Orman Makine Öğrenmesi Tekniğiyle Tahmin Modelinin Geliştirilmesi (Processing Geographical Data and Developing Prediction Model with Random Forest Machine Learning Technique for Mass Real Estate Valuation)

Süleyman ŞİŞMAN, Arif Çağdaş AYDINOĞLU

13 – 27

Türkiye'nin Karadeniz Kıyılarındaki Deniz Seviyesi Trendlerinin Mareograf Verileri ve Grid Altimetre Çözümleriyle Belirlenmesi (Determination of Sea Level Trends in the Türkiye's Black Sea Coasts from Tide Gauge Stations and Grid Satellite Altimetry Solutions)

Muharrem Hilmi ERKOÇ

28 – 40

Bilim Kurulu

Dr.Tuğg. Osman ALP (KKK)
Prof.Dr. Bahadır AKTUĞ (AÜ)
Prof.Dr. Ali Melih BAŞARANER (YTÜ)
Prof.Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ (KTÜN)
Prof.Dr. Çetin CÖMERT (KTÜ)
Prof.Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK(İTÜ)
Prof.Dr. Hande DEMİREL (İTÜ)
Prof.Dr. Uğur DOĞAN (YTÜ)
Prof.Dr. Semih ERGİNTAV (BÜ)
Prof.Dr. Oğuz GÜNGÖR (AÜ)
Prof.Dr. Cevat İNAL (KTÜN)
Prof.Dr. Hakan KARABÖRK (KTÜN)
Prof.Dr. Fevzi KARSLI (KTÜ)
Prof.Dr. Taşkın KAVZOĞLU (GTÜ)
Prof.Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU (BEÜ)
Prof.Dr. Nebiye MUSAOĞLU (İTÜ)
Prof.Dr. Haluk ÖZENER (BÜ)
Prof.Dr. Ayşe Filiz SUNAR (İTÜ)
Prof.Dr. Doğan Uğur ŞANLI (YTÜ)
Prof.Dr. Dursun Zafer ŞEKER (İTÜ)
Prof.Dr. Mustafa TÜRKER (HÜ)
Prof.Dr. Nesibe Necla ULUĞTEKİN (İTÜ)
Prof.Dr. Aydın ÜSTÜN (HÜ)
Prof.Dr. Naci YASTIKLI (YTÜ)
Prof.Dr. Ferruh YILDIZ (KTÜN)
Prof.Dr. Cemal Özer YİĞİT (GTÜ)
Prof.Dr. Orhan ALTAN
Prof.Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR
Prof.Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL
Prof.Dr. Şerif HEKİMOĞLU
Prof.Dr. Mahmut Onur KARSLIOĞLU
Prof.Dr. Ahmet KAYA
Prof.Dr. Ali KOÇYİĞİT
Prof.Dr. Sıtkı KÜLÜR
Prof.Dr. Cankut ÖRMECİ
Prof.Dr. Fatma Gönül TOZ
Doç.Dr. Hakan AKÇIN (BEÜ)
Doç.Dr. Onur LENK (İÜ)
Doç.Dr. Hakan MARAŞ (ÇÜ)
Doç.Dr. Mustafa Tevfik ÖZLÜDEMİR (İTÜ)
Doç.Dr.Müh.Alb. Hasan YILDIZ (HGM)
Doç.Dr. Ali KILIÇOĞLU
Dr. Mustafa KURT (OÜ)
Dr.Müh.Alb. Yavuz Selim ŞENGÜN (HGM)
Dr.Müh.Alb. Altan YILMAZ (HGM)
Dr. Mustafa ATA
Dr. Coşkun DEMİR
Dr. Oktay EKER
Dr. Mustafa ERDOĞAN

Sentinel-2 Uydu Görüntüleri ile Klorofil-a Parametresi Tahmininde Güneş Parıltısının Etkisi

(Effect of Sun Glint on Estimation of Chlorophyll-a Parameter by Sentinel-2 Satellite Imagery)

A. Filiz SUNAR¹ , Adalet DERVİŞOĞLU¹ , Nur YAĞMUR² 

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul

²Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400 Kocaeli

Geliş Tarihi (Received): 21.11.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 13.01.2023

ÖZ

Kıyı bölgesindeki nüfus yoğunluğunun ve ekonomik faaliyetlerin artması, diğer bir ifade ile denizlerin sürdürülemez kullanımı, sucul ekosistemlerin kırılgan dengesini tehdit etmekte ve kıyı ekosistemleri üzerindeki baskıları artırmaktadır. Konvansiyonel örnekleme yaklaşımlarındaki mekânsal ve zamansal sınırlamaların giderilmesine yardımcı olma potansiyeline sahip olan uzaktan algılama teknolojileri ve uydu verileri, saha bazlı yersel ölçmelerle birleştirildiğinde, su kütlesindeki değişiklikleri izlemek, değerlendirmek ve tahmin etmek için kapsamlı ve etkin bir araç olmaktadır. Ancak uydu görüntülerinde su yüzeylerinde karşılaşılan ve yüzeyden ışığın aynasal yansıması olarak bilinen güneş parıltısı, su kalite bileşenlerinin uzaktan algılanmasında ve görüntü analizinde hem bilimsel hem de mali açıdan çalışmalarda oldukça yanıltıcı ve sınırlayıcı bir faktör olmaktadır. Bu çalışmada, Gemlik Körfezi'nde iki gün arayla alınan atmosferik düzeltmesi yapılmış iki Sentinel-2 görüntülerinden birinde mevcut olan güneş parıltısının, eş-zamanlı yapılan yersel klorofil-a parametresi ölçümlerine ve oluşturulan model sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular, güneş parıltısının, uydu algılayıcısının radyometrik ölçümlerini etkilediğini ve buna bağlı olarak görüntüden suyun optik aktif özelliklerinin çıkartılmasına ve klorofil-a parametresinin doğru tahmin edilmesine (tahmin doğruluğunda $\pm$ %40-60 azalma) olumsuz yönde etki ettiğini göstermiştir. Ek olarak, kıyılarımızda ve özellikle Marmara Denizi'nde yaşanan su kirliliği ile ilgili yürütülen uzaktan algılama çalışmalarında bu konunun önemine ve bu tür görüntülerin analizlerde kullanılmamasına dikkat çekilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Güneş Parıltısı, Sentinel-2, Su Kalite Parametreleri, Model Doğruluğu.

ABSTRACT

The increase in population density and economic activities in the coastal region, in other words, the unsustainable use of the seas, threatens the fragile balance of aquatic ecosystems and increases the pressures on coastal ecosystems. Remote sensing technology and satellite data, which have the potential to help overcome the spatial and temporal limitations of conventional sampling approaches, when combined with ground-based measurements, become a comprehensive and effective tool for monitoring, evaluating and predicting changes in the water body. However, sun glint, known as the specular reflection of

light from water surfaces encountered in satellite images, is an important and misleading factor that limits the use of satellite images in the analysis of water quality components, both financially and scientifically. In this study, the effect of sun glint, which is present in one of the two atmospherically corrected Sentinel-2 images taken two days apart in Gemlik Bay, on simultaneous in-situ chlorophyll-a parameter measurements and model results was investigated. The findings obtained from the study showed that the sun glint affects the radiometric measurements of the satellite sensor, and accordingly, it negatively affects the retrieval of the optical active properties of water from the image and the correct estimation of the chlorophyll-a parameter ($\pm$ 40-60% decrease in prediction accuracy). In addition, it has been tried to draw attention to the importance of this subject in remote sensing studies related to water pollution on our coasts and especially in the Sea of Marmara, and that such images should not be used in analysis.

Keywords: Sun Glint, Sentinel-2, Water Quality Parameters, Model Accuracy.

1. GİRİŞ

Su kirliliği, hem sucul yaşam ortamlarını tehdit eden hem de kirliliğin meydana geldiği bölgelerde insan sağlığını tehdit eden global bir sorundur ve bu sorun endişe verici boyutta artmaya devam etmektedir. Ülkemizin kıyı bölgeleri ve denizlerinde de özellikle tarımsal kirliliğin yanı sıra yetersiz arıtılmış evsel atıkların (örn. kanalizasyon suları) veya karasal kökenli kirleticilerin (örn. sanayi) neden olduğu su kirliliği mevcuttur ve bunu önlemek için izleme istasyonlarında noktasal kaynakların su kalite özellikleri değerlendirilerek, sucul ekosistemler korunmaya çalışılmaktadır. Günümüzde su kalitesinin belirlenmesine ve izlenmesine yönelik olarak kamu kurum ve kuruluşları ile sivil toplum kuruluşları sınırlı kaynaklarla saha bazlı bazı çalışmalar yürütmektedir. Su kalitesinin belirlenmesinde biyolojik, fiziksel ve kimyasal gösterge olarak bulanıklık, klorofil-a, zararlı algler (su yosunu), kirlilik-tortu, (öncelikli olarak fosfor ve azot), sıcaklık, metaller, çözünmüş oksijen vb. birçok parametre ölçülmektedir. Yersel ölçmeler doğruluklu sonuçlar vermesine rağmen, su yüzeyi boyunca su kalitesinin sabit olmaması, yersel

ölçmelerin su kalite değerlendirmesinde kullanımı sınırlamaktadır. Diğer bir ifade ile, konvansiyonel yersel örnekleme yaklaşımlarındaki mekânsal ve zamansal sınırlamaların (kirlenici parametrelerin ne zaman ve nerede gerçekleştiğinin bilinmesindeki sınırlamalar) giderilmesinde büyük potansiyele sahip olan uzaktan algılama teknolojisi ve uydu verileri, saha bazlı yersel ölçmelerle entegre edildiğinde, günümüzde su kütlesindeki değişiklikleri izlemek, değerlendirmek ve tahmin etmek için kapsamlı ve etkin bir araç olmaktadır. Bu bağlamda su kullanımını etkileyen çeşitli su kalite parametrelerindeki değişimlerin uydu görüntü verileri ile izlenerek karar mekanizmalarının önceden önlem alması ve böylelikle olası ekolojik ve insan sağlığı tehdidinde yönelik olumsuzlukların giderilmesine olanak sağlamaktadır.

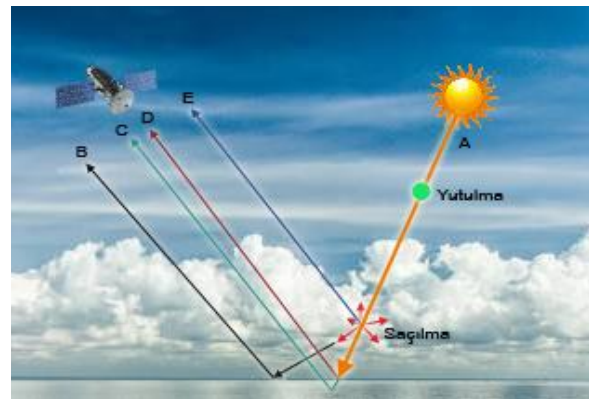
Uydu verilerinin bir su kütlesi içindeki farklı su kalite bileşenlerini ayırt etme yeteneği sınırlıdır ve uzaktan algılama ile doğrudan ölçülebilen parametreler, optik olarak aktif olma (diğer bir ifade ile Görünür-Yakın Kızılötesi (YKÖ) bölgede klorofil-a, bulanıklık vb. farklı parametrelerin spektralarının farklılık göstermesi) özelliği taşımaktadır (Tablo 1). Ancak tüm su kalite parametreleri, örn. besin (örn. toplam azot ve fosfor) konsantrasyonları, çözünmüş oksijen seviyeleri ve mikroorganizmalar /patojenler vb. optik olarak aktif olmadıklarından mevcut uydu algılayıcıları ile doğrudan ölçülemezler. Diğer yandan suyun görünen optik özellikleri, yalnızca su kütlesine değil, aynı zamanda ışığın ve algılayıcının geometrisine, ortama, ışık kaynağının özelliklerine de bağlıdır.

Yeryüzündeki farklı cisimlerden (örn. su cismi, bitki örtüsü, toprak) yansıtılan güneş ışınımı, uydu algılayıcısına ulaşmadan önce farklı atmosferik etkileşimlere maruz kalır (Sunar, Özkan ve Osmanoğlu, 2011; Sunar ve diğerleri, 2017). Şekil 1'de gösterildiği gibi bu etkileşimler atmosferde bulunan su damlacıkları, aerosoller ve gaz molekülleri nedeniyle güneş ışınımının saçılması, kırılması ve/veya yutulması şeklinde gerçekleşir. Işınımın sadece küçük bir kısmı atmosferden bozulmadan geçtiğinden, uydu-bazlı algılayıcılardan algılanan su cisminin optik ve biyofiziksel parametrelerini belirlemek için yeterli "Sinyal-Gürültü oranı" (kısaltılmışı SNR veya S/N olarak bilinen ve algılanan bir sinyalin seviyesini arka plandaki gürültü seviyesiyle karşılaştıran bir ölçüt olarak görüntü kalitesini de gösteren önemli bir parametre) elde etmek önemlidir.

Tablo 1. Uzaktan algılamada göz önüne alınan Optik Aktif ve Optik Aktif Olmayan su kalite parametreleri (Gholizadeh, Melesse ve Reddi, 2016).

Su Kalite Parametreleri	Kısaltma	Birim	Optik olarak Aktif Olma / Olmama
Klorofil-a	CHL-a	mg/L	Aktif
Seki Disk Derinliği	SDD	m	Aktif
Sıcaklık	T	°C	Aktif
Renkli Çözünmüş Organik Madde	CDOM	mg/L	Aktif
Toplam Organik Karbon	TOC	mg/L	Aktif
Toplam Askıda Madde	TSM	mg/L	Aktif
Bulanıklık	TUR	NTU	Aktif
Deniz Yüzeyi Tuzluluk	SSS	PSU	Aktif
Elektriksel İletkenlik	EC	µs/cm	Aktif
Çözünmüş Organik Karbon	DOC	mg/L	Aktif
Toplam Fosfor	TP	mg/L	Aktif değil
Ortofosfat	PO ₄	mg/L	Aktif değil
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	COD	mg/L	Aktif değil
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	BOD	mg/L	Aktif değil
Amonyak Azotu	NH ₃ -N	mg/L	Aktif değil

Ayrıca su yüzeyinden kaynaklanan diğer bozulmalar da (örn. güneş parıltısı - sun glint) bu gürültülerin artmasına neden olduğundan özellikle dikkate alınmalıdır. Bu bozulmalar, su kütlesinde ek yansımalarla neden olur ve algılayıcı tarafından ölçülen sinyale eklenir. Bu bağlamda, atmosferdeki moleküller, aerosoller ve su yüzeyinde oluşan yansımalarla kaynaklanan bu gürültülerin istenilen gerçektir (su cisminin ait olan) arındırılması yani atmosferik düzeltmenin yapılması gerekir (Warren ve diğerleri, 2019; Pahlevan ve diğerleri, 2022).



A: Güneş ışınımı; B: Gökyüzü parıltısı (atmosferde saçılan dağınık ışınımın su yüzeyinden yansıyarak algılayıcıya ulaşması – sky glint); C: Atmosfer ve hava-su yüzeyi yoluyla iletilen su içinden yansıma; D: Güneş parıltısı (Su yüzeyinin aynasal yansıması – sun glint); E: Atmosferin tekli veya çoklu geri saçılması (Rayleigh ve aerosol).

Şekil 1. Uydu algılayıcısı tarafından algılanan sinyallerde atmosferik etkileşimler.

Açık okyanus suları (Durum 1 suları - fitoplanktonun hakim olduğu temiz okyanus suları) için atmosferik düzeltme daha kolaylıkla yapılabilmesine rağmen, iç ve kıyı suları için (Durum 2 suları - iç, nehir ağzı ve kıyıya yakın sular) atmosferik düzeltme doğruluğu daha düşük olduğundan, uydu görüntü verileri ile su kalite parametrelerinin tahmininde bu durum belirsizliklere yol açmaktadır. Diğer bir ifade ile bu durum sucül ekosistemlerinde göz önüne alınan su kalite parametrelerindeki küçük değişimlerin algılanmasını neredeyse ortadan kaldırmaktadır.

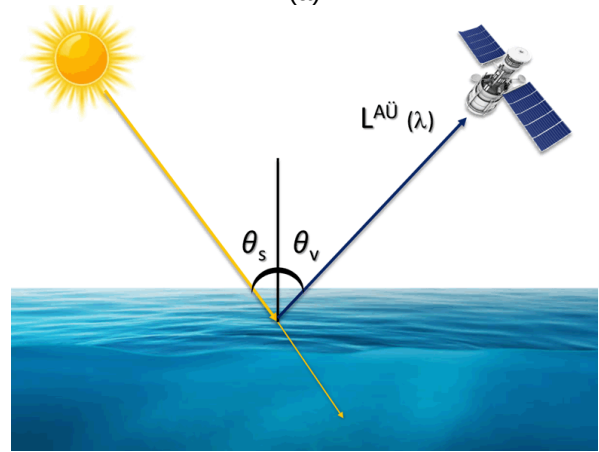
Su ile ilgili tüm uygulamalarda, su cisminin uzaktan algılama ile algılanan verilerin miktarını ve doğruluğunu sınırlayan en büyük yanıltıcı faktörlerden biri, hava-su arayüzünden doğrudan algılayıcıya iletilen güneş ışığının aynasal yansımaları ($L^{AU}(\lambda)$ - Atmosfer Üstü dalga boyuna bağlı ışınım) yani güneş parıltısıdır (Şekil 2) (Sunar, Dervisoglu ve Yagmur, 2022). Diğer bir ifade ile, su yüzeyi doğrultusu, güneş ışınlarını doğrudan algılayıcıya doğru yansıtacak şekilde olduğunda (diğer bir ifade ile θ_s güneş ve θ_v algılayıcı görüş zenit açıları eşit olması durumunda), uydu görüntülerinde güneş parıltısı (gümüşümsü açık renkte) oluşur (Şekil 2b) ve bu olay daha çok deniz yüzeyinin durumuna, güneşin konumuna ve algılayıcının bakış açısına bağlı olarak gelişir. Özellikle güneşin konumu, su yüzeyinin aydınlatılmasında gerekli ışık miktarını ve kalitesini kontrol etmek için kritik bir faktör olup, coğrafi enlem, gün ve saat ile belirlenir. Güneş parıltısının etkileri, rüzgâr hızına ve tarama boyunca piksel konumuna bağlı olarak 50° ila 100° enlem kuşağında (diğer bir ifade ile sırasıyla $25^\circ K-25^\circ G$ ila $50^\circ K-50^\circ G$) daha belirgindir (Reinke, 1995).

Görüntünün etkilenen bölgelerinde, pürüzsüz su yüzeyi gümüşü bir renk alırken, daha pürüzlü yüzey suları daha koyu renkte görünür. Ancak bazen bu parlak bölgeler, algılayıcının kaydedemediği ilginç oşinografik veya atmosferik özelliklerin de ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 3).

Su yüzeyinden algılayıcı tarafından algılanan ve ışığın aynasal yansımalarından kaynaklanan bu yansıtım, su yüzeyinden ve/veya yüzey-altı özelliklerinin gerçek geri yansıtımından çok daha büyük (özellikle YKÖ bölgede) olabilir. Bu durumda görüntü verilerinden klorofil içeriği, bentik özellikler veya batimetri gibi bilgilerin çıkartılabilmesi için, güneş parıltısı etkisini ayırabilen ve ortadan kaldırabilen (ya da oldukça azaltan) sağlam bir düzeltme algoritmasının uygulanması gerekir (Vahtmae ve Kutser, 2008).

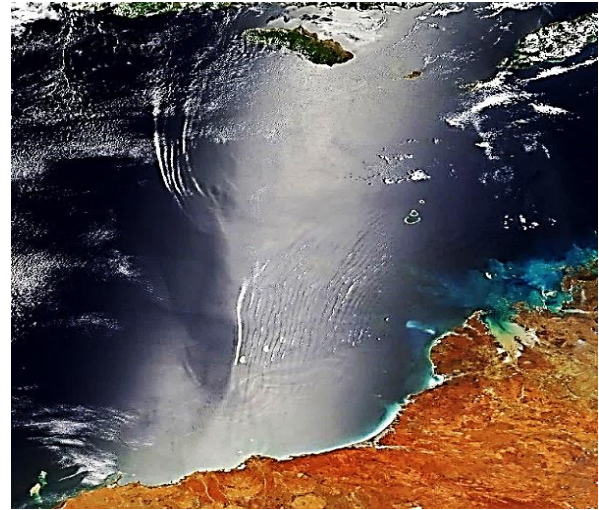


(a)



(b)

Şekil 2. Güneş ışınımının (a) durgun su yüzeyinde (b) aynasal yansıtması ("güneş parıltısı/sun glint" etkisi) (© DHA).



Şekil 3. MODIS uydu görüntüsünde güneş parıltısı nedeniyle ortaya çıkan oşinografik ve atmosferik özellikler (© NASA, Shark Körfezi, Avustralya, 27/10/2010).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi işbirliği ile ilk kez 2014-2019 döneminde başlatılan ve hâlen devam etmekte olan (2019-2022 dönemi)

"Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı (DEN-İZ)" projesinde, denizlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile kirlilik ve ekolojik durumu, toplam 120 sediman istasyonundan alınan örnekler ile rutin olarak izlenmektedir ve projenin son 3 yıllık periyodunda yeni teknolojiler ile izlenme kapsamında uydu verileri de projede kullanılmaktadır. Bu proje kapsamında Gemlik Körfezi'nde su kalite parametrelerinin mekânsal dağılımının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, 27 ve 29 Nisan 2021 tarihlerinde alınan iki Sentinel-2 görüntüsü kullanılmıştır. 27 Nisan tarihli görüntüde güneş parıltısı mevcut olduğundan, çalışmada bu etkinin eş-zamanlı yapılan su kalite ölçümlerine ve oluşturulan modellere olan etkisi incelenmiş ve etkin bir düzeltme yapılmadan, güneş parıltısı içeren görüntülerin su kalitesi modellemesinde kullanılmaması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

a. Çalışma Alanı

Gemlik Körfezi, Marmara Denizi'nin güneydoğu kesiminde yer almaktadır. 15 km genişliğinde ve 35 km uzunluğunda yarı kapalı bir havza olan Körfez'in en derin yeri -113 m dir (Şekil 4) (Yaltırak ve Alpar, 2002; Kuşçu ve diğerleri, 2009). Körfezin oşinografik özelliklerini etkileyen etkenlerin başında Marmara Denizi'nde olduğu gibi körfezde, Akdeniz ve Karadeniz kaynaklı su kütlelerinin oluşturduğu iki tabakalı akıntı yapısı mevcuttur (Balci ve Balkis, 2017).



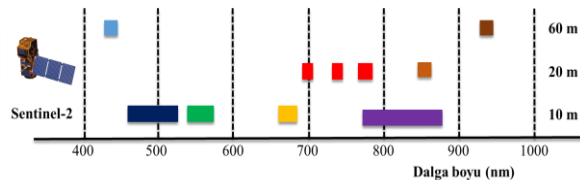
Şekil 4. Çalışma alanının konumu.

Gemlik Körfezi, günümüzde birçok farklı kirlenme kaynağına (örn. İzmit Körfezi ile Gemlik Körfezi arasında bulunan Karsak Deresi'nin birçok kirlenme kaynağı ile birlikte körfeze dökülmesi, çevresindeki yoğun endüstriyel baskı nedeniyle kalıcı organik ve ağır metal kirliliği, deniz trafiği, kentsel atık sular vb.) maruz kalmaktadır. Bu nedenle antropojenik kirlilik riski ile karşı karşıyadır (Ünlü ve diğerleri, 2008).

Diğer yandan Marmara Denizi'nde ilk kez 1990'lı yıllarda ortaya çıkan ve zaman zaman periyodik olmayan aralıklarla tekrar görülse de su yüzeyinde ve derinlerde yoğun şekilde (en çok 2007 ve 2021 yıllarında) görülen müsilajın başlıca potansiyel nedenleri, yine söz konusu antropojenik etkilerin yanı sıra iklimsel değişimlerin beraberinde oluşan mikrobiyolojik faaliyetlerdir (Sunar ve diğerleri, 2022). Özellikle 2021 yılında Marmara Denizi'nde Mudanya, Gemlik Körfezi, Gebze ve çevresinde, İstanbul Anadolu Yakası kıyı kesimlerinde ve Adalar çevresinde birikmiş olan müsilajın günümüzde yüzeydeki etkisinin az olmasına karşılık, deniz dibindeki yoğunluğunun artmaya ve deniz ekosistemini tehdit etmeye devam ettiği belirtilmektedir; bu bağlamda ekolojik değişikliklerin izlenmesi ve acil deniz kirliliği eylem stratejilerinin özellikle Marmara Denizi için gerekli olduğu vurgulanmaktadır (Karadurmuş ve Sari, 2022).

b. Uydu Verileri

Günümüzde ücretsiz erişim imkânı olması nedeniyle yaygın kullanılan uydu algılayıcılarının (örn. Landsat-8 OLI, Sentinel-2 MSI) spektral ve radyometrik çözünürlüklerindeki iyileştirmeler, iç deniz, nehir ağzı veya kıyı ortamlarının biyojeokimyasal değişkenliğinin yeterli mekânsal ölçekte araştırılmasında yenilikçi olanaklar sunmaktadır. Çalışma kapsamında, kullanılan Sentinel-2 Seviye 2A uydu görüntüleri, geometrik düzeltmenin yanı sıra atmosferik düzeltmelerin de yapıldığı uydu görüntüleridir. Sentinel-2 uydu görüntüleri, üç farklı (10, 20 ve 60 m) mekânsal çözünürlüğe sahip toplam 13 spektral banttan oluşmaktadır (Şekil 5). Sentinel-2 çok spektrumlu (MSI) uyduları, 20,6° görüş alanına sahiptir ve her 10 günde bir yeryüzünü global olarak 786 km yükseklikten güneşle senkronize kutupsal bir yörüngede 290 km genişliğine sahip bir tarama alanı ile tararlar (Roy ve diğerleri, 2017).



Şekil 5. Sentinel-2 uydusunun spektral ve mekânsal çözünürlükleri.

Uydu görüntülerinde karşılaşılan güneş parıltısı problemini gidermede kullanılan en basit teknik, görüntü alımında uygun yer ve zaman seçimine dikkat edilmesidir. Örneğin SeaWiFS, CZCS gibi uydu bazlı bazı algılayıcılar, güneş

parıltısının etkisini en aza indirmek için nadirden 20° eğik gözlem yapabilmelerine karşılık, Landsat ve Sentinel-2 gibi yaygın kullanılan uydularda su yüzeyindeki güneş parıltısının tanımlanması veya önlenmesi konusu, görev misyonlarının öncelikle kara gözlemleri olması nedeniyle genelde ihmal edilmektedir (Kay, Hedley ve Lavender, 2009). Genel olarak, doğrudan güneş parıltısından kaçınmak ve gökyüzü parıltısı yansımalarını önemli ölçüde azaltabilmek için okyanus yüzeyinin belirli bir geometriden, yani nadirden 45° ve Güneş düzleminde 135°'lik bir açıda görüntülenmesinin (Güneşe göre 135° azimut açısı) gerektiği literatür çalışmalarında önerilmektedir (Fougnie, Frouin, Lecomte ve Deschamps, 1999; Shahabi, 2020).

Şekil 6'da çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin güneş parıltısına etki eden meta verilerinin (Zenit ve Azimut açıları) birbirine yakın olduğu ve çalışma alanının bu etkinin daha fazla olduğu 50°K–50°G enlem kuşağında yer aldığı görülmektedir. Özellikle zenit açısının (θ) 40°'den küçük olduğunda, güneş parıltısı etkisinin büyük ölçüde Güneşe-bakış geometrisine ve rüzgâr yönüne göre değiştiği göz önünde bulundurulduğunda, çalışmada kullanılan verilerde daha çok rüzgârın etkili olduğu öngörülmektedir (Şekil 6c) (Shahabi, 2020).

c. Meteorolojik Veriler

Hem güneş hem de gökyüzü parıltıları dahil olmak üzere su yüzeyinden toplam yansıtma miktarı, su yüzeyinin pürüzlülüğüne (rüzgâr doğrultusu ve hızı) bağlı olarak değişeceğinden, çalışmada her iki tarih için meteorolojik veriler de göz önüne alınmıştır (Shahabi, 2020). Çalışmada kullanılan iki yakın tarihli Sentinel-2 uydu görüntüleri küçük zenit açılarına ($\theta < 40^\circ$) sahip olduğundan, 27 Nisan tarihli görüntüdeki güneş parıltısının oluşumunda özellikle düşük rüzgâr hızının etkili olduğu görülmektedir (Şekil 7). Ancak, rüzgârın çok değişken olduğu ve uydu geçişi sırasında piksel bazında tam olarak belirlenemediği de göz önünde tutulmalıdır (Doerffer ve diğerleri, 2008).

ç. Yersel Ölçümler

Su numuneleri, 27 Nisan 2021 ve 29 Nisan 2021 tarihlerinde sırasıyla 15 nokta ve 16 nokta olmak üzere toplam 31 noktadan alınmıştır. Su numuneleri, TÜBİTAK MAM tarafından her noktadan farklı derinliklerde olmak üzere (5 metreye kadar 1 metre aralıklarla) 5 kez alınmıştır. Ancak, optik uydu görüntülerinin suya penetrasyonu temiz suda maksimum 5-10 metre derinliğe kadar olduğundan, çalışma kapsamında

Durum 2 suları için yüzey suyuna karşılık gelen 1 metre derinlikten alınan su numune ölçümleri dikkate alınmıştır.



(a)

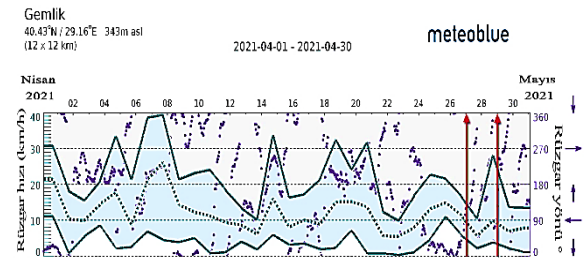


(b)

Tarih	Sentinel-2 Görüntüsü Meta Verisi	
	Zenit Açısı (°)	Azimut Açısı (°)
27 Nisan 2021	28.663107	152.237658
29 Nisan 2021	29.018304	147.281063

(c)

Şekil 6. Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntüleri. (a) 27 Nisan 2021. (b) 29 Nisan 2021. (c) Kullanılan görüntülerin meta verileri.



Şekil 7. Çalışmada kullanılan iki görüntünün alındığı tarihlerde (kırmızı ok ile işaretlenen) rüzgâr hızı ve yönü (©Meteoblue).

3. YÖNTEM VE BULGULAR

Günümüzde su ile ilgili birçok uygulamada (açık okyanus ve kıyı gözlemlerinde) çeşitli güneş parıltısı düzeltme yöntemleri geliştirilmiştir. Her durumda ilke, algılayıcıya ulaşan ışınım miktarında güneş parıltısının katkısını tahmin etmek ve ardından bunu alınan sinyalden çıkarmaktır (Kay ve diğerleri, 2009). Genel olarak kullanılan yöntemler, Durum 1 (açık okyanus, temiz sular) ve Durum 2 (kıyı ve iç denizler, daha kirli sular) suları için geliştirilmiştir:

1) İlk kategorideki yöntemler, 100m – 1km mekânsal çözünürlükteki açık okyanus yüzeylerini kapsayan uydu görüntüleri için kullanılmaktadır. Deniz yüzeyi için geliştirilen istatistiksel modeller (örn., Cox ve Munk, 1954), rüzgâr hızına ve yönüne bağlı olarak deniz yüzeyinin güneş parıltısına neden olacak şekilde yönelme olasılığını hesaplamada kullanılır (Cox, 1954; Cox ve Munk, 1954). Bu olasılık daha sonra belirli bir rüzgâr vektörü için, güneş ve algılayıcı konumuna göre parıltı miktarını tahmin etmek için kullanılır. Bu yöntemin farklı varyasyonları, birçok operasyonel okyanus yüzeyi algılayıcıları (örn. MERIS, MODIS) için kullanılmış olsa da, yalnızca orta düzeydeki parıltıyı düzeltmede başarılı olduğu, diğer bir ifade ile çok fazla parıltı içeren alanlarda büyük hataların saptandığı belirtilmektedir (Kay ve diğerleri, 2009).

2) Diğer kategorideki yöntemler ise daha çok 1-10 m mekânsal çözünürlüğe sahip kıyı alanlarını kapsayan görüntülerde kullanılmaktadır. Burada alınan sinyaldeki parıltı miktarının bir göstergesi olarak YKÖ verileri kullanılır. Bunun nedeni ise, spektrumun bu bölgesinde sudan ayrılan yansıtmanın ihmal edilebilir olduğu ve bu nedenle atmosferik düzeltmeden sonra kalan herhangi bir YKÖ sinyalinin güneş parıltısından kaynaklanacağı yönündeki varsayımın geçerli olmasıdır (Kay ve diğerleri, 2009; Harmel ve diğerleri, 2018). Görüntüdeki derin su alanlarında spektrum incelenerek, YKÖ değerleri ile parıltı içeren yansıtma değerleri arasında ilişki kurulmaya çalışılır. Bu varsayım, batimetri ile veri çıkartımında veya habitat sınıflandırmasında geçerli olsa da, çok sığ ve/veya bulanık sularda veya bitki örtüsünün yüzeyde olduğu yerlerde su yüzeyinden ayrılan yansıtmanın YKÖ bölgesinde ihmal edilebilir olduğu varsayımı geçerli değildir (Kay ve diğerleri, 2009).

Kay ve diğerlerinin (2009) yaptığı çalışmada Durum 1 ve Durum 2 suları için güneş parıltısının düzeltilmesinde kullanılan yöntemler tablo olarak özetlenmiştir.

a. Atmosferik Düzeltme

Uydu görüntülerine uygulanan ön-işleme adımlarından birisi olan atmosferik düzeltmede, toz, su buharı vb. gibi atmosferdeki parçacıkların görüntüdeki farklı Yeryüzü cisimlerinin yansıtımına olan etkisi minimuma indirilerek düzeltilmiş bir görüntünün elde edilmesi amaçlanır. Bant oranına veya fark indekslerine dayalı parametre tahmin algoritmalarının kullanılması, atmosferin neden olduğu etkiyi biraz azaltsa da, su uygulamalarında daha kapsamlı bir düzeltme algoritmasının uygulanması gereklidir. Bu bağlamda ilk adım olarak, dijital bant değerleri, yansıtma değerlerine dönüştürülür ve ardından güneş parıltısı düzeltmesi kara alanı maskeleyesi yapılarak uygulanır (Anggoro, Siregar ve Agus, 2016). Yazarların yaptığı bir önceki çalışmada, bu çalışmada kullanılan aynı görüntü setlerine literatürde yaygın kullanılan dört farklı atmosferik düzeltme yöntemi uygulanmış ve performansları 4 farklı istatistiksel ölçüt ile karşılaştırılmıştır (Yagmur, Dervisoglu ve Sunar, 2022). Yapılan çalışmanın bulguları, Copernicus tarafından Sentinel-2 görüntülerine uygulanan Seviye 2A düzeltmesinin yeterli doğruluğa sahip olduğunu gösterdiğinden, bu çalışmanın diğer işlem adımlarında Seviye 2A veri seti kullanılmıştır.

b. Güneş Parıltısı Açısı Hesabı

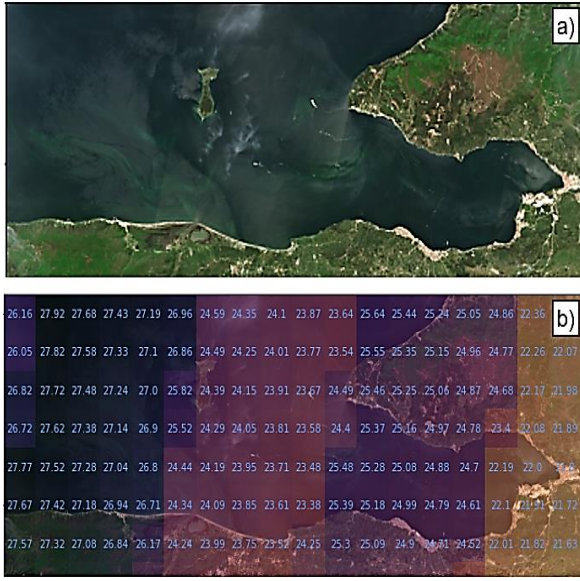
Su yüzeyinde güneş parıltısının oluşup oluşmadığını tahmin etmek için bu çalışmada Giglio ve diğerleri (2003) tarafından önerilen bir yaklaşım esas alınmıştır. Bu yaklaşımda, görüntünün elde edildiği anda zenit ve azimut açıları arasındaki ilişki göz önüne alınarak, aşağıda verilen Eşitlik (1) ile güneş parıltısının varlığı kontrol edilmiştir (Cordeiro, 2021).

$$\cos \theta_{gp} = \cos \theta_v \cos \theta_s - \sin \theta_v \sin \theta_s \cos \phi \quad (1)$$

Burada v, s ve gp alt simgeleri sırasıyla görüş, güneş ve güneş parıltısını, θ zenit açısını ve ϕ güneş ve algılayıcı arasındaki azimut açısı farkını ifade etmektedir. Sonuçta güneş parıltısı açısı değeri θ_{gp} , $\text{Arccos}(\theta_{gp})$ ile elde edilir.

Zenit ve azimut olarak verilen görüş ve güneş açısı değerleri, uydu görüntülerinin metadata dosyalarında (GRANULE alt dosyasında MTD_TL.xml) yer almaktadır. 27 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü için güneş parıltısı açılarının hesaplanmasında, görüntünün meta dosyasından alınan zenit ve azimut açısı değerleri, Eşitlik 1'de yerine konulmuş ve değerler Şekil 8'de gösterilmiştir.

Eşitlik (1) ile hesaplanan parıltı açısı, güneşin konumunun bir göstergesi olduğundan, parıltı açısı değeri ne kadar küçükse, algılayıcı ve güneşin o kadar aynı hizada (doğrultuda) olduğunu göstermektedir; öte yandan bu durum güneş parıltısı oluşma olasılığının da o kadar yüksek olacağı anlamına gelmektedir (Cordeiro, 2021). Bu doğrultuda, Gemlik Körfezi'nin en doğusunda kalan iç kısımda ve körfezin Orta Marmara ile birleştiği batı kısmında güneş parıltısı açılarının düşük olması, görüntüde bu alanlarda belirgin olan güneş parıltısını doğrulamaktadır.



Şekil 8. Güneş parıltısı açısının tahmini. (a) 27 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü (güneş parıltısını daha belirginleştirmek için görüntü radyometrisi değiştirilmiştir). (b) Hesaplanan güneş parıltısı açılarının görüntü üzerindeki dağılımı.

c. Yansıtma Değerlerindeki Değişim

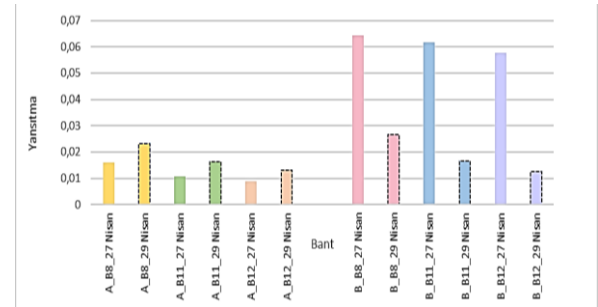
Literatür çalışmalarındaki görüntü analizlerinde algılanan sinyaldeki parıltı miktarının bir göstergesi olarak daha çok YKÖ bant verileri kullanılmasına rağmen, özellikle diğer spektral bantlara olan etkisini göstermek için körfezde iki farklı profil (A profili güneş parıltısının olmadığı bölge; B profili güneş parıltısının olduğu bölge) seçilerek, yansıtma değerleri her iki tarihli uydu görüntüsü için çıkartılmıştır (Şekil 9 ve Şekil 10).

A ve B profilleri için her iki tarihteki Yakın ve Kısa dalga kızılötesi bantların (Bant 8, Bant 11 ve Bant 12) ortalama yansıtma değerlerindeki farklılıklar Şekil 10'da verilmektedir. 27 Nisan tarihli görüntüde güneş parıltısının olduğu B profilinde her üç bantta da spektral yansıtma

değerlerindeki artış çok belirgindir. Şekil 10'da görüldüğü gibi, güneş parıltısının olmadığı A profilinin alındığı bölgede, her iki tarihteki yansıtma değerleri birbirlerine oldukça benzerdir ve değerler 0.010-0.023 aralığında değişmektedir. Diğer yandan, güneş parıltısının olduğu B profilinde ise 29 Nisan tarihli görüntü için değerler, A profilindeki değerlerle uyumludur ancak 27 Nisan tarihli görüntüsünde parıltı nedeniyle spektral yansıtma değer aralığının belirgin bir şekilde arttığı (0.05-0.06) görülmektedir.



Şekil 9. Gemlik Körfezi'nde seçilen iki farklı profilin (A ve B) 27 Nisan tarihli Sentinel-2 Seviye 2A görüntüsündeki konumları.



Şekil 10. A ve B profillerinin her iki tarihteki görüntüdeki Yakın ve Kısa dalga kızılötesi yansıtma değerlerindeki farklılıklar.

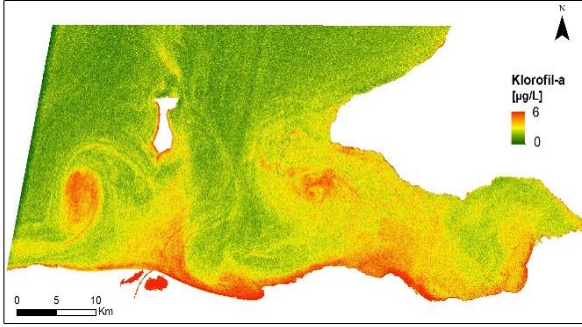
ç. Model Oluşturma ve Korelasyon Analizi

Literatürdeki benzer çalışmalarda uygulandığı şekilde, bu çalışmada da ilk olarak uydu algılayıcısı tarafından algılanan sudan ayrılan spektral yansıtma değerleri (farklı bant veya bant kombinasyonlarından elde edilen) ile yersel su kalitesi ölçümleri arasında deneysel bir ilişkiye (doğrusal veya doğrusal olmayan) dayanan uygun regresyon modelleri oluşturulmuş ve sonrasında modellerin doğruluğunu değerlendirmek için farklı istatistiksel ölçütler kullanılmıştır (Chang, Daranpob, Yang ve Jin, 2009). En son adımda ise yeterli/öngörülen korelasyonun elde edildiği

model, tüm görüntü piksellerine uygulanarak ilgilenilen su kalitesi parametresinin mekânsal dağılımı haritalanmıştır.

Genel olarak deneysel modellerin oluşturulması nispeten kolaydır; ancak uygulama genellikle belirli bir çalışma alanı ve/veya belirli bir algılayıcı ile sınırlı olmaktadır (Giardino ve diğerleri, 2014). Diğer bir ifade ile lokal ölçekte, deneysel modelleme, su cisminin sahaya özgü optik niteliklerini açıklar, ancak mekânsal veya zamansal ölçek arttıkça, optik olarak homojen olmayan su kütleleri ve değişken atmosferik koşullar, parametrelerin tahminini karmaşılaştırır (Topp, Pavelsky, Jensen, Simard ve Ross, 2020).

Güneş parıltısının olmadığı 29 Nisan 2021 tarihli uydu görüntüsü ve 11 noktadan alınan yersel ölçmeler ile lineer ve polinom regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Korelasyonu en yüksek olan model (B3/B2) tüm görüntüye uygulanarak, Gemlik Körfezi'nde klorofil-a parametresinin mekânsal dağılımı gösterilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. 29 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 görüntüsünde klorofil-a parametresinin mekânsal dağılımı.

Klorofil-a yoğunluğunun daha çok güney kısımda yer alan kıyı çizgisi boyunca (özellikle Simav Çayı'nın Marmara Denizi'ne döküldüğü kısım ve Mudanya bölgesinde) ve Körfez çıkışı ile görüntünün en batı kısmında musilajın yoğunluğuna paralel olarak artış gösterdiği görülmektedir.

d. Doğruluk Analizi

Uzaktan algılama ile elde edilen farklı konsantrasyonlardaki su kalite bileşenlerinin doğruluğu, genel olarak tahmin edilen su kalite parametresine, çalışma alanına ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Doğruluk aynı zamanda, su kalite bileşeninin konsantrasyonuna, sudaki diğer optik aktif parametrelere, uydu algılayıcısının su uygulamasına yönelik uygun ve yeterli spektral

çözünürlüğüne, uygulanan atmosferik düzeltme yöntemine ve yersel örnekleme veri setinin doğruluğuna ve temsil edilebilirliğine bağlı olarak da değişmektedir (IOCCG, 2018). Bu bağlamda, oluşturulan deneysel modellerin doğruluğunun değerlendirilmesi için farklı istatistiksel ölçütler kullanılmaktadır. Tablo 2'de yaygın olarak kullanılan ölçütler ve kriterler verilmektedir (Sagan ve diğerleri, 2020; Prabhakaran, t.y.). Tabloda verilen doğruluk parametreleri ile klorofil-a parametresi için en yüksek korelasyon değerini gösteren modelin doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 3).

Tablo 2. Doğruluk değerlendirme ölçütleri ve kriterler (Sagan ve diğerleri, 2020; Prabhakaran, t.y.).

Doğruluk ölçütü	Tanım	Kriter
R-kare (R^2)	Bir değişkenin varyansının ikinci değişkenin varyansını ne ölçüde açıkladığını gösterir.	Ne kadar yüksekse o kadar iyi (0.70)
Düzeltilmiş (R^2)	Modeldeki tahmin edicilerin sayısı için ayarlanmış R^2 'nin değiştirilmiş bir versiyonudur ve R^2 'den her zaman daha düşük değer verir.	Ne kadar yüksekse o kadar iyi
F istatistiği	İki varyansın veya teknik olarak iki ortalama karenin oranıdır.	Ne kadar yüksekse o kadar iyi
t istatistiği ve p	t testini ifade etmektedir; p ise güven aralığını ifade etmektedir ve 0.05'ten büyük olmamalıdır.	p = 0.05 için 1.96'dan büyük olmalı
Standart Hata	Veri noktalarının regresyon doğrusundan uzaklaştığı ortalama mesafeyi gösteren mutlak bir ölçüdür.	Sıfıra ne kadar yakınsa o kadar iyi
Karesel Ortalama Hata (KOH)	Regresyon sonucunda tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki hata miktarıdır.	Ne kadar düşükse o kadar iyi
Ortalama Mutlak Hata (OMH)	Regresyon sonucunda tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farktır.	Ne kadar düşükse o kadar iyi

İç ve kıyı sularının optik özellikleri farklı su kütleleri için değişken olup, bu tip sularda uygun deneysel modellerin geliştirilmesini ve doğruluğunu etkilemektedir. Diğer yandan optik aktif olmayan parametrelerin (örn. Fosfor, Azot),

Klorofil-a, Toplam Askıda Madde ve Renkli Çözünmüş Organik Madde (Colored Dissolved Organic Matter - CDOM) gibi optik aktif parametrelerle yüksek oranda ilişkili olabileceği literatürdeki çalışmalarda gösterilmiştir (Sun ve diğerleri, 2022; Wu ve diğerleri, 2010; Isenstein ve Park, 2014).

Tablo 3'te verilen tekli deneysel regresyon modelinin sonuçlarına bakıldığında, Sentinel-2 MSI verileri ile korelasyonun ve doğruluk ölçütlerinin kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmekle beraber görüntüde belirgin olan farklı yoğunluktaki musilajın etkisinin sonuçlarda beklenilenden daha düşük R^2 nin elde edilmesine neden olduğu düşünülmektedir.

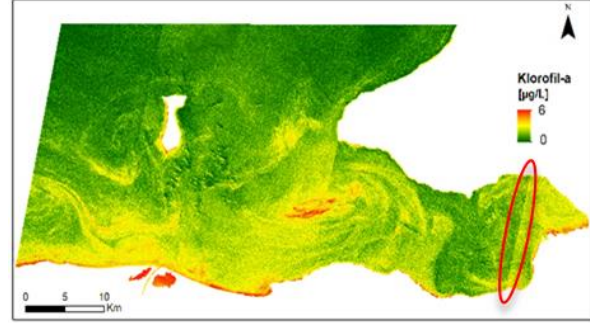
Tablo 3. 29 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 görüntüsünde klorofil-a parametresi için kullanılan modelin doğruluk değerlendirmesi.

29 Nisan 2021		
		Klorofil-A
		Model B3/B2
Doğruluk ölçütleri	R^2	0,668
	Düzeltilmiş R^2	0,631
	F istatistiği	18,095
	t	4,254
	p	0,002
	Standart Hata	1,272
	KOH	1,150

Literatürde, seçilen modellerin çok kısa zaman farklılıklarının olduğu (örn. $\pm 2-3$ gün) yakın tarihli benzer koşullarda alınmış diğer görüntülere uygulanan çalışmalar mevcuttur (Erkkilä ve Kalliola, 2004; Tebbs, Remedios ve Harper, 2013; Bonansea, Rodriguez, Pinotti ve Ferrero, 2015). Bu bağlamda, 29 Nisan 2021 tarihli uydu görüntüsü ile eş-zamanlı yersel ölçümlerle klorofil-a parametresi için oluşturulan tekli deneysel lineer regresyon modeli, diğer yakın tarihli (27 Nisan 2021) uydu görüntüsüne uygulanmış (Şekil 12) ve Tablo 4'te gösterildiği gibi güneş parıltısının model doğruluğunu düşürdüğü saptanmıştır.

Şekil 12'de gösterilen mekânsal dağılımda, klorofil-a yoğunluğunun 29 Nisan görüntüsüne nazaran daha az yoğun olduğu görülmektedir. Ancak 27 Nisan tarihli görüntüde de musilajın

yoğun olduğu dikkate alındığında, iki görüntünün klorofil-a dağılımlarındaki farklılıklara güneş parıltısının etki ettiği sonucuna varılmaktadır. Dağılım haritasında özellikle güneş parıltısının olduğu körfezin iç bölgesindeki keskin değişim, çizgisel olarak göze çarpmaktadır (kırmızı ile işaretli bölge).



Şekil 12. 27 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 görüntüsünde güneş parıltısı içeren alanda klorofil-a parametresinin mekânsal dağılımı.

Tablo 4. 27 ve 29 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 görüntülerinde kullanılan aynı deneysel model ile klorofil-a parametresinin tahmin doğruluğu.

Klorofil-a (µg/L)			
Görüntü tarihi	29 Nisan 2021	27 Nisan 2021	
Seçilen alan	Tüm görüntü	Güneş parıltısı içeren	Tüm görüntü
Validasyon örnek #	5	11	15
KOH	1.188	1.880	2.053
OMH	1.016	1.410	1.653

Model doğruluğunun irdelenmesinde 27 Nisan 2021 tarihinde alınan eş-zamanlı yersel klorofil-a ölçümleri kullanılmıştır. Körfez boyunca toplam 15 noktadan alınan Klorofil-a ölçümlerinin 11 örnekleme noktası güneş parıltısı içeren alanda yer aldığından, doğruluk değerlendirmesi tüm alan ve güneş parıltısı içeren alan olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilmiştir. 29 Nisan 2021 tarihli görüntüde klorofil-a parametresi tahmin doğruluğu değerlendirmesinin yansız olması için model oluşturulmasında kullanılmayan 5 ölçüm noktası göz önüne alınmıştır (Tablo 4). Her iki görüntü tarihi için model tahmin performansının ölçümünde yaygın kullanılan Karesel Ortalama Hata ve Ortalama Mutlak Hata ölçütleri kullanılmıştır. Seçilen bu iki ölçüt değeri, güneş parıltısı içeren görüntüde daha yüksek elde edilmiş olmasına rağmen, her iki görüntüde gözlenen musilaj yoğunluğu nedeniyle su

kalitesinin karmaşıklığının sonuçların doğruluğunu etkileyeceği göz ardı edilmemelidir.

4. SONUÇLAR

Günümüzde gerek iklim dengesi ve biyolojik çeşitlilik, gerekse diğer ekosistemler ile bütüncül etkileşimde olmaları nedeniyle yaşamsal öneme sahip doğal kaynakların başında gelen sucul ekosistemler, özellikle kıyı bölgelerindeki nüfus yoğunluğunun ve ekonomik faaliyetlerin artması sonucu büyük tehdit ve baskı altındadır. Bu bağlamda özellikle geçtiğimiz 50 yıl boyunca yapılan çalışmalar, uzaktan algılama teknolojisinin dinamik sucul ekosistemlerin yerel, bölgesel ve global mekânsal ölçeklerde izlenmesinde ve kalitesi ve işleyişi hakkında bilgi çıkartılmasında en etkili araçlardan biri olduğunu göstermiştir. Özellikle ücretsiz erişilebilen yeni nesil orta mekânsal çözünürlüklü (örn. Sentinel-2 ve Landsat-8 uyduları, 10-30m mekânsal çözünürlük) yer gözlem uydu verilerinin iç/kıyı suları kalite izlemesine yönelik kullanımının yaygınlaşması, operasyonel uydu-bazlı su kalite izleme çalışmalarının hız kazanmasına ve konuyla ilgili bilimsel çalışmaların sayısının artmasına neden olmuştur. Yapılan tüm çalışmalarda ana hedef, suyun optik aktif özelliklerinin belirlenmesi ve su kalite parametrelerinin uydu görüntüleri ile tahmin edilebilmesi için sudan ayrılan yansıtma değerinin algılayıcı tarafından doğruluklu ölçülmesidir; ancak dağılımı azimut ve zenit açılarına ve su yüzeyinin pürüzlülüğüne bağlı olan ve görüntü kalitesinin yanı sıra bilgi kaybına da yol açan güneş parıltısının suyun gerçek yansıtımına olan katkısının/etkisinin uygun bir düzeltme işlemi ile giderilmesi/azaltılması gereklidir.

Ancak atmosferin gelen güneş ışınımıyla olan etkileşimini azaltmak için uydu görüntülerine uygulanan atmosferik düzeltme yöntemlerinde bazı sınırlamaların olması ve/veya rutin olmaması, günümüzde su kalite bileşenlerinin tahmin doğruluğunu olumsuz etkilemektedir. Bu amaca yönelik yapılan bu çalışmadan elde edilen bulgular, iki gün arayla alınan ve Seviye 2A olarak atmosferik düzeltmesi yapılmış iki Sentinel-2 görüntüsünden birinde var olan güneş parıltısının, uydu algılayıcısının radyometrik ölçümlerine etki ettiğini ve bunun sonucunda görüntüden suyun optik aktif özelliklerinin çıkartılmasını ve klorofil-a parametresinin doğru tahmin edilmesini (tahmin doğruluğunu $\pm$ %40-60 azalttığı) olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir.

Gelecekte hiç kuşkusuz güneş parıltısı düzeltilmesine yönelik çeşitli su kütleri için farklı zaman, konum ve akış koşullarında yapılacak yeni çalışmalarla geliştirilecek genelleştirilmiş modeller

ve/veya biyo-optik yöntemler, mevcut ve gelecekteki uydu misyonlarından daha doğruluklu verilerin alınmasını ve böylelikle sucul ekosistemlerin daha güvenli izlenmesini ve analiz edilebilmesini sağlayacaktır. Ancak henüz bu konu geliştirilme aşamasında olduğundan, bu çalışmanın sonuçları, hem bilimsel hem de mali açıdan (ticari uydu firmalarından görüntü satın alımının pahalı olması) oldukça yanıltıcı ve sınırlayıcı bir faktör olan güneş parıltısı içeren uydu görüntülerine dikkat çekmek ve bu görüntülerin etkin bir düzeltme yapılmadan su kalite bileşenlerinin modelleme çalışmalarında kullanılmaması gerektiğini vurgulamak açısından çok önemlidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı/ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü/Laboratuvar, Ölçme Daire Başkanlığı tarafından yürütülen ve TÜBİTAK-MRC koordinatörlüğünde yürütülen "Entegre Deniz Kirliliği İzleme 2020-2022 Programı" ile desteklenmiştir.

ORCID

A. Filiz SUNAR 
<https://orcid.org/0000-0001-9438-1171>

Adalet DERVİŞOĞLU 
<https://orcid.org/0000-0001-7455-4282>

Nur YAĞMUR 
<https://orcid.org/0000-0002-5915-6929>

KAYNAKLAR

- Anggoro, A., Siregar, V.P. ve Agus, S.B. (2016). The effect of sunglint on benthic habitats mapping in Pari Island using Worldview-2 imagery. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 487-495. doi:10.1016/j.proenv.2016.03.101
- Balci, M. ve Balkis, N. (2017). Assessment of phytoplankton and environmental variables for water quality and trophic state classification in the Gemlik Gulf, Marmara Sea (Turkey). *Marine Pollution Bulletin*, 115(1-2), 172-189. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.12.007
- Bonansea, M., Rodriguez, M.C., Pinotti, L. ve Ferrero, S. (2015). Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina). *Remote Sensing of Environment*, 158, 28-41. doi:10.1016/j.rse.2014.10.032

- Chang, N.B., Daranpob, A., Yang, J. ve Jin, K.R. (2009). A comparative data mining analysis for information retrieval of MODIS images: Monitoring lake turbidity changes at Lake Okeechobee, Florida. *Journal of Applied Remote Sensing*, 3, 033549. doi:10.1117/1.3244644
- Cordeiro, M. (2021). How to Implement Sunlint Detection for Sentinel 2 Images in Python using Metadata Info. Erişim Adresi: <https://towardsdatascience.com/how-to-implement-sunglint-detection-for-sentinel-2-images-in-python-using-metadata-info-155e683d50>
- Cox, C. (1954). Statistics of the sea surface derived from sun glitter. *Journal of Marine Research*, 13 198-227.
- Cox, C. ve Munk, W. (1954). Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter. *Josa*, 44(11), 838-850. doi:10.1364/JOSA.44.000838
- Doerffer, R., Schiller, H., Fischer, J., Preusker, R. ve Bouvet, M. (2008). The impact of sun glint on the retrieval of water parameters and possibilities for the correction of MERIS scenes. In Proceedings of the 2nd MERIS/(A) ATSR User Workshop, ESA SP-666, Frascati, Italy.
- Erkkilä, A. ve Kalliola, R. (2004). Patterns and dynamics of coastal waters in multi-temporal satellite images: support to water quality monitoring in the Archipelago Sea, Finland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(2),165-177. doi:10.1016/j.ecss.2003.11.024
- Fougnie, B., Frouin, R., Lecomte, P. Deschamps, P.Y. (1999). Reduction of skylight reflection effects in the above-water measurements of diffuse marine reflectance, *Applied Optics*, 38, 3844–3856. doi:10.1364/AO.38.003844
- Gholizadeh, M.H., Melesse, A.M. ve Reddi, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16(8), pp. 1298–1306. doi:10.3390/s16081298
- Giardino, C., Bresciani, M., Cazzaniga, I., Schenk, K., Rieger, P., Braga, F., ... Brando, V.E. (2014). Evaluation of multi-resolution satellite sensors for assessing water quality and bottom depth of Lake Garda. *Sensors*, 14(12), 24116-24131. doi:10.3390/s141224116
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O. ve Kaufman, Y.J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87 (2), 273–282. doi:10.1016/S0034-4257(03)00184-6.
- Harmel, T., Chami, M., Tormos, T., Reynaud, N. ve Danis, P.A. (2018). Sunlint correction of the multi-spectral instrument (MSI) - SENTINEL-2 imagery over Inland and sea waters from SWIR bands. *Remote Sensing of Environment*, 204, 308–321. doi:10.1016/j.rse.2017.10.022.
- IOCCG. (2018). Earth observations in support of global water quality monitoring. Technical Report. October 2018. doi:10.25607/OBP-113.
- Isenstein, E.M. ve Park, M.H. (2014). Assessment of nutrient distributions in Lake Champlain using satellite remote sensing. *J. Environmental Science*, 26, 1831–1836. doi:10.1016/j.jes.2014.06.019
- Karadurmuş, U. ve Sari, M. (2022). Marine mucilage in the Sea of Marmara and its effects on the marine ecosystem: mass deaths. *Turkish Journal of Zoology*, 46, 93-102. doi:10.3906/zoo-2108-14
- Kay, S., Hedley, J.D. ve Lavender, S. (2009). Sun glint correction of high and low spatial resolution images of aquatic scenes: A review of methods for visible and near-infrared wavelengths. *Remote Sensing*, 1(4), 697-730. doi:10.3390/rs1040697
- Kuşçu, I., Okamura, M., Matsuoka, H., Yamamori, K., Awata, Y. ve Özalp, S. (2009). Recognition of active faults and stepover geometry in Gemlik Bay, Sea of Marmara, NW Turkey. *Marine Geology*, 260, 90-101. doi:10.1016/j.margeo.2009.02.003
- Pahlevan, N., Smith, B., Alikas, K., Anstee, J., Barbosa, C., Binding, C., ... Fernandez, V. (2022). Simultaneous retrieval of selected optical water quality indicators from Landsat-8, Sentinel-2, and Sentinel-3. *Remote Sensing of Environment*, 270, 112860. doi:10.1016/j.rse.2021. 112860
- Prabhakaran, S. (t.y.). Linear Regression. Erişim Adresi: <http://r-statistics.co/Linear-Regression.html>

- Reinke, D.L. (1995). Image interpretation, Chapter in satellite meteorology, Editor(s): Stanley Q. Kidder, Thomas H. Vonder Haar, Academic Press, 145-181.
- Roy, D.P., Li, J., Zhang, H.K., Yan, L., Huang, H. ve Li, Z. (2017). Examination of Sentinel-2A multi-spectral instrument (MSI) reflectance anisotropy and the suitability of a general method to normalize MSI reflectance to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 199, 25-38. doi:10.1016/j.rse.2017.06.019
- Sagan, V., Peterson, K.T., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Sloan, J., Greeling, B.A., ... Adams, C. (2020). Monitoring inland water quality using remote sensing: potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. *Earth-Science Reviews*, 205, 103187. doi:10.1016/j.earscirev.2020.103187
- Shahabi, S. (2020). Effect of wind direction on sea surface reflectance. University of North Dakota, MSc. Thesis, 3297.
- Sun, X., Zhang, Y., Shi, K., Zhang, Y., Li, N., Wang, W., ... Qin, B. (2022). Monitoring water quality using proximal remote sensing technology. *Science of the Total Environment*, 803, 149805. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149805
- Sunar, F., Özkan, C. ve Osmanoğlu, B. (2011). *Uzaktan Algılama*, 4. Basım, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir.
- Sunar, F., Özkan, C., Ok, A.Ö., Osmanoğlu, B., Avcı, Z.D.U. ve Berberoğlu, S. (2017). *Dijital Görüntü İşleme*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Sunar, F., Dervisoglu, A., Yagmur, N., Colak, E., Kuzyaka, E. ve Mutlu, S. (2022). How efficient can Sentinel-2 data help spatial mapping of mucilage event in the Marmara Sea, XXIV ISPRS Congress, Haziran 6-11, Nice, Fransa.
- Sunar, F., Dervisoglu, A. ve Yagmur, N. (2022). Uydu görüntülerinde su yüzeyindeki güneş parıltısının görüntü analizlerine etkisi, VIII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2022), 17-19 Kasım 2022, Ankara.
- Tebbs, E.J., Remedios, J.J. ve Harper, D.M. (2013). Remote sensing of chlorophyll-a as a measure of cyanobacterial biomass in Lake Bogoria, a hypertrophic, saline-alkaline, Flamingo Lake, using Landsat ETM+. *Remote Sensing of Environment*, 135, 92-106. doi:10.1016/j.rse.2013.03.024
- Topp, S.N., Pavelsky, T.M., Jensen, D., Simard, M. ve Ross, M.R.V. (2020). Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science: Moving towards multidisciplinary applications. *Water*, 12, 169. doi:10.3390/w12010169
- Ünlü, S., Topçuoğlu, S., Alpar, B., Kırbaçoğlu, Ç. ve Yılmaz, Z.Y. (2008). Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, 169-178. doi:10.1007/s10661-007-9986-6
- Yagmur, N., Dervisoglu, A. ve Sunar, F. (2022). Evaluation of atmospheric correction processors applied to the Sentinel-2 image in the Gulf of Izmit, 10th International Symposium on Atmospheric Sciences, 18- 21 Ekim 2022 Istanbul – Türkiye.
- Yaltırak, C. ve Alpar, B. (2002). Evolution of the middle strand of north Anatolian fault and shallow seismic investigation of the southeastern Marmara Sea (Gemlik Bay). *Marine Geology*, 190: 307-328. doi:10.1016/S0025-3227(02)00352-3
- Vahtmae, E. ve Kutser, T. (2008). Sun glint correction of airborne AISA images for mapping shallow-water benthos. 2008 IEEE/OES US/EU-Baltic International Symposium, (1-8). doi:10.1109/BALTIC.2008.4625522
- Warren, M.A., Simis, S.G., Martinez-Vicente, V., Poser, K., Bresciani, M., Alikas, K., ... Ansper, A. (2019). Assessment of atmospheric correction algorithms for the Sentinel-2A multispectral imager over coastal and inland waters. *Remote Sensing of Environment*, 225, 267-289. doi:10.1016/j.rse.2019.03.018
- Wu, C., Wu, J., Qi, J., Zhang, L., Huang, H., Lou, L. ve Chen, Y. (2010). Empirical estimation of total phosphorus concentration in the mainstream of the Qiantang River in China using Landsat TM data. *Int. J. Remote Sensing*, 31, 2309-2324. doi:10.1080/01431160902973873

Toplu Taşınmaz Değerlemesi için Coğrafi Verinin İşlenmesi ve Rastgele Orman Makine Öğrenmesi Tekniğiyle Tahmin Modelinin Geliştirilmesi (Processing Geographical Data and Developing Prediction Model with Random Forest Machine Learning Technique for Mass Real Estate Valuation)

Süleyman ŞİŞMAN^{ID}, Arif Çağdaş AYDINOĞLU*^{ID}

Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli
ssisman@gtu.edu.tr, *aydinoglu@gtu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 21.03.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 13.01.2023

ÖZ

Taşınmazların değerinin yatırım planlamasından kredi düzenlenmelerine, vergilendirmeden çeşitli sektörel uygulamalara kadar kullanılmasından dolayı taşınmazlar ülke ekonomilerinin önemli bir bileşenidir. Taşınmazların değerinin güncel yaklaşımlar ile objektif olarak tespiti, planlı ve sürdürülebilir taşınmaz yönetim stratejilerinin geliştirilmesi için önemli bir gereksinim haline gelmiştir. Dolayısıyla tekil değerlendirme yaklaşımlarının yanı sıra toplu taşınmaz değerlendirme için gelişmiş makine öğrenme teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Çalışma kapsamında, konut tipindeki taşınmazların toplu değerlendirme için mahalli, konumsal ve yapısal gruplarda tanımlanan 120'den fazla kriter belirlenmiştir. Belirlenen çalışma alanında kriterleri temsil eden coğrafi veriler, çeşitli coğrafi analiz teknikleriyle uygulama için kullanılır hale getirilmiştir. Ardından Pearson korelasyon analizi ile 54 kriter model geliştirmede kullanılmak üzere seçilmiştir. Taşınmaz değer veri setinde, Boxplot grafik yaklaşımı ve Kümelendirme & Aykırılık Analizi teknikleriyle verilerin genel dağılımından sapan 444 aykırı veri elimine edilmiştir. Makine öğrenmesine dayalı tahmin modelleri için çalışma alanındaki piyasa örneklemeleri ile %70 eğitim ve %30 test oranlarında veri setleri oluşturulmuştur. Rastgele Orman ve performans karşılaştırma için Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi (ÇDR) makine öğrenme teknikleriyle tahmin modelleri geliştirilmiştir. Model performansları test veri seti üzerinden değerlendirilmiştir. Daha başarılı sonuçlar gösteren Rastgele Orman modeli ile kriter önem düzeyleri hesaplanmıştır. Konutun bulunduğu kat, konut alanı, bina yaşı, cephe yönü gibi yapısal ve otobüs durakları, eczane, marketlere yakınlık gibi konumsal kriterlerin ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca Rastgele Orman modeli ile CBS tabanlı üretilen taşınmaz değer haritasında mahallelerin taşınmaz değer dağılımları irdelenmiştir. Makine öğrenmesi teknikleri ve CBS'nin bütünsel kullanımıyla üretilen toplu taşınmaz değer haritaları taşınmaz yönetimi ihtiyaçları için etkin biçimde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: CBS, ÇDR, Toplu Taşınmaz Değerleme, Makine Öğrenmesi, Rastgele Orman

ABSTRACT

Real estate is an essential component of the country's economy because real estate value is used from investment planning to loan arrangements, from

taxation to various sectoral practices. The objective determination of the real estate value with popular approaches has become an important requirement for the development of planned and sustainable real estate management strategies. Therefore, in addition to individual valuation approaches, advanced machine learning techniques have been used for mass real estate valuation. Within the scope of the study, more than 120 criteria defined in local, geographical and structural groups were determined for the mass valuation of residential real estate. Geographical data representing the criteria in the determined study area were made available for case study with various geographic analysis techniques. Then, with Pearson correlation analysis, 54 criteria were selected to be used in model development. In the real estate value dataset, 444 outlier data that deviated from the general distribution of the dataset were eliminated with the Boxplot graphical approach and Cluster & Outlier Analysis techniques. For the prediction models based on machine learning, datasets were prepared with 70% training and 30% testing rates of the market samples in the study area. Prediction models were developed with Random Forest and Multiple Linear Regression Analysis (MRA) machine learning techniques for performance comparison. Model performances were evaluated on the test dataset. Criteria importance levels were also calculated with the Random Forest model, which providing more successful results. It was determined that structural criteria such as the housing floor level, housing floor area, building age, direction of housing facade, and geographical criteria such as proximity to bus stops, pharmacies, and markets come to the fore. Besides, the real estate value distributions of the neighbourhoods were examined in the GIS-based real estate value map produced with the Random Forest model. Mass real estate value maps produced with the integrated use of machine learning techniques and GIS can be effectively used for real estate management needs.

Keywords: GIS, MRA, Mass Real Estate Valuation, Machine Learning, Random Forest

1. GİRİŞ

Taşınmazlar özel mülkiyetin ve kamu alanları yönetiminin temel alanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Taşınmaz varlıkların uzun vadeli bir yatırım aracı olması, gelir getirme özelliği, bir güvence veya karşılık olarak kullanılabilmesi

taşınmazları oldukça cazip hale getirmektedir (Yalpir ve diğerleri, 2021). Taşınmazların yatırım amaçlı önemi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gittikçe artmaktadır. T.C. Cumhurbaşkanlığı Finans Ofisi tarafından 2019 yılında gerçekleştirilen Türkiye Hane Halkı Finansal Algı ve Tutum Araştırması sonuçlarına göre, taşınmazların diğer altın, döviz ve hisse senedi gibi finansal yatırım araçlarına kıyasla getiri miktarı ve güvenilirliğinin daha yüksek olması, uzun vadede değer kaybetmemesi gibi faktörlerden dolayı ortalama %81 ile en çok memnuniyet gören yatırım aracı olarak ifade edilmiştir (T.C-CBFO, 2020). Bu durum taşınmazların değer bakımından önemini ortaya koymakta olup, taşınmazların değerinin doğru tespit ve yönetiminin ihtiyacına işaret etmektedir. Taşınmazların güncel koşullarda alım satımına esas piyasa değerinin belirlenmesi ise taşınmaz değerlendirme disiplininin konusunu oluşturmaktadır. Bu kapsamda taşınmaz değerlendirme, değerlemenin yapıldığı günün koşullarına göre bir taşınmazın, taşınmaz üzerindeki hak ve faydalarının ya da taşınmaz üzerindeki projenin taşınmaza ilişkin fayda, nitelik, çevresel özellikler, konumsal özellikler, sosyo-demografik özellikler ve kullanım koşulları gibi kriterlerin birlikte değerlendirilmesi suretiyle olası piyasa değerinin objektif olarak belirlenmesi şeklinde ifade edilmektedir (Appraisal Institute, 2001, Açlar ve Çağdaş, 2008).

Günümüzde farklı uygulama alanlarında oldukça sık ihtiyaç duyulan taşınmaz değerinin belirlenmesi söz konusu olduğunda tekil ve toplu taşınmaz değerlendirme kapsamında iki kategori altında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Tekil değerlendirme yöntemleri değer tespitinde yeterli objektifliği sağlayamamakta olup, değere etki eden kriterler ile değer arasındaki ilişkiler yeterli düzeyde değerlendirilememektedir (Pagourtzi ve diğerleri, 2003; Sisman ve diğerleri, 2021). Dolayısıyla çok sayıda taşınmazın eş zamanlı ve objektif olarak değerinin belirlenebildiği, bilimsel temellere dayalı kantitatif sonuçlar üretebilen, çok sayıda kriterin birlikte değerlendirilebildiği modern değerlendirme yaklaşımlarına gereksinim bulunmaktadır (Renigier-Bilozor ve diğerleri, 2019) Bu kapsamda, teknolojik gelişmeler, kamu ve özel sektörün hızlı ve daha düşük maliyetli değerlendirme isteği, taşınmaz değerinin farklı ihtiyaçlara altlık teşkil etmesi, farklı kaynaklardan gelen büyük verinin işlenerek değerlendirme faaliyetlerinde kullanılması gibi hususlar göz önüne alındığında; yapay zekanın bir alt dalı olan makine öğrenmesi teknikleri ve CBS'ye dayalı taşınmaz değer modellerinin üretilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde değerlendirme konusunda kurumsal anlamda yapılanma 2019 yılında Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) bünyesinde Taşınmaz Değerleme Daire Başkanlığı'nın kurulması ile olmuştur (Resmi Gazete, 2018; Resmi Gazete, 2019). Kurulan Taşınmaz Değerleme Daire Başkanlığı, en başta ülke çapında taşınmazların değerinin tespit edilmesi ve bu sayede taşınmazlardan alınan vergilerin ve harç kayıplarının minimuma indirgenmesini hedeflemektedir. Ayrıca başkanlık tarafından taşınmazlara ilişkin fiyat endeksleri ve değer haritalarının üretilmesi ile kamulaştırma ve arazi toplulaştırma gibi uygulamalara altlık sağlamak gibi çeşitli amaçlarla bir değer bilgi bankasının oluşturularak esasta Toplu Değerleme Sistemi'nin kurulması amaçlanmaktadır. Kurulacak olan sistem ile uluslararası standartlarda bilimsel temellere uygun olarak güncel değer tahminleri gerçekleştirileği ön görülmektedir (TKGM, 2022).

Literatürde taşınmazların toplu değerlendirme için Hedonik Değerleme (Luo ve diğerleri, 2021), Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) (Sisman ve Aydinoglu, 2022), Destek Vektör Makineleri (DVM) (Wang ve diğerleri, 2014), Karar Ağaçları (Antipov ve Pokryshevskaya, 2012), Rastgele Orman (Çeh ve diğerleri, 2018), Yapay Sinir Ağları (YSA) (Yalpir, 2018; Yilmazer ve Kocaman, 2021), Nominal Değerleme (Mete ve Yomralioglu, 2021), Bulanık Mantık (Bovkir ve Aydinoglu, 2018) ve Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) (Del Giudice ve diğerleri, 2017; Unel ve Yalpir, 2019) gibi birçok teknik mevcuttur. Bu teknikler arasında makine öğrenmesi teknikleriyle üretilen modeller göz önüne alındığında karar ağaçları esaslı bir yöntem olan Rastgele Orman tekniğinin, farklı uygulamalarda optimum parametre seçimi kolaylığı, regresyon problemlerinin çözümünde kolay uygulanabilir olması, modele giren değişkenlerin önem düzeyi hakkında bilgi vermesi ve yüksek model performansı sağlamasından dolayı tercih sebebi olduğu ifade edilmiştir (Antipov ve Pokryshevskaya, 2012; Aydinoglu, 2019; Hong ve diğerleri, 2020; Aydinoglu ve diğerleri, 2021). Aydinoglu ve diğerleri, Rastgele Orman tekniği ile İstanbul ili Pendik ilçesinde bulunan 1459 konut tipindeki taşınmaz için 34 kriter ile değer tahminleri gerçekleştirerek, taşınmaz değer haritası ve kriter önem düzeyi bilgisi üretmişlerdir (Aydinoglu ve diğerleri, 2021). Yilmazer ve Kocaman ise Ankara ili Mamak ilçesinde Rastgele Orman ve ÇDR (aşamalı olarak) tekniklerini kullanarak toplu değerlendirme modelleri üretmişlerdir. Modellerde 1200 piyasa örneklemini kullanılmış olup, aykırı veri olarak nitelendirilen veriler manuel olarak veri setinden çıkarılmıştır. Çalışmada değeri etkileyen 96 kriter

tanımlanmakla birlikte, değeri etkileyen ve modellere dahil edilen 37 kriter uzman görüşlerine dayalı olarak belirlenmiştir. Kriter arası çoklu doğrusallık problemi ise Pearson korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Fakat bu çalışmalarda doğrudan en yüksek model performansının elde edilmesi amaçlanmıştır. Modelleme öncesinde kriter seçimi, veri setleri içerisindeki konumsal ve konumsal olmayan aykırı verilerin istatistiksel veri analizi ile tespiti ve ayıklanması gibi hususlar yeterince ele alınmamıştır.

Bu çalışmada farklı sosyo-gelişmişlik özelliklere sahip yerleşim alanlarında konut tipindeki taşınmazların makine öğrenmesi teknikleriyle daha büyük piyasa örnekleme ve kriter grubu ile toplu taşınmaz değerlemesi için uygulama metodolojisi belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda toplu değerlendirme sürecinde konumsal ve konumsal olmayan aykırı verilerin tespiti ve ayıklanması, başarılı sonuç veren Rastgele Orman tekniği ile çok sayıda coğrafi ve coğrafi olmayan kriterin analiziyle tahmin modellerin oluşturulması, model performans değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi ve değeri etkileyen kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma alanı veri setlerinde aykırı verilerin ayıklanmasının ardından, Pearson korelasyon analizi kullanılarak toplu değerlemede kullanılacak taşınmaz değeri ile ilişkili kriterler belirlenmektedir. Rastgele orman makine öğrenmesi tekniği ile çoklu doğrusal regresyon yöntemi performansları karşılaştırılmaktadır. Böylelikle sürdürülebilir toplu taşınmaz değerlemesi için coğrafi analiz ve makine öğrenme tekniklerine dayalı örnek yaklaşım geliştirilmektedir.

2. MATERYAL ve METOT

a. Taşınmaz Değerini Etkileyen Kriterler

Taşınmaza ilişkin piyasa değerinin pratikte tespit edilmesi; taşınmazların sahip olduğu hukuki anlamdaki yasal özellikler, konumu ve kullanımı ile kişiden kişiye nitelik ve nicelik olarak değişkenlik gösteren birçok farklı unsurdan dolayı pek mümkün değildir. Bununla birlikte taşınmaz değerinin ihtiyaç duyulduğu farklı uygulamalar için taşınmazların çeşitli özellikleri ile tahmini değerlerini belirlemek mümkündür. Taşınmazların değeri, çok boyutlu yapısı nedeniyle yasal, fiziksel, konumsal, mahalli, ekonomik ve sosyal faktörlerden etkilenebilmektedir (Bovkir ve Aydinoglu, 2018, Sisman ve diğerleri, 2021).

Çalışma kapsamında taşınmaz değerini

etkileyen kriterler, Avrupa Değerleme Standartları (TEGoVA, 2016), Uluslararası Değerleme Standartları (IVSC, 2016), Değerleme-Küresel Standartları (RICS, 2017), Taşınmazların Toplu Değerleme Standartları (IAOO, 2013), Ulusal Standartlar (TDUB, 2011), yönetmelikler (TKGM, 2011) ve akademik çalışmalar dikkate alınarak irdelenmiştir. Böylelikle taşınmaz değerini etkileyen kriterler konumsal, mahalli ve yapısal olmak üzere 3 tematik kategori içerisinde farklı alt kriter gruplarında tanımlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Taşınmaz değerini etkileyen kriterlerin belirlenmesi).

Mahalli Kriterler	Nüfus (İlçe Nüfusu, İlçe Nüfus Yoğunluğu (Kişi/km ²), Mahalle Nüfusu, Mahalle Nüfus Yoğunluğu (Kişi/km ²), Mahallede Yaşayan Çocuk (0-14), Genç (15-24), Yetişkin (25-65), Yaşlı (65+), Kadın, Erkek Yüzdesi) Gelir Düzeyi Dağılımı (A+, A, B, C, D Grubu Gelir Düzeyi Dağılımı, Mahallede Yaşayanların Kişi Başı Geliri, Mahallede Yaşayanların Kişi Başı Tasarrufu) Eğitim Durumu (Mahallede Yaşayan Okuma Yazma Bilmeyen, Okuması Olan Eğitimsiz, İlkokul, İlköğretim, Ortaokul Mezunu, Lise Mezunu, Üniversite Mezunu Kişi Yüzdesi) Medeni Durum (Mahallede Yaşayan Evli Çift, Bekar, Boşanmış Çift, Dul Yüzdesi) Yapı Yoğunluğu (Yapılaşma Yoğunluğu) İl & İlçe Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik (İl Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Düzeyi, İlçe Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Düzeyi, İlçenin İl İçerisindeki Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması), Mahalli Envanter (Hane Sayısı, Toplam Konut Sayısı, Özel iş yeri, Banka Sayısı, ATM Sayısı, Eczane Sayısı, Otomobil Sayısı, Araç Sayısı), Arsa Rayiç Değeri
Konumsal Kriterler	Eğitim Tesislerine Mesafe (Anaokullarına, İlk-Orta Okullara, Liselere, Üniversitelere Mesafe) Sağlık Tesislerine Mesafe (Aile Sağlık Merkezlerine, Hastanelere, Eczanelere Mesafe) Alışveriş&Ticaret Tesislerine Mesafe (Çarşı Merkezlerine, Alışveriş Merkezlerine, Marketlere, Pazar Alanlarına, Postane/Kargolara Şirketlerine Mesafe) Kültürel Tesislere Mesafe (Fuar Merkezler, Sinema ve Tiyatrolara, Müzelere, Kongre ve Kültür Merkezlerine, Kütüphanelere Mesafe) Kamu Hizmet Tesislerine Mesafe (İdari Tesislere, Adliye, Bankalara, ATM'lere, İtfaiye İstasyonlarına, Güvenlik Birimlerine Mesafe) Yeşil Alanlara Mesafe (Küçük Parklara, Büyük Parklara, Ormanlara Mesafe) Eğlence&Spor Tesislerine Mesafe

	(Sahile, Plajlara, Lunaparklara, Spor Tesislerine Mesafe) Konaklama Tesislerine Mesafe (Pansiyonlara, Otelere Mesafe) Sanayi Tesislerine Mesafe (Akaryakıt, Endüstri Tesislerine Mesafe) Dini Tesislere Mesafe (İbadethanelere, Mezarlıklara Mesafe) Çevresel Özellikler (Yıllık Ortalama Hava Kalitesi, Yıllık Ortalama Sıcaklık, Yıllık Ortalama Yağış), Topografik Özellikler (Eğim, Bakı), Raylı Sistem Fonksiyonlarına Mesafe (Metro, Marmaray İstasyonlarına Mesafe) Karayolu Fonksiyonlarına Mesafe (Otobüs Duraklarına, Taksi Duraklarına, Otoyollara, Caddeye, Sokaklara Mesafe, Otoparklara, Otogara Mesafe) Havayolu Fonksiyonlarına Mesafe (Havaalanlarına mesafe) Denizyolu Fonksiyonlarına Mesafe (Deniz Ulaşım İstasyonlarına Mesafe)
Yapısal Kriterler	Bağımsız Bölüm Özellikleri Konut Alanı, Oda Sayısı, Konut Oda Tipi, Bina Yaşı, Banyo Sayısı, Isıtma Sistemi, Konutun Bulunduğu Kat, Bina Toplam Kat Adedi, Manzara, Cephe Yönü, Balkon Mevcudiyeti Eklentiler Yüzme Havuzu, Asansör Mevcudiyeti, Otopark Mevcudiyeti, Site İçinde Olma, Çocuk Oyun Parkı Mevcudiyeti

b. Çalışma Alanı ve Veri Setleri

(1) Çalışma Alanının Belirlenmesi

İstanbul ilinin Anadolu yakasındaki Tuzla ilçesi ile Kocaeli ilinin Gebze, Çayırova ve Darıca ilçelerinde bulunan toplam 23 mahalle çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Bu çalışma alanı, Şişman (2021) tarafından yapılan araştırmaya göre mahalli sosyo-ekonomik değişkenlerin coğrafi kümeleme teknikleriyle analiz edilmesiyle tanımlanmıştır. Diğer taraftan yüzölçümü bakımından çalışma alanındaki en büyük ilçe Gebze, en küçük ilçe ise Darıca'dır. 2020 yılı itibarıyla, Tuzla ilçesi 273.608, Kocaeli'nin en kalabalık ilçesi Gebze 392.945, Çayırova ilçesi 140.274 ve Darıca ilçesi ise 214.796 nüfusa sahiptir (TÜİK, 2020). Ayrıca Tuzla ve Gebze ilçelerinde kırsal ve kentsel yerleşim alanları bulunmakla birlikte, farklı arazi kullanımlarına sahiptirler. Diğer taraftan başta Gebze olmak üzere Çayırova ve Darıca ilçeleri, kozmopolit yapısına rağmen önemli sanayi tesislerine sahiptir. İstanbul'un Tuzla ilçesi ise sınır ilçe özelliğinin yanı sıra, Tuzla-Gebze sınırı bölgesel sosyo-ekonomik gelişmişlik farklılıkları

barındırması ile (SEGE, 2022) toplu taşınmaz değerlemede bölgesel değer dağılımlarının değerlendirilmesi için doğru bir pilot uygulama alanı olarak kabul edilebilir.

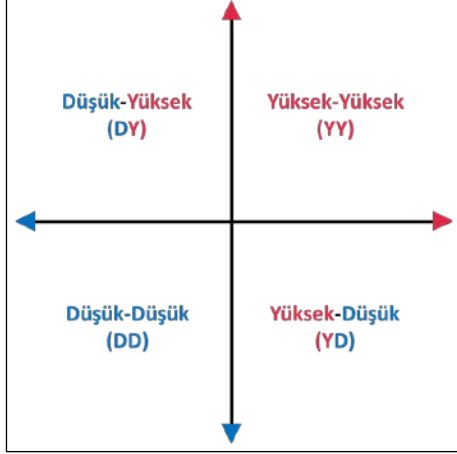
(2) Veri Setlerinin Temin Edilmesi

Çalışma alanı için Tablo 1'de tanımlanan mahalli, konumsal ve yapısal kriterleri temsil eden 3 farklı veri seti oluşturulmuştur. Mahalli kriterler veri seti, taşınmaz değerini etkileyen mahalli kriterlere ilişkin mahalle-ilçe-il idari birim düzeylerinde veriler içermektedir. Bu istatistik veri setleri, Pot-a Geohub veri portalı (GeoHub, 2020), TÜİK istatistik veri portalı (TÜİK, 2020) ve T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü il ve ilçelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırmaları raporları (SEGE, 2022) üzerinden temin edilmiştir. Konumsal kriterler veri seti doğrudan Tablo 1'de tanımlanan konumsal kriterlere ilişkin verileri içermektedir. Bu veri setleri çalışma kapsamında gerçekleştirilen coğrafi analizlerin girdisi niteliğinde olup, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilmiş araştırma amaçlı kullanılan coğrafi veri altlıklarıdır. Yapısal kriterler veri seti, taşınmazların piyasa değerlerini ve Tablo 1'de tanımlanan yapısal kriterlere ilişkin verileri içermektedir. Ayrıca taşınmazların konum bilgileri de taşınmaz değer modelleri ve coğrafi kümeleme analizleri için girdi niteliğinde olup, REIDIN gayrimenkul bilgi şirketi tarafından tutulan doğrulanmış veri tabanlarından temin edilmiştir (REIDIN, 2022). Veri seti 01.01.2019 ile 09.03.2020 tarihleri arasında ait 32.315 piyasa örnekleme içermektedir. Veri seti içerisindeki aykırılıklar giderildikten sonra modelleme çalışmasında kullanılan 31.871 piyasa örnekleme ilişkin özet istatistikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Veri seti tanımlayıcı istatistikleri.

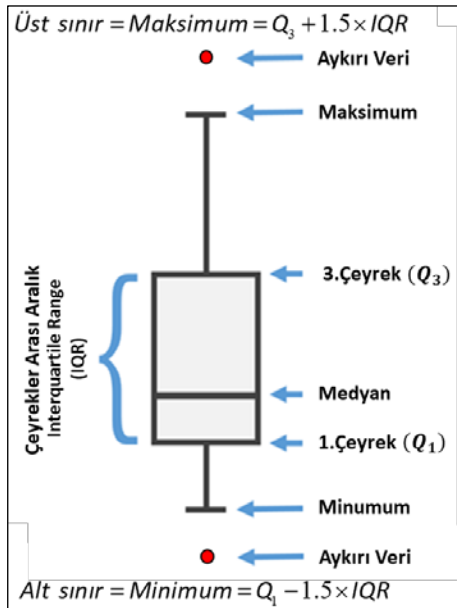
Veri seti Özet İstatistikleri	
Örneklem Sayısı	31.871
Maksimum Değer (₺)	640,000
Minimum Değer (₺)	85,000
Ortalama Değer (₺)	243524,90
Standart Sapma (₺)	71324,39
Ortalama Konut m ² Fiyatı (₺)	2232,06

düşük değerli verilerle çevrili, yüksek değerlere sahip verileri göstermektedir. Dolayısıyla Düşük-Yüksek ve Yüksek-Düşük içerisine düşen veriler coğrafi aykırı veriler olarak değerlendirilmektedir (Anselin ve diğerleri, 2007).



Şekil 2. Kümelenme ve Aykırılık analizi ile aykırı veri analizi.

Boxplot, grafik tabanlı aykırı veri tespit etme yaklaşımıdır (Dovoedo ve Chakraborti, 2015). Grafikte, veri seti içerisindeki değişkenler minimum, maksimum, medyan (ortanca), 1. çeyrek ve 3. çeyrek olmak üzere beş farklı istatistiki bilgi açısından değerlendirilmektedir (Şekil 3). Çeyrekler arası aralık dışındaki veriler aykırı kabul edilir.



Şekil 3. Boxplot yaklaşımı ile aykırı veri analizi.

ç. Pearson Korelasyon Analizi

Pearson korelasyon analizi, veri kümesindeki iki sürekli değişken arasındaki ilişkileri değerlendiren kovaryans tabanlı bir istatistiksel analiz tekniğidir. Pearson korelasyon katsayısı Denklem-1 ile (Kalantar ve diğerleri, 2020) hesaplanır:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_i - \bar{X}}{\sum_{k=1}^n (X_k - \bar{X})^2} \times \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sum_{k=1}^n (Y_k - \bar{Y})^2}}{\sum_{k=1}^n (Y_k - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

Eşitlikte r_{xy} Pearson korelasyon katsayısını temsil eder ve iki değişken arasındaki doğrusal bağımlılığın bir ölçüsüdür. -1 ile +1 arasında bir değer alan bu katsayının -1 değerine yakın olması, güçlü negatif ilişkiler anlamına gelirken, +1'e yakın değer ise, değişkenler arasında güçlü pozitif ilişkiler anlamına gelir. Ayrıca 0 değeri, değişkenler arasında korelasyon olmadığı anlamına gelir. X_i ve Y_i veri setindeki i'nci değişken için X ve Y'nin ilgili değerini temsil eden $\bar{X}$ ve $\bar{Y}$ ise sırasıyla X ve Y açıklayıcı değişkenlerinin ortalamasını ifade eder (Moon ve diğerleri, 2008, Egghe ve Leydesdorff, 2009, Bujang ve diğerleri, 2010). Pearson korelasyon analizi, makine öğrenmesine dayalı modelleme çalışmalarında çoklu doğrusallık probleminden kaçınmak için birbiri ile yüksek korelasyonlu kriterlerin tespitinde etkin olarak kullanılmaktadır. Korelasyon katsayısının $r_{xy} \geq 0,5$ 'ten büyük olması ile kriterler yüksek korelasyonlu olarak değerlendirilmektedir (Yilmazer ve Kocaman, 2020).

d. Çoklu Doğrusal Regresyon

Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), veri seti içerisinde bağımlı ve birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkinin irdelenmesi için doğrusal formda matematiksel denklemler türeterek, istatistiksel temellere dayalı tahminler yapan denetimli bir makine öğrenme tekniğidir (Ünel, 2017, Akar ve Yalpir, 2021). ÇDR tekniğinde bağımlı değişkendeki değişim, kurulan regresyon modelindeki birden fazla bağımsız değişken ile eş zamanlı olarak açıklanmaya çalışılmaktadır. ÇDR tekniğinin yapısı Denklem-2 ile verilmektedir:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \dots + \beta_n \times X_n + \varepsilon_i \quad (2)$$

Eşitlikte, y_i bağımlı değişkeni (örneğin taşınmaz değeri), $X_1, X_2, \dots, X_n$ modelde kullanılan bağımsız değişkenleri (alan, oda sayısı ve banyo sayısı gibi değeri etkileyen kriterler), β_0 model

sabit katsayısını, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ kriterlere ilişkin katsayıları, $\mathcal{E}_i$ hata terimini ifade etmektedir. Hata terimi, tahmin edilen değer ile piyasa değeri arasındaki, farkı belirlemektedir. Ayrıca ÇDR tekniğinde, karesel tahmin hatalarının toplamını en aza indirgenerek regresyon modeline ilişkin model sabiti β_0 ve bağımsız değişkenlere ilişkin β katsayıları optimize edilmektedir.

ÇDR tekniği taşınmaz değerlendirme uygulamaları kapsamında; taşınmaz değerini etkileyen kriterlerin belirlenmesi, değeri etkileyen kriterlerin değer üzerindeki etkisinin belirlenmesi, taşınmaz değer tahmin modeli geliştirme, taşınmaz değeri üzerindeki zamansal değişimlerin incelenmesi ve farklı algoritmalarla oluşturulan taşınmaz değer modellerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır (Yalpir, 2018; Yilmazer ve Kocaman, 2020).

e. Rastgele Orman Tekniği

Rastgele Orman (Random Forest) tekniği, Breiman (2001) tarafından sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümü için geliştirilen bir topluluk öğrenme algoritmasıdır (Antipov ve Pokryshevskaya, 2012). Karar ağacı algoritması türü olan rastgele orman tekniği ile modellerin eğitimi gerçekleştirilirken birbirinden bağımsız olarak oluşturulan birçok karar ağacının bir araya getirilerek bir karar ormanı oluşturması amaçlanmaktadır (Breiman, 2001). Başka bir ifade ile rastgele orman algoritmasında korelasyonsuz birden çok karar ağacı yapısının bir araya getirilmesi sonucunda bir karar ormanı oluşturulması ve karar ağaçlarının her biri tarafından yapılmış olan tahminlerin birleşerek tek bir tahmin yapılması temel esastır. Bu yönüyle teknik, tahmin modellerinin performansını artıran bir makine öğrenmesi tekniğidir (Yilmazer ve Kocaman, 2020).

Rastgele orman tekniği, eğitim veri seti kullanılarak birbirinden bağımsız bir şekilde karar ağaçlarının oluşturulduğu torbalama tekniği (Breiman, 1996) ve veri setinde bulunan tüm öznitelikler içerisinde rastgele seçilen az sayıdaki öznitelik ile karar ağacı yapısındaki her düğüm noktasında en iyi dallanmayı gerçekleştiren özniteliğin seçildiği rastgele alt uzay (Ho, 1998) tekniğinin birleşimidir. Rastgele orman tekniği, dallanma için özniteliklerin belirlenmesinde Gini indeksi yaklaşımını kullanmaktadır (Pal, 2005). Veri seti içerisindeki özniteliklerin önem dereceleri ve etkileşimlerinin ortaya çıkması gibi avantajları, bu tekniği diğer tekniklere kıyasla ön plana çıkarmaktadır.

Rastgele orman tekniği, karar ormandaki her

bir karar ağacının eğitilebilmesi amacıyla orijinal eğitim veri seti içerisinde rastgele örnekleme ile alt kümeler oluşturur. Bu alt kümelerin 2/3'ü karar ağacı yapısı oluşturmada kullanılırken, torba dışı olarak da bilinen geri kalan 1/3'lük kısım ise ağaç yapısını test etmek için kullanılır (Çölkesen, 2015). Bu oransal dağılımın belirlenmesi ise modellerin eğitimi esnasında kullanılan ilgili yazılım kütüphanelerinde rastgele seçilen verilerle otomatize biçimde gerçekleştirilmektedir. Rastgele orman algoritmasında kullanıcı tarafından belirlenen iki önemli parametre model başarısı açısından oldukça önemlidir. İlk parametre ağaç yapısının oluşturulmasında her bir düğümde kullanılacak özniteliklerin sayısıdır. İkinci parametre ise karar ormanındaki toplam ağaç sayısıdır (Aydinoglu ve diğerleri, 2021).

f. Model Performans Değerlendirme Ölçütleri

Rastgele Makine öğrenmesi tekniklerine dayalı olarak gerçekleştirilen regresyon problemlerinde, farklı algoritmalarla ilişkin tahmin doğruluğunun değerlendirilmesi için çeşitli model performans analizi yaklaşımları bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanları; Ortalama Mutlak Hata (OMH), Ortalama Karesel Hata (OKH), Karesel Ortalama Hata (KOH), R^2 ölçütleridir. Başarılı toplu değerlendirme modellerinin geliştirilmesinde OMH, OKH ve KOH ölçütlerin mümkün olduğunca 0 değerine yakın olması beklenmektedir. R^2 ölçütü ise birimsiz olup, 1 değerine yakın olması yüksek model açıklama performansını temsil etmektedir. Bu ölçütlere ilişkin genel matematiksel denklemler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

Diğer taraftan taşınmaz değerlendirme uygulamaları kapsamında IAAO tarafından önerilen model performans değerlendirme ölçütleri bulunmaktadır. Bunlar arasında en sık kullanılanları Dağılım Katsayısı (DKA) ve Fiyat İlişkili Farklılıklar (FİF) ölçütleri şeklindedir. DKA

değişkenlik veya tekdüzeliğin ölçüsü olarak tanımlanmakta olup değerlendirme oranlarının medyan orandan ortalama yüzde sapmasını değerlendirmektedir. IAAO oran standartlarına göre dört farklı grup içerisinde değerlendirilen DKA değeri Denklem-7 yardımıyla hesaplanmaktadır. Daha eski veya daha fazla heterojen bölgelerdeki müstakil evler ve kat mülkiyetleri için hesaplanan DKA değeri 5 ile 15 arasında bir değer olmalıdır. FİF ölçütü ise, Denklem-8 ile hesaplanmakta olup ortalama değerlendirme oranının ağırlıklı ortalama oranına bölünmesiyle hesaplanan 0,98 ile 1,03 arasında bir değer almalıdır. FİF tahmin modellerinde düşük ve yüksek değerli mülkler arasındaki değerlendirme-satış fiyatı oranlarındaki tekdüzelik düzeyini değerlendirmektedir.

$$DKA = \%100 \times \frac{\left(\sum_{i=1}^n |R_i - \bar{R}| \right) / n}{\bar{R}} \quad (7)$$

$$PRD = \frac{\bar{R}}{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i / \sum_{i=1}^n y_i} \quad (8)$$

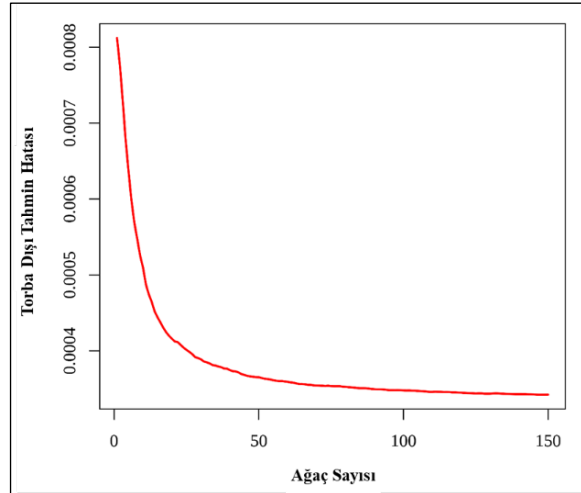
y_i taşınmazın piyasa değeri, $\hat{y}_i$ taşınmazın tahmin edilen değerini, $\bar{y}_i$ piyasa değerleri ortalamasını, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ olmak üzere n toplam taşınmaz sayısını, R tahmin edilen ve piyasa değeri arasındaki değerlendirme oranını, $\bar{R}$ değerlendirme oranlarının ortalama değerini ve $\bar{R}$ değerlendirme oranlarının medyan değerini göstermektedir (IAAO, 2013, Levantesi ve Piscopo, 2020, Yilmazer ve Kocaman, 2020; Sun ve diğerleri, 2021, Yalpir ve diğerleri, 2021).

3. BULGULAR

a. Toplu Taşınmaz Değerleme Modeli Geliştirme

Tahmin modellerinin geliştirilmesi öncesinde taşınmaz değer veri seti Boxplot ve Kümelendirme & Aykırılık Analizi teknikleriyle değerlendirilerek toplamda 444 adet aykırı veri tespit edilerek veri seti içerisinde çıkarılmıştır. Veri seti içerisindeki birim farklılıklarını gidermek için birçok makine öğrenimi modellerinin geliştirilmesinde olduğu gibi veri seti normalize edilmiştir. Ardından modelleme aşamasında çoklu doğrusallık probleminden kaçınmak için mahalli ve konumsal kriterler arasındaki ilişki Pearson korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Kriterler ikili olarak değerlendirilerek, yüksek korelasyona ($r_{xy} \geq 0,5$) sahip kriterlerden birisi tercih edilmiştir. Bu

kapsamda 54 kriter modelleme için belirlenmiştir. Çalışma alanı için toplamda 31.871 piyasa örnekleme ve 54 kriter ile Rastgele Orman ve ÇDR teknikleri kullanılarak toplu taşınmaz değer tahmin modelleri üretilmiştir. Modellerin geliştirilmesinde açık kaynak kodu R yazılımı kullanılmıştır. Rastgele Orman modeli için "randomForest" kütüphanesi (randomForest, 2022) kullanılırken ÇDR modeli için R yazılımı içinde doğrudan tanımlı "lm" fonksiyonu (lm, 2022) kullanılmıştır. Örneklemelerin 22.310 tanesi (veri setinin yaklaşık %70'i) modellerin eğitimi, 9.561 tanesi (veri setinin yaklaşık %30'u) ise modellerin test edilmesi için kullanılmıştır. Modeldeki ağaç yapısının oluşmasında her düğüm noktasında kullanılacak öznelite/kriter sayısı 18 (54/3), kullanılacak ağaç sayısı ise 150 olarak belirlenmiştir. Eğitim esnasında farklı ağaç sayılarına karşılık gelen torba dışı tahmin hatası grafiği ise Şekil 4'te verilmiştir.

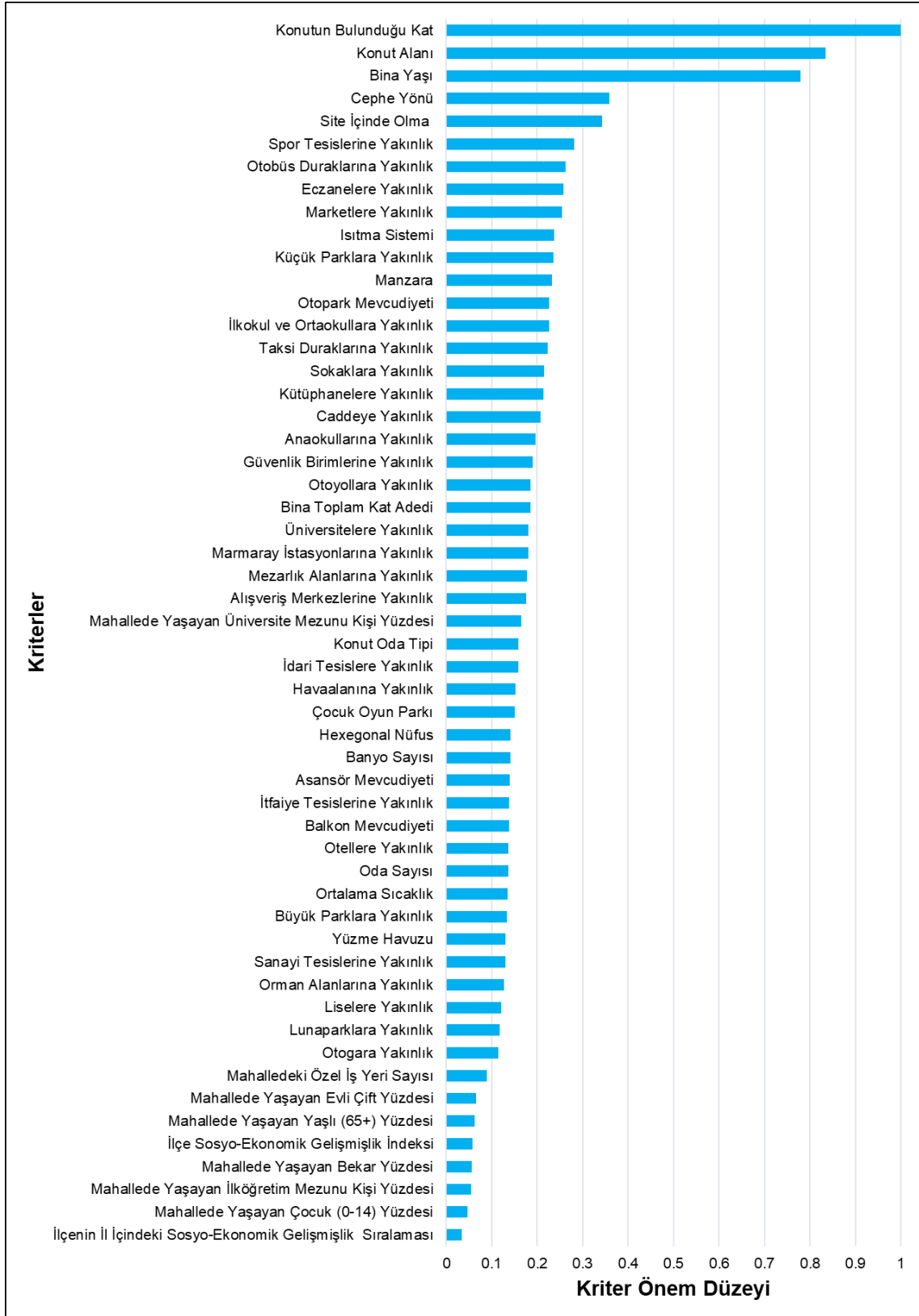


Şekil 4. Rastgele Orman modeli torba dışı tahmin hatası grafiği.

Not: Çalışma kapsamında normalize edilmiş veri seti kullanıldığından dolayı Rastgele Orman modeli torba dışı tahmin hatası grafiğindeki hata miktarlarının (düşey eksen) herhangi bir birimi yoktur.

b. Kriter Önem Düzeyleri ve Model Performanslarının İrdelenmesi

Çalışma alanı için üretilen Rastgele Orman modeli üzerinden kriter önem düzeyleri belirlenmiştir. Kriter önem düzeyleri irdelendiğinde yapısal ve konumsal kriterlerin ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Bina yaşı, konut alanı ve konutun bulunduğu kat, cephe yönü, site içinde olma gibi kriterleri diğer kriterlere kıyasla ön plana çıkmıştır. Diğer taraftan mahalli kriter grubundaki ilçenin il içindeki sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması ve mahallede yaşayan çocuk (0-14) yüzdesi kriterleri modelde en düşük öneme sahip kriterler olmuştur.



Şekil 5. Rastgele Orman modeli kriter önem düzeyleri

Modeli oluşturan kriterlerin tümüne ilişkin kriter önem düzeyleri Şekil 5'te verilmiştir. Kriter önem düzey sonuçlarına göre bina yaşı yüksek önem düzeyine sahip kriterler arasındadır. Bu durum farklı perspektiflerden değerlendirilebilir. Bina yaşının artması sonucu konut fiyatlarının düşmesi bir piyasa koşulu olarak değerlendirilebilir. İnşaat yapım maliyetlerinin artması da yeni yapılan binalar için maliyet unsuru olarak doğrudan değer üzerinde yansımaktadır. Yapım maliyetinden ve yapılaşma yoğunluğunun neredeyse doymuş seviyeye ulaşmasından kaynaklı yeni konut sayısının azlığı problemi bina yaşının önemli bir kriter olarak ortaya çıkmasına neden olmuştur. Diğer taraftan çalışma alanı AFAD tarafından 2018 yılında yayınlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na göre riskli alanlar içerisinde değerlendirilebilir (AFAD, 2018). 1999 yılından sonraki binalar deprem yönetmeliğine göre yapıldığı için, yeni yapılan binaların fiyatı maliyet kaynaklı yüksek olabilmektedir. Başka bir ifade ile daha kaliteli bina stoğunun oluşması gibi unsurlar, bina yaşı kriterinin önem düzeyinin yüksek olmasının nedenleri arasında düşünülebilir. Ayrıca yeni bina alım satımına banka kredilerinin uygun olması da bina yaşı kriterinin yüksek öneme sahip olmasının nedenleri arasında değerlendirilebilir.

Normalize edilmiş verilerle oluşturulan Rastgele Orman ve ÇDR modellerine ilişkin model performansları 9.561 test örneklemini üzerinden hesaplanarak kıyaslanmıştır. Sonuçlar makine öğrenmesi performans ölçütlerine göre karşılaştırıldığında Rastgele Orman modeli daha başarılı sonuçlar verirken, IAAO ölçütlerine göre kıyaslandığında ise her iki modelde başarı sağlanmaktadır (Tablo 3).

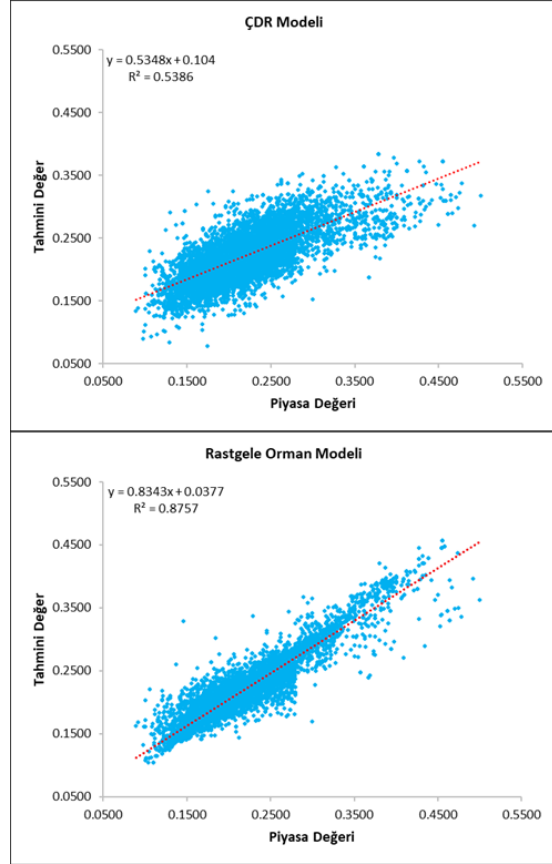
Tablo 3. Rastgele Orman ve ÇDR modeli performansları.

Performans Ölçütleri	Rastgele Orman	ÇDR
OMH	0,0112	0,0273
OKH	0,0004	0,0013
KOH	0,0190	0,0363
R ²	0,8757	0,5386
DKA	5,3798	12,4437
FIF	1,0102	1,0249

Not: Modelleme aşamasında normalize edilmiş veri seti kullanılmıştır. Dolayısıyla Rastgele Orman ve ÇDR modellerinin performanslarına ilişkin OMH, OKH ve KOH ölçütlerinin herhangi bir birimi yoktur. Başarılı toplu değerlendirme modelleri için bu ölçütlerin mümkün olduğunca 0 değerine yakın olması beklenmektedir. Benzer şekilde R² ölçütü de birimsiz olup, bu değer 1 değerine yakın olması yüksek model açıklama performansını temsil etmektedir. IAAO tarafından toplu değerlendirme modellerinin performanslarının değerlendirilmesi için önerilen DKA ve FIF ölçütleri ise birimsiz olup, doğruluk için belirli bir aralıktaki referans almaktadır.

Ayrıca piyasa değerleri ile Rastgele Orman ve ÇDR modellerinden tahmin edilen değerlerinin

veri saçılımları incelenmiştir. Rastgele orman modelinde veriler eğilim çizgisi etrafında kümelenmiş bir saçılım yapısı sergilerken, ÇDR modelinde verilerin daha dağınık bir saçılım yapısı sergilediği tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Tahmin modelleri saçılım grafikleri.

Not: Çalışma kapsamında normalize edilmiş veri seti kullanıldığından dolayı saçılım grafiklerindeki yatay ve dikey eksenlerin herhangi bir birimi yoktur.

c. Taşınmaz Değer Tahmin Haritasının Üretilmesi

Değer tahmin modellerinin üretilmesi ve performanslarının karşılaştırılmasından sonra, daha başarılı tahmin sonuçları veren Rastgele Orman modeli üzerinden 30 m çözünürlüğe sahip CBS tabanlı taşınmaz birim değer haritası üretilmiştir. Haritaların üretiminde Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA) enterpolasyon analiz tekniği kullanılmıştır (Şekil 7). Üretilen değer haritası incelendiğinde, bölgenin güneyinde Darıca ilçesinde yer alan Bayramoğlu mahallesinin geneli ile Emek mahallesinin belirli bir bölgesi, Çayırova ilçesinde bölgenin kuzeydoğusunda yer alan Yenikent ve Akse mahallelerinin belirli bölgeleri ve Gebze ilçesinde yer alan Köklü Çeşme mahallesinin belli bölgelerinin yüksek değer dağılımına sahip yerler

olmuştur. Diğer taraftan Çayırova ilçesinde yer alan Cumhuriyet ve Şekerpınar mahallerinin kuzeyinde yer alan organize sanayi bölgelerine yakın bölgeler düşük değer dağılımına yerler olmuştur. Ayrıca Tuzla ilçesinde bulunan Şifa ve

Mimar Sinan mahalleleri ile Çayırova ilçesinde bulunan Cumhuriyet Mahallesi orta-yüksek değer dağılımına sahip bölgeler olarak nitelendirilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Rastgele Orman modeli taşınmaz değer haritası.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yatırım planlamaları için büyük öneme sahip olan taşınmazlar, proje geliştirme, kredi düzenlemeleri ve vergi uygulamaları ile ülke ekonomilerinin büyüme-küçülme hızını etkileyen önemli bir araçtır. Taşınmaz değerlerinin güncel yaklaşımlar ile objektif olarak toplu tespiti, günümüz planlı ve sürdürülebilir taşınmaz yönetim stratejilerinin geliştirilmesi bakımından oldukça önemli bir duruma gelmiştir.

Günümüzün değişen ihtiyaçları ve artan veri yoğunluğu göz önüne alındığında, taşınmaz değerlerinin tespiti için taşınmazların tekil olarak değerlendirilmesinin yerini çok sayıda taşınmazın eş zamanlı olarak değerlendirildiği toplu taşınmaz değerlendirme konusu almıştır. Dolayısıyla tekil değerlemede kullanılan yaklaşımların yanı sıra, toplu taşınmaz değerlendirme için gelişmiş tahmin yaklaşımları olarak bilinen makine öğrenme teknikleri kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında ise konut tipindeki taşınmazların toplu değerlendirme için makine

öğrenme tekniklerine dayalı tahmin modelleri geliştirilmiştir. Uluslararası standartlar, akademik çalışmalar ve projeler incelenerek, değeri etkileyen kriterler konumsal, mahalli ve yapısal olmak üzere üç ana kategori altında tanımlanmıştır.

Belirlenen kriterlere ilişkin temin edilen veri setleri CBS ortamında düzenlenmiştir. Taşınmaz değer veri seti çeşitli veri madenciliği yöntemleri ile aykırılıklar açısından analiz edilmiştir. Toplamda 444 adet aykırı veri tespit edilerek veri seti içerisinde çıkarılmış olup, veri setine zamansal anlamda herhangi bir düzenleme yapılmamıştır. Aykırı veri analiz yaklaşımları veri seti içerisindeki genel dağılımdan yüksek ve düşük değere sahip örneklemelerin tespitine olanak sağlamıştır. Bu durum yüksek değerlere sahip kıymetli bilgi üretebilecek örneklemelerin veri seti içerisinde doğrudan çıkarılması olarak düşünülmemelidir, kararlı tahmin modellerinin oluşturulmasında temel bir işlem adımı olarak değerlendirilmelidir. Veri seti içerisindeki aykırılıkların giderilmesinin ardından çalışma alanı içerisindeki piyasa örneklemelerinin %70'i eğitim, %30'u test olacak

şekilde oluşturulmuştur. Ayrıca modelleme aşamasında çoklu doğrusallık problemini engellemek için değer ve değerle ilişkili konumsal ve mahalli kriterler Pearson korelasyon analizi ile değerlendirilmiş olup, birbiri ile yüksek korelasyonlu kriterlerinden birisi tercih edilerek modellere dahil edilmiştir. Bu şekilde 54 kriter modelleme için belirlenmiştir. Rastgele Orman ve ÇDR teknikleri kullanılarak tahmin modelleri üretilmiştir. Model performansları test veri seti üzerinden değerlendirilmiştir. Model başarılarının değerlendirilmesinde ise hem makine öğrenmesi kapsamında en yaygın kullanılan performans değerlendirme ölçütleri hem de IAAO tarafından önerilen toplu taşınmaz değerlendirme model performans değerlendirme metrikleri kullanılmıştır. Üretilen modeller arasında Rastgele Orman modeli daha başarılı sonuçlar vermiştir. Rastgele Orman modeli üzerinden çalışma alanı için kriter önem düzeyleri hesaplanmıştır. Yapısal ve konumsal kriterlerin diğer kriterlere kıyasla ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Daha başarılı model performansına sahip Rastgele Orman modeli üzerinden CBS tabanlı taşınmaz değer haritası üretilmiştir. Üretilen harita ile mahallelerin taşınmaz değer dağılımları irdelenmiştir.

Çalışma kapsamında toplu taşınmaz değerlendirme uygulamalarında CBS ve makine öğrenmesi tekniklerinin etkin biçimde kullanılabileceği sonuçlarla desteklenmiştir. Ayrıca modelleme çalışmalarında etkin kriterlerin ve model başarılarının bölgesel olarak tespit edilebileceği açıkça ortaya koyulmuştur. Diğer taraftan toplu değerlendirme tahmin modellerinin geliştirilmesi öncesinde, veri setleri içerisindeki konumsal ve konumsal olmayan aykırı verilerin ayıklanmasında literatüre bütünlük bir metodoloji sunulmaktadır.

Toplu taşınmaz değerlendirme için kullanılacak kriterleri temsil eden veri setlerinin Türkiye Ulusal CBS (TUCBS) veri temalarıyla birlikte çalışabilir yönetimi ve yeni nesil makine öğrenme tekniklerinin bütünlük kullanımıyla etkin değerlendirme faaliyetleri gerçekleştirilebilir. Ayrıca güncel makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak farklı sektörel uygulama ihtiyaçları için taşınmaz değer tahmin modelleri ile dinamik CBS tabanlı taşınmaz değer haritaları üretilebilir.

TEŞEKKÜR

Araştırma kapsamında kullanılan coğrafi verilerin temininde Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ve piyasaya ilişkin taşınmaz değer verilerinin sağlanmasında REIDIN firmasına, Hollanda Twente Üniversitesi, Büyük Veri Merkezi'nden

Doç. Dr. Serkan GİRGIN'e katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

ORCID

Süleyman ŞİŞMAN 
<https://orcid.org/0000-0002-0924-1092>

Arif Çağdaş AYDINOĞLU 
<https://orcid.org/0000-0003-4912-9027>

KAYNAKLAR

Açlar, A. ve Çağdaş V. (2008). Taşınmaz (Gayrimenkul) Değerlemesi (2. baskı). TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara.

AFAD. (2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> (24 Mayıs 2022)

Aggarwal, C. C. (2017). Outlier Analysis (2. baskı), Springer.

Akar, A. U. ve Yalpir, S. (2021). Using SVR and MRA Methods for Real Estate Valuation in the Smart Cities. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 21-26. doi:10.5194/isprs-Archives-XLVI-4-W52021-21-2021

Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115.

Anselin, L., Sridharan, S. ve Gholston, S. (2007). Using exploratory spatial data analysis to leverage social indicator databases: The discovery of interesting patterns. *Social Indicators Research*, 82(2), 287–309. doi:10.1007/s11205-006-9034-x

Antipov, E.A. ve Pokryshevskaya, E.B. (2012). Mass appraisal of residential apartments: An application of Random forest for valuation and a CART-based approach for model diagnostics. *Expert Systems with Applications*, 39(2), 1772–1778. doi:10.1016/J.ESWA.2011.08.077

Appraisal of Real Estate. (2001). (12. baskı), Appraisal Institute.

- Aydinoğlu, A.Ç. (2019). *Akıllı Kentler için Büyük Veri Yönetimi ve Analizinde Birlikte Çalışabilirliğin Sağlanması* (Rapor No: 116Y204). Ankara: TÜBİTAK.
- Aydinoglu, A.C., Bovkir, R. ve Colkesen, I. (2021). Implementing a mass valuation application on interoperable land valuation data model designed as an extension of the national GDI. *Survey Review*, 53, 349–365. doi:10.1080/00396265.2020.1771967
- Bovkir, R. ve Aydinoglu, A. C. (2018). Providing land value information from geographic data infrastructure by using fuzzy logic analysis approach. *Land use policy*, 78, 46-60. doi:10.1016/j.landusepol.2018.06.040
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24(2), 123–140. doi:10.1007/BF00058655
- Breiman, L. (2001). Random forests, *Machine Learning*, 45(1), 5–32. doi:10.1023/A:1010933404324
- Bujang, A. A., Zarin, H. A. ve Jumadi, N. (2010). The relationship between demographic factors and housing affordability. *Malaysian Journal of Real Estate*, 5(1), 49-58.
- Çölkesen İ. (2015). *Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri Kullanarak Benzer Spektral Özelliklere Sahip Doğal Nesnelerin Ayırt Edilmesine Yönelik Bir Metodoloji Geliştirme* (Doktora Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Del Giudice, V., De Paola, P. ve Cantisani, G. B. (2017). Valuation of real estate investments through Fuzzy Logic. *Buildings*, 7(1), 26. doi:10.3390/buildings7010026
- Dovoedo, Y. H. ve Chakraborti S. (2015). Boxplot-Based Outlier Detection for the Location-Scale Family, *Communications in Statistics. Simulation and Computation*, 44(6), 1492–1513. doi:10.1080/03610918.2013.813037
- Egghe, L. ve Leydesdorff, L. (2009). The relation between Pearson's correlation coefficient r and Salton's cosine measure. *Journal of the American Society for information Science and Technology*, 60(5), 1027-1036. doi:10.1002/ASI.21009
- Fischer, M.M. ve Wang J. (2011). *Spatial Data Analysis* (1.Baskı). Springer.
- GeoHub. (2020). Erişim adresi: <https://geohubpota.yildiz.edu.tr/> (15 Ocak 2020)
- Ge, Z., Song Z., Ding S. X. ve Huang B. (2017). Data Mining and Analytics in the Process Industry: The Role of Machine Learning. *IEEE Access*, 5, 20590–20616. doi:10.1109/ACCESS.2017.2756872
- Ho, T.K. (1998). The random subspace method for constructing decision forests. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(8), 832–844. doi:10.1109/34.709601
- IAAO. (2013). *Standard on Ratio studies*. International Association of Assessing Officers (IAAO), Kansas City, Missouri, USA.
- IVSC (International Valuation Standards Council). (2016). *International Valuation Standards*, Londra, Birleşik Krallık.
- Kalantar, B., Ueda, N., Saeidi, V., Ahmadi, K., Halin, A.A. ve Shabani, F. (2020). Landslide Susceptibility Mapping: Machine and Ensemble Learning Based on Remote Sensing Big Data. *Remote Sensing*, 12, 1737. doi:10.3390/rs12111737
- Levantesi, S. ve Piscopo, G. (2020). The importance of economic variables on London real estate market: A random forest approach. *Risks*, 8, 1–17. doi:10.3390/risks8040112
- Liu, H., Shah, S. ve Jiang, W. (2004). On-line outlier detection and data cleaning. *Computers and Chemical Engineering*, 28(9), 1635–1647. doi:10.1016/j.compchemeng.2004.01.009
- Lm. (2022). Erişim adresi: <https://www.rdocumentation.org/packages/stat-s/versions/3.6.2/topics/lm> (26 Mayıs 2022)
- Luo, H., Zhao, S. ve Yao, R. (2021). Determinants of Housing Prices in Dalian City, China: Empirical Study Based on Hedonic Price Model. *Journal of Urban Planning and Development*, 147(2), 05021017.

- Mete, M.O. ve Yomralioglu, T. (2021). Implementation of serverless cloud GIS platform for land valuation. *International Journal of Digital Earth*, 14(7), 836-850. doi:10.1080/17538947.2021.1889056
- Moon, B.Y., Kim, S.Y. ve Kang, G.J. (2008). Initial ship design using a Pearson correlation coefficient and artificial intelligence techniques. *International journal of modern physics B*, 22, 1801–1806. doi:10.1142/S0217979208047444
- Pagourtzi, E., Assimakopoulos, V., Hatzichristos, T. ve French, N. (2003). Real estate appraisal: a review of valuation methods. *Journal of Property Investment & Finance*, 21(4), 383-401. doi:10.1108/14635780310483656
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 217–222. doi: 10.1080/01431160412331269698
- randomForest. (2022). Erişim adresi: <https://www.rdocumentation.org/packages/randomForest/versions/4.7-1.1/topics/randomForest> (26 Mayıs 2022)
- Renigier-Bilozor, M., Janowski, A. ve d'Amato, M. (2019). Automated valuation model based on fuzzy and rough set theory for real estate market with insufficient source data. *Land use policy*, 87, 104021.
- REIDIN. (2022). Erişim adresi: <https://rebis.reidin.com/tr-TR> (30 Temmuz 2022)
- 4 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi. (2018, 15 Temmuz). Resmi Gazete (Sayı: 30479)
- 30 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi. (2019, 5 Şubat). Resmi Gazete (Sayı: 330677).
- RICS (Royal Institution of Chartered Surveyors). (2017). Professional Valuation Standards, Londra, Birleşik Krallık.
- SEGE. (2022). T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırmaları Raporları. Erişim adresi: <https://www.sanayi.gov.tr/merkez-birimi/b94224510b7b/sege> (20 Mayıs 2022)
- Sisman, S., Akar A.U. ve Yalpir S. (2021). The novelty hybrid model development proposal for mass appraisal of real estates in sustainable land management. *Survey Review*, 1-20. doi:10.1080/00396265.2021.1996797
- Sisman, S. ve Aydinoglu, A.C. (2022). Improving performance of mass real estate valuation through application of the dataset optimization and Spatially Constrained Multivariate Clustering Analysis. *Land Use Policy*, 119, 106167. doi:10.1016/j.landusepol.2022.106167
- Sun, H., Burton, H. V. ve Huang, H. (2021). Machine learning applications for building structural design and performance assessment: state-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, 33, 101816. doi:10.1016/j.job.2020.101816
- Şişman, S. (2021). *CBS Tabanlı Makine Öğrenme Teknikleri ile Toplu Taşınmaz Değerlemesi* (Yüksek Lisans Tezi). GTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- TDUB (Türkiye Değerleme Uzmanları Birliği). (2011). TUGDES (Türkiye Değerleme Standartları) Çalışması.
- TEGoVA (The European Group of Valuers' Associations). (2016). European Valuation Standards (8. Basım). Belçika: Gillis Yayınevi.
- TKGM. (2011). TKMP 4. Bileşeni Gayrimenkul Değerinin Belirlenmesi ve Kayıt Altına Alınması, Teknik Rapor, Ankara, Türkiye.
- TKGM. (2022). Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı Misyonu-Vizyonu, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü. Erişim adresi: <https://www.tkgm.gov.tr/tasinmazd-db/misyon-ve-vizyon> (25 Mayıs 2022)
- Tobler, W.R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234.
- Unel, F. B. ve Yalpir, S. (2019). Valuations of building plots using the AHP method. *International journal of strategic property management*, 23(3), 197-212.
- TÜİK. (2020). Türkiye İstatistik Kurumu, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2020 Yılı Nüfus ve Demografi İstatistikleri.

- Ünel, F.B. (2017). *Taşınmaz Değerleme Kriterlerine Yönelik Coğrafi Veri Modelinin Geliştirilmesi* (Doktora Tezi). SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Wang, X., Wen, J., Zhang, Y. ve Wang, Y. (2014). Real estate price forecasting based on SVM optimized by PSO. *Optik*, 125(3), 1439-1443. doi:10.1016/j.ijleo.2013.09.017
- Wu L. (2009). *Mixed Effects Models for Complex Data* (1. Baskı). Chapman and Hall/CRC.
- Yalpir, Ş. (2018). Enhancement of parcel valuation with adaptive artificial neural network modeling. *Artificial intelligence review*, 49(3), 393-405. doi:10.1007/s10462-016-9531-5
- Yalpir, S., Sisman, S., Akar, A. U. ve Unel, F. B. (2021). Feature selection applications and model validation for mass real estate valuation systems. *Land Use Policy*, 108, 105539. doi:10.1016/j.landusepol.2021.105539
- Yilmazer, S. ve Kocaman, S. (2020). A mass appraisal assessment study using machine learning based on multiple regression and random forest. *Land use policy*, 99, 104889. doi:10.1016/j.landusepol.2020.104889
- Yilmazer, S. ve Kocaman, S. (2021). On the Prediction Performances of SVM and ANN Methods for Mass Appraisal Assessment: A Case Study from Ankara (Turkey). *FIG e-Working Week 2021, Smart Surveyors for Land and Water Management - Challenges in a New RealityVirtual*, 21–25 June 2021.
- T.C-CBFO.2020. T.C. Cumhurbaşkanlığı Finans Ofisi, Türkiye Hanehalkı Finansal Algı ve Tutum Araştırması. Erişim adresi: <https://www.cbfo.gov.tr/turkiye-hanehalki-finansal-algi-ve-tutum-arastirmasi> (9 Mart 2021)

Türkiye'nin Karadeniz Kıyılarındaki Deniz Seviyesi Trendlerinin Mareograf Verileri ve Grid Altimetre Çözümleriyle Belirlenmesi

(Determination of Sea Level Trends in the Türkiye's Black Sea Coasts from Tide Gauge Stations and Grid Satellite Altimetry Solutions)

Muharrem Hilmi ERKOÇ 

Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

mherkoc@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 17.11.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 13.01.2023

ÖZ

Birçok insan denize yakın yerleşim alanlarında hayatlarını sürdürmektedir. Kıyı bölgelerdeki yaşamın sürdürülebilirliğini etkileyebilecek en önemli kavramlardan birisi deniz seviyesi olup, küresel ısınmanın etkisiyle giderek yükselen deniz seviyesinin takip edilmesi gereklidir. Bu çalışmada Türkiye'nin Karadeniz kıyılarındaki yer alan Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) ağı kapsamındaki mareograf istasyonlarında (AMSR, IADA, SILE, SNOP, TRAB) deniz seviyesi trendlerinin belirlenmesi ve Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) tarafından kullanıcılara sunulan grid altimetre çözümleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, bu istasyonlar için 2001-2022 zaman aralığındaki mareograf verileri analiz edilerek deniz seviyesi üzerindeki gelgit etkileri giderilmiştir. Grid altimetre verileri sağlayıcı servis tarafından aylık olarak sunulduğu için aylık ortalanan mareograf verilerine dinamik atmosfer ve düşey yer kabuğu düzeltmeleri getirilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Düşey yer kabuğu düzeltmesi Harita Genel Müdürlüğü tarafından analiz edilen TUSAGA-Aktif GNSS istasyonlarından ve dinamik atmosferik düzeltme ise Centre national d'études spatiales (CNES) tarafından hazırlanan MOG2D modelinden alınmıştır. Yapılan analizlere göre Türkiye'nin Karadeniz kıyılarındaki mareograf istasyonlarından elde edilen deniz seviyesi trendleri ile grid altimetre çözümlerinden elde edilen deniz seviyesi trendlerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. SILE istasyonu örnek olarak gösterilirse mareograf verilerinden elde edilen deniz seviyesi trendi 4.9 ± 0.7 mm/yıl, grid altimetre çözümünden elde edilen deniz seviyesi trendi ise 4.6 ± 0.8 mm/yıl olarak bulunmuştur. Ayrıca bu istasyondaki mareograf verilerine getirilen dinamik atmosferik düzeltme 0.6 ± 0.2 mm/yıl, düşey yer kabuğu etkisi düzeltmesi ise -0.6 ± 0.1 mm/yıl olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Uydu Altimetresi, Mareograf, Deniz Seviyesi, Gelgit, Karadeniz.

ABSTRACT

Most people live in coastal areas. Hence, coasts are important regions for sustaining habitats and living beings. Sea level is one of the most important causes that affect the sustainability of life in coastal areas. Therefore, the sea level should constantly be monitored to examine whether there is an increase due to global

warming. In this sense, this study aims to determine the sea level trends at tide gauge stations of Turkish National Sea Level Monitoring System (TUDES) network located along the Black Sea coast of Türkiye and to compare them with the grid satellite altimetry solutions published by the Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS). Accordingly, tide gauge data of the stations located in the Black Sea (AMSR, IADA, SILE, SNOP, TRAB) between 2001-2022 were analyzed and tide effects on sea level were removed. Since the grid altimetre data is provided monthly by the provider service, the monthly averaged tide gauge data were compared with each other by applying dynamic atmosphere and vertical crustal corrections. The vertical land motion correction was calculated using the TNPNG (Turkish National Permanent GNSS Network)-Active GNSS stations analyzed by the General Directorate of Mapping and the dynamic atmospheric correction was taken from the MOG2D model prepared by the Centre national d'études spatiales (CNES). The analyzes showed that the sea level trends obtained from the tide gauge stations on the Black Sea coast of Türkiye and the sea level trends obtained from the grid altimeter solutions were quite compatible with each other. For example, the trend obtained from tide gauge data at the SILE tide gauge was 4.9 ± 0.7 mm/year, and the sea level trend obtained from the grid altimeter solution was found to be 4.6 ± 0.8 mm/year. In addition, at tide gauge station dynamic atmospheric correction and vertical land motion effect correction for tide gauge data were 0.6 ± 0.2 mm/year -0.6 ± 0.1 mm/year respectively.

Keywords: Satellite Altimetry, Tide Gage, Sea Level, Tides, Black Sea.

1. GİRİŞ

Denize kıyısı olan şehirler dünya nüfusunun yüzde atmasının barınma ve yaşam alanlarıdır (IPCC, 2014). Bu nedenle, kıyı bölgelerini etkileyebilecek deniz seviyesi değişimlerinin izlenmesi gereklidir. Küresel deniz seviyesi değişimlerinin ana nedenleri buzulların erimesi ve suyun termal genleşmesi iken bölgesel deniz seviyesi değişimlerinin en önemli nedenleri tektonik hareketler, gelgitler ve rotasyonel etkiler (su döngüsü ve okyanus akıntıları) olarak sıralanabilir (Levitus ve diğerleri, 2012; Mohamed ve Skliris, 2021; Erkoç ve diğerleri, 2022). Deniz

seviyesi ve değişimlerin belirlenmesi yersel yöntemler ve uydu tekniklerine dayanmaktadır. Yersel teknikler ile yapılan deniz seviyesi gözlemleri günümüzde modern radar/akustik mareograflar ile yapılmaktadır. 1993 yılında işletmeye alınan TOPEX/POSEIDON uydusu ile deniz seviyesi gözlemlerinde uydu altimetresi ölçmeleri ikinci yöntem olarak ortaya çıkmıştır. TOPEX/POSEIDON; daha önceki uydu altimetresi misyonlarından farklı olarak okyanus sirkülasyonu, okyanus gelgiti gibi kavramların belirlenmesinde kullanılmaya başlanmış, artan doğruluğu ile bir mihenk taşı olmuş ve kıyı altimetresi yaklaşımına öncülük edecek kıyıya yakın hata filtreleme vb. özelliklerle donatılmıştır (Cazenave ve diğerleri, 2014; Xu ve diğerleri, 2019). Eğer bir bölgenin jeolojik değişimleri açısından deniz seviyesi incelenecek ise jeoklim yaklaşımı ile çok uzun dönemli değişimler belirlenebilmektedir (Erkoç ve Doğan, 2022).

Dünya, ay, güneş ve gezegenler arasındaki çekim kuvveti deniz seviyesini etkiler ve bu etki gelgit olarak bilinir. Deniz seviyesi hangi yöntemle belirlenirse belirlensin deniz seviyesi gözlemleri üzerindeki gelgit etkileri çalışmanın amacına göre giderilir (Agnew, 2007). Gelgit modellerinin oluşturulmasında zamana (Harmonic tidal analysis methods based on time: HMB) ve frekans alanına (Harmonic analysis in the frequency domain: HMF) dayalı iki harmonik gelgit analizi yöntem olarak kullanılmaktadır. N gibi bir sonlu sayı ile ifade edilebilen ve zamana bağlı değerlendirilen gelgitin harmonik bileşenlerinin bulunması HMB yöntemi olarak isimlendirilir (Godin, 1972; Bell ve diğerleri, 1999). Doodson (1921) tarafından önerilen ve deniz seviyesi gözlemlerinde harmonik etki ve gürültünün birlikte değerlendirildiği stokastik modelin kurulması ise HMF yöntemi olarak adlandırılır.

Gelgitler bölgesel olarak deniz seviyesini önemli derecede etkiledikleri için araştırmacılar gelgit etkilerini modelleyerek gelgitlerin kıyı bölgeleri nasıl etkilediği üzerine çeşitli çalışmalar yapmıştır. Alpar ve diğerleri (2000) yaptıkları çalışmada Türkiye'yi çevreleyen denizlerdeki mareograflardan elde edilen saatlik veriler üzerinde bir 119 parametrelili gelgit modeli oluşturmuş ve bu etkileri gidererek günlük deniz seviyesi değerlerini hesaplamıştır. Basra Körfezi ve Umman Denizi'ni kapsayan bölgede Sultanpour ve diğerleri (2017) uydu altimetresi ve mareograf verilerini kullanarak TRM-IR01 ismini verdikleri gelgit modeli oluşturmuşlardır. Erkoç ve Doğan (2022) ise yaptıkları çalışmada Türkiye'nin Batı ve Güney kıyılarındaki 10 mareograf istasyonunun verileri ile uydu altimetresi

verilerinden faydalanarak 21 parametrelili gelgit modeli oluşturmuş ve global/bölgesel modellerle karşılaştırmıştır.

Bağıl deniz seviyesi gözlemleri yapılan mareograf istasyonlarında karada sabit bir nokta referans alınır. Bu sebeple mareograf istasyonları düşey hareketlerden etkilenir. Uydu altimetresi ise yer merkezli bir referansa göre mutlak deniz seviyesini değişimlerini belirler ve düşey yer kabuğu hareketlerinden etkilenmez (Wöppelmann ve Marcos, 2012). Düşey yer kabuğu hareketlerinin izlenmesinde küresel konumlama sistemleri (GNSS) sıklıkla kullanılmaktadır (Wöppelmann ve Marcos, 2016). Bununla birlikte son yıllardaki teknolojik gelişmelerle uzaktan algılamada kullanılan interferometrik yapay açıklıklı radar (InSAR), GNSS'nin nokta bazlı çözümünün yanında bölgesel olarak düşey yer kabuğunu belirlemede önemli katkılar sunmuştur (Wöppelmann ve Marcos, 2016; Erkoç ve diğerleri, 2022).

Düşey yer kabuğu hareketi etkisini belirlemek için Wöppelmann ve Marcos (2016), GNSS ile kuzey yarım küredeki mareograf istasyonlarındaki düşey yer kabuğu etkisini 2.0 mm/yıl, güney yarım kürede ise 1.1 mm/yıl olarak belirlemiştir. Grgic ve diğerleri (2020) ise yaptığı çalışmada Hırvatistan'ın Dubrovnik şehrinde yer alan mareograf istasyonunda Uydu altimetresi – Mareograf verilerinden, GNSS'ten ve InSAR'dan elde ettiği düşey yer kabuğu etkisini sırasıyla -1.93 ± 0.38 mm/yıl, -2.04 ± 0.22 mm/yıl ve -2.24 ± 0.46 mm/yıl olarak hesaplamıştır. Avşar ve Kutoğlu (2020) Karadeniz kıyılarındaki 12 mareograf istasyonunda deniz seviyesi trendlerini ve düşey yer kabuğu hareketlerini belirlemiş ayrıca yapılan çalışmalar ile karşılaştırmıştır.

Grid olarak kullanıcıya sunulan uydu altimetresi verileri ham altimetre verilerine getirilen düzeltmelerin sağlayıcı bir servis tarafından yapıldığı verilerdir. Bu sayede uydu altimetresi verilerinin işlenmesindeki olası matematiksel model hataları veya düzeltmelerden kaynaklanan etkilerin minimize edilmesi sağlanır. Ayrıca matematiksel olarak karmaşık ve uzun zaman gerektiren işlemlerden kaçınılmış olunur. Grid veriler birçok kalite kontrol aşamalarından geçmekte ve farklı metotlar ile karşılaştırıldıktan sonra kullanıcıya sunulmaktadır. Son yıllarda CNES tarafından organize edilen Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic (AVISO) organizasyonu tarafından sağlanan X-TRACK (kıyı altimetresi yaklaşımı ile hazırlanmış veri) ve Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)

tarafından sağlanan 4. seviye (L4) grid veriler kullanıcılara ilgili mareograf istasyonlarına en yakın bölgedeki işlenmiş ve analize hazır grid verileri sunmaktadır). Son yıllarda grid altimetre verileri kullanılarak yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır. Yıldız ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada 1993-2009 yılları arasında Türkiye'nin güneybatı kıyılarındaki bazı mareograf istasyonlarında LEGOS/CTOH tarafından sağlanan grid verilerden düşey yerkabuğu hareketlerini belirlemiştir. Mohamed ve diğerleri (2019) yaptığı çalışmada son 25 yılda Akdeniz'de deniz seviyesi ve deniz yüzeyi sıcaklığının trendlerinin belirlenebilmesi için CMEMS tarafından sağlanan L4 grid altimetre verilerini kullanmıştır. Erkoç ve diğerleri (2022) ise yaptığı çalışmada Ege, Akdeniz ve Marmara bölgesinde yer alan mareograf istasyonlarındaki deniz seviyesi değişimlerini mareograf istasyon verilerinin yanı sıra XTRACK ve CMEMS grid altimetre verilerini kullanarak belirlemiş ve birbirleri ile karşılaştırmıştır.

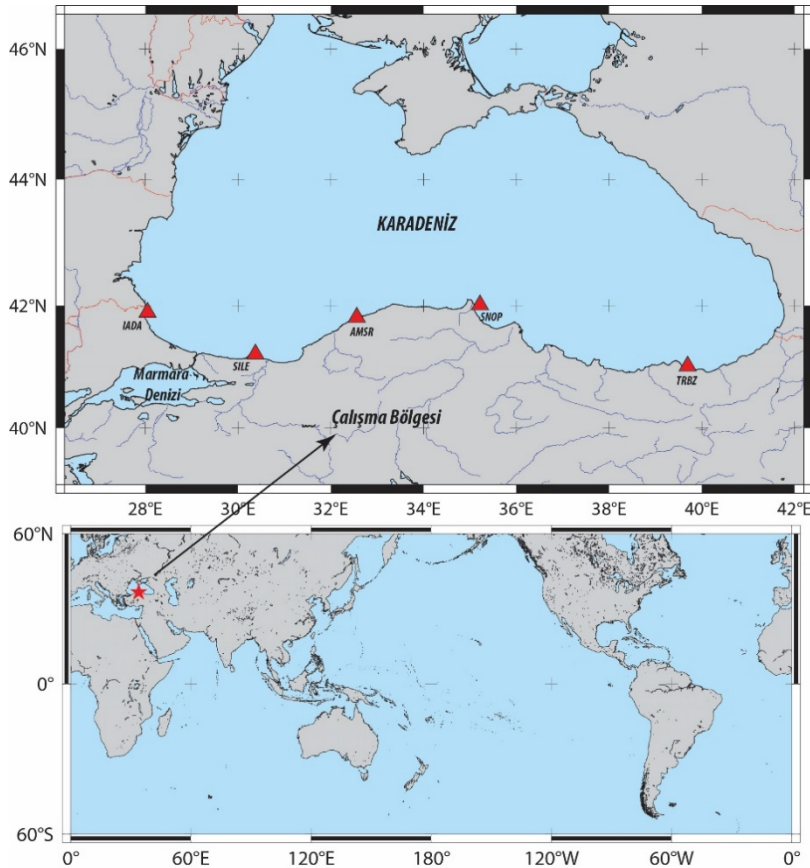
Bu çalışmada Türkiye'nin Karadeniz kıyılarındaki yer alan mareograf istasyonlarındaki deniz seviyesi trendleri ile CMEMS tarafından sağlanan L4 grid altimetre verilerinden elde edilen deniz seviyesi trendlerinin karşılaştırılması

hedeflenmiştir. Bu amaçla 2001-2022 arasında ve mareograf istasyonunun kurulum tarihine göre değişen bir zamansal aralıktaki Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) kapsamında işletilen mareograf istasyonlarına ait verilerden önce gelgit parametreleri ve ardından deniz seviyesi trendleri belirlenmiştir. Mareograf istasyonlarına ait verilere dinamik atmosferik düzeltme (Dinamic Atmosheric Correction: DAC) ve düşey yerkabuğu düzeltmeleri getirilmiş ve elde edilen sonuçlar bu istasyonlarda, L4 grid altimetre verilerinden kestirilen deniz seviyesi trendleri ile karşılaştırılmıştır.

2. METOT VE VERİLER

a. Çalışma Bölgesi

Karadeniz; doğudan batıya uzunluğu 1175 km, maksimum derinliği 2200 metre olan, yaklaşık 8350 km kıyı şeridinde sahip yarı-kapalı bir denizdir. Karadeniz kıyılarında Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) veri merkezi tarafından kullanıcılara sunulan 7 ve TUDES kapsamında işletilen 5 mareograf istasyon vardır (Şekil 1). Ayrıca Karadeniz'de Topex/Poseidon, Jason1-2 ve 3 uyduları dikkate alındığında toplam 10 uydu altimetre geçişi vardır.



Şekil 1. Çalışma Bölgesi.

b. Mareograf Verileri ve Analizi

Mareograf istasyonları üç asırdan fazla süredir deniz seviyesi gözlemlerinin yapılması için kullanılmaktadır. Başlangıçta miraya benzeyen bir düşey cetvel görüntüsündeki baremler yardımı ile insan gücü kullanılarak yapılan gözlemler zamanla yerini şamandıralı sistemlere günümüzde ise modern mareograf istasyonlarına bırakmıştır (Şekil 2). Modern mareograf istasyonları akustik veya radar sensörlü sistemlere sahiptir ve bu istasyonlarda deniz seviyesi gözlemlerinin yanında deniz seviyesini etkileyebilecek sıcaklık, hava basıncı, rüzgâr hızı ve yönü, nem gibi meteorolojik gözlemler de yapılabilir.



Şekil 2. Modern Mareograf istasyonu (ŞİLE)

Mareograf istasyonu verileri dünya genelinde PSMSL gibi küresel veri sağlayıcılardan temin edilebilmektedir. PSMSL gelgit etkilerinden arındırılmış aylık ve yıllık ortalama deniz seviye değerlerini kullanıcılara sunmaktadır. Fakat TUDES gibi bölgesel veri sağlayıcı kuruluşlar, mareograf istasyonlarında genellikle 1, 5, 15 veya 60 dakikalık gözlemler yapar ve kullanıcılara sunar. Bu şekilde yayınlanan veriler gelgit, atmosferik ve düşey yerkabuğu gibi etkileri içinde barındırır. Öncelikle bu veriler üzerindeki gelgit etkileri giderilerek günlük veriler ve günlük verilerin aritmetik ortalamasından ise aylık ortalama deniz seviyesi değerleri hesaplanmalıdır. Gelgit bileşenlerinin hesaplanmasında (1) eşitliğinden faydalanılabilir (Parker, 2018).

$$h(t) = H_0 + \sum_{i=1}^k A_i \cos \omega_i t + B_i \sin \omega_i t \quad (1)$$

Burada $h(t)$ yerel datuma ait referans yüzeyden olan anlık deniz seviyesi, H_0 ortalama deniz seviyesi, t zaman, ω_i açısal frekans, A_i ve B_i Fourier katsayılarını ifade etmektedir. Ortalama deniz seviyesi ve gelgit parametrelerinin kestirilmesi için fonksiyonel olarak en küçük kareler yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır ve (2) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$v = Ax - l$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos \omega_1 t_1 & \sin \omega_1 t_1 & \cdots & \cos \omega_m t_1 & \sin \omega_m t_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos \omega_1 t_n & \sin \omega_1 t_n & \cdots & \cos \omega_m t_n & \sin \omega_m t_n \end{bmatrix} x$$

$$= x \begin{bmatrix} H_0 \\ A_1 \\ B_1 \\ \vdots \\ A_m \\ B_m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada l ölçü vektörü, A katsayılar matrisi, x bilinmeyenler vektörü, v düzeltmeler vektörüdür. σ_0^2 öncül varyans, P ağırlık matrisi, n ölçü sayısı, u bilinmeyen sayısı m ise kestirilecek gelgit bileşeni sayısını ifade etmektedir. Eşitlik (2)'de gösterilen düzeltme denklem sistemi en küçük kareler ilkesi ile çözülüp, oluşan normal denklemlerden elde edilen değerler Eşitlik (3)'te yerine yazılırsa gelgit bileşenleri elde edilir.

$$x = (A^T P A)^{-1} (A^T P l) \quad (3)$$

Buradan bilinmeyenlerin varyans-kovaryans matrisi K_{xx} ve birim ağırlıklı varyansın soncul değeri m_0^2 Eşitlik (4) ile elde edilir.

$$K_{xx} = (S_0^2) (A^T P A)^{-1} \quad (4)$$

$$m_0^2 = (l^T P l - A^T P l x) / (n - m)$$

Kestirilen gelgit bileşenlerinin genlik (R_i) ve faz (ϕ_i) değerleri (5) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$R_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$$

$$\phi_i = \arctan\left(\frac{B_i}{A_i}\right), \quad \phi_i = 2\arctan\left(\frac{B_i}{A_i + R_i}\right) \quad (5)$$

Bu çalışmada TUDES kapsamında yer alan ve Şekil 1 de gösterilen mareograf istasyonlarına ait gözlemlerinden faydalanılmıştır. Verilere ilişkin bilgiler Tablo 1 ile gösterilmiştir.

Mareograf istasyonlarında bir gün içinde gözlem süresine bağlı olarak genellikle 24 ila 1440 veri kaydı gerçekleştirilir. Bu sebeple verilerin kalite kontrolünün yapılması oldukça önemlidir. Bunun içinde zaman serisi dikkatle kontrol edilip uyumsuz ölçülerin ayıklanması gerekmektedir. Bu çalışmada uyumsuz ölçülerin ayıklanması için Gauss dağılım fonksiyonu (3-sigma) kullanılmıştır (Lehmann, 2013; Soltanpour ve diğerleri, 2017). Bu işlemin ardından gelgit parametrelerini belirlemek için Doodson (1921) tarafından önerilen model kullanılmıştır (Doodson, 1921). 68 parametrelili bir gelgit modeli oluşturulmuş ve hesaplanmıştır. Bu 68 parametreden gözlemleri en çok etkileyen 21 parametre Tablo 2 ile gösterilmiştir. Bunlar günlük (K2, M2, N2, Ma2, R2, S2, T2, J1, K1, M1, O1, Oo1, Ms4), 15 günlük (Mf, Msf), aylık (Mm) altı aylık (Ssa) ve yıllık (Sa) gelgit parametrelerinden oluşmaktadır. Şekil 3a'da örnek olarak IADA

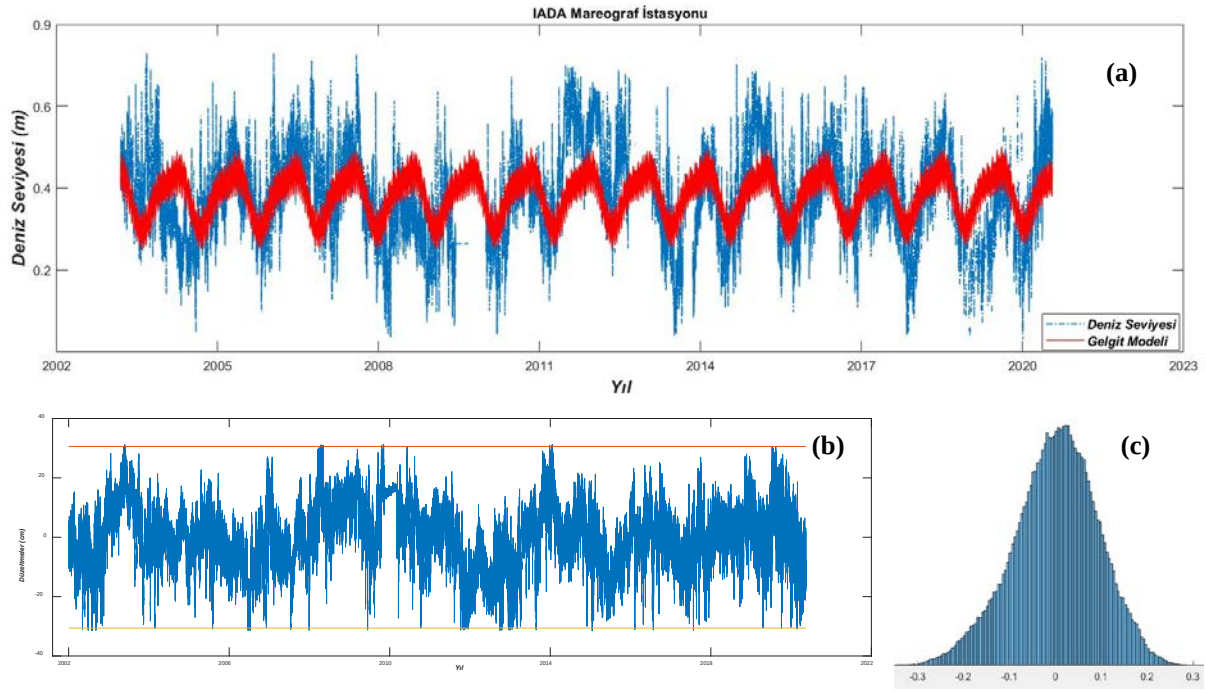
Mareograf istasyonuna ilişkin 15 dakikalık deniz seviyesi gözlemleri (mavi çizgi), 68 parametrelili gelgit modeli (kırmızı çizgi) gösterilmiştir. Şekil 3b dengeleme sonucu oluşan düzeltmeleri (gelgit etkileri) ve Şekil 3c ise histogramı göstermektedir. IADA Mareograf istasyonunda kestirilen ana gelgit parametreleri, yıllık ve yarıyıllık gelgitten oluşan genlik bu istasyonda 68 parametreden oluşan modelin tüm parametrelerinden gelen genliğin %98.5'ini oluşturmaktadır. Ana gelgit parametreleri ile yıllık ve yarıyıllık gelgit parametrelerinin bileşenleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Diğer dört mareograf istasyonunda da benzer yaklaşımla işlemler yapılarak gelgit modeli oluşturulmuş ve deniz seviyesi üzerindeki etkileri giderilmiştir. Tüm mareograf istasyonlarındaki ana gelgit parametreleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Ana gelgit parametreleri TRAB ve IADA mareograf istasyonlarında diğer istasyonlara göre daha büyük olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Mareograf verileri.

Mareograf	Konum		15 Dakikalık Veri		
	Enlem	Boylam	Başlangıç	Bitiş	Veri Servisi
AMSR	41.743988	32.390329	2001	2022	TUDES
IADA	41.888904	28.023515	2002	2022	TUDES
SILE	41.176364	29.605375	2008	2022	TUDES
SNOP	42.023068	35.149458	2005	2016	TUDES
TRAB	41.001978	39.744549	2002	2022	TUDES

Tablo 2. Önemli gelgit parametreleri ve periyotları.

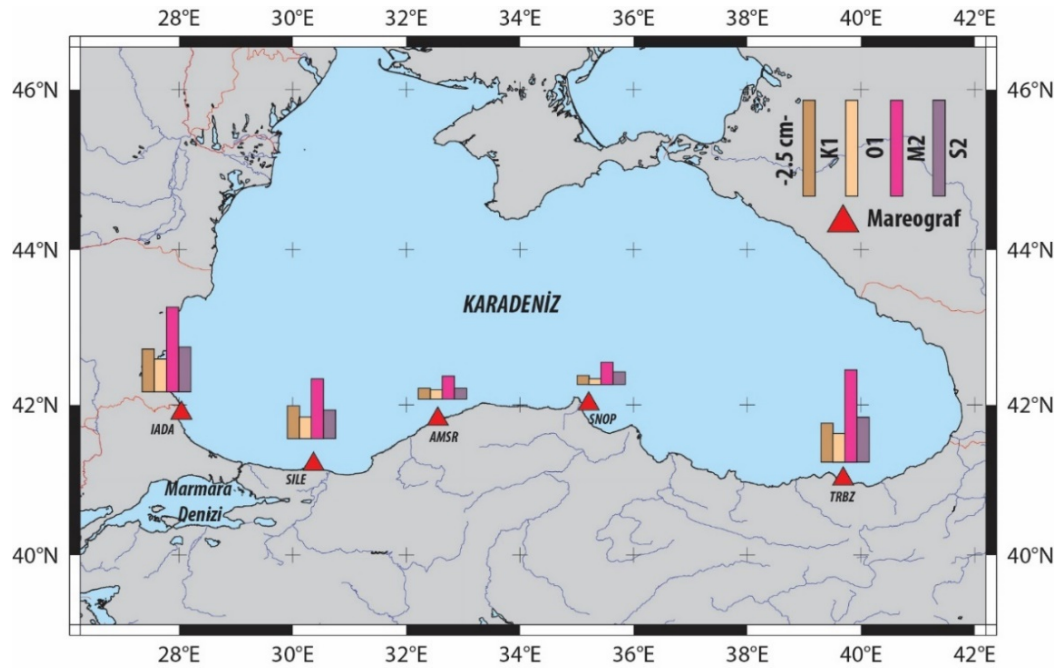
Parametre	Periyot (Gün)	Parametre	Periyot (Gün)
K2	0.498634738	P1	1.002745517
M2	0.517524947	Q1	1.119514937
N2	0.527431168	S1	1
Ma2	0.516792787	Mf	13.66082894
R2	0.499316491	Mm	27.55428194
S2	0.5	Msf	14.76537814
T2	0.500685383	Oo1	0.929419758
J1	0.962436532	Ssa	182.6150475
K1	0.997269476	Ms4	0.254305803
M1	1.035050102	Sa	365.230095
O1	1.075805563		



Şekil 3. IADA mareograf istasyonu zaman serisi (a), düzeltmeler (b) ve histogram (c).

Tablo 3. Bazı Gelgit bileşenleri (IADA mareograf istasyonu).

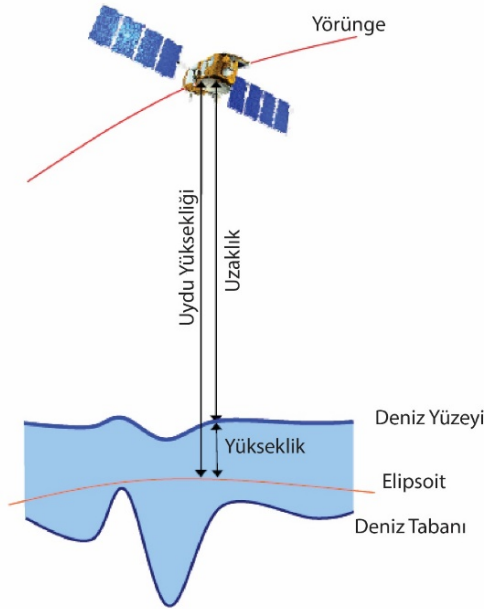
Parametre	Genlik (cm)	Std. Sapma	Faz (derece)	Std. Sapma	Yüzde
Sa	6.43	0.27	136	2.45	76
Ssa	2.02	0.25	253	7.18	8
K1	1.10	0.14	67.4	1.01	2
O1	0.84	0.10	63.6	1.15	2
M2	2.19	0.22	13.6	0.93	9
S2	1.04	0.13	20.5	0.81	1



Şekil 4. Ana gelgit parametreleri

c. Uydu Altimetresi Verileri ve Analizi

Uydu altimetresinde temel prensip ile okyanus, deniz, göl, nehir gibi alanlarda uydudan gönderilen radar sinyalinin gidiş-dönüş süresinin ölçülerek su seviyesinin araştırılmasıdır. İlk olarak 1969 yılında kullanılmaya başlanan uydu altimetresi ölçmeleri, 1993 yılında hizmete alınan Topex/Poseidon'un önceki misyonlara göre daha modern, gelişmiş, hassas ve kıyıya özel özellikler içermesiyle ile uydu altimetresi deniz seviyesinin belirlenmesinde ikincil yöntem olarak karşımıza çıkmıştır. Altimetre uyduları ile hedef bölgelerdeki alanlar (deniz/göller/nehirler) birkaç gün/hafta tekrar geçiş süresine göre gözlemlenir. Ayrıca altimetre misyonları yer merkezli bir referans sisteme göre deniz seviyesi gözlemlerini gerçekleştirdiği için düşey yerkabuğu hareketinden etkilenmez.



Şekil 5. Uydu altimetresi ölçüm prensibi

Uydu altimetresi için temel hedef anlık deniz seviyesinin belirlenmesidir. Bunun için uydu yüksekliğinden uzaklık değeri çıkarılmalıdır (Şekil 5). Uzaklık belirlenirken jeofiziksel ve uzaklık ölçmeye yarayan donanımdan kaynaklı bazı etkilere maruz kalır. Bunlar; uydu altimetresi ölçüm hataları, uydu konum hataları, jeofiziksel hatalar, sinyal yayılım hataları olarak ifade edilebilir.

$$SSH = Alt - S_{cor} \quad (6)$$

Bağıntıda SSH anlık deniz seviyesi değerini, Alt uydu yüksekliğini, S_{cor} düzeltilmiş uzaklık değerini göstermektedir. S_{cor} bağıntı (7) ile belirlenmektedir.

$$S_{cor} = S + (h_i + h_{iono} + h_{dry} + h_{wet} + h_{SSB} + h_{otide} + h_{ol} + h_{stide} + h_{ptide} + h_{DAC}) \quad (7)$$

Bağıntı (7)'de S uydu altimetresi ile deniz yüzeyi arasındaki ham uzaklıktır. h_i aletsel hataları, h_{iono} iyonosferik etkiyi, h_{dry} kuru troposferik etkiyi, h_{wet} ıslak iyonosferik etkiyi, h_{SSB} deniz durumu yanılmasını, h_{otide} okyanus gelgitini, h_{ol} okyanus yüklenmesini, h_{stide} katı dünya gelgitini, h_{ptide} kutup gelgitini, h_{DAC} ise dinamik atmosferik etkiyi ifade eder.

Bu çalışmada uydu altimetresi verileri grid çözüm sunan CMEMS arşivinden edinilmiştir (CMEMS, 2022). Şekil 6'da gösterilen arayüzde yer alan her bir grid değeri $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Mareografa en yakın grid verisinin alınması yaygın olarak kullanılan yaklaşımdır. Bu çalışmada mareograf istasyonlarına en yakın grid değerler kullanılmıştır ve grid değerler ile mareograf istasyonları arası mesafe 3 km'den daha azdır.



Şekil 6. CMEMS Grid data arayüzü

Bağıntı (6) ve (7) kullanılarak CMEMS tarafından hazırlanan L4 grid verileri Tablo 4'de gösterilen düzeltmeleri içermektedir. Grid veri kullanımı kullanıcıların bu işlem yükünden ve olası hatalardan kaçınmalarını sağlar.

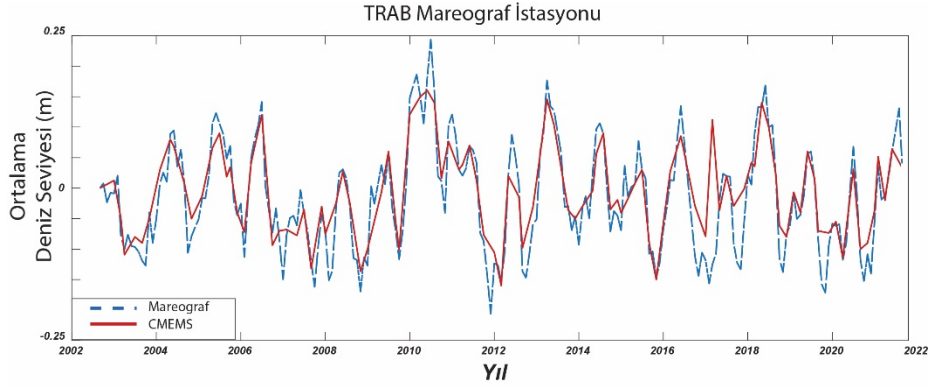
Tablo 4. Grid altimetre verilerine getirilmiş düzeltmeler.

Düzeltilmeler	T/P	Jason-1 ve 2	Envisat	GFO	SARAL/Altika
İyonosfer	Çift frekanslı altimetre aralığı ölçümleri ve GCP (GDR Düzeltmesi)	Çift frekanslı altimetre aralığı ölçümleri	GIM model		
Kuru Troposfer	ECMWF model		NCEP	ECMWF	
Islak Troposfer	Radyometre, radyometre kaymasının GCP düzeltmesi ve sapma etkilerinin GCP ile düzeltmesi	Gelişmiş radyometre düzeltmesi	model	Radyometre	
Deniz Durumu Yanılması	Parametrik olmayan deneysel model		Önemli dalga yüksekliğinin %4,5'i	Parametrik olmayan deneysel model	
Katı Gelgit	Gelgit potansiyeli modeli				
Kutup Gelgiti	Wahr, 1985				
Yükleme	FES1999 (Lefevre ve diğerleri, 2002)				
Dinamik Atmosferik Düzeltme	MOD2D (Carrere ve Lyard, 2003) ve ECMWF'den türetilen 20 günden daha uzun süreler için ters barometre etkisi				
Okyanus Gelgiti	FES 2014 (Carrere ve diğerleri, 2016)				

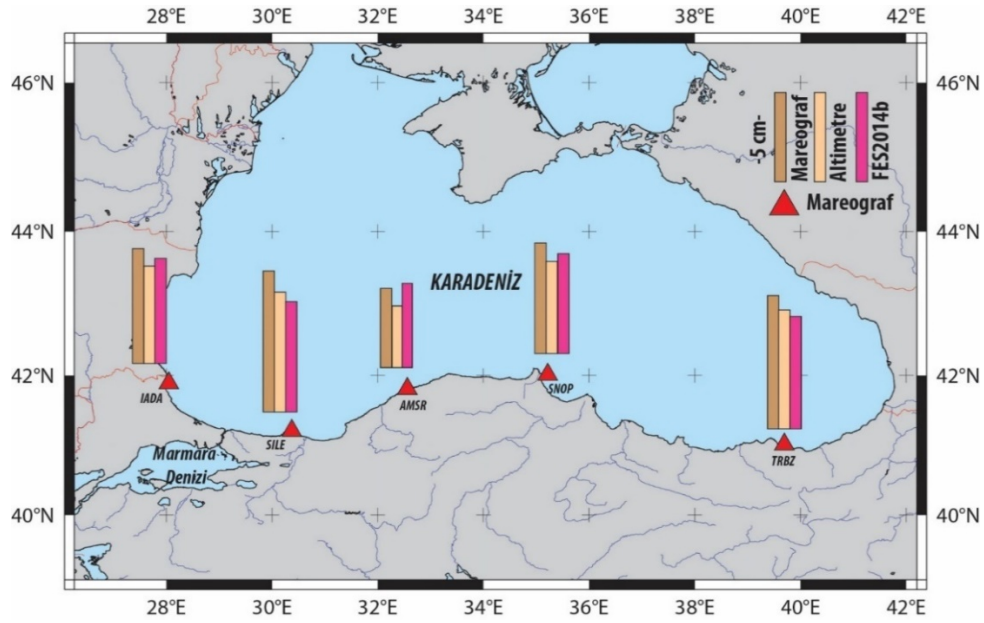
3. BULGULAR

Deniz seviyesi trendlerinin belirlenmesi için Türkiye'nin Karadeniz kıyılarında yer alan beş mareograf istasyonuna ilişkin yüksek frekanslı (15 dakikalık) veriler analiz edilmiş; gelgit etkileri giderilerek günlük deniz seviyesi verileri, bu verilerin aritmetik ortalaması alınarak aylık ortalama deniz seviyesi değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca bu mareograf istasyonlarına en yakın gridlerdeki aylık altimetre verileri CMEMS veri arşivinden alınmıştır. Örnek olarak TRAB mareograf istasyonuna ait mareograf verilerinden elde edilen aylık ortalama deniz seviyesi verileri ile en yakın grid değerden alınan aylık ortalama deniz seviyesi Şekil 7'de gösterilmiştir. 2008-2012 yılları arasında Karadeniz'deki mareograf istasyonlarında ölçülen deniz seviyesinde her iki yöntem ile de belirgin olarak önce artış ve sonrasında düşüş göstermektedir. Literatürde bu tarz belirgin değişimlerin ay düğümü ve güneş yerberi dönemlerine denk gelmesinden kaynaklandığı ve güneş patlamalarının bir sonucu

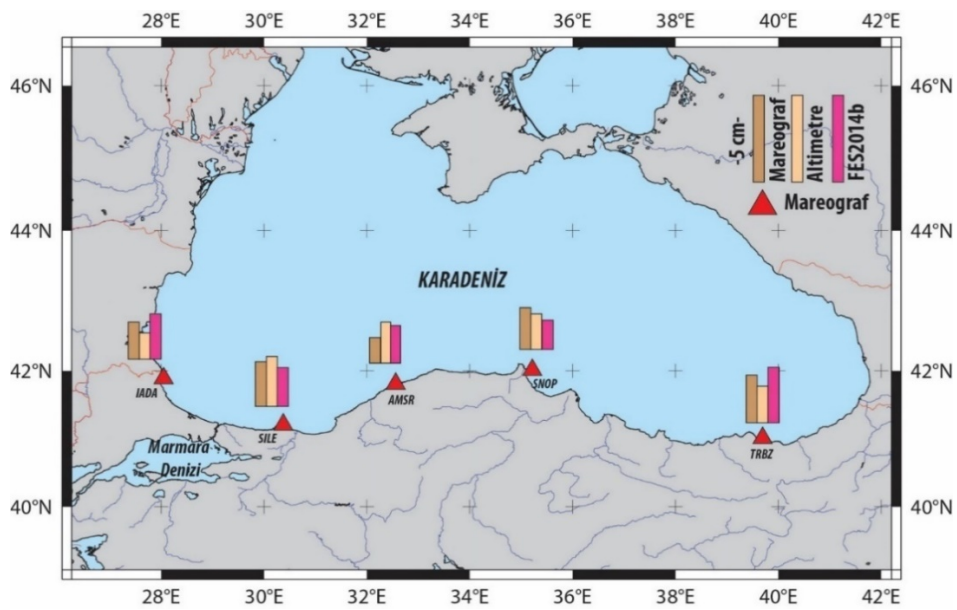
olabileceğine dair yayınlar vardır (Perry, 2007). Çalışmada, grid verileri ile yıllık ve yarıyillik etki belirlenmiş, mareograf verileri ile gelgit modeli oluşturulmuştur. Bu bağlamda; yıllık gelgit bileşeni en büyük SILE mareograf istasyonunda (mareograf : 7.98 ± 0.30 cm, grid veri: 7.50 ± 0.70 cm) hesaplanmıştır. Aynı bölgede FES2014 modelinden elde edilen gelgit bileşeni ise 6.87 ± 0.42 cm olarak yayınlanmıştır. Tüm mareograf istasyonlarına ilişkin yıllık gelgit bileşeni Şekil 8'de gösterilmiştir. Yarıyillik gelgit parametreleri ise Şekil 9'da gösterilmiştir. Mareograf ve grid uydu altimetresi verilerinden elde edilen sonuçların birbirleri ile ve FES2014b küresel gelgit modeli ile uyumlu oldukları görülmektedir (Carrère ve diğerleri, 2016). Beşel ve Kayıkçı (2022) tarafından yapılan çalışmada TRAB mareograf istasyonunda mareograf ve GNSS İnterferometrik Reflektometri (GNSS Interferometric Reflectometry : GNSS-IR) ile ana gelgit parametrelerini belirlemiş; K1, O1, M2 ve S2 parametreleri mareograf verilerinden kestirilmiştir.



Şekil 7. TRAB mareograf istasyonunda aylık ortalama deniz seviyesi.



Şekil 8. Yıllık gelgit bileşeni.



Şekil 9. Yarıyıllık gelgit bileşeni.

Medvedev (2018) ise yaptığı çalışmada Karadeniz kıyılarındaki mareograf istasyonlarındaki gelgit parametrelerini belirlemiştir. Bu çalışmada elde edilen değerler ile Medvedev (2018)'de kestirilen değerler oldukça uyumludur. Örneğin; Medvedev (2018) TRAB mareograf istasyonunda K1, O1, M2 ve S2 değerlerini sırasıyla 0.93, 0.65, 2.27 ve 1.06 cm olarak hesaplamıştır.

Gelgit etkileri giderildikten sonra belirlenen aylık ortalama deniz seviyesi değerleri kullanılarak en küçük kareler yaklaşımı benimsenmiş ve analizler bu yaklaşıma göre gerçekleştirilmiştir. Bağintı (8)'de aylık ortalama deniz seviyesi y_i , desimal yıl cinsinden zaman bilgisi t_i , ortalama deniz seviyesi ise r_i ile gösterilmiştir. b ise ana hedef olan deniz seviyesi trendini ifade eder.

$$y_i = b t_i + r_i \quad (8)$$

Mareograf istasyonları yerel referansa göre gözlem yaptığı için düşey yerkabuğu hareketlerinden (Vertical land motion: VLM) etkilenmektedir. Bu etkinin matematiksel olarak ifadesi bağintı (9)'deki gibidir (Wöppelmann ve Macros, 2016; Girgic ve diğerleri, 2020; Erkoç ve diğerleri, 2022).

$$VLM = b_{grid} - b_{mar} \quad (9)$$

Burada VLM düşey yerkabuğu hareketini, b_{grid} grid altimetre verisinden elde edilen trendi ve b_{mar} ise mareograf istasyonundan elde edilen deniz seviyesi trendini ifade eder.

Mareograf istasyonlarına ilişkin verilere düşey yerkabuğu hareketleri düzeltmesi yaygın olarak GNSS ve son yıllarda InSAR çözümleri ile gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada düşey yer kabuğu hareketleri düzeltmesi için Harita Genel Müdürlüğü tarafından sunulan TUSAGA-Aktif GNSS istasyonları çözümlerinden faydalanılmıştır (mareograf-GNSS istasyonları arası mesafe 5 km'den azdır). Ayrıca altimetre verileri dinamik atmosferik düzeltme içerdiği için trendlerin her iki yöntem ile karşılaştırılabilmesi adına bu düzeltmenin mareograf istasyonlarına da getirilmesi gerekir. Dinamik atmosferik düzeltme için Fransız Uzay Ajansı tarafından sunulan MOG2D modeli kullanılmıştır (Carrere ve Lyard, 2003).

Tablo 5 Mareograf istasyonlarından elde edilen deniz seviyesi trendlerini, en yakın GNSS istasyonlarından elde edilen düşey yer kabuğu etkisini, MOG2D modelinden alınan dinamik atmosferik düzeltmeyi ve mareograf istasyonlarına en yakın grid altimetre verilerinden elde edilen deniz seviyesi trendlerini göstermektedir. Teorik olarak mareograf istasyonlarından elde edilen deniz seviyesi trendleri ile DAC ve VLM düzeltmelerinin toplamı grid altimetre verilerinden elde edilen deniz seviyesi trendini vermelidir. Çalışmada AMSR ve IADA istasyonlarına yakın TUSAGA-Aktif GNSS istasyonu bulunmadığı için bu istasyonlara VLM düzeltmesi getirilememiştir. Diğer mareograf istasyonlarına bakıldığında iki yöntemle de elde edilen deniz seviyesi trendlerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca Karadeniz'de daha önce Avşar ve Kutoğlu (2020) tarafından yapılan çalışmada belirlenen deniz seviyesi trendlerine bakıldığında SNOP ve SILE istasyonları ile uyumlu diğer istasyonlarda ise verilerdeki zamansal aralığın aynı olmamasından kaynaklı olduğu düşünülen farklı sonuçlar belirlenmiştir.

Tablo 5. Deniz Seviyesi trendleri.

İstasyon	Trend (Mareograf) (mm/yıl)	DAC (mm/yıl)	VLM _{GNSS} (mm/yıl)	Trend (Grid Altimetre) (mm/yıl)
AMSR	2.4 ± 0.5	0.6 ± 0.2	-	2.0 ± 0.8
IADA	1.5 ± 0.8	0.6 ± 0.3	-	1.9 ± 0.6
SILE	4.9 ± 0.7	0.6 ± 0.2	-0.7 ± 0.1	4.6 ± 0.8
SNOP	0.8 ± 0.4	0.6 ± 0.2	-1.6 ± 0.1	1.0 ± 0.5
TRAB	1.0 ± 0.7	0.6 ± 0.2	-0.6 ± 0.1	1.2 ± 0.8

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye'nin Karadeniz kıyılarındaki beş mareograf istasyonundaki deniz seviyesi trendlerinin belirlenmesi ve grid altimetre verilerinden elde edilen trendler ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda öncelikle deniz seviyesi verileri ile bölgesel gelgit modeli oluşturularak deniz seviyesi verileri gelgit bileşenleri etkilerinden arındırılmıştır. Deniz seviyesi üzerindeki gelgit etkileri kaldırıldıktan sonra mareograflardaki aylık ortalama deniz seviyeleri ve bu değerlerden deniz seviyesi trendleri belirlenmiştir. Mareograflardan elde edilen deniz seviyesi trendi SILE istasyonunda en büyük (4.9 ± 0.7 mm/yıl) ve SNOP istasyonunda en küçük (0.8 ± 0.4 mm/yıl) olarak belirlenmiştir. En büyük yarı yıllık genlik TRAB Mareograf istasyonunda ve en büyük yıllık genlik ise SILE istasyonunda belirlenmiştir (her iki yöntem ile). Düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde Harita Genel Müdürlüğü tarafından sunulan GNSS çözümlerinden faydalanılmıştır. Harita Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan TUSAGA-Aktif GNSS istasyonları çözümlerine göre ülkemizin Karadeniz kıyılarında çökme eğilimli bir düşey yer kabuğu modeli görülmektedir. Karadeniz kıyıları boyunca ortalama deniz seviyesi yükselmesi mareograf verilerinden 2.1 mm/yıl ve grid altimetre verilerinden 1.9 mm/yıl olarak belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, mareograf verileri Harita Genel Müdürlüğü TUDES veri arşivinden, grid altimetre verileri CMEMS veri servisinden ve GNSS düşey hız bileşenleri Harita Genel Müdürlüğü çözümlerinden alınmıştır. Yazar veri desteğinden dolayı Harita Genel Müdürlüğü'ne ve Copernicus Marine Service'e teşekkür eder.

ORCID

Muharrem Hilmi ERKOÇ 
<https://orcid.org/0000-0003-4855-0071>

KAYNAKLAR

Agnew, D.C. (2007). *Earth Tides*, In: Schubert G. (ed.) *Geodesy: Treatise on Geophysics*. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands (3):163–195. doi:10.1016/B978-044452748-6.00056-0

Alpar, B., Doğan, E., Yüce, H. ve Altıok, H. (2000). Sea level changes along the Turkish coasts of the Black Sea, the Aegean Sea and the Eastern Mediterranean. *Mediterranean Marine Science*, 1(2000), pp. 141-156. doi:10.12681/mms.285

Avşar, N. B. ve Kutoğlu, Ş. H. (2020). Recent sea level change in the Black Sea from satellite altimetry and tide gauge observations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(3), 185. doi:10.3390/ijgi9030185

Bell, C., Vassie, J.M. ve Woodworth, P.L. (1999). POL/PSMSL Tidal Software Kit 2000 (TASK-2000), CCMS Proudman Oceanographic Laboratory, Bidston Observatory, Birkenhead, UK, 20. Erişim adresi : https://psmsl.org/train_and_info/software/task2k.rtf (20.12.2022)

Beşel, C. ve Kayıkçı, E. (2022). Karadeniz kıyısında TUDES ortak yerleşkeli GNSS istasyonu deniz seviyesi gözlemlerinden GNSS-IR tekniği ile gelgit bileşenlerinin belirlenmesi. *Harita Dergisi*, 168, 1-12. Erişim adresi: <https://www.harita.gov.tr/uploads/files/articles/karadeniz-kiyisinda-tudes-ortak-yerleskeli-gnss-istasyonu-deniz-seviyesi-gozlemlerinden-gnss-i-1618.pdf> (20.12.2022)

Carrere, L. ve Lyard F. (2003). Modelling the barotropic response of the global ocean to atmospheric wind and pressure forcing - comparisons with observations, *Geophysical Research Letters*, 30(6), pp 1275. doi:10.1029/2002GL016473

Carrere, L., Lyard, F., Cancet, M., Guillot, A. ve Picot, N. (2016, Mayıs). *FES 2014, a new tidal model - Validation results and perspectives for improvements*. Presentation to ESA Living Planet Conference, Prague, Czechia.

Cazenave, A., Dieng, H.B., Meyssignac, B., von Schuckmann, K., Decharme, B. ve Berthier, E. (2014). The rate of sea-level rise. *Nature Climate Change* 4, pp. 358–361. doi:10.1038/nclimate2159

CMEMS (2022). Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing. Erişim adresi: https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047/description (23.12.2022)

- Doodson, A.T. (1921). The harmonic development of the tide-generating potential. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A* 100(704), pp. 305–329. doi:10.1098/rspa.1921.0088
- Erkoç, M.H., Doğan U., Yıldız H. ve Sezen E. (2022). Estimation of vertical land motion along the south and west coast of Turkey from multi-sensor observations. *Advances in Space Research*, 70 (2022), 1761–1772. doi:10.1016/j.asr.2022.06.022
- Erkoç, M.H. ve Doğan U. (2022). Regional tidal modelling using tide gauges and satellite altimetry data in South-West coast of Turkey. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26, 4052–4061. doi:10.1007/s12205-022-0320-1
- Grgic, M., Bender, J. ve Basic, T. (2020). Estimating vertical land motion from remote sensing and in-situ observations in the Dubrovnik Area (Croatia): A multi-method case study. *Remote Sensing*, 12 (21), 3543. doi:10.3390/rs12213543
- Godin. G. (1972). *The analysis of tides*, University of Toronto Press, Toronto, Canada.
- IPCC WG III. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of climate change. contribution of working group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Erişim adresi : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf (20.12.2022)
- Lefevre, F., Lyard, F., Le Provost, C. ve Schrama, E. O. (2002). FES99: a global tide finite element solution assimilating tide gauge and altimetric information. *Journal of Atmosphere and Ocean Technology*, 19 (2002), pp. 1345–1356. doi:10.1175/1520-0426(2002)019<1345:FAGTFE>2.0.CO;2
- Lehmann, R. (2013). 3 σ -Rule for Outlier Detection from the Viewpoint of Geodetic Adjustment. *Journal of Surveying Engineering*, 139(4), 157–165. doi:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000112
- Levitus, S., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Baranova, O.K., Garcia, H.E., Locarnini, R.A., ... Zweng, M.M. (2012). World ocean heat content and thermosteric sea level change (0–2000 m), 1955–2010. *Geophysical Research Letters*, 39 (10). doi:10.1029/2012GL051106
- Medvedev, I.P. (2018). Tides in the Black Sea: Observations and numerical modelling. *Pure and Applied Geophysics* 175, pp. 1951–1969. doi:10.1007/s00024-018-1878-x
- Mohamed, B., Abdallah, A.M., Alam El-Din, K., Nagy, H. ve Shaltout, M. (2019). Inter-annual variability and trends of sea level and sea surface temperature in the Mediterranean Sea over the Last 25 Years. *Pure and Applied Geophysics*, 176, pp. 3787–3810. doi:10.1007/s00024-019-02156-w.
- Mohamed, B. ve Skliris, N. (2021). Steric and atmospheric contributions to interannual sea level variability in the eastern mediterranean sea over 1993–2019. *Oceanologia*, 64 (1), pp. 50–62. doi:10.1016/j.oceano.2021.09.001
- Parker, B. (2018). *Tides*. In: Finkl, C., Makowski, C. (eds) *Encyclopedia of Coastal Science Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-48657-4_324-2
- Perry C.A. (2007). Evidence for a physical linkage between galactic cosmic rays and regional climate time series. *Advances in Space Research*, 40 (3) (2007), pp. 353–364. doi:10.1016/j.asr.2007.02.079
- Soltanpour, A., Pirooznia, M., Aminjafari, S. ve Zareian, P. (2017) Persian gulf and oman sea tide modeling using satellite altimetry and tide gauge data (TM-IR01). *Marine Georesources & Geotechnology*, 37(6), pp. 1–11. doi:10.1080/1064119x.2017.1366608
- Wahr, J.M. (1985). Deformation induced by polar motion. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 90, pp. 9363–9368. doi:10.1029/JB090iB11p09363
- Wöppelmann, G. ve Marcos, M. (2012). Coastal sea level rise in southern Europe and the nonclimate contribution of vertical land motion. *Journal of Geophysical Research*, 117(C1), C01007. doi:10.1029/2011JC007469
- Wöppelmann, G. ve Marcos, M. (2016). Vertical land motion as a key to understanding sea level change and variability. *Reviews of Geophysics*, 54 (1), pp. 64–92. doi:10.1002/2015RG000502.

- Xu, X., Xu, K., Xu, Y. ve Shi, L., (2019). *Coastal Altimetry: A Promising Technology for the Coastal Oceanography Community*. In J. Pan, & A. Devlin (Eds.), *Estuaries and Coastal Zones - Dynamics and Response to Environmental Changes*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.89373
- Yıldız, H., Andersen, O.B., Simav, M., Aktuğ, B. ve Özdemir, S. (2013). Estimates of vertical land motion along the southwestern coasts of Turkey from coastal altimetry and tide gauge data. *Advances in Space Research*. 51(8), pp. 1572–1580. doi:10.1016/j.asr.2012.11.011

YAZIM ESASLARI

1. Harita Dergisine Yazı Hazırlama Esasları

a. Sayfa büyüklüğü A4 (210x297 mm) standardında olmalı; her sayfanın sağ kenarından 2 cm diğer kenarlarından 3'er cm boşluk bırakılmalıdır. Yazı zorunlu olmadıkça toplam 15 sayfayı geçmemelidir. Yazı, bilgisayarda Microsoft Word formatında Arial Türkçe fontu bir satır aralığı ile yazılmalıdır. Paragraflar arasında bir satır boşluk bırakılmalıdır.

b. Makale adı, Türkçe ve İngilizce olarak kelimelerin ilk harfleri büyük olacak şekilde 12 punto büyüklüğünde sayfanın üst ortasına gelecek şekilde yazılmalı ve iki satırı geçmemelidir. Makale adı, makale içeriğini en fazla ölçüde yansıtmalı; makale içeriğinde anlatılan konuların büyük çoğunluğu, makale adı ile doğrudan ilgili olmalıdır. Makale adından sonra bir satır boşluk bırakıp ortalayarak yazar adı ve soyadı koyu (bold) ve 10 punto harf büyüklüğünde yazılmalıdır (Soyadı büyük harflerle). Yazar adının altına ortalayarak adres ve elektronik posta adresi 9 punto harf büyüklüğünde yazılır.

c. Yazı; makalenin başlangıç kısmına yazılmış, tek paragraf Türkçe ve İngilizce olarak 100-250 kelime arası Türkçe "Öz" ile İngilizce "Abstract", ortalama 5 adet Anahtar Kelime içeren Anahtar Kelimeler ile Key Words (İngilizce anahtar kelimeler), Giriş, Bölümler, Sonuç ve Kaynaklar şeklindeki ana bölümlerden oluşur. Bu bölümlerin tamamı sayfada iki sütun olacak şekilde yazılır. Sütunlar arasında 0,5 cm boşluk bırakılır. Her ana bölüm ve alt bölüm başlığı öncesi ve sonrası bir satır boşluk bırakılır.

Öz bölümünde, yapılan çalışma tanıtılarak kullanılan yöntemler ve sonuçlar kısaca belirtilmeli; abstract bölümü, özün doğru ve eksiksiz tercümesini içermelidir. Giriş bölümünde, çalışmanın amacı ve konuyla ilgili diğer çalışmalar anlatılmalıdır. Ara bölümlerde, kullanılan yöntemler ve veriler açıklanmalı; sonuç bölümünde, bulgular başka araştırmacıların bulguları ile karşılaştırılmalı, yazarın yorumu belirtilmeli ve ayrıca bulgulardan çıkan sonuçlar ve varsa öneriler yazılmalıdır. Öz, abstract, anahtar kelimeler ve key words, 9 punto büyüklüğünde italik harflerle yazılmalıdır. Diğer bölümler 10 punto harf büyüklüğünde normal yazılır.

Ana bölüm başlıkları büyük harflerle koyu (bold) olarak ve alt bölümlerin başlıkları

kelimelerin ilk harfleri büyük diğerleri küçük ve sadece birinci düzey alt bölümlerin başlıkları koyu (bold) olarak yazılmalıdır. Yazının geri kalan kısmı normal baskıda yazılmalı, italik ya da altı çizgili karakterler kullanılmamalıdır. Öz, Anahtar Kelime, Abstract (ingilizce özet), Key Words (İngilizce anahtar kelimeler) ve kaynaklar ana bölümleri dışındaki ana bölüm başlıkları 1., 2., 3.; alt bölüm başlıkları a., b., c.; (1), (2), (3); (a), (b), (c); (i), (ii), (iii); (aa), (bb), (cc) şeklinde hiyerarşik düzeyde numaralandırılmalı; ardışık düzeylerin numaraları arasındaki dikey fark 0.5 cm olmalıdır. Numaralandırılan bölümlerin başlıkları, numaralarının başlangıç hizasından 0.5 cm içeriden; bir alt satıra devam eden bölüm başlıkları sayfa başından; tüm paragraflar sayfanın 0.5 cm içerisinden başlamalıdır.

Noktalama ve imlâ için Türk Dil Kurumu tarafından en son yayımlanan İmlâ Kılavuzu ve Türkçe sözlüğüne, Haritacılık ile ilgili Yönetmeliklerde kullanılan deyimlere uyulmalıdır. İfadelerde üçüncü şahıs kullanılmalı; her sembol ilk geçtiği yerde tanımlanmalı; her kısaltma ilk geçtiği yerde parantez içinde yazılmalı (örneğin, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)); kelime ikiye bölünmemelidir. Noktalama işaretlerinden sonra bir karakter boşluk bırakılmalı; sayfa numaralama yapılmamalıdır.

ç. Tablo isimleri, tablonun üstüne sol üst köşesinden itibaren yazılmalı (örneğin, Tablo 1. Karesel ortalama hatalar.); şekil isimleri, şeklin altına ortalayarak yazılmalı (örneğin, Şekil 1. CBS tasarımı.); tablo isimlerinden ve şekillerden önce, şekil isimlerinden ve tablolardan sonra bir satır boşluk bırakılmalı; tablolar ve şekiller sayfaya ortalaymalıdır. Tablolar ve şekillerin boyutu tek sütundan büyük olduğu durumlarda, sayfanın tamamına ortalı olarak yazılabilir. Bu durumda tablo ve şekiller metni bölmemeli sayfanın en altında ya da en üstünde yer almalıdır.

d. Denklemlere verilen numaralar, kendi hizalarına ve sayfa sağ kenarına çıkışacak şekilde parantez içinde (1),(2),(3),... şeklinde yazılmalıdır. Metin içerisindeki denklemlerin kendi aralarında ve metin ile aralarında bir satır boşluk bırakılır.

e. Makaleler, "MAKALE ÖRNEĞİ"nde sunulan boşluk ve yapılandırmalara uyularak; Şekil, Tablo ve Denklemler tek sütunda olacak ise metin aralarına konularak; iki sütuna yayılan bir bütün halindeki metin bloğundan sonra veya önce sayfanın alt veya üstünde olacak ve okuma akıcılığını bozmayacak şekilde yazılır.

f. Yazarlar; unvanlarını, görev yaptıkları kurumları, iletişim adreslerini, telefon numaralarını, e-posta adreslerini ve ORCID (Open Researcher ve Contributor ID) numarasını bildirmelidir. <https://orcid.org>

g. Öz ve abstract bölümlerinde kaynak atfı yapılmamalıdır. Metin içinde kaynak gösterme şekilleri aşağıda verilmiştir:

Tek yazarlı çalışmada ilk gönderme ve diğer göndermeler aynı biçimde olacak; gönderme cümle içerisinde yapılıyorsa Ceylan (2018) **veya** gönderme cümleinin sonunda yapılıyorsa (Ceylan, 2018)

İki yazarlı çalışmada ilk gönderme ve diğer göndermeler aynı biçimde olacak; gönderme cümle içerisinde yapılıyorsa Simav ve Türkezer (2019) **veya** gönderme cümleinin sonunda yapılıyorsa (Simav ve Türkezer, 2019)

Üç, dört ve beş yazarlı çalışmalarda ilk göndermede tüm yazarların soyadları Şengün, Yılmaz ve Kurt (2013) ve diğer göndermelerde Şengün ve diğerleri (2013) **veya** ilk göndermede (Şengün, Yılmaz ve Kurt, 2013) ve diğer göndermelerde (Şengün ve diğerleri, 2013)

Altı ve daha fazla yazarlı çalışmalarda ilk ve diğer göndermelerde sadece ilk yazarın soyadı belirtilir. Yıldız ve diğerleri (2014) veya (Yıldız ve diğerleri, 2014)

Tüzel yazarlı çalışmalarda ilk göndermede Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA, 2017) ve diğer göndermelerde MTA (2017) **veya** ilk göndermede (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü [MTA], 2017) ve diğer göndermelerde (MTA, 2017)

ğ. Kaynakların hazırlanmasında Amerikan Psikoloji Birliği (American Psychology Association)'nin hazırladığı rehberin altıncı baskısı (Publication Manual of the American Psychological Association, Sixth Edition) kuralları uygulanacaktır. <https://www.apastyle.org>

Kaynaklar ana bölümü başlığı birer aralıklı büyük harflerle koyu (bold) ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır

Kaynaklar ilk yazarlarının soyadına göre alfabetik sırada sıralanır.

Makale veya bölüm başlığındaki ilk kelimenin ilk harfi ve eğer varsa özel adların ilk harfleri büyük yazılır.

İnternet üzerinden ulaşılan ve zaman içerisinde değiştiği düşünülen kaynağın erişim tarihi internet adresi verilmeden önce (Erişim Adresi (19 Mayıs 2018): ...) belirtilmelidir.

Özellikle faydalanılan elektronik kaynağın varsa doi numarası yoksa erişim adresi kaynağın sonuna eklenmelidir.

Elektronik Kaynaklar: Talimat, Rehber vb.

INSPIRE. (2014). *D2.8.1.1 Data Specification on Coordinate Reference Systems – Technical Guidelines* (D2.8.1.1_v3.2). Erişim Adresi: <https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/rs>

ISO 19111. (2007). *Geographic information - Spatial referencing by coordinates*. Erişim Adresi: <https://www.iso.org/standard/41126.html>

Jekeli, C. (2016). *Geometric Reference Systems in Geodesy*. Erişim Adresi: https://kb.osu.edu/bitstream/handle/1811/77986/Geom_Ref_Sys_Geodesy_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

EU Official Journal. (2007). *Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007: Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)*, (L 108/1). Erişim Adresi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007L0002>

Teknik Rapor:

Demir, C. (1999). *Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı* (JEOFNIV-02-1999). Ankara: Harita Genel Komutanlığı.

Süreli yayın:

Geymen, A., Yomralioglu, T. ve Baz, I. (2008). Developing an urban information system for local governments. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer: Published for the Institution of Civil Engineers*, 161(3), 163-173. doi: 10.1680/muen.2008.161.3.163

Moritz, H. (1988). Geodetic Reference System 1980. *Bulletin Géodésique*, 62(3), 348-358. doi:10.1007/bf02520722

Zandbergen, P.A. (2008). A Comparison of address point, parcel and street geocoding techniques. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32, 214-232. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2007.11.006

Kitap:

Torge, W. ve Müller, J. (2012). *Geodesy* (4. baskı). Berlin: Walter de Gruyter.

Vanícek, P. ve Krakiwsky, E. (1986). *Geodesy: The Concepts* (2. baskı). Amsterdam: Elsevier.

Day, R.A. (2000). *Bilimsel bir makale nasıl yazılır ve yayımlanır?* (G. A. Altay, Çev.). Ankara: TÜBİTAK.

Sempozyum, Bildiri vb:

Kılıç B. ve Gülgen F. (2017, Kasım). *A Research on Standard Address Usage in Turkey*. UCTEA International Geographical Information Systems Congress 2017, Adana, Türkiye.

Bard, G.V. (2007, Ocak). *Spelling-error tolerant, order-independent pass-phrases via the Damerau-Levenshtein string-edit distance metric*. In Proceedings of the fifth Australasian symposium on ACSW frontiers, Ballarat, Avustralya.

Yakar, M. ve Doğan, Y. (2017, Nisan). Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyum*, Afyonkarahisar.

Tez:

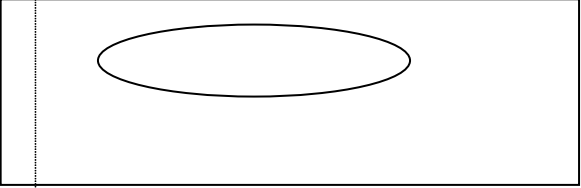
Kellison, M.T. (2012). *Address points and A Master address file: Improving efficiency in the city of Chino* (Doktora Tezi). ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (UMI No. 1532831)

Gençerk, E. Y. (2016). *İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Uygulaması İle İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

2. Makalelerin Gönderilmesi

Makaleler, "haritadergisi@harita.gov.tr" adresine e-posta ile gönderilir.

(MAKALE ÖRNEĞİ)

(1) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx XXXXXXXXXXXX. (2 nci düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX xXXXXXXXXX XXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXXX. (2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf) (1 satır boşluk) (a) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx (3 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX x XXXXXXXX XXXXXXXX. (1 satır boşluk) (b) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx (3 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXX XXXX XXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXX XXXXX. (1 satır boşluk) (l) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx (4 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXX XXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXX. (1 satır boşluk) Tablo 1. XXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX (1 satır boşluk) XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXX XXX XXXXXX XXXXX XXXXXXX. (1 satır boşluk) $KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i - X_{i(RASAT)}}{n}} \quad (1)$ (1 satır boşluk)	XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXX XXX XXXXX XXXXX . (1 satır boşluk)  (1 satır boşluk) Şekil 1. XXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX (1 satır boşluk) XXXXXXXX XXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXX XXXX XX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXX. (1 satır boşluk) 3. SONUÇ (1 satır boşluk) XXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXX. (1 satır boşluk) KAYNAKLAR (1 satır boşluk) Sürelî Yayınlar: Yazar, A. A., Yazar, B. B. ve Yazar, C. C. (Yıl). Yazının başlığı. <i>Sürelî Yayının Başlığı</i>, Cilt, s- s. doi:xx.xxxxxxxx (veya Erişim Adresi:) Kitap: Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. Yer: Yayıncı. Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. Erişim adresi: http://www.xxxxxxxx Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. doi:xxxxxxxxxxx Editor, A. A. (Ed.). (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. Yer: Yayıncı. Yazar, A. A. ve Yazar, B. B. (Yıl). <i>Bölüm ya da giriş başlığı</i>. A. Editör, B. Editör ve C. Editör (Ed.), Kitap başlığı (s. xxx-xxx) içinde. Yer: Yayıncı. Doktora ve yüksek lisans tezleri: Yazar, A. A. (Yıl). <i>Doktora ya da yüksek lisans tezinin başlığı</i> (Yüksek lisans tezi/Doktora tezi). ... veri tabanından erişildi (Erişim ya da Sipariş No.). Yazar, A. A. (Yıl). <i>Doktora ya da yüksek lisans tezinin başlığı</i> (Yayımlanmamış doktora tezi/yüksek lisans tezi). Kurum adı, Yer bilgisi. Teknik raporlar ve araştırma raporları: Yazar, A. A. (Yıl). <i>Çalışmanın başlığı</i> (Rapor No. xxx). Yer bilgisi: Yayıncı. Toplantı ve sempozyumlar: Sunan, A. A. (Yıl, Ay). <i>Bildiri ya da poster başlığı</i>. Kuruluş Adının toplantısında sunulan bildiri ya da poster, Yer bilgisi.
---	--

