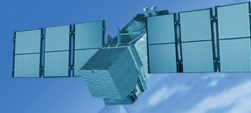


# JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON DERGİSİ

## JOURNAL OF GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers



TMMOB

**Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası**

**Yayıncı / Publisher**

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

**Yayın İdare Merkezi / Head Office**

Mustafa Kemal Mahallesi 2129 Sk. No:1/7-8-9 06530 Çankaya, ANKARA, TURKEY  
Tel: +90 (312) 2325777 • Fax: +90 (312) 2308574  
jjd@hkmo.org.tr ; hkmojjd@gmail.com  
dergipark.org.tr/hkmojjd

**Tasarım ve Mizanpaj / Design & Layout**

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

**Baskı & Cilt / Printing & Binding**

Elma Teknik Basım  
www.elmateknikbasim.com/  
Tel: +90 312 229 92 65

**Basım Tarihi / Publication Date: Kasım 2021 / November 2021**

**Baskı Adedi / Circulation: 2000**

Hakemli bir dergidir. / A Peer - reviewed journal.

Yaygın ve süreli yayındır. / A widely distributed periodical.

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

[Cilt/Volume:08] [Sayı/Issue:02] [Kasım/November 2021] [Dergi No/Journal No.:114]

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

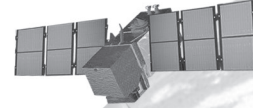


UCTEA

**Chamber of Survey and Cadastre Engineers**

# JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON DERGİSİ

JOURNAL OF  
GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers

# JEODEZİ VE JOURNAL OF GEODESY

## EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İstanbul

## EDİTÖR YARDIMCILARI / CO-EDITORS

Prof. Dr. Tarık TÜRK  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi  
Sivas

Doç. Dr. Nursu TUNALIOĞLU  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İstanbul

## EDİTÖR KURULU / EDITORIAL BOARD

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

Prof. Dr. Atunç PIRTI,  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN,  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

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

Prof. Dr. Cengizhan İPBÜKER,  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Çetin CÖMERT,  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof. Dr. Çetin MEKİK,  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak

Prof. Dr. Devrim AKÇA,  
Işık Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT,  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. Erol KÖKTÜRK,  
Okan Üniversitesi, İstanbul

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

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ,  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. Halil AKINCI,  
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

Prof. Dr. Haluk ÖZENER,  
Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Haluk KONAK,  
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Hülya DEMİR,  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

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

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

Prof. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ,  
Karabük Üniversitesi, Karabük

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

Prof. Dr. Metin SOYCAN,  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA,  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof. Dr. Mustafa TÜRKER,  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Naci YASTIKLI,  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU,  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Necla ULUĞTEKİN,  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR,  
Ankara Üniversitesi, Ankara

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

Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ,  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

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

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

Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU,  
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Uğur DOĞAN,  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

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

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

Doç. Dr. Caner GÜNEY,  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

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

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

Doç. Dr. Murat UYSAL,  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar

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

Doç. Dr. Nusret DEMİR,  
Akdeniz Üniversitesi, Antalya

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

Doç. Dr. Saygın ABDİKAN,  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Doç. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU,  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Doç. Dr. Taylan ÖCALAN,  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. Uğur AVDAN,  
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir

Doç. Dr. Volkan ÇAĞDAŞ,  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

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

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

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

## SAHİBİ (HKMO adına)

OWNER (on behalf of CSCE)

Ali İPEK

HKMO, Ankara

## YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ

MANAGING EDITOR

Timur Bilinç BATUR

HKMO, Ankara

## YAYIN KURULU / PUBLICATION BOARD

Bahattin ERDOĞAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Nursu TUNALIOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Tarık TÜRK, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

Taylan ÖCALAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Onur SEVENCAN, HKMO, Ankara

# JEOİNFORMASYON DERGİSİ AND GEOINFORMATION

## Dergi Hakkında

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

## Amaç ve Kapsam

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

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

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

## Makale Gönderme

Makale gönderme, değerlendirme ve düzenleme süreçleri <http://dergipark.gov.tr/hkmojjd> sistemi üzerinden gerçekleştirilmektedir.

## Telif Hakkı Bildirimi

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

## Yayın Etiği

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

## About the Journal

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

## Aim and Scopes

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

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

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

## Submission of Manuscript

Manuscript submission, review and editing processes are available on <http://dergipark.gov.tr/hkmojjd>

## Copyright Information

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

## Publication Ethics

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

# İÇİNDEKİLER

# CONTENTS

---

## ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Ege Denizi'nde makine öğrenimi yöntemleri ile anlık deniz seviyesi değişimlerinin tahmini  
Forecasting instantaneous sea level changes with machine learning methods in Aegean Sea..... 84-103  
*Ahmet YAVUZDOĞAN, Emine TANIR KAYIKÇI*
- GeoEtrim 2020 executed version: an academic software for geospatial image evaluation  
GeoEtrim 2020 sürümü: Konumsal görüntü değerlendirme için akademik bir yazılım ..... 104-119  
*Yunus Emre ELKAR, Hüseyin TOPAN*
- Akıllı mobil telefonlardan elde edilen çift frekanslı ham GNSS gözlemleri ile PPP konum belirleme performansının araştırılması  
Investigation of PPP performance with dual frequency raw GNSS observations obtained from smartphones..... 120-130  
*Caneren GÜL, Ali Hasan DOĞAN, Taylan ÖCALAN*
- Transversal azimutal projeksiyonlarda Aitoff ve Wagner dönüşümleri  
Aitoff and Wagner transformation in transversal azimuthal projections..... 131-144  
*İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ, Sevgi BÖGE*
- Yağışların tarım alanlarında sebep olduğu göllenmelerin Sentinel-1 uydu görüntüleri ile analizi  
Analysis of pondings caused by rainfall in agricultural areas by using Sentinel-1 satellite images..... 145-160  
*Salih BABAGİRAY, Kaan KALKAN*
- Ordu-Giresun Havalimanı'nın sürekli saçıcılar interferometrisi (PSI) ile deformasyon analizi  
Deformation Analysis of Ordu-Giresun Airport by Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ..... 161-169  
*Çağlar BAYIK*
-



## Ege Denizi'nde makine öğrenimi yöntemleri ile anlık deniz seviyesi değişimlerinin tahmini

Ahmet Yavuzdoğan<sup>1\*</sup>, Emine Tanır Kayıkcı<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye.

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye.

**Öz:** Anlık deniz seviyesinin tahmini, jeodezik düşey datumun belirlenmesi ve güncellenmesi, kıyı alanlarının korunması, kıyı ekosistemlerinin izlenmesi, kıyı yapılarının planlanması ve bakımı, iklim değişikliği etkilerinin gözlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Anlık deniz seviyesi tahmini için kullanılan geleneksel yöntemler genellikle doğrusal varsayımlara dayanmaktadır. Ancak deniz seviyesini etkileyen faktörler çok çeşitlidir ve etkileri bölgeden bölgeye değişmektedir. Genellikle doğrusal olmayan ve karmaşık bağımlılık yapılarına sahiptirler. Bu nedenle, doğrusal olmayan deniz seviyeleri doğrusal modeller kullanılarak yüksek duyarlılıkta belirlenemez. Makine öğrenimi tahmin yöntemleri ise, son zamanlarda değişkenler arasındaki karmaşık bağımlılık yapılarının modellenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, anlık deniz seviyesini yüksek doğrulukta tahmin etmek ve doğrusal tahmin yöntemleri ile doğrusal olmayan tahmin yöntemlerini karşılaştırmak amacıyla makine öğrenimi tahmin yöntemlerinden Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) doğrusal modeli, Destek Vektör Regresyonu (DVR) doğrusal olmayan model ve Rastgele Orman Regresyonu (ROR) doğrusal olmayan model algoritmaları kullanılmış ve tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda anlık deniz seviyesi için en yüksek tahmin performansı ROR ile elde edilmiş olup, en düşük tahmin performansı ise ÇDR yöntemi ile elde edilmiştir. Sonuç olarak anlık deniz seviyelerinin çalışmada kullanılan öncül bilgiler ile ROR kullanılarak yüksek hassasiyette tahmin edilebileceği ve doğrusal tahmin modelinin anlık deniz seviyesinin karmaşık bağımlılık yapısının modellenmesinde yetersiz olduğu gösterilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Deniz seviyesi, Makine öğrenimi, Ege Denizi, Çoklu doğrusal regresyon, Destek vektör, Rastgele orman

### Forecasting instantaneous sea level changes with machine learning methods in Aegean Sea

**Abstract:** Forecasting instantaneous sea-level is of great importance in terms of determination of geodetic vertical datum and updating, conservation of coastal areas, monitoring coastal ecosystems, maintenance, and planning of coastal structures, monitoring of climate change effects. Traditional methods used for instantaneous sea level estimation are often based on linear assumptions. However, contributors to sea levels are very various and their effects vary from region to region. Generally, they have complex and nonlinear dependence structures. Therefore, nonlinear sea-level cannot be determined with high precision using linear models. Recently, machine learning prediction methods have been frequently used in the modelling of complex dependency structures between variables. Within the scope of this study, to predict the instantaneous sea level with high accuracy and to compare linear estimation methods with nonlinear estimation methods, the Multiple Linear Regression (MLR) linear model, Support Vector Regression (SVR) non-linear model, and Random Forest Regression (RFR) non-linear model algorithms were used, and their prediction performances were compared. As a result of the study, the highest prediction performance for instantaneous sea level was obtained with RFR, and the lowest prediction performance was obtained with the MLR method. As a result, it has been shown that instantaneous sea level can be predicted with high precision using RFR with the features used in this study, and the linear prediction models are insufficient in modelling the complex dependency structure of instantaneous sea level.

**Keywords:** Sea level, Machine learning, Aegean Sea, Multiple linear regression, Support vector, Random forest

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 456 233 1754

Geliş Tarihi/Received: 04.07.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 21.12.2020



0000-0002-9898-4946, yavuzdogan@gumushane.edu.tr (Yavuzdoğan A.)\*  
0000-0001-8259-5543, etanir@ktu.edu.tr (Tanır Kayıkcı E.)



## 1. Giriş

Geleceğe yönelik deniz seviyelerinin yüksek doğrulukta tahmin edilmesi Türkiye gibi üç tarafı denizler ile çevrili bir ülke için kıyı alanlarının korunması, kıyı ekosistemlerinin izlenmesi, kıyı yapılarının bakımı ve planlanması, küresel ısınmanın etkilerinin gözlenmesi ve düşey kontrol ağlarının datumunun belirlenmesi açısından son derece önemlidir. Ayrıca deniz seviyesinin yüksek doğrulukta tahmin edilmesi geleceğe yönelik oluşturulacak etkin su ve kıyı politikalarının hazırlanması açısından da büyük önem taşımaktadır. Deniz seviyesi tahmini için kullanılan geleneksel yöntemler genellikle doğrusal varsayımlara dayanmaktadır. Deniz seviyesi değişimini etkileyen sıcaklık, akış, su tuzluluğu, buharlaşma, yağış gibi hem coğrafi hem de meteorolojik birçok değişken ise doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir (Imani, You, & Kuo, 2014a). Üstelik bu etkiler bölgeden bölgeye değişebilen ve oldukça karmaşık bağımlılık yapılarına sahiptir. Bu nedenle, doğrusal olmayan deniz seviyesi zaman serileri doğrusal modeller kullanılarak doğru şekilde temsil edilemez. Üstelik birçok değişkene bağlı olarak değişen deniz seviyesinin yüksek doğrulukta kestirimi zorlaşmaktadır (Talebizadeh & Moridnejad, 2011).

Geçmişte deniz seviyesi tahmini için birçok çalışma yapılmıştır. Irvine ve Eberhardt (1992), deniz seviyesini tahmin etmek için aylık ortalama deniz seviyesi verilerini kullanarak Erie Gölü ve Ontario Gölü için otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA) modellerini geliştirdi. Brundrit (1995), 8 mareograf istasyonunda deniz seviyesini modellemek için ARIMA modellerini kullandı. Vaziri (1997), 12 aylık Hazar Denizi seviyesini tahmin etmek için ARIMA ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modellerini kullandı. Meshkani ve Meshkani (1997) Hazar Denizi'ndeki stokastik deniz seviyesindeki dalgalanmaları modellemek için ARIMA modellerini kullandı. Şen, Kadioğlu ve Batur (2000) göl seviyesi kayıtlarındaki deterministik kısmı modellemek için basit doğrusal ve periyodik doğrusal olmayan modeller kullanmıştır. Söz konusu çalışmada kullanılan doğrusal model, basit bir doğrusal regresyondur. Göl seviyesi kayıtlarının doğrusal olmayan modellemesi için ikinci dereceden bir Markov modeli ve Fourier serisi kullanılmıştır. Srivastava vd. (2016), üstel yumuşatma durum-uzay modelleri (Exponential smooting state-space, ESM) ve ARIMA modelini kullanarak, deniz seviyesindeki yükselme için nicel tahmin yöntemlerinin birleşik kullanımını araştırmışlardır. Fu, Zhou, Sun ve Tang (2019), deneysel mod ayrıştırma, tekil spektrum analizi ve uydudan türetilen deniz seviyesi anomali tahmini için en küçük kareleri birleştiren bir hibrit model uygulamıştır. Ancak ARIMA veya Box-Jenkins gibi bazı geleneksel yöntemler (Box, Jenkins, Reinsel, & Ljung, 2015), bir zaman serisinin doğrudan doğrusal bir süreçten üretildiğini varsaydığından, doğrusal olmayan deniz seviyesi zaman serilerini iyi modelleyemeyebilir (Imani, You, & Kuo, 2014b).

YSA, Destek Vektör Makineleri (DVM), Karar Ağacı teknikleri ve bulanık mantık gibi yapay zekâ (Artificial Intelligence, AI) teknikleri; hidroloji ve su kaynakları mühendisliğinde doğrusal olmayan karmaşık olayları modellemek için sıklıkla kullanılmaktadır (Huang, Peng, Zhang, & Zhang, 2006; Kisi, Shiri, & Nikoofar, 2012; More & Deo, 2003; Wu & Chau, 2010). Son zamanlarda özellikle DVM'ler ve Rastgele Orman (Random Forest, RO) gibi bazı doğrusal olmayan makine öğrenimi yöntemleri de zaman serilerinin tahmininde sıklıkla kullanılmaktadır (Ghorbani, Khatibi, AYTEK, Makarynsky, & Shiri, 2010; Güven & Günal, 2008; Kim, 2003; Rajasekaran, Gayathri, & Lee, 2008; Yu, Chen, & Chang., 2006).

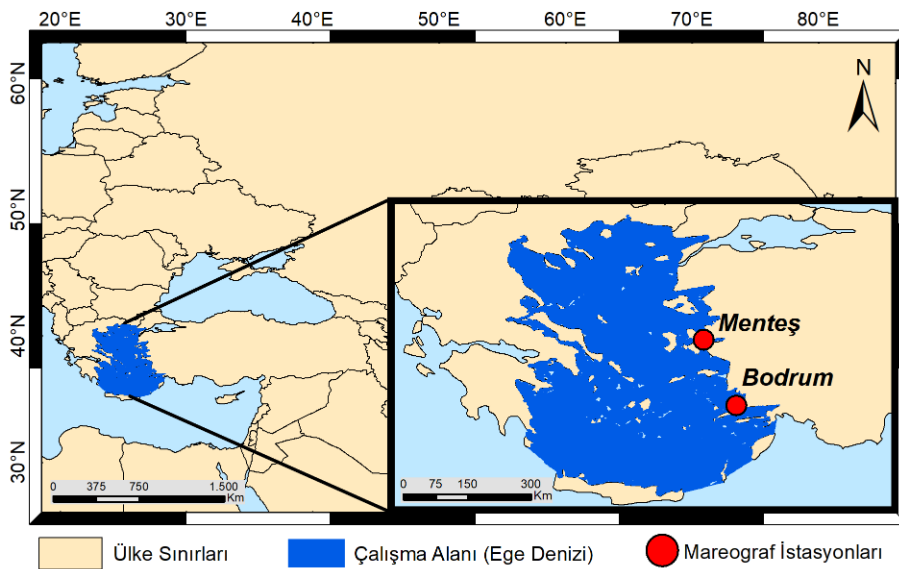
Ayrıca makine öğrenimi yöntemleri birçok kez anlık deniz seviyelerini modellemek amacıyla kullanılmıştır. Imani vd. (2014a) yaptığı çalışmada Hazar Denizi'nde DVM kullanarak anlık deniz seviyesini 35 mm karesel ortalama hata (Root Mean Square Error, RMSE) ile belirlemiştir. Ertuğrul ve Tağluk (2017) tarafından yapılan çalışmada ise ortalama deniz seviyeleri Genelleştirilmiş Davranışsal Öğrenme Metodu (Generalized Behavioral Learning Method, GBLM) yöntemi ile tahmin edilmiştir. Bu çalışmada GBLM ile ortalama deniz seviyeleri 69.152 mm ortalama hata ile belirlenmiştir. Imani, Kao, Lan ve Kuo (2018) yaptığı çalışmada Taivan Chiayi kıyılarında anlık deniz seviyesini belirlemek için radyal temelli fonksiyon (Radial Basis Function, RTF), özel bir vektör makinesi yöntemi olan RVM (Relevance Vector Machine), Aşırı

Öğrenme Makinesi (Extreme Learning Machine, ELM) ve DVM yöntemlerini kullanmıştır. En iyi performansı 34 mm RMSE ile RVM algoritması göstermiştir. [Roshni, Samui ve Drisya \(2019\)](#) de çalışmalarında anlık deniz seviyelerini tahmin etmek için 3 farklı makine öğrenimi algoritması kullanmıştır. Bu algoritmalar RVM, ELM ve Gauss Süreç Regresyonu (Gaussian Process Regression, GPR) algoritmalarıdır. Anlık deniz seviyesini tahmin edebilmek amacıyla meteorolojik değişkenlerden faydalanmışlardır. En iyi tahmin performansı 75 mm RMSE ve 0.96 korelasyon katsayısı ile GPR algoritması ile elde edilmiştir. Anlık deniz seviyesinin tahmini için birçok çalışmada YSA'lar da kullanılmıştır ([Imani, You, & Chung-Yen, 2013](#); [Imani vd., 2014b](#); [Makarynsky, Makarynska, Kuhn, & Featherstone, 2004](#); [Zhao, Fan, & Mu, 2019](#)).

Bu çalışma kapsamında anlık deniz seviyesini yüksek hassasiyetle tahmin edebilmek amacıyla 3 makine öğrenimi algoritması uygulanmış ve tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerden Çoklu Doğrusal Regresyon (Multiple Linear Regression, ÇDR) algoritması ile anlık deniz seviyesi doğrusal bir model ile tahmin edilmiştir. Böylece doğrusal bir model ile karmaşık bağımlılık yapısına sahip anlık deniz seviyesi değişimlerinin ne kadar hassasiyetle tahmin edileceği gösterilmiştir. Deniz seviyesi tahmini için kullanılan bir diğer fonksiyon olan Destek Vektör Regresyonu (Support Vector Regression, DVR) algoritması ile radyal temelli fonksiyon içeren bir çekirdek fonksiyonu kullanılarak, doğrusal olmayan bir model ile anlık deniz seviyeleri modellenmiştir. Son olarak kullanılan RO Regresyonu (ROR) algoritması ile ağaç algoritma yapısındaki bir fonksiyon ile doğrusal olmayan bir model kullanılarak anlık deniz seviyesi tahmin etmek amaçlanmıştır. Ağaç algoritma yapısı ile çok karmaşık bağımlılıklar modellenilebilmekte ve doğrusal olmayan ilişkiler açığa çıkarılabilmektedir.

## 2. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Bu çalışma kapsamında kullanılan iki mareograf istasyonuna (Menteş ve Bodrum) ait deniz seviyesi, hava sıcaklığı, hava nemi, hava basıncı, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) kapsamında Harita Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan internet adresinden elde edilmiştir ([URL-1](#)) (Şekil 1). Ege Denizi'nde bulunan Mentеш ve Bodrum istasyonlarından elde edilen ham veriler saatlik alınmış olup, Mentеш istasyonu için veriler 1999 – 2014 aralığını, Bodrum istasyonu için ise 1999 – 2010 aralığını kapsamaktadır.



Şekil 1: Çalışma alanı ve mareograf istasyonları

### 3. Yöntem

#### 3.1 Veri Önışleme İşlemleri

Mareograf istasyonlarında kaydedilen anlık deniz seviyesi ölçümlerinin çeşitli analiz algoritmalarında kullanılması için uyumsuz ölçü testlerinin yapılması gerekmektedir. Zaman serilerindeki uyumsuz ölçüler genellikle zaman serisinin diğer değerleri ile belirgin derecede farklılık gösterirler. Bu nedenle ilk önışleme adımı olarak deniz seviyesi zaman serilerindeki uyumsuz ölçülerin tespit edilerek ölçü kümesinden çıkarılması gerekmektedir. Ancak zaman serilerinde uyumsuz ölçü testi; trend, mevsimsel, dönemsel bileşen etkisi giderilmiş rastgele bileşene uygulanır. Bu çalışma kapsamında Bölüm 3.2.'de anlatıldığı şekilde deniz seviyesi zaman serilerinde trend bileşeni, basit doğrusal regresyon modeli ile mevsimsel değişimler ve dönemsel değişimler harmonik analiz yöntemiyle belirlenmiştir. Ardından trend, mevsimsel ve dönemsel bileşenden arındırılmış rastgele bileşene uyumsuz ölçü testi uygulanmıştır. Zaman serilerindeki uyumsuz ölçülerin tespit edilmesi için literatürde en sık kullanılan yöntemlerden biri k-sigma kuralıdır. Yöntemle, zaman serisinde rastgele bileşene ait ölçünün düzeltilmesi, birim ağırlıklı ölçünün ortalama hatasının k katını aşmıyor ise, o ölçü uyumsuz ölçü olarak ele alınır. Uyumsuz ölçü testinde k sınır değeri olarak  $\alpha$  yanılma olasılıklarına karşılık gelen ve normal dağılım tablosundan alınan 1.645, 2.58 ve 3.29 değerleri kullanılır. Genellikle k sınır değeri 3 olarak uygulanır. Bu durumda yöntem 3-sigma yöntemi olarak da anılır.

Bu çalışma kapsamında, mareograf istasyonlarından elde edilen anlık deniz seviyesi zaman serilerindeki uyumsuz ölçüler 3-sigma yöntemiyle tespit edilerek ölçü kümesinden çıkarılmıştır. Ardından deniz seviyesi zaman serilerindeki veri alınamayan zamanlara ait veri boşlukları hareketli medyan (moving median) yöntemine göre enterpolasyon ile tamamlanmıştır. Hareketli medyan yöntemi lineer enterpolasyon yöntemlerine göre zaman serisindeki doğrusal olmayan bağımlılıkları koruması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu çalışmada ise deniz seviyesi zaman serilerindeki doğrusal olmayan bağımlılıkların korunması ve öğrenme algoritmalarının doğrusal olmayan ilişkileri de öğrenebilmeleri amacıyla veri boşlukları hareketli medyan yöntemi ile enterpolasyon yapılarak doldurulmuştur.

Çalışmada, bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait veriler herhangi bir işlemde kullanılmadan önce ağırlık merkezine ötelenmiş ve normlandırılmıştır. Bu sayede matrislerde oluşabilecek kondisyon bozuklukları giderilmiştir.  $X_i$  bağımsız değişkenleri ve  $Y_i$  bağımlı değişkenleri için  $X_i'$  ve  $Y_i'$  ötelenmiş değerleri,  $n$  veri sayısını göstermek üzere;

$$X_{i_{ort}} = \frac{[X_i]}{n} \quad Y_{i_{ort}} = \frac{[Y_i]}{n} \quad (1)$$

$$X_i' = X_i - X_{i_{ort}} \quad Y_i' = Y_i - Y_{i_{ort}} \quad (2)$$

şeklinde elde edilir.  $X''$  ve  $Y''$  normlandırılmış değerler;

$$c_x = \sqrt{[X_i'^2]} \quad c_y = \sqrt{[Y_i'^2]} \quad (3)$$

$$X_i'' = \frac{X_i'}{c_x} \quad Y_i'' = \frac{Y_i'}{c_y} \quad (4)$$

formülleri ile hesaplanmıştır. Böylece  $X_i$  bağımsız değişkenleri ve  $Y_i$  bağımlı değişkenleri için  $X_i''$  ve  $Y_i''$  ötelenmiş ve normlandırılmış değerleri elde edilmiş ve makine öğrenimi algoritmalarında ötelenmiş ve normlandırılmış değişkenler kullanılmıştır.

### 3.2 Öncül Bilgi (Öznitelik) Çıkarımı

Uyuşumsuz ölçülerden arındırılmış deniz seviyesi değişim verileri ile anlık deniz seviyelerini tahmin etmek için kullanılacak öncül bilgilerin (öznitelik) elde edilmesi için en küçük kareler doğrusal regresyon ve klasik harmonik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Burada;

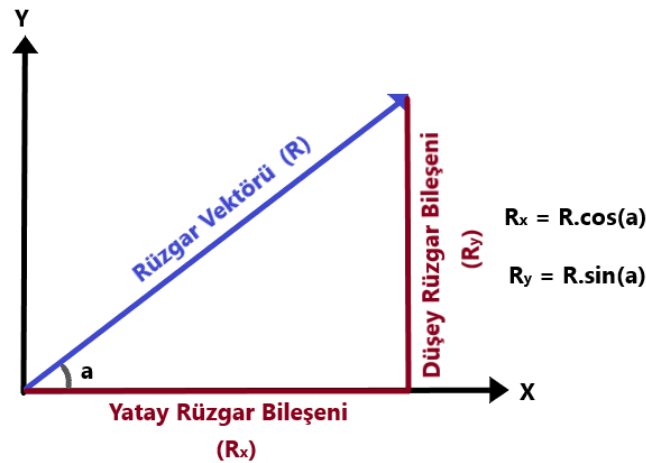
**Doğrusal Model:** Anlık deniz seviyesini tahmin etmek için kullanılan çok değişkenli tahmin modeli,

**Doğrusal Trend:** Anlık deniz seviyesinin uzun zaman içerisinde gösterdiği 1. dereceden olan eğilimi,

**Doğrusal Regresyon:** Doğrusal trendi ortaya çıkarmak için kullanılan yöntemi,

ifade etmektedir. Deniz seviyesi zaman serilerinin trend bileşeni, basit doğrusal regresyon modeli ile elde edilirken, mareograf istasyonlarındaki gelgit bileşenleri, mevsimsel değişimler ve dönemsel değişimler harmonik analiz yöntemi ile elde edilmiştir. Bu öncül bilgilerin Ege Denizi'ndeki anlık deniz seviyesinin temel bileşen özellikleri hakkında makine öğrenimi algoritmalarına öncül bilgi sağlaması amaçlanmaktadır. Bu nedenle makalenin geri kalanında deniz seviyesi zaman serilerinin trend ve harmonik bileşenleri "deniz seviyesi temel bileşenleri" olarak adlandırılmıştır.

Deniz seviyesini etkileyen önemli etkilerden biri olan rüzgarlar, vektörel bir büyüklük olduğundan, ham veri setinde bulunan rüzgar hızı ve rüzgar yönü değişkenleri ile mareograf istasyonundaki düşey ve yatay yönlerindeki rüzgar bileşenleri Şekil 2'deki gibi çıkarılmıştır.



Şekil 2: Yatay ve düşey rüzgar bileşenleri

#### 3.2.1 Deniz Seviyesi Zaman Serisinin Doğrusal Trendinin Çıkarılması

Trend, uzun dönemdeki eğilimleri yansıtması bakımından zaman serisinin temel bileşenlerinden biridir. Deniz seviyeleri için ise tarihsel verilerden yola çıkılarak geleceğe yönelik deniz seviyesi değişimi hakkında önemli bilgiler içerir. Bu nedenle Ege Denizi'ndeki genel deniz seviyesi değişimi hakkında makine öğrenimi algoritmalarına bilgi sağlayabilmek amacıyla doğrusal trend, En Küçük Kareler Regresyonu (EKKR) ile elde edilmiştir. EKKR ile doğrusal trend denklemi;

$$Y_i + v_i = a_0 + a_1 X_i \quad (5)$$

şeklinde yazılır. Burada  $a_0$  katsayısı doğrunun y ekseninde kestiği noktayı ve  $a_1$  katsayısı ise doğrunun eğimini göstermektedir.  $v_i$  regresyon modeline ait düzeltme değerini,  $X_i$  bağımsız değişken,  $Y_i$  ise bağımlı değişken değerlerini göstermektedir. EKKR'ye göre regresyon katsayılarının hesaplanmasında regresyon modeli için düzeltme denklem sistemi,

$$\mathbf{y} + \mathbf{v} = \mathbf{Ax} \quad (6)$$

olarak kurulur. Burada  $\mathbf{A}$  katsayılar matrisi,  $\mathbf{x}$  bilinmeyenler vektörü ve  $\mathbf{v}$  düzeltme vektörüdür;

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 \\ 1 & X_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & X_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{v} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

Burada  $n$  veri boyutudur. (6) eşitliğindeki düzeltme denklem sisteminin EKK ilkesine göre çözümü sonucunda bilinmeyenler

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{y} \quad (8)$$

olarak elde edilir.

### 3.2.2 Mevsimsel, Dönemsel ve Gelgit Bileşenlerinin Çıkarılması

Deniz seviyesi değişimlerinin en önemli nedenlerinden biri gelgitlerdir. Gelgitler deniz seviyeleri üzerinde oldukça düzenli ve harmonik etkilere sahiptir. Bu nedenle deniz seviyesi tahmin çalışmalarında gelgit modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Astronomik gelgit bileşenleri Tablo 1'deki bileşenlerle ifade edilir (Yüksel & Esin, 2016; Yüksel vd., 2018).

Tablo 1: Astronomik gelgit bileşenleri

Kaynak	Periyot (saat)
Main lunar, yarı-günlük	12.42
Main solar, yarı-günlük	12.00
Lunar elliptic, yarı-günlük	12.66
Lunar-solar, yarı-günlük	11.97
Lunar solar, günlük	23.93
Main lunar, günlük	25.82
Main solar, günlük	24.07
Lunar fortnightly (15 günlük), uzun periyotlu	327.86
Lunar monthly (aylık), uzun periyotlu	661.30

Bu etkilerin dışında gelgit hareketleri, meteorolojik etkiler, sığ sularda meydana gelen taban sürtünmeleri gibi birçok farklı faktörle de ilişkilidir. Zaman serilerinde gelgit sinyalleri birçok farklı genlik ve frekansa sahip harmonik sinyallerin toplamı şeklinde ifade edilmektedir. Bu sinyaller yarı-günlük, günlük veya daha uzun periyotlarda olabilir. Bir harmonik model;

$$h_i = Z_o + at_i + \sum_{j=1}^M A_j \cos(\omega_j t_i - \theta_j) \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir (Teferle, 2003). Gelgiti oluşturan her bir bileşene ait genlik ve faz değerleri klasik harmonik analizlerle belirlenir. Bir sinyale ait genlik ve faz açıları (9) eşitliğinde verilen formül genişletilerek elde edilir (Sezen, 2006; Teferle, 2003).

$$A_j \cos(\omega_j t_i - \theta_j) = A_j [\cos(\omega_j t_i) \cos(\theta_j) + \sin(\omega_j t_i) \sin(\theta_j)] \quad (10a)$$

$$A_j \cos(\theta_j) = B_j \quad (10b)$$

$$A_j \sin(\theta_j) = C_j \quad (10c)$$

$$\omega_j = 2\pi f_j \quad (10d)$$

kabulleri yapılarak harmonik analiz denkleminde yerine konulursa;

$$h_i = Z_0 + a(t_i - t_0) + \sum_{j=1}^M B_j \cos(2\pi f_j(t_i - t_0)) + C_j \sin(2\pi f_j(t_i - t_0)) \quad (11)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemlere göre  $t_0$  başlangıç epogunda  $\mathbf{A}$  katsayılar matrisi ve  $\mathbf{x}$  bilinmeyenler vektörü aşağıdaki gibi yazılır. Her periyodik etkiye karşılık  $\mathbf{A}$  matrisine 2 sütun eklenir (Sezen, 2006; Teferle, 2003).

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & t_1 - t_0 & \sin(2\pi f_1(t_1 - t_0)) & \cos(2\pi f_1(t_1 - t_0)) \\ 1 & t_2 - t_0 & \sin(2\pi f_1(t_2 - t_0)) & \cos(2\pi f_1(t_2 - t_0)) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & t_{N-1} - t_0 & \sin(2\pi f_1(t_{N-1} - t_0)) & \cos(2\pi f_1(t_{N-1} - t_0)) \\ 1 & t_N - t_0 & \sin(2\pi f_1(t_N - t_0)) & \cos(2\pi f_1(t_N - t_0)) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} Z_0 \\ a \\ B_1 \\ C_1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

EKK yöntemine göre yapılan dengeleme işlemi sonucunda her bir periyodik bileşen için B ve C katsayıları ile genlik ve faz açısı;

$$A_j = \sqrt{B_j^2 + C_j^2} \quad \text{ve} \quad \theta_j = \arctan \frac{C_j}{B_j} \quad (13)$$

formülleri ile elde edilir. Burada;

- $h_i$  :  $t_i$  zamanındaki ortalama deniz seviyesi değeri
- $t_i$  : başlangıç epogundan itibaren geçen gün sayısı
- $a$  : doğrusal trend
- $Z_0$  : başlangıç epogundaki ortalama deniz seviyesi
- $M$  : modelde kullanılan anlamlı gelgit bileşenlerinin toplam sayısı
- $N$  : aylık toplam ortalama değer sayısı
- $A_j, \omega_j, \theta_j$  : j. bileşenin genliği, frekansı ve faz açısıdır.

Klasik harmonik analizle ilgili ayrıntılı bilgiler Pugh (1996) çalışmasından elde edilebilir. Bu çalışma kapsamında klasik harmonik analiz yöntemi ile mareograf istasyonlarında kaydedilen deniz seviyesi zaman serilerinde mevsimsel, dönemsel ve gelgit bileşenleri Pawlowicz, Beardsley ve Lentz (2002) tarafından geliştirilen, MATLAB tabanlı T\_TIDE yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Bu yazılım ile gelgitlere sebep olan en temel 64 farklı bileşene ait sinyallerin faz, genlik ve frekans değerleri hesaplanabilmektedir. Bu nedenle oşinografi ile ilgili çalışmalarda özellikle genlik bileşenlerinin modellenmesi için T\_TIDE yazılımı sıklıkla kullanılmaktadır (Arns vd., 2020; Costa vd., 2020; Juva, Flögel, Karstensen, Linke, & Dullo, 2020). Bu çalışma kapsamında harmonik analiz yöntemi ile belirlenen gelgit bileşenleri, mevsimsel bileşenler ve dönemsel bileşenler ‘‘Harmonik Bileşenler’’ olarak adlandırılmıştır.

### 3.3 Deniz Seviyesi Tahmini İçin Makine Öğrenimi Algoritmaları

Bu çalışmada Ege Denizi'ndeki anlık deniz seviyesi 3 farklı makine öğrenimi algoritması kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu yöntemler regresyon temelli algoritmalarıdır. Regresyon problemlerinde amaç bağımsız değişkenlerden bağımlı değişkene giden yolun bulunmasıdır. Bu yol sadece bir korelasyon katsayısı ile ifade edilemeyecek kadar kompleks bir yapıda olabilir. Bu nedenle regresyon problemleri için birçok farklı algoritma geliştirilmiştir. Algoritmaların başarısı kullanılan veri yapısına ve değişkenler arasındaki ilişkinin karmaşıklığına göre değişmektedir. İlgili çalışma kapsamında deniz seviyesi tahmini için CDR, DVR, ROR algoritmaları kullanılmıştır.

### 3.3.1 Çoklu Doğrusal Regresyon

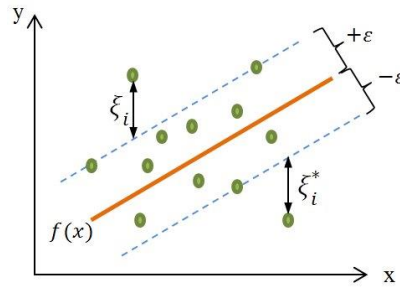
ÇDR algoritması temelde birçok bağımsız değişken kullanılarak bir bağımlı değişkeni bulacak çok boyutlu doğru denkleminin elde edilmesi işlemidir. ÇDR algoritması genellikle bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki varsa doğru sonuçlar verebilmektedir. ÇDR ile değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren doğru denklemi;

$$y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n \quad (14)$$

şeklinde yazılır. Burada  $y$  bağımlı değişkeni  $b_n$  ise  $n$ . bağımsız değişkeni ifade etmektedir.

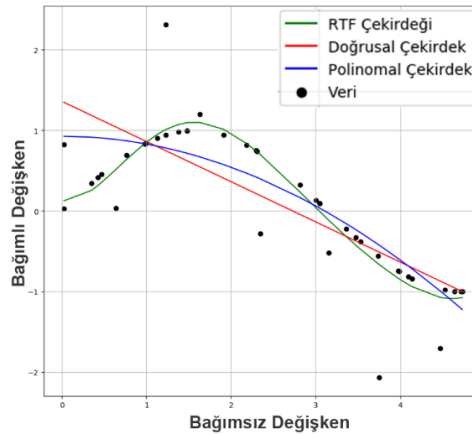
### 3.3.2 Destek Vektör Regresyonu

DVR algoritması ise DVM algoritmasına dayalı sınıflandırma algoritmasının tahmin uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş özel bir formudur. Günümüzde birçok sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılmakta olan DVM algoritması ilk olarak Cortes ve Vapnik (1995) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Regresyon problemlerinde kullanılan DVR algoritması ise ilk olarak Drucker, Burges, Kaufman, Smola ve Vapnik (1997) çalışması ile sunulmuştur. DVR algoritmasında amaç fonksiyonu, bir marjın aralığına ( $\epsilon$ ) maksimum sayıda noktayı en küçük hata ile alabilecek doğru veya eğri fonksiyonunun belirlenmesidir (Müller vd., 1997) (Şekil 3).



Şekil 3: DVR algoritması (Chanklan vd., 2018)

DVR algoritmasının önemli bir parametresi de çekirdek (kernel) fonksiyonudur. Çekirdek fonksiyonu ile tahmin edilecek regresyon çizgisinin şekli belirlenebilmektedir. Çekirdek fonksiyonunun bir doğru denklemi seçilmesi halinde değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiler DVR ile belirlenir. Çekirdek fonksiyonu polinomal bir eğri fonksiyonu olabileceği gibi DVR uygulamalarında sıklıkla kullanılan RTF de olabilir (Şekil 4).



Şekil 4: DVR algoritmasında çekirdek fonksiyonları

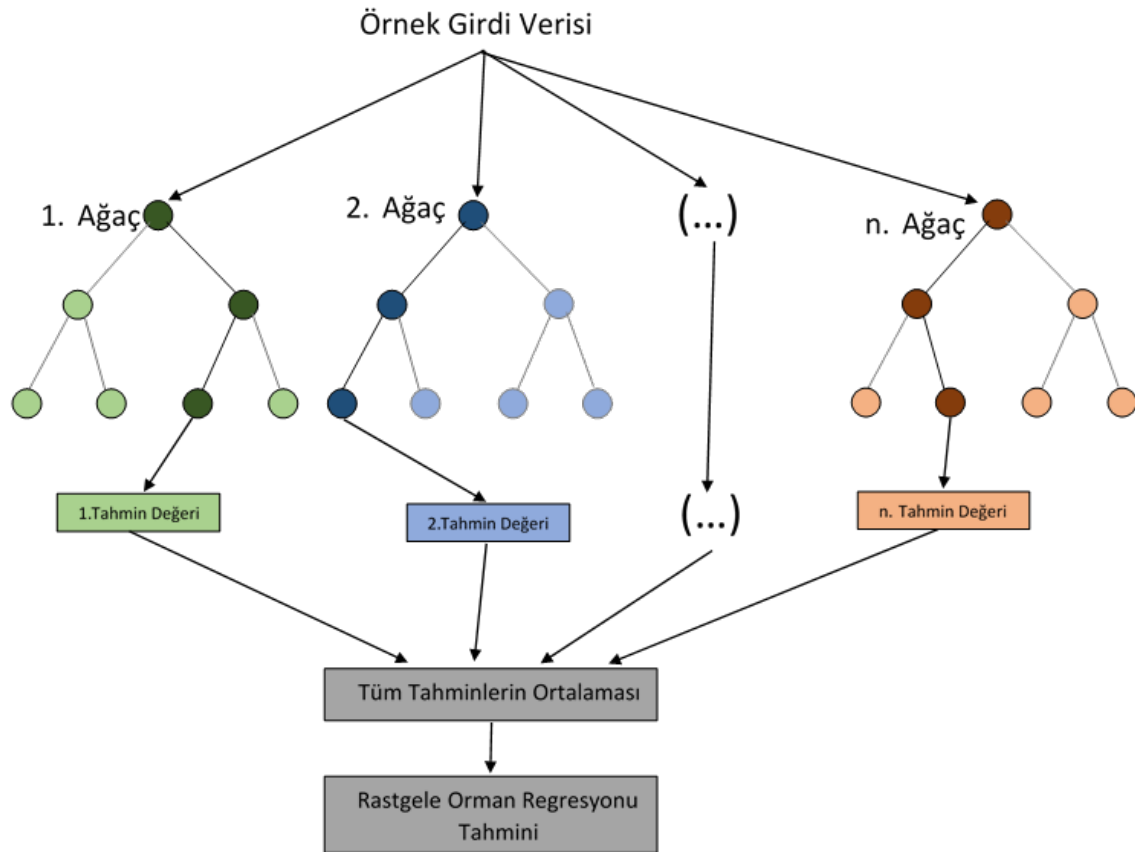
### 3.3.3 Rastgele Orman Regresyonu

ROR algoritması, tahmin uygulamalarında bağımlı değişkeni tahmin etmek için birçok karar ağacı yapısının kullanıldığı bir regresyon yöntemidir. Karar ağaçları ise düğümlerinde karar değişkenlerini, yapraklarında tahmin değerlerini bulunduran bir yapıya sahiptir. Karar ağaçlarında amaç, hata fonksiyonunun değerini minimuma indirmektir. Hata fonksiyonu bir hata metriği yardımıyla ölçülebilir. Bu çalışmada RO'da bulunan karar ağaçlarının hata fonksiyonları için karesel hataların toplamı (Sum of Squared Errors, SSE) metriği kullanılmıştır.  $\bar{X}$ , bağımsız  $x$  değişkenlerinin ortalamasını göstermek üzere SSE ve Hata Fonksiyonu (HF);

$$SSE = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 \quad (15a)$$

$$HF = \frac{M_{sol}}{M} MSE_{sol} + \frac{M_{sag}}{M} MSE_{sag} \quad (15b)$$

formülleri ile hesaplanır. Burada  $M$  örnek sayısını göstermektedir (Gülaçar, 2018). ROR'da oluşturulan rastgele alt kümeler ile çok sayıda karar ağacının çıktı verilerinin ortalaması alınarak son tahmin değeri belirlenir (Şekil 5).



Şekil 5: ROR algoritma yapısı

### 3.4 Algoritmaların Performanslarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada algoritmaların hem eğitim hem de test veri setlerinde model performanslarını karşılaştırmak amacıyla zaman serisi tahmin çalışmalarında sıklıkla kullanılan  $r$  (Pearson korelasyon katsayısı) ve  $RMSE$  metrikleri kullanılmıştır.  $r$  korelasyon katsayısı model verilerinin gerçek veriler ile uyumluluğunun bir ölçümü iken,  $RMSE$  gerçek veriler ile model verileri arasındaki farkı gösteren bir metriktir.  $r$  ve  $RMSE$  metrikleri;



$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(y_i^p - \bar{y}^p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (y_i^p - \bar{y}^p)^2}} \quad (16a)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^p)^2}{n}} \quad (16b)$$

formüllerini kullanılarak hesaplanabilir. Burada  $y_i$  ve  $y_i^p$  sırasıyla  $i$ . zamanda gözlemlenen ve tahmin edilen verileri,  $n$  veri sayısını,  $\bar{y}$  ve  $\bar{y}^p$  ortalama gözlem ve ortalama tahmin değerlerini göstermektedir.

#### 4. Sayısal Uygulama

Bu çalışma kapsamında Ege Denizi'nde bulunan 2 mareograf istasyonundaki anlık deniz seviyesi değişimlerini tahmin etmek amacıyla, meteorolojik değişkenler (hava sıcaklığı, hava basıncı, hava nemi, düşey ve yatay rüzgâr bileşenleri) ve deniz seviyesi temel bileşenleri (doğrusal trend ve harmonik bileşenler) kullanılarak 3 farklı makine öğrenimi algoritması ile tahmin modelleri geliştirilmiş ve uygulanan modellerin performansları karşılaştırılmıştır.

##### 4.1 Deniz Seviyesi Temel Bileşenlerinin Öncül Tahmini

Deniz seviyesi temel bileşenleri olan trend ve harmonik bileşenlerinin öncül tahminleri makine öğrenimi algoritmalarında öncül bilgi (öznitelik) olarak kullanılmıştır. Bodrum ve Menteş istasyonları zaman serilerinde trend bileşeninin öncül tahmini için uygulanan basit doğrusal regresyon modelinden elde edilen  $a_1$  eğim katsayısı için parametre anlamlılık testi uygulanmıştır.  $a_1$  eğim katsayısı için

$$t_{a_1} = \frac{|a_1|}{m_{a_1}} \quad (17)$$

olarak elde edilen test değerleri  $\alpha = 0.05$  yanılma olasılığı ve  $f = n - 2$  serbestlik derecesi ile  $t$  dağılım tablosundan alınan tablo değeri 1.96 değerleriyle karşılaştırılmıştır (Tablo 2-3).

**Tablo 2:** Bodrum istasyonu doğrusal trend bileşeni katsayı anlamlılık testi

$a_1$ katsayısı	Test değeri	T-Tablo değeri	Sonuç
0.1234	38.3583	1.96	$a_1$ anlamlı

**Tablo 3:** Menteş istasyonu doğrusal trend bileşeni katsayı anlamlılık testi

$a_1$ katsayısı	Test değeri	T-Tablo değeri	Sonuç
0.1461	54.1474	1.96	$a_1$ anlamlı

Basit doğrusal regresyon modeli ile trend bileşeninin öncül tahmini yapıp trend etkisi giderilmiş deniz seviyesi zaman serileri elde edilmiştir. Daha sonra, harmonik bileşenlerin öncül tahmini için trend etkisi giderilmiş zaman serilerine harmonik analiz uygulanmıştır. İstasyonlardaki bu harmonik bileşenlerin çıkarılması için zaman serisinde bulunabilecek uzun dönemli, yıllık, yarı yıllık, aylık, 15 günlük, günlük ve yarı-günlük ve daha kısa süreli sinyaller incelenmiştir. Yapılan harmonik analiz sonucunda istasyonlardaki saatlik deniz seviyesi zaman serilerinden elde edilen sinyallerin genlik, faz ve frekans değerleri Tablo 4 ve Tablo 5'teki gibidir.

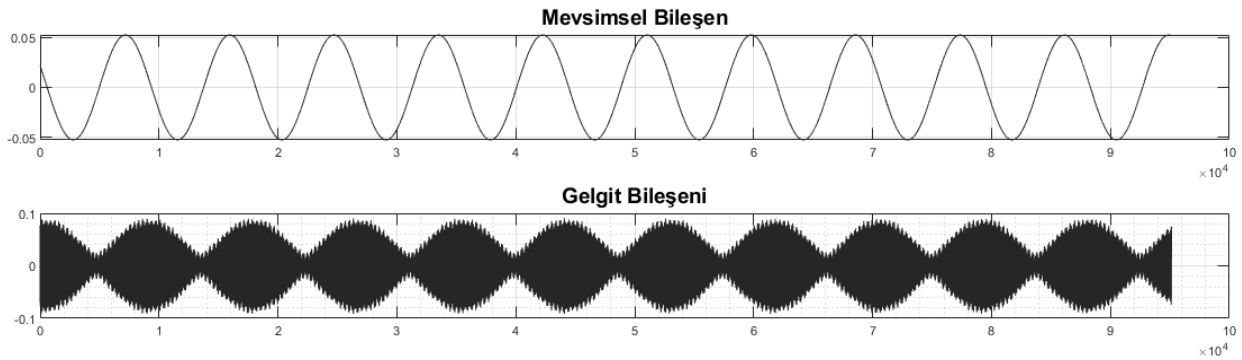
**Tablo 4:** Menteş istasyonunda anlamlı sinyallerin frekans, genlik ve faz değerleri

Sinyal adı	Frekans	Genlik	Genlik duyarlılığı	Faz	Faz duyarlılığı
SA	0.000114	0.2238	0.090	147.03	25.37
P1	0.041553	0.0227	0.011	347.13	29.63
PSII	0.041895	0.0213	0.013	105.85	30.58
M2	0.080511	0.0336	0.021	105.96	37.65
H2	0.080626	0.1434	0.022	96.71	8.82
T2	0.083219	0.0348	0.020	286.82	36.62
S2	0.083333	0.0336	0.023	300.17	36.40
R2	0.083447	0.0391	0.023	337.69	29.18
2MN6	0.240022	0.0051	0.003	60.33	37.08

**Tablo 5:** Bodrum istasyonunda anlamlı sinyallerin frekans, genlik ve faz değerleri

Sinyal adı	Frekans	Genlik	Genlik duyarlılığı	Faz	Faz duyarlılığı
SA	0.000114	0.0524	0.009	109.53	9.72
O1	0.038731	0.0027	0.001	162.68	32.98
PSII	0.041895	0.0034	0.001	230.73	22.32
H2	0.080626	0.0060	0.002	352.52	19.84
R2	0.083447	0.0061	0.002	179.95	22.85
M4	0.161023	0.0001	0.000	203.53	44.66

Burada SA bir yıllık periyoda sahip mevsimsel bileşeni, P1 - PSII - O1 günlük periyoda sahip günlük gelgit bileşenini, M2 - H2 - T2 - S2 - R2 sinyalleri yarım günlük gelgit bileşenlerine ait sinyalleri, M4 6 saatlik gelgit bileşenini ve 2MN6 sinyali ise 4 saatlik gelgit bileşenini göstermektedir. Bodrum istasyonu için bulunan mevsimsel bileşen ve anlamlı gelgit sinyallerinin toplamı olan gelgit bileşeni Şekil 6'da verilmiştir.

**Şekil 6:** Bodrum istasyonu için mevsimsel bileşen ve gelgit bileşeni

Öncül bilgiler;

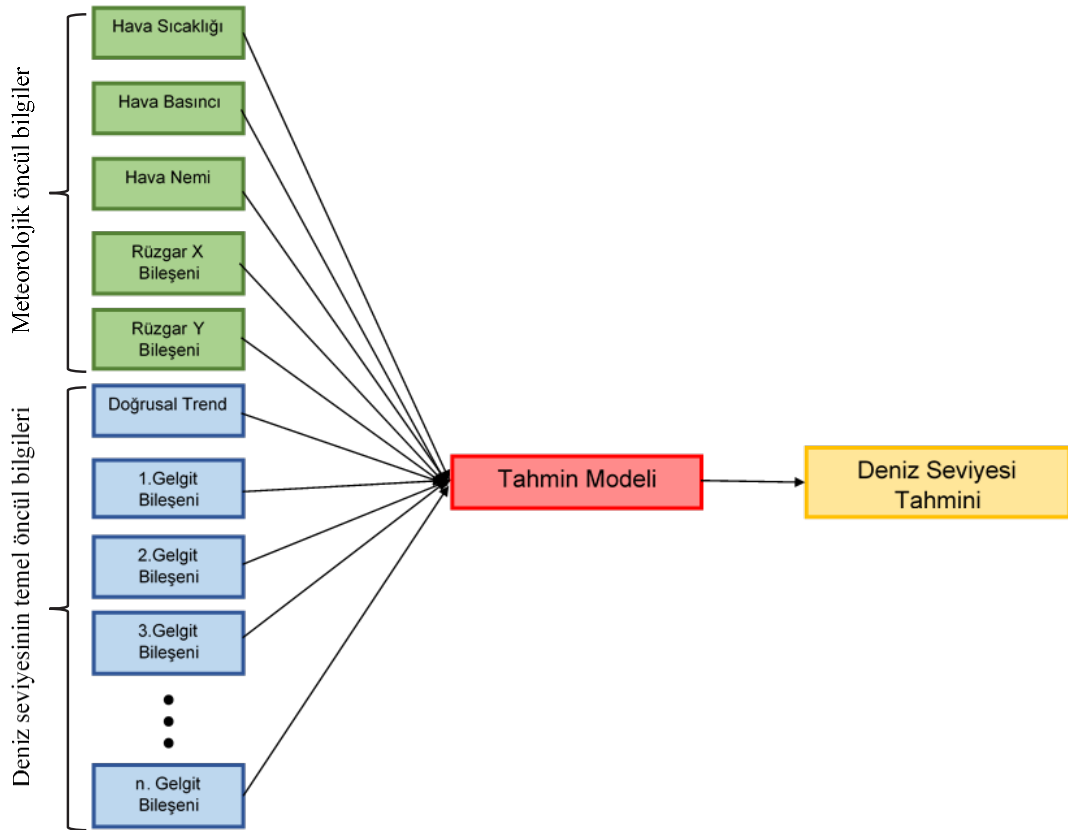
- Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen doğrusal trend bileşenleri,
- Tablo 4, Tablo 5'te verilen ve Şekil 6'da gösterilen harmonik bileşenleri,
- İstasyonlarda kaydedilen meteorolojik bileşenleri (hava sıcaklığı, hava basıncı, hava nemi, x yönündeki rüzgar bileşeni, y yönündeki rüzgar bileşeni)

olarak belirlenmiştir. Bu şekilde trend ve harmonik bileşenlerden oluşan temel öncül bileşenler ve meteorolojik bileşenlerle,

Bodrum istasyonu için 12 adet, Menteş istasyonu için ise 15 adet farklı öncül bilgi değişkeni kullanılmıştır. İstasyonlardaki öncül bilgi (öznitelik) çıkarımı tamamlandıktan sonra makine öğrenimi algoritmalarının eğitimi ve test edilmesi aşamasına geçilmiştir.

## 4.2 Makine Öğrenimi Algoritmalarının Eğitilmesi ve Test Edilmesi

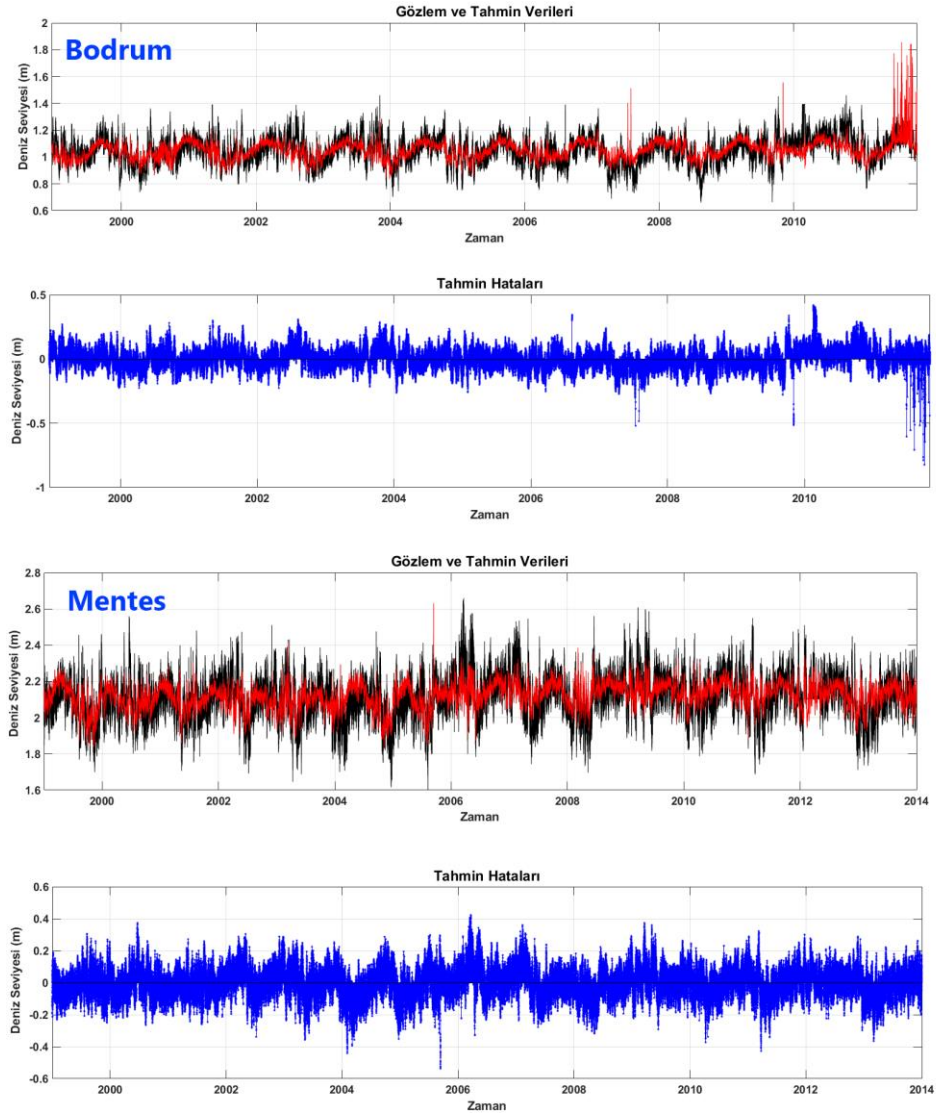
İstasyon bölgelerine ait deniz seviyesi temel bileşenlerine ait öncül bilgilerin elde edilmesinin ardından ÇDR, DVR ve ROR algoritmaları eğitim verileri kullanılarak eğitilmiştir. Algoritmaların eğitimi için kullanılan öncül bilgiler şekil 7'de verilmiştir. Öncül bilgi verilerinin %70'i makine öğrenimi algoritmalarının eğitimi için eğitim verisi olarak, %30'u ise tahmin model performanslarını değerlendirmek üzere test verisi olarak rastgele seçilmiştir. Makine öğrenimi algoritmalarının eğitimi ve test edilmesi için Pedregosa vd. (2011) tarafından geliştirilen Python ortamındaki SciKit-Learn kütüphanesi kullanılmıştır.



şekil 7: Eğitim için kullanılan öncül bilgiler

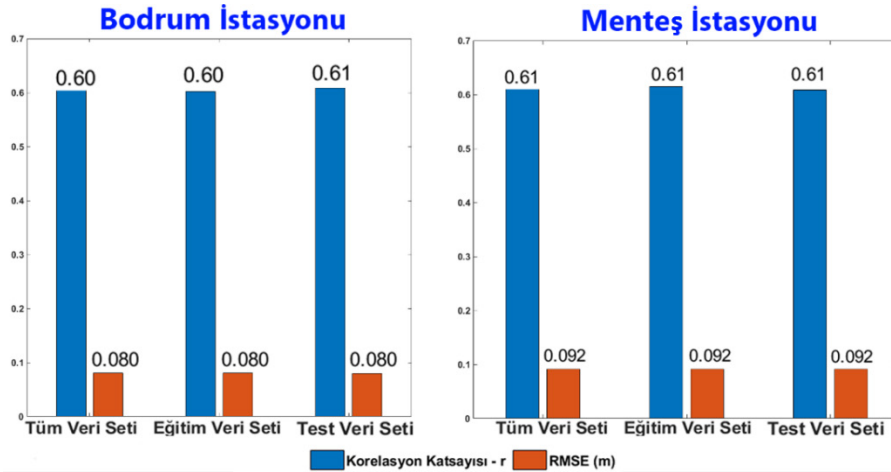
### 4.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon Algoritması Eğitim ve Test Performansı

ÇDR algoritması eğitim ve test verileri kullanılarak eğitilmiştir. Eğitilmiş model kullanılarak eğitim, test ve tüm dönemler için deniz seviyesi tahminleri yapılmıştır. Yapılan tahmin değerleri gerçek değerlerle karşılaştırılarak, modellerin eğitim, test ve tüm veri seti için tahminlerinin doğruluk performansları değerlendirilmiştir (şekil 8).



Şekil 8: ÇDR algoritması tahminleri

ÇDR algoritmasının eğitim ve test veri setindeki deniz seviyesi tahmin performansları  $r$  Pearson korelasyon katsayısı ve RMSE metrikleri kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen tahmin performansları Şekil 9'da verilmiştir.

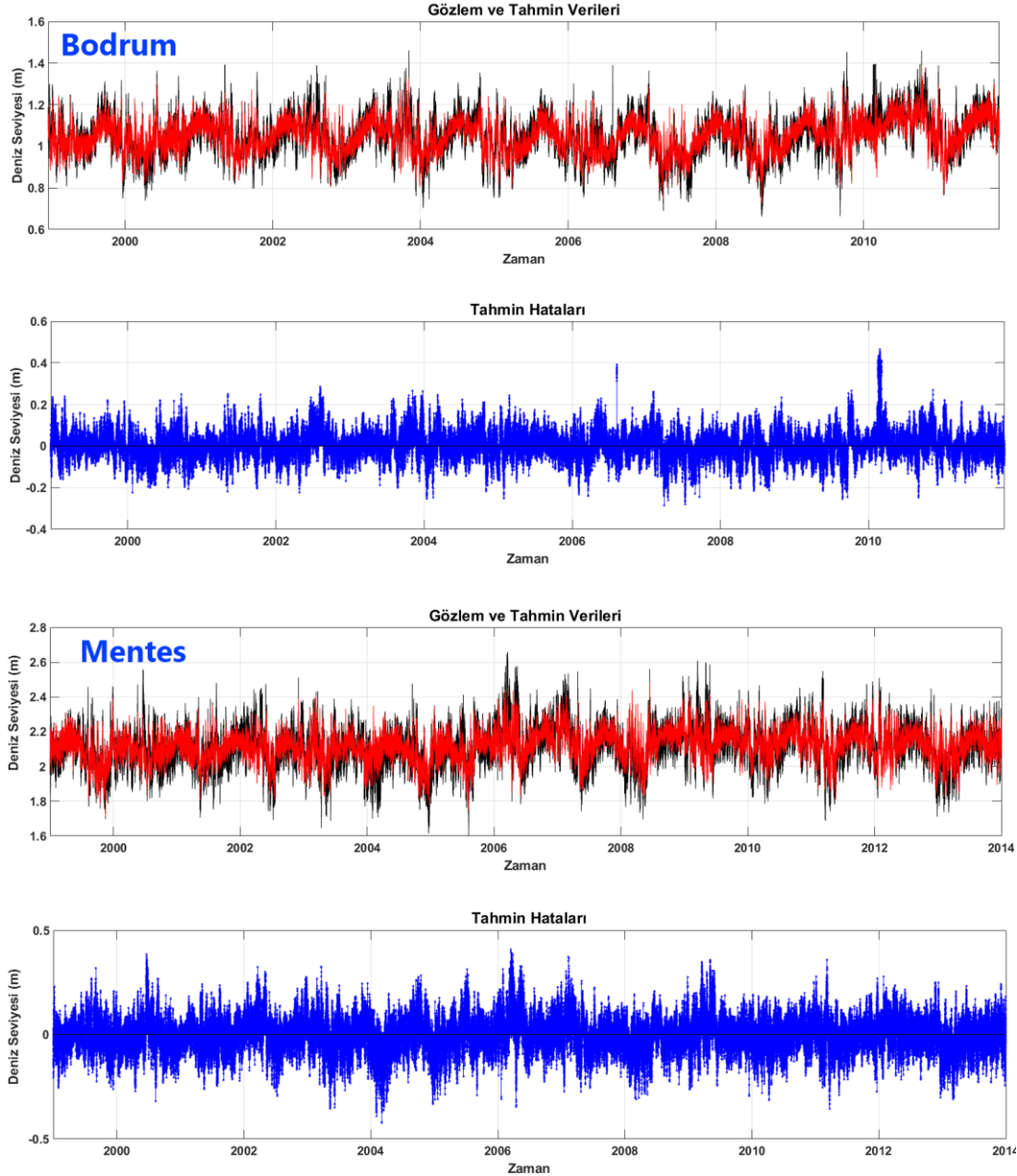


Şekil 9: ÇDR algoritması deniz seviyesi tahmin performansı

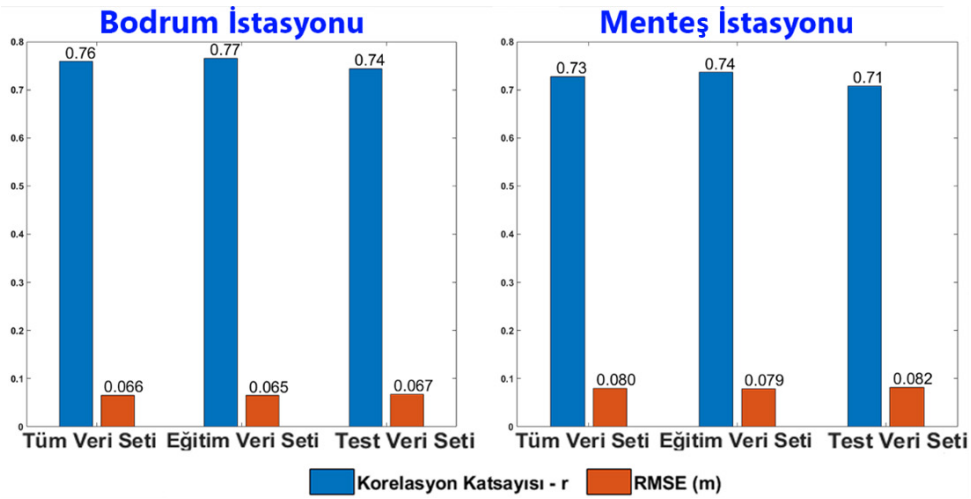
Şekil 8 ve Şekil 9’da görüldüğü gibi ÇDR algoritması hem eğitim hem test döneminde her iki istasyondaki deniz seviyesi tahminlerinde benzer sonuçlar vermektedir. Özellikle Bodrum istasyonunun son dönem tahminleri oldukça yüksek olup, gerçek veriden uzaktır. Bu durum karmaşık bağımlılık yapılarına sahip veri setlerinde doğrusal fonksiyonlarının tahminlerinin ne kadar yetersiz olduğunu göstermesi bakımından önemlidir.

#### 4.2.2 Destek Vektör Regresyonu Algoritması Eğitim ve Test Performansı

RTF çekirdeği kullanılan DVR algoritmasının istasyonlardaki deniz seviyesi tahminleri Şekil 10’da verilmiştir. Ayrıca DVR algoritmasının eğitim ve test veri setindeki deniz seviyesi tahmin performansları  $r$  ve RMSE metrikleri cinsinden Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 10: DVR algoritması tahminleri (tüm veri seti için)

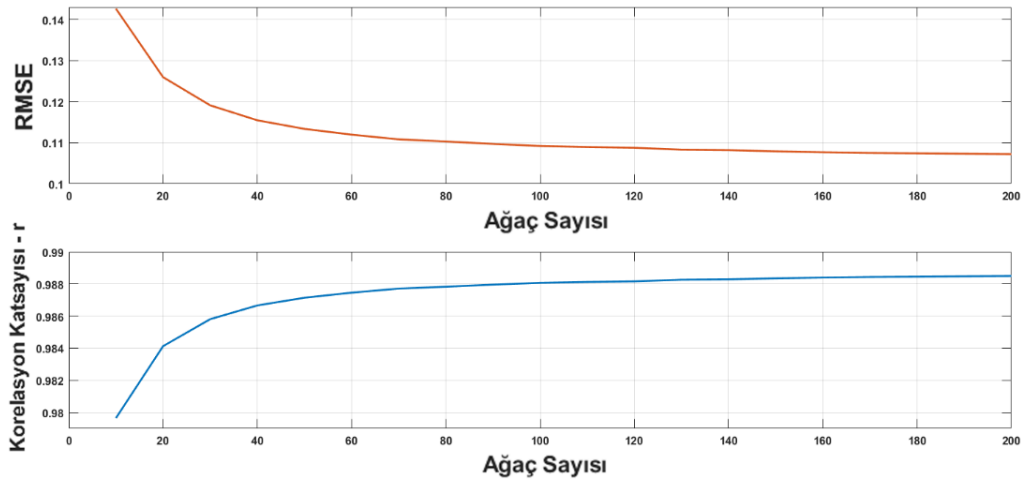


Şekil 11: DVR algoritması deniz seviyesi tahmin performansı

Şekil 10 ve Şekil 11'de görüldüğü gibi DVR algoritmasının deniz seviyesi tahmin performansı hem daha yüksek korelasyon hem de daha düşük RMSE metrikleri ile ÇDR algoritmasına göre daha iyidir.

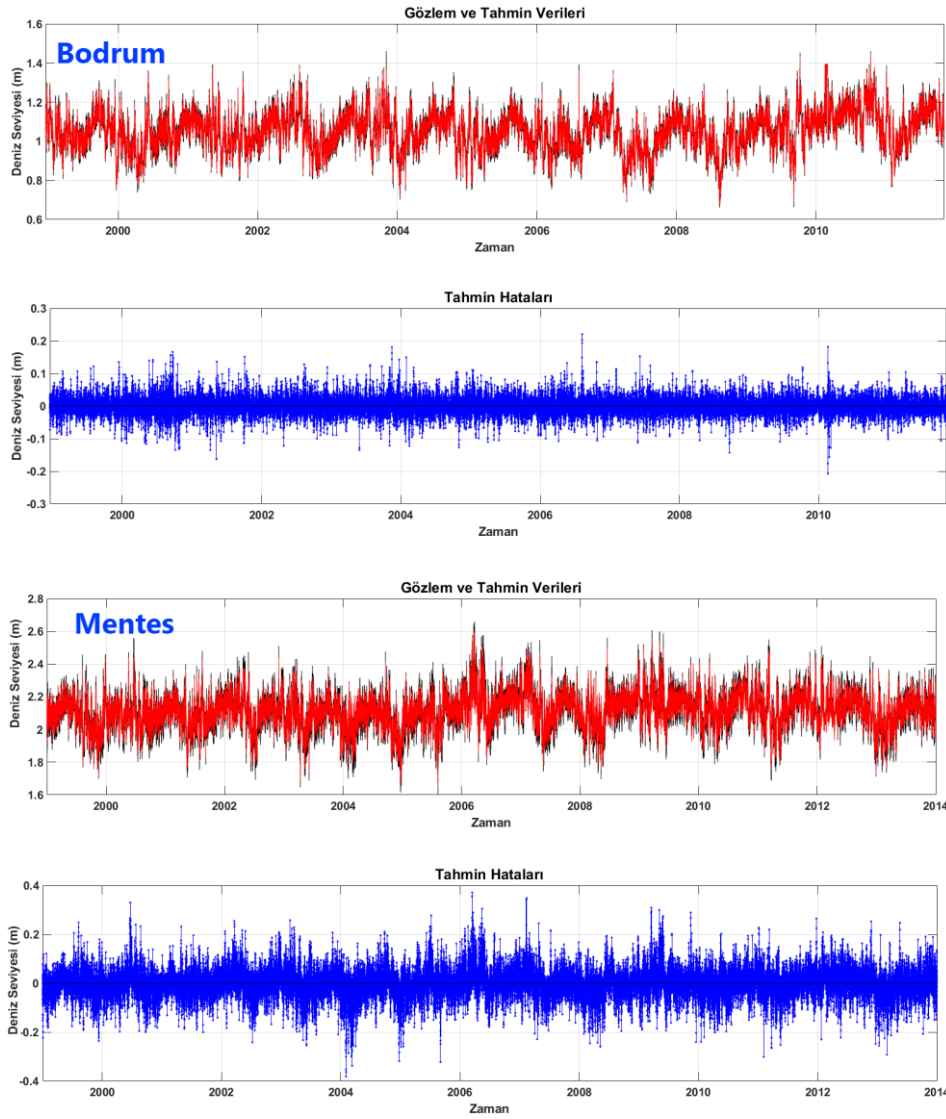
#### 4.2.3 Rastgele Orman Regresyonu Algoritması Eğitim ve Test Performansı

ROR algoritması ile deniz seviyesi tahmininin yüksek doğrulukta yapılabilmesi için karar ağacı ormanındaki ağaç sayısının doğru seçilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada ROR algoritmasının içereceği ağaç sayısının belirlenmesi için RMSE ve  $r$  doğruluk analizlerine dayanan bir yaklaşım kullanılmıştır. Algoritmadaki ağaç sayısının model doğruluğuna etkisi incelenerek kullanılacak ağaç sayısı belirlenmiştir. 10 ağaçtan başlayarak 200 ağaca kadar ROR algoritması ile deniz seviyesi tahminleri yapılmıştır. Bodrum istasyonu için yapılan tahminlere ilişkin model doğrulukları test veri seti için Şekil 12'deki gibidir.

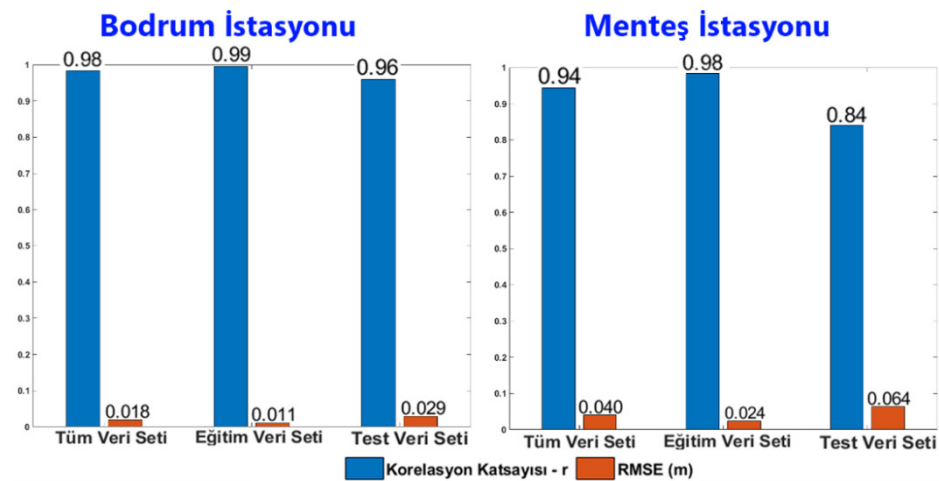


Şekil 12: ROR algoritmasında ağaç sayısının tahmin performansına etkisi

Şekil 12'de görüldüğü gibi ağaç sayısı arttıkça ROR modelinin tahmin performansı yükselmektedir. Ancak yaklaşık 100 ağaçtan sonra tahmin performansının hem korelasyon hem de RMSE metriği açısından fazla bir değişim göstermediği belirlenerek ROR algoritmasında kullanılacak ağaç sayısı 100 olarak seçilmiştir. ROR algoritmasının deniz seviyesine ilişkin tahminleri ve tahmin performansı sırasıyla Şekil 13 ve Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 13: ROR algoritması tahminleri (tüm veri seti için)



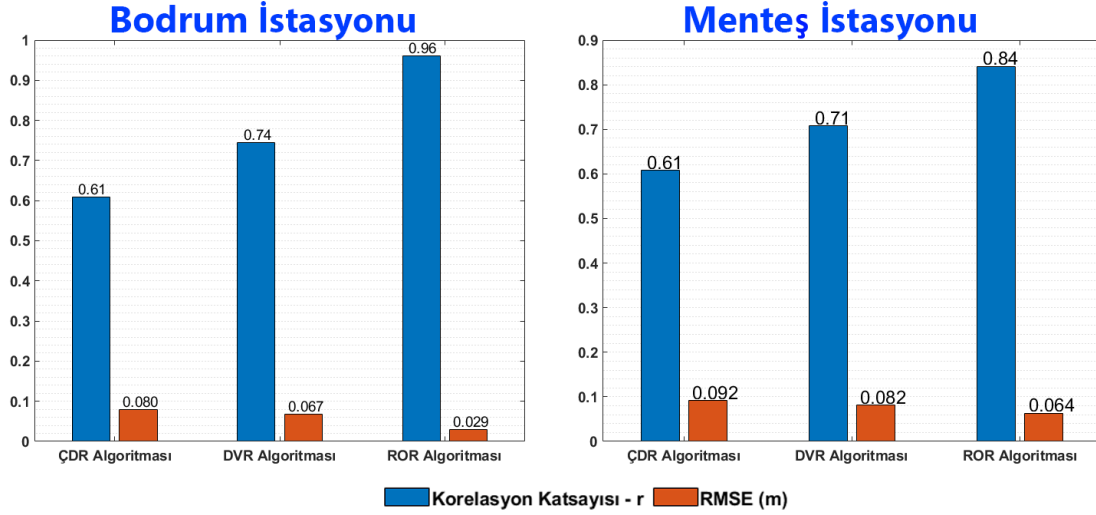
Şekil 14: ROR algoritması deniz seviyesi tahmin performansı

Şekil 13 ve Şekil 14'te görüldüğü gibi ROR algoritmasının deniz seviyesi tahmin performansı hem eğitim hem de test veri seti için ÇDR ve DVR algoritmalarına kıyasla oldukça yüksektir. Bu yüksek doğrulukta tahmin performansının, ROR algoritmasının karmaşık bağımlılık yapılarını kendi ağaç algoritma yapısı sayesinde modelleyebilmesinden kaynaklandığı

değerlendirilmektedir.

### 4.3 Makine Öğrenimi Algoritmalarının Karşılaştırılması

Makine öğrenimi algoritmalarının eğitim verileri kullanılarak eğitilmesinin ardından test veri seti kullanılarak yapılan tahmin sonuçlarına ilişkin performans analizleri sonuçları Şekil 15'de verilmiştir.



Şekil 15: Makine öğrenimi algoritmalarının karşılaştırılması

Her iki istasyonda da ÇDR ve DVR algoritmalarının test performansları ROR algoritmasına göre düşüktür. Ancak ROR algoritmasının performansı Bodrum istasyonunda daha yüksek olarak bulunmuştur. Bu durumun Mentеш istasyonundaki eksik verilerin fazla olmasından ve daha fazla enterpolasyon verisi içermesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Eksik veriler her ne kadar enterpolasyon işlemleri ile tamamlansa da makine öğrenimi tahmin algoritmalarında model performansına etki etmektedirler.

## 5. Sonuçlar

Uzun dönemlere ait deniz seviyesi verileri ve meteorolojik veriler kullanılarak deniz seviyesinin yüksek doğrulukta kestirimi sonucunda kıyı yapılarının planlanması, küresel ısınmanın etkilerinin tahmin edilmesi ve geleceğe yönelik etkin su politikalarının oluşturulması konularına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, Ege denizindeki iki mareograf istasyonundan elde edilen anlık deniz seviyelerinin tahmini için makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuş ve tahmin modellerinin performansları karşılaştırılmıştır. Makine öğrenimi algoritmalarının anlık deniz seviyesini tahmin etmek için kullanacağı öncül bilgiler istasyonlarda ölçülen meteorolojik veriler ve anlık deniz seviyesi zaman serilerinin doğrusal trend ve harmonik bileşenleridir. Bu kapsamda ÇDR, DVR ve ROR makine öğrenimi algoritmaları kullanılmıştır. Makine öğrenimi algoritmaları eğitim verileri ile eğitilmiş, test verileri kullanılarak deniz seviyesi tahmin performansları korelasyon katsayısı ve RMSE metrikleri ile değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda mareograf istasyonlarında deniz seviyesi ROR algoritması kullanılarak %96 ila %84 korelasyon ve 29 ila 64 mm RMSE değerleri ile oldukça yüksek doğrulukta tahmin edilmiştir. En yüksek tahmin performansı ROR algoritması ile elde edilirken en düşük tahmin performansı ÇDR algoritması ile elde edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar geçmişte yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında, her ne kadar aynı veri setleri ve aynı öncül bilgiler kullanılsa da okuyuculara ROR algoritmasının ve kullanılan öncül bilgilerin anlık deniz seviyesini belirlemedeki başarısı hakkında fikir vereceği düşünülmektedir. Bu nedenle geçmiş çalışmalar incelendiğinde, anlık deniz seviyeleri makine öğrenimi yöntemleri



kullanılarak Imani vd. (2018) tarafından 34 mm, Imani vd. (2014a) tarafından 35 mm, Roshni vd. (2019) tarafından 75 mm RMSE hassasiyetle belirlenirken, bu çalışmada anlık deniz seviyeleri Bodrum istasyonunda 29 mm, Menteş istasyonunda ise 64 mm RMSE ile belirlenmiştir.

Ayrıca elde edilen sonuçlar doğrusal tahmin modellerinin deniz seviyesini tahmin etmekte ne kadar yetersiz olduğunu göstermesi bakımından da oldukça önemlidir. Çünkü ÇDR algoritması doğrusal bir tahmin modeli olarak hem korelasyon hem de RMSE metrikleri bakımından doğrusal olmayan DVR ve ROR algoritmalarına göre düşük tahmin performansı göstermiştir. ROR algoritmasının ağaç algoritma yapısı sayesinde meteorolojik veriler, doğrusal trend ve harmonik bileşenler bağımsız değişkenleri kullanılarak deniz seviyesi yüksek doğrulukta kestirilmiştir. Anlık deniz seviyelerinin karmaşık bağımlılık yapılarının modellenmesinde ROR algoritmasının diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

## Teşekkür

Çalışmada kullanılan TUDES verilerini <https://tudes.harita.gov.tr/> linki üzerinden sağlayan Harita Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

## Yazar Katkısı

**Ahmet Yavuzdoğan:** Literatür taraması, Veri işleme, Analiz ve yorumlama, Yazım. **Emine Tanır Kayıkçı:** Fikir, Tasarım, Denetleme, Makale değerlendirme.

## Çıkar Çatışması Beyanı

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

## Kaynaklar

- Arns, A., Wahl, T., Wolff, C., Vafeidis, A. T., Haigh, I. D., Woodworth, P., Niehüser, S., & Jensen, J. (2020). Non-linear interaction modulates global extreme sea levels, coastal flood exposure, and impacts. *Nature communications*, 11(1), 1-9.
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Brundrit, G. B. (1995). Trends of southern African sea level: statistical analysis and interpretation. *South African journal of marine science*, 16(1), 9-17.
- Chanklan, R., Kaoungku, N., Suksut, K., Kerdprasop, K., & Kerdprasop, N. (2018). Runoff Prediction with a combined artificial neural network and support vector regression. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 8(1).
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- Costa, C. G., Leite, J. R. B., Castro, B. M., Blumberg, A. F., Georgas, N., Dottori, M., & Jordi, A. (2020). An operational forecasting system for physical processes in the Santos-Sao Vicente-Bertioga Estuarine System, Southeast Brazil. *Ocean Dynamics*, 70(2), 257-271.
- Drucker, H., Burges, C. J., Kaufman, L., Smola, A., & Vapnik, V. (1997). Support vector regression machines. *Advances in neural information processing systems*, 9, 155-161.
- Ertuğrul, Ö. F., & Tağluk, M. E. (2017). Forecasting local mean sea level by generalized behavioral learning method. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(8), 3289-3298.
- Fu, Y., Zhou, X., Sun, W., & Tang, Q. (2019). Hybrid model combining empirical mode decomposition, singular spectrum analysis, and least squares for satellite-derived sea-level anomaly prediction. *International journal of remote sensing*, 40(20), 7817-7829.

- Ghorbani, M. A., Khatibi, R., AYTEK, A., Makarynsky, O., & Shiri, J. (2010). Sea water level forecasting using genetic programming and comparing the performance with artificial neural networks. *Computers & Geosciences*, 36(5), 620-627.
- Gülaçar, H. (2018). *Nesnelerin İnterneti Platformları İçin Makine Öğrenmesi Tabanlı Bir Tahmin Modülü*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Güven, A., & Günel, M. (2008). Genetic programming approach for prediction of local scour downstream of hydraulic structures. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2), 241-249.
- Huang, M., Peng, G., Zhang, J., & Zhang, S. (2006). Application of artificial neural networks to the prediction of dust storms in Northwest China. *Global and Planetary Change*, 52(1-4), 216-224.
- Imani, M., You, R. J., & Chung-Yen, K. (2013). Accurate Forecasting of the satellite-derived seasonal Caspian sea level anomaly using polynomial interpolation and holt-winters exponential smoothing. *Tao: terrestrial, atmospheric and oceanic sciences*, 24(4), 521.
- Imani, M., You, R. J., & Kuo, C. Y. (2014a). Forecasting Caspian Sea level changes using satellite altimetry data (June 1992–December 2013) based on evolutionary support vector regression algorithms and gene expression programming. *Global and planetary change*, 121, 53-63.
- Imani, M., You, R. J., & Kuo, C. Y. (2014b). Caspian Sea level prediction using satellite altimetry by artificial neural networks. *International journal of environmental science and technology*, 11(4), 1035-1042.
- Imani, M., Kao, H. C., Lan, W. H., & Kuo, C. Y. (2018). Daily sea level prediction at Chiayi coast, Taiwan using extreme learning machine and relevance vector machine. *Global and planetary change*, 161, 211-221.
- Irvine, K. N., & Eberhardt, A. J. (1992). Multiplicative, Seasonal Arima Models for Lake Erie And Lake Ontario Water Levels 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 28(2), 385-396.
- Juva, K., Flögel, S., Karstensen, J., Linke, P., & Dullo, W. C. (2020). Tidal dynamics control on cold-water coral growth: A high-resolution multivariable study on eastern Atlantic cold-water coral sites. *Frontiers in Marine Science*, 7(132).
- Kim, K. J. (2003). Financial time series forecasting using support vector machines. *Neurocomputing*, 55(1-2), 307-319.
- Kisi, O., Shiri, J., & Nikoofar, B. (2012). Forecasting daily lake levels using artificial intelligence approaches. *Computers & Geosciences*, 41, 169-180.
- Makarynsky, O., Makarynska, D., Kuhn, M., & Featherstone, W. E. (2004). Predicting sea level variations with artificial neural networks at Hillarys Boat Harbour, Western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(2), 351-360.
- Meshkani, M. R., & Meshkani, A. (1997). Stochastic modelling of the Caspian Sea level fluctuations. *Theoretical and applied climatology*, 58(3), 189-195.
- More, A., & Deo, M. C. (2003). Forecasting wind with neural networks. *Marine structures*, 16(1), 35-49.
- Müller, K. R., Smola, A. J., Rätsch, G., Schölkopf, B., Kohlmorgen, J., & Vapnik, V. (1997). Predicting time series with support vector machines. *International Conference on Artificial Neural Networks* (s. 999-1004). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE. *Computers & Geosciences*, 28(8), 929-937.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perot, M., & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, 12, 2825-2830.
- Pugh, D. T. (1996). *Tides, surges and mean sea-level* (reprinted with corrections). Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Rajasekaran, S., Gayathri, S., & Lee, T. L. (2008). Support vector regression methodology for storm surge predictions. *Ocean Engineering*, 35(16), 1578-1587.
- Roshni, T., Samui, P., & Drisya, J. (2019). Operational use of machine learning models for sea-level modeling. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 48(9), 1427-1434.
- Sezen, E. (2006). *Antalya-I (1935-1977) ve Antalya-II (1985-2005) Mareograf İstasyonlarında Deniz Seviyesi Değişimlerinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye.
- Srivastava, P. K., Islam, T., Singh, S. K., Petropoulos, G. P., Gupta, M., & Dai, Q. (2016). Forecasting Arabian Sea level rise using exponential smoothing state space models and ARIMA from TOPEX and Jason satellite radar altimeter data. *Meteorological applications*, 23(4), 633-639.
- Şen, Z., Kadioğlu, M., & Batur, E. (2000). Stochastic modeling of the Van Lake monthly level fluctuations in Turkey. *Theoretical and*

*applied climatology*, 65(1), 99-110.

- Talebzadeh, M., & Moridnejad, A. (2011). Uncertainty analysis for the forecast of lake level fluctuations using ensembles of ANN and ANFIS models. *Expert Systems with applications*, 38(4), 4126-4135.
- Teferle, F. N. (2003). *Strategies for Long Term Monitoring of Tide Gauges Using GPS*. (Doktora Tezi). University of Nottingham, Nottingham, İngiltere.
- Vaziri, M. (1997). Predicting Caspian Sea surface water level by ANN and ARIMA models. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 123(4), 158-162.
- Wu, C. L., & Chau, K. W. (2010). Data-driven models for monthly streamflow time series prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(8), 1350-1367.
- Yu, P. S., Chen, S. T., & Chang, I. F. (2006). Support vector regression for real-time flood stage forecasting. *Journal of Hydrology*, 328(3-4), 704-716.
- Yüksel, Y., & Esin, Ç. (2016). *Kıyı Mühendisliği*. İstanbul, Türkiye:.BETA Yayınevi.
- Yüksel, Y., Öztürk, M., Şahin, C., Halat, O., Doğan, U., Yüksel, Z. T., & Karova, C. (2018). Türkiye Denizlerinde Su Seviyesi Değişimi. *9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, Adana, Türkiye.
- Zhao, J., Fan, Y., & Mu, Y. (2019). Sea level prediction in the Yellow Sea from satellite altimetry with a combined least squares-neural network approach. *Marine geodesy*, 42(4), 344-366.
- URL-1: <https://tudes.harita.gov.tr/>, (Erişim Tarihi : 06 Haziran 2019).

## GeoEtrim 2020 executed version: an academic software for geospatial image evaluation

Yunus Emre Elkar<sup>1</sup> , Huseyin Topan<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Tapu Kadastro Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Çankaya, Ankara, Turkey.

<sup>2</sup>Zonguldak Bulent Ecevit University, Campus of Farabi, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Zonguldak, Turkey.

**Abstract:** *GeoEtrim (Geospatial Evaluation and Training of Images) is a set of academic software packages to evaluate optical images geospatially. Although GeoEtrim was developed in the MATLAB environment in the past, it was decided to be compiled in another programming language (C#) in order to overcome the challenges like importing/reading very big sized image files, collecting Ground Control Point (GCP) and Independent Check Point (ICP) in an easy way and running the orientation models, etc. Creating projects, importing image(s), enhancing the image contrast, collecting GCP&ICP and running sensor independent orientation models through sub-package GeoTransform are the major opportunities of the current version. In addition, GeoTransform itself enables blunder and parameter validation tests. GeoEtrim can also be used free-of-charge for academic purposes; therefore, its user community increases rapidly. This paper focus on both theoretical background and graphical user interface of GeoEtrim 2020 executed version.*

**Keywords:** GeoEtrim, Coordinate transformation, Sensor orientation, Graphical user interface, Geospatial information

### GeoEtrim 2020 sürümü: Konumsal görüntü değerlendirme için akademik bir yazılım

**Öz:** *GeoEtrim (Geospatial Evaluation and Training of Images), optik görüntüleri konumsal olarak değerlendirmek için geliştirilen akademik yazılım paketler bütünüdür. GeoEtrim geçmişte MATLAB ortamında geliştirilmiş olsa da, çok büyük boyutlu görüntü dosyalarının içe aktarılması/okunması, yer kontrol noktalarının ve bağımsız denetim noktalarının kolay bir şekilde toplanması ve çeşitli hesaplamaların yapılmasındaki zorlukların üstesinden gelinmesi için başka bir programlama dilinde (C#) derlenmesine karar verilmiştir. Proje oluşturmak, görüntüleri içe aktarmak, görüntünün zıtlığını geliştirmek, yer kontrol noktaları ve bağımsız denetim noktalarını toplamak, GeoTransform alt paketi aracılığıyla algılayıcıdan bağımsız yöneltme yöntemlerini çalıştırmak mevcut sürümün sunduğu başlıca özelliklerdir. Ek olarak, uyumsuz ölçü testi ve parametre anlamlılık testleri de özellik olarak eklenmiştir. GeoEtrim akademik çalışmalar için ücretsiz olarak kullanılabilir ve böylelikle kullanıcı topluluğu her geçen gün artabilir. Bu makalede GeoEtrim 2020'nin hem kuramsal yapısı hem de grafik kullanıcı arayüzü tanıtılmaktadır.*

**Anahtar Sözcükler:** GeoEtrim, Koordinat dönüşümü, Algılayıcı yöneltmesi, Grafik kullanıcı arayüzü, Konumsal bilgi

## 1. Introduction

Thanks to the investment on the geospatial services, geospatial information has become one of the most significant components in daily life of an ordinary citizen. According to the report by [AlphaBeta \(2017\)](#), the size of geospatial services has reached ~400 billion United States Dollar (USD) market share. Image-based data acquisition such as close-range, aerial or spaceborne optical, microwave, thermal or laser acquisition systems has an important role in the generation of geospatial information ([Chen et al., 2016](#)). The world has witnessed 181 remote sensing satellites (except meteorological ones) with 17.4 billion USD budget in recent years and the additional budget is expected to be 8.5 billion USD by 2026 ([Euroconsult, 2017](#)). As pointed by United Nations, the geospatial services based on remote sensing support the globally sustainable development goals of humanity ([Paganini et al., 2018](#)).

The improving geospatial services depend on the developments of various components such as customer's needs, data acquisition, hardware, software and algorithms etc. Since this paper is devoted to software, we will only focus on this component. A great number of academic or commercial software programs have been developed up to now. The commercial software could be preferred in an application-based task; nevertheless, the question is which software should be chosen in a research or an educational activity. The major reason of this challenge is that the theoretical background and algorithms are not comprehensively known by user, and the user is restricted to choose many options most of which is generally assumed default. One might think that this user-tendency appears only in the countries following the science-makers. On the contrary, this is also a trouble in developed ones, as pointed out by [Dowman \(2010\)](#) as “...*There's a danger that people, institutions and organizations are using data without understanding how they were acquired, or explaining wrongly... ...And I tend to think that, at least from a UK perspective, more young people are going to university, but not choosing the difficult studies involving mathematics and science*”. Following this motivation, GeoEtrim is being developed to fully control all workflow starting the characteristics of an image and ending the final product/result. This motivation presents a didactic behavior with the help of various kinds of scientific publications and user guide ([GeoEtrim, 2020](#)).

Numerous academic software has been developed for the purpose of generation/research of geospatial information from image-based data for the last decades. Some of them are developed and freely distributed by the national/international organizations, for instance, Sentinel Application Platform (SNAP) by [European Space Agency \(ESA\) \(2020\)](#), gvSIG, QGIS and GRASS GIS by Open Source Geospatial Foundation ([OSGeo, 2020](#)), MicMac by National Institut Géographique National and l'École de la Géomatique ([IGN & ENSG, 2020](#)), Orfeo Toolbox by the Orfeo ToolBox Project Steering Committee ([Grizonnet et al., 2017](#)), [CloudCompare \(2020\)](#), [MeshLab \(2020\)](#), [Barista \(CRCSI, 2020\)](#), while some were handled by the individuals or teams, such as COSI-Corr ([Ayoub, Leprince, & Keene, 2009](#)), Bundle block adjustment Leibniz University Hannover (BLUH) by [Jacobsen \(2008\)](#), E-foto ([Mota et al., 2012](#)), Phox ([Luhmann, 2016](#)), inteGRated PHOtogrammetric Suite (GRAPHOS) ([Gonzalez-Aguilera et al., 2018](#)), VisualSFM ([Wu, 2020](#)), Bundler ([Snively, 2020](#)), [Theia \(2020\)](#), [COLMAP \(2020\)](#), Clustering Views for Multi-view Stereo (CMVS) ([Furukawa, 2020](#)), Patch-based Multi-view Stereo Software (PMVS) ([Furukawa & Ponce, 2018](#)), A Multi-View Reconstruction Environment (MVE) ([Fuhrmann, Langguth, & Goesele, 2014](#)), sv3DVision ([Aguilera & Lahoz, 2006](#)), Photogrammetry Workbench ([González-Aguilera et al., 2012](#)), Python Photogrammetry Toolbox ([Moulon & Bezzi, 2011](#)), Open Drone Map ([Waechter, Moehrle, & Goesele, 2014](#)), DGAP ([Stallmann, 2020](#)) etc. Besides those open source and/or freeware solutions, some academic software are commercially distributed, such as SATellite image Precision Processing (SAT-PP), PHOENIX, CLOse RANGE MAtching (CLORAMA), Least Squares 3D Surface Matching (LS3D) and Bundle Adjustment with Additional Parameters (BAAP) by 4DiXplorer (2018), A Satellite Image Processing Platform for High Resolution Forest Assessment ([FORSAT, 2018](#)), and Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery (SURE) by [Rothermel and Wenzel \(2020\)](#) etc. It is beneficial to bear

in mind for the users that many of commercial software include tools developed for academic purposes.

Similar to the ones mentioned before, GeoEtrim has the motivation of present academic software for scientific and educational contribution to the international community. Its chronological developments are summarized below.

## 2. General Overview of GeoEtrim

The origin of GeoEtrim was based on programming of some sensor independent orientation models, polynomial (limited with 5<sup>th</sup> degree), affine projective and Direct Linear Transformation (DLT), developed in MATLAB environment (Topan, 2004; Topan, Buyuksalih, & Kocak, 2005). Later, the affine projective approaches considering IKONOS, OrbView-3, and QuickBird image geometry, and a new quality checking approach called figure condition were implemented within GeoFigcon tool by Topan and Kutoglu (2009). This approach was extended by (Topan, 2013; Topan, Taskanat, & Cam, 2013; Topan, Oruc, Taskanat, & Cam, 2014) using sensor dependent Rational Function Model (RFM), and it was preferred by Moghaddam, Mokhtarzade, Naeini, and Amiri-Simkooei (2018). Some other sensor independent models such as similarity, projective and sensor independent RFM were also coded into this tool, and GeoFigcon was renamed as GeoTransform in 2018. With that last version, the outlier detection and parameter validation tests have become available, and the orthoimage generation is still being developed (Cam, 2018).

GeoEtrim does not consist of only the sensor independent orientation models. For instance, GeoSpot is the most complex tool running sensor dependent orientation model specialized for SPOT 5 stereo images (Topan, 2009). This doctorate project was expanded by adding the parameter validation test and self/cross correlation among the interior/exterior orientation parameters (Topan & Maktav, 2014). Based on the principle of GeoSpot, Geo3o1 was developed for the new generation sensor orientation models for Pléiades 1A/1B and SPOT 6/7 triplet images (GeoEtrim, 2020). Terlemezoglu and Topan (2020) overcame the ill-posed orientation problem via eigenvalue-based novel approaches.

Although the innovative approaches were programmed in MATLAB environment, the user-friendly and all-in-one solutions were required for the end-users' easy-to-use. Some of the limitations were the difficulties in collection of Ground Control Point (GCP) and Independent Check Point (ICP) in MATLAB environment and the requirement of auxiliary software for this purpose. The other limitation was that although the theoretical background was given in the lessons of bachelor, master or doctorate programs, the users needed setting-up at least a MATLAB runtime to run the executed version. The feedback from the users forced us to give a decision of executed version, which is presented in this paper.

## 3. C# Version of GeoEtrim

Since this paper explains the new version of GeoEtrim written in C#, the libraries, the graphical user interface (GUI) of GeoEtrim and theoretical background of GeoTransform have been mentioned.

### 3.1 Programming Language and Libraries

The mentioned version of GeoEtrim in this paper has been coded in C#, which was started to develop by Anders Hejlsberg through C and C++ in Microsoft Corporation (Hejlsberg, Wiltamuth, & Golde, 2003). Users have an opportunity to code with C# more easily than older versions and is more object-oriented without losing performance. Since C# has not directly integrated with the machine language, .Net Framework and Mono platform are required for Windows and Linux operating systems, respectively. This framework presents some opportunities making the coding easier, such as namespace and Base Class Library (BCL), which is mostly preferred for basic mathematical functions and variables during the coding of

GeoEtrim. The version of .Net Framework version is 4.6.

GeoEtrim uses the libraries such as Geospatial Data Abstraction Library (GDAL), Emgu Computer Vision (EmguCV) and ALGLIB for image reading/processing and algebraic requirements, respectively. As an OSGeo project, GDAL could read, process, analyse, translate and write raster and vector data, and C#, Python, Java, and Perl versions are available. Many software packages, which process remote sensing images use a wide range of opportunities presented in GDAL. GeoEtrim also uses its image reading function supporting 155 image formats. GeoEtrim requires EmguCV library for image processing. This library is derived from the OpenCV library, which is available in C and C++ (Shi, 2013). Image zooming, showing image histogram, contrast enhancement and histogram equalization, GCP/ICP marking on image and the matrix operations were performed by using this library. ALGLIB is a library to cross-platform numerical analysis and data processing supporting C++, C# and Delphi languages. This library was only needed for t-distribution value in GeoTransform. It should be noticed that the language for GUI, variables and coding are in English to ensure international cooperation and usage.

### 3.2 Workflow and Principal Properties

The workflow of GeoEtrim was illustrated in Figure 1, consisting of three main components, i.e. main user interface, GCP/ICP collection interface and GeoTransform.

The main user interface consists of top menus such as File for project management, tools for importing image and contrast enhancement, and GCP/ICP collection, and Modules having sub-programs (only when GeoTransform is active), and Help (Figure 2a). Some shortcut menus such as open/save projects, import/delete image, active image name, zooming and dragging tools, contrast enhancement and GCP/ICP collection interface are available under the top menu. The user can see the name of project and images, and can open original bands and their histograms of each image by the image information interface. Additionally, GCP/ICPs could be shown or hidden by clicking the related button below in each band. This option supports an easy understanding of a multispectral image.

One of the difficulties in visual interpretation of remotely sensed images is working with low contrast datasets. This challenge must be overcome for easy collection of GCP/ICPs. Thanks to the EmguCV, the user is able to enhance the image contrast with manual or automatic options (Figure 2b). The user can define a scale factor between 0.125 and 4.5 for multiplying the grey scale in the manual mode with the option of histogram equalization.

GeoEtrim saves the project file in structure of eXtensible Markup Language (XML). XML is formed by intermingled character data and mark-up allowing a hierarchical structure for each image (writing image name, directory, number of row and column etc.) and the information of GCP/ICPs per image (Identification (ID), type (control or check), coordinates (image and object) and their standard deviations). This hierarchical structure allows easy managing and saving the project file having multiple images and their GCP/ICPs. Figure 3 illustrates a project file in XML format.

The user can collect GCP/ICPs of the working image by a user-friendly interface (Figure 4a). When clicking on the image in the main user interface, the image coordinates (row and column in pixel unit) are automatically transferred into the relevant boxes, and the point is shown in the Distribution of Points window. Both control or check points are collected in this same interface by changing the point type. The user can import the GCP/ICPs by the loading an existing file, and if the auto locate function is activated, the marked point in the list is automatically located in the centre of image window at the main user interface. This option allows seeing the point on the original image easily at the main user interface. Since this interface might cover a large portion of the user's working screen, there is an option to reduce its size allowing the essential parts, which remain while others are ignored (Figure 4b). Figure 4c shows the GCP/ICP exporting options. The user can select and change

the sequence of point ID and type, image and ground coordinate axes and standard deviations. Both GCPs and ICPs or only one type could be exported. The number of decimal place for coordinates and standard deviations, and the separator for decimal place, columns and column titles could be arranged by this interface. All these options give the user the flexibility of setting in an exported file.

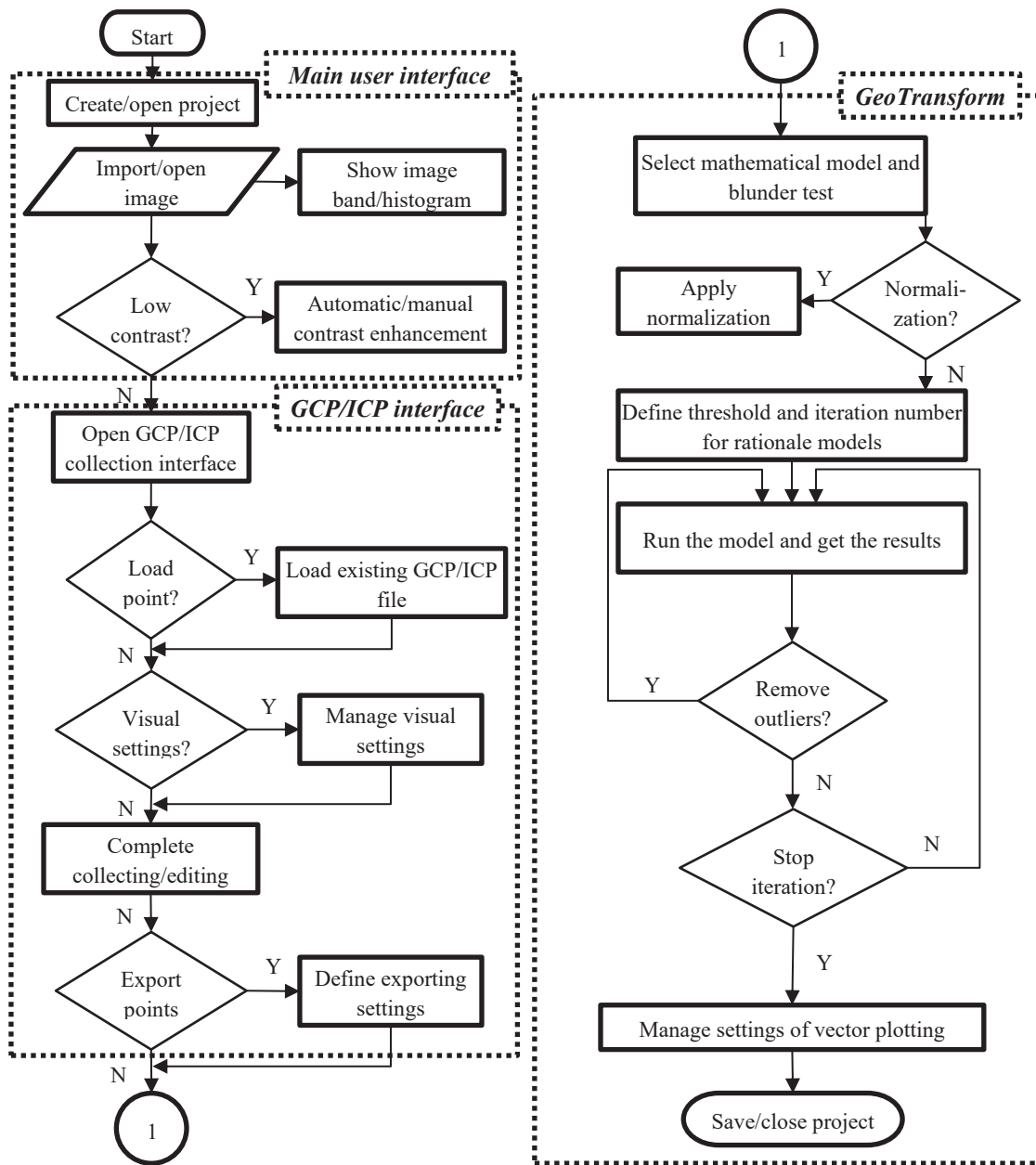
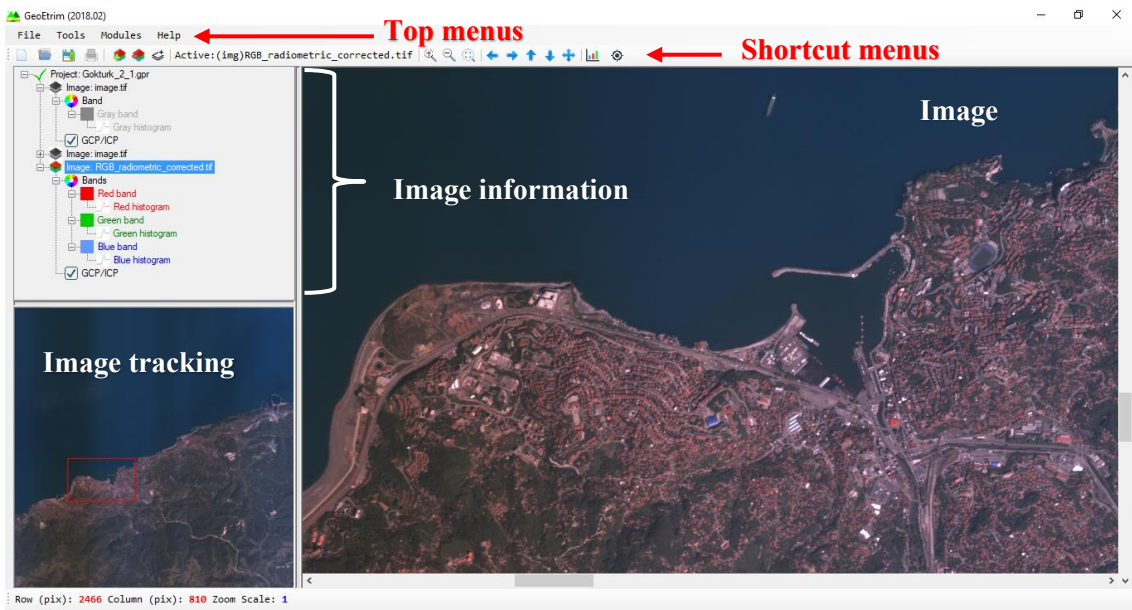


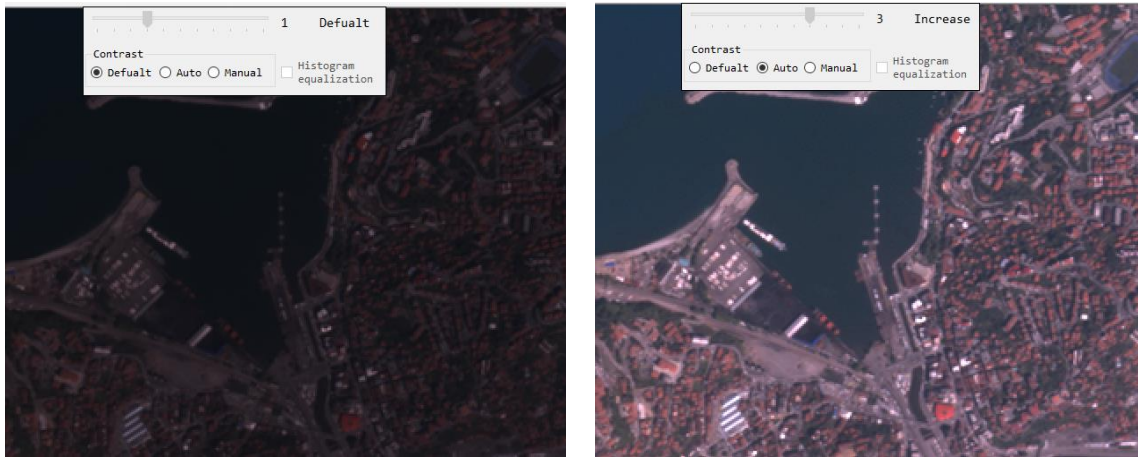
Figure 1: Workflow of GeoEtrim

Another issue, which is served is a wide range of colour and size settings for GCP/ICPs, point list and GeoTransform (Figure 5). These settings allow comfortable usage of these interfaces and also support better presentation of GeoTransform reports. For instance, the size, colour, ID or type of a GCP/ICP marker can be changed upon the user’s request. When the user wishes to return the default settings, the system allows it.





(a)



(b)

Figure 2: Main user interface and a sample of contrast enhancement via Gokturk-2 multispectral image. (a) Main user interface of GeoEtrim. (b) Sample for contrast enhancement

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Project Project_name="" Information="">
  <Image name="" href="" bands="" width="" height="" id="">
    <gcp PointID="" PointType="" Row="" Column="" X="" Y="" Z="" StdRow="" StdCol=""
      StdX="" StdY="" StdZ="" />
  </Image>
</Project>
```

Figure 3: XML structure of project file

#### 4. GeoTransform

As mentioned before, GeoEtrim executed version has GeoTransform tool for sensor independent orientation although its' MATLAB version has GeoSpot and Geo3o1 tools. The user has the options of selecting the orientation (transformation) model, the threshold value and maximum iteration number for rationale methods (such as projective, DLT and RFM), method of blunder test, normalization option for avoiding the ill-conditioning and the visual setting of vector plotting. At first, the theoretical background of sensor independent orientation, adjustment and blunder detecting test will be introduced, then its user interface will be presented.

Point ID	Point Type	Image Row	Image Col	Ground X	Ground Y	Ground Z
26	Control	6505,625	144,500	392845,721	4587479,829	157,964
27	Control	6279,579	131,518	392687,776	4588026,791	183,099
28	Control	6364,630	645,894	393943,641	4588019,580	203,919
32	Control	6274,125	327,000	393164,599	4588121,086	13,900
35	Control	5988,890	653,914	393766,461	4588942,823	140,955
37	Control	5747,716	783,457	393949,347	4589587,535	76,219
42	Control	7185,428	1329,555	395993,199	4586269,431	255,663
43	Control	6153,986	1180,022	395094,221	4588741,687	240,741
46	Control	6382,696	1602,263	396213,867	4588350,646	211,986
47	Control	6344,750	1715,500	396460,818	4588484,568	261,286
50	Control	6217.875	1283.500	395364.093	4588624.275	271.330

(a)

(b)

(c)

Figure 4: GCP/ICP collection and setting interfaces. (a) GCP/ICP collection interface (wide format). (b) GCP/ICP collection interface (minimized format). (c) GCP/ICP exporting interface

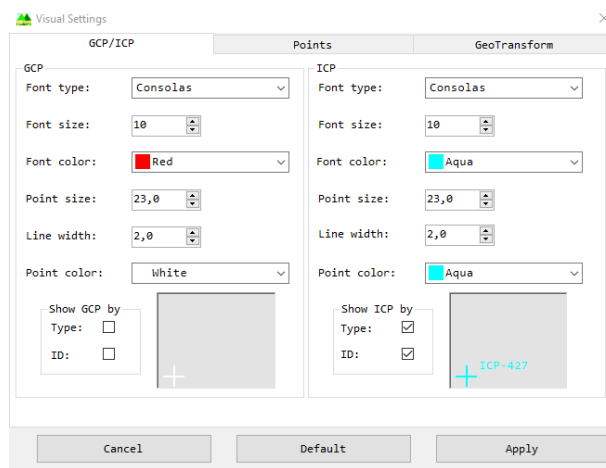


Figure 5: Visual settings for GCP/ICPs, points and GeoTransform

#### 4.1 Sensor Orientation Models

Generation of geospatial information needs establishing the relationship between image (terrestrial, aerial or remotely sensed) and object (ground, map) coordinate systems. In this way, each pixel of image could have their corresponding object coordinates. This process is generally called as georeferencing, geocoding or geolocating. The goal of sensor (image) orientation is to establish coordinate transformation between image and object coordinate systems. The mathematical models of sensor orientation are varied in sensor dependent and independent. The sensor dependent models strive to present the real geometric relationship between image and object coordinate systems with the help of auxiliary coordinate systems. For instance, the models for linear array optical systems are established considering the coordinate transformation in the sequence of image, linear array, camera, body (platform), orbital, inertial and ground coordinate systems. This means such kind of orientation model needs all parameters reflecting the geometric relationship between them. On the other hand, the sensor independent models directly establish this transformation between image and ground coordinate systems ignoring the real geometric characteristics.

The sensor independent orientation models of GeoTransform are similarity (Helmert), 2 Dimensional (2D) polynomial, affine projective, projective, DLT and sensor independent (terrain dependent) RFM. Its MATLAB version has also the sensor dependent (terrain independent) RFM, and various matrix inversion and regularization methods to solve ill-posed problem (Aytekin, Topan, Elkar, Kisi, & Erisik, 2019). The simplest model is similarity transformation assuming ground space in 2D. This model has two shifts in two dimensions, one scale and one orientation angle. Its formulation is

$$\begin{bmatrix} r_i \\ c_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} + s \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{00} + a_{10}X_i - a_{01}Y_i \\ b_{00} + a_{01}X_i + a_{10}Y_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

where  $r$  and  $c$  are row and column coordinates, respectively,  $X_0$  and  $Y_0$  are shift through X and Y axes,  $s$  is scale and  $\alpha$  denotes the orientation angle,  $X$  and  $Y$  mean the ground coordinates, and  $i = 1, \dots, n$ ,  $n = 2 \times$  number of GCPs. Since a shape is forced in this model, the expected accuracy is generally low. The second model is polynomial transformation formulated as

$$r_i = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^m a_{jk} X_i^j Y_i^k, c_i = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^m b_{jk} X_i^j Y_i^k \quad (2)$$

where  $a$  and  $b$  are the polynomial coefficients. The 1<sup>st</sup> order polynomial is called affine transformation, and each coefficient is related to the geometric distortions of images (Zoej, 1997). The third model is affine projection. This model considers the

third dimension (i.e. height) of object space, as following

$$r_i = a_{000} + a_{100}X_i + a_{010}Y_i + a_{001}Z_i \quad (3a)$$

$$c_i = b_{000} + b_{100}X_i + b_{010}Y_i + b_{001}Z_i \quad (3b)$$

This model was extended for fitting geometry of QuickBird OrthoReady and IKONOS Geo products by [Jacobsen \(2003\)](#) as following

$$r_i = a_{000} + a_{100}X_i + a_{010}Y_i + a_{001}Z_i + a_{101}X_iZ_i + a_{011}Y_iZ_i \quad (4a)$$

$$c_i = b_{000} + b_{100}X_i + b_{010}Y_i + b_{001}Z_i + b_{101}X_iZ_i + b_{011}Y_iZ_i \quad (4b)$$

and for OrbView-3 images ([Buyuksalih, Akcin, & Jacobsen, 2006](#))

$$r_i = a_{000} + a_{100}X_i + a_{010}Y_i + a_{001}Z_i + a_{101}X_iZ_i + a_{011}Y_iZ_i + a_{200}X_i^2 \quad (5a)$$

$$c_i = b_{000} + b_{100}X_i + b_{010}Y_i + b_{001}Z_i + b_{101}X_iZ_i + b_{011}Y_iZ_i + b_{110}X_iY_i \quad (5b)$$

The fourth model is projective transformation, which establishes the central projection characteristics of images. Nevertheless, only the planimetric ground coordinates are taken into account. It is formulated as

$$r_i = \frac{a_{00} + a_{10}X_i + a_{01}Y_i}{1 + c_{10}X_i + c_{01}Y_i}, \quad c_i = \frac{b_{00} + b_{10}X_i + b_{01}Y_i}{1 + c_{10}X_i + c_{01}Y_i} \quad (6)$$

The 3<sup>rd</sup> dimension ignored in projective transformation is considered in DLT, which is derived by [Abdel-Aziz and Karara \(1971\)](#) from the collinearity equations well known in photogrammetry. This is formulated as

$$f_1 = a_{000} + a_{100}X_i + a_{010}Y_i + a_{001}Z_i \quad (7a)$$

$$f_2 = b_{000} + b_{100}X_i + b_{010}Y_i + b_{001}Z_i \quad (7b)$$

$$f_3 = 1 + c_{100}X_i + c_{010}Y_i + c_{001}Z_i \quad (7c)$$

$$r_i = \frac{f_1}{f_3}, \quad c_i = \frac{f_2}{f_3} \quad (7d)$$

So DLT does not need the interior and exterior orientation parameters in contrast to the collinearity equations. Moreover, the interior and exterior orientation parameters could be estimated from the DLT coefficients ([Seedahmed & Schenk, 2001](#)).

The last model is the sensor independent RFM. Its generic formulation, which is valid for both sensor dependent and independent versions, is

$$f = \sum_{g=0}^{m_g} \sum_{j=0}^{m_j} \sum_{k=0}^{m_k} P_{gjk} X_i^g Y_i^j Z_i^k \quad (8a)$$

$$r_{n_i} = \frac{f_a}{f_b}, \quad c_{n_i} = \frac{f_c}{f_d} \quad (8b)$$

## 4.2 Adjustment

Adjustment process is an essential step to estimate both corrected (adjusted, compensated) image coordinates and also the orientation elements with the most probable values. The approximate values of coefficients in the sensor independent models are zero at the beginning. Since the number of observations is more than the number of unknowns (coefficients), the degree of freedom is higher than zero (i.e.  $f > 0, f = n - u$ ). This allows us to run adjustment via Least Squares Estimation (LSE). Let us show the mathematical model

$$(r, c)_i = F\{P_j, (X, Y, Z)_i\} \quad (9)$$

where  $F$  defines the orientation model and  $P$  is the coefficient. The ground coordinates are considered free of error. The adjustment with observation equations among various types of adjustment models fits the models presented above mentioned. So, the adjusted observations  $(r, c)$  are estimated as following when the weight matrix is identity matrix ( $\mathbf{I}$ ) (Koch, 1999)

$$\bar{\ell} = \ell + \mathbf{v} = \ell_0 + \mathbf{A}\mathbf{dP} \quad (10)$$

$$\mathbf{dP} = (\mathbf{A}^T\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^T(\ell - \ell_0) \quad (11)$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{dP}\mathbf{dP}} = (\mathbf{A}^T\mathbf{A})^{-1} \quad (12)$$

$$\mathbf{Q}_{\ell\ell} = \mathbf{A}\mathbf{Q}_{\mathbf{dP}\mathbf{dP}}\mathbf{A}^T \quad (13)$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}} = \mathbf{I} - \mathbf{Q}_{\ell\ell} \quad (14)$$

$$\bar{\mathbf{P}} = \mathbf{P}_0 + \mathbf{dP} \quad (15)$$

$$\mathbf{v} = \ell_0 - \ell + \mathbf{A}\mathbf{dP} \quad (16)$$

$$m_r = \pm \sqrt{\frac{\mathbf{v}_r^T \mathbf{v}_r}{f}}, m_c = \pm \sqrt{\frac{\mathbf{v}_c^T \mathbf{v}_c}{f}} \quad (17)$$

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{v}}{f}} \quad (18)$$

where  $\ell$  is the observation,  $\mathbf{v}$  means the residuals,  $\ell_0$  shows the approximate values,  $\mathbf{P}_0$  is the approximate values of unknowns,  $\mathbf{dP}$  means the unknowns,  $\mathbf{Q}_{\mathbf{dP}\mathbf{dP}}$  is the cofactor matrix of unknowns,  $\mathbf{Q}_{\ell\ell}$  is the cofactor matrix of the adjusted observations,  $\mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}$  is the cofactor matrix of residuals,  $f$  is the degrees of freedom,  $\mathbf{A}$  denotes the Jacobian matrix constituted by coefficients, and the posteriori accuracy ( $m_0$ ) is expected  $m_0 \leq \pm 1$  pixel (Leprince, Barbot, Ayoub, & Avouac, 2007). Additionally,  $[\mathbf{v}_r] = 0$ ,  $[\mathbf{v}_c] = 0$ , and  $[\mathbf{v}\mathbf{v}] = \min$  are expected since LSE is preferred. The rationale functions such as projective, DLT and RFM need the iterative solution.  $\mathbf{P}_0 = 0$  and  $\ell_0 = 0$  at the first iteration, and the adjusted coefficients ( $\bar{\mathbf{P}}$ ) and image coordinates ( $\bar{\ell}$ ) are replaced in the iteration up to the limit for iteration (iteration number or the difference between  $m_0$  of consecutive iterations) as illustrated in Figure 1.

Since the ill-conditioned Jacobian matrix might possibly arise, all coordinates are normalized into  $\pm 1$  for stable matrix inversion. The normalization is applied for row coordinates, for instance, as following:

$$r_n = \frac{2r - r_{max} - r_{min}}{r_{max} - r_{min}} \quad (19)$$

and remains follow the similar formulation. This option is preferred by the user (Figure 1).

The outliers could be estimated to ignore some GCPs, which reduce the posterior accuracy. GeoTransform presents two options, normal (Baarda test) and  $t$  distribution, as following (Baarda, 1968; Koch, 1999)

$$\text{Normal distribution: } T_{ni} = \frac{|v_i|}{\sigma_o \sqrt{Q_{vv_{ii}}}} \quad (20)$$

$$t \text{ distribution: } T_i = \frac{|v_i|}{m_{0i} \sqrt{Q_{vv_{ii}}}}, \text{ where } m_{0i} = \sqrt{\frac{[vv] - \frac{v_i^2}{Q_{vv_{ii}}}}{f-1}} \quad (21)$$

where  $\alpha = 0.05$  and  $\sigma_o$  is defined by the user. If  $T_i > t_{f-1, 1-\alpha/2}$  subsequently, the  $i^{\text{th}}$  GCP is assumed outlier.

The orientation model has coefficients some of which can be negligible. Such coefficients could be statistically estimated by validation test as following

$$m_{dP_i} = \pm m_o \sqrt{Q_{dPdP_{ii}}} \quad (22)$$

$$T_i = \frac{|P_i|}{m_{dP_i}} \quad (23)$$

where  $m_{dP}$  is the posterior accuracy of coefficient. If  $T_i > t_{f, 1-\alpha/2}$ ,  $\alpha = 0.05$ , the coefficient is assumed as significant and is reported by GeoTransform.

### 4.3 User Interface

This section consists of the user interface of GeoTransform (Figure 6). The left part of GeoTransform allows to select working image, the mathematical model and model ID (1<sup>st</sup>-5<sup>th</sup> degrees of polynomial model, three types of affine projection or 1st-3rd of RFM), the type of blunder detection test (normal or  $t$  distribution), a priori  $\sigma_o$  if the normal distribution is selected, threshold to terminate the iterative models (projective, DLT and RFM) and the maximum iteration number. If a rationale mathematical model is run, the maximum iteration number is reached and the difference between  $m_o$  of the last two iterations are displayed in a message box. The quality of adjustment is shown in the relevant section including  $m_r$ ,  $m_c$ ,  $m_o$ ,  $[v_r]$ ,  $[v_c]$ ,  $[vv]$ , and the number of points considered in the adjustment, degree of freedom and the invalid parameters in a message box.

The right side is designed for the graphical representation of residuals. Analyzing the direction of residuals is important as much as their magnitude. They are expected to be non-systematic in a proper orientation. The user could open the image behind the vectors, and the residuals are presented in a rose-diagram to visualize their dominated directions. There are some options to magnify the scale factor, and to change the size of GCP/ICP dot and width of vector for better visualization.

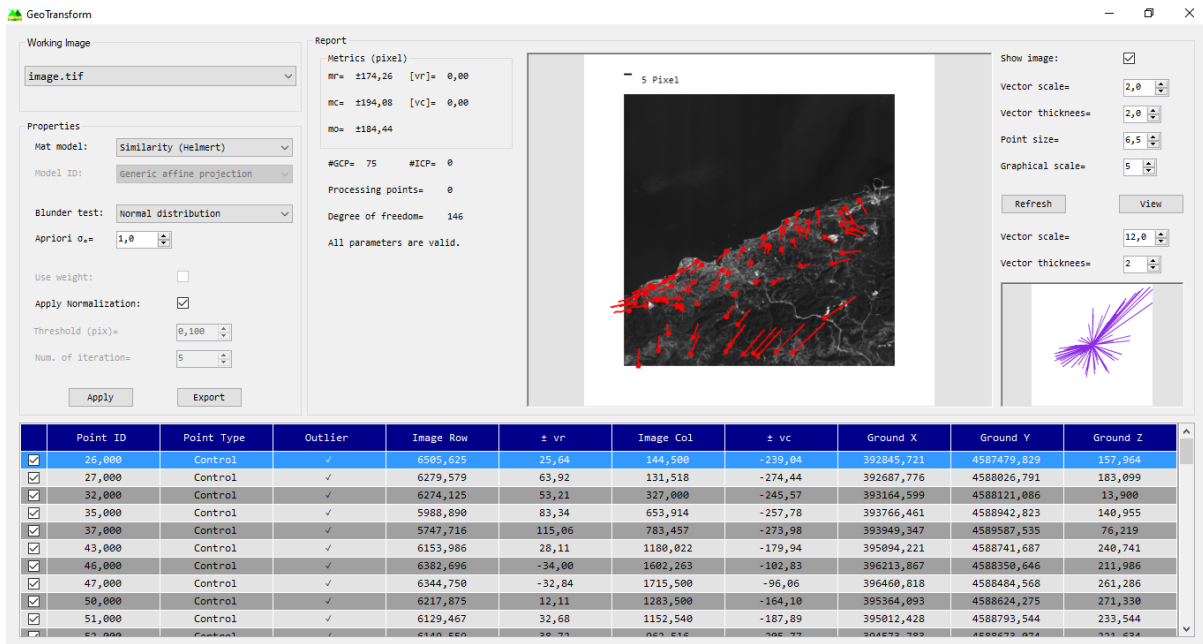


Figure 6:User interface of GeoTransform. Samples is related to the Göktürk-2 panchromatic image

### 4.4 Sample Application

Results of a sample application are presented for Göktürk-2 panchromatic images (2.5 m ground sampling distance) dated 27.05.2014 (Table 1). 75 GCPs were collected from Pléiades 1A panchromatic images. Those results were confirmed the GeoTransform’s MATLAB version derived by Cam (2018). Figure 7 presents the vector graphics of residuals of similarity, DLT and 1° RFM methods.

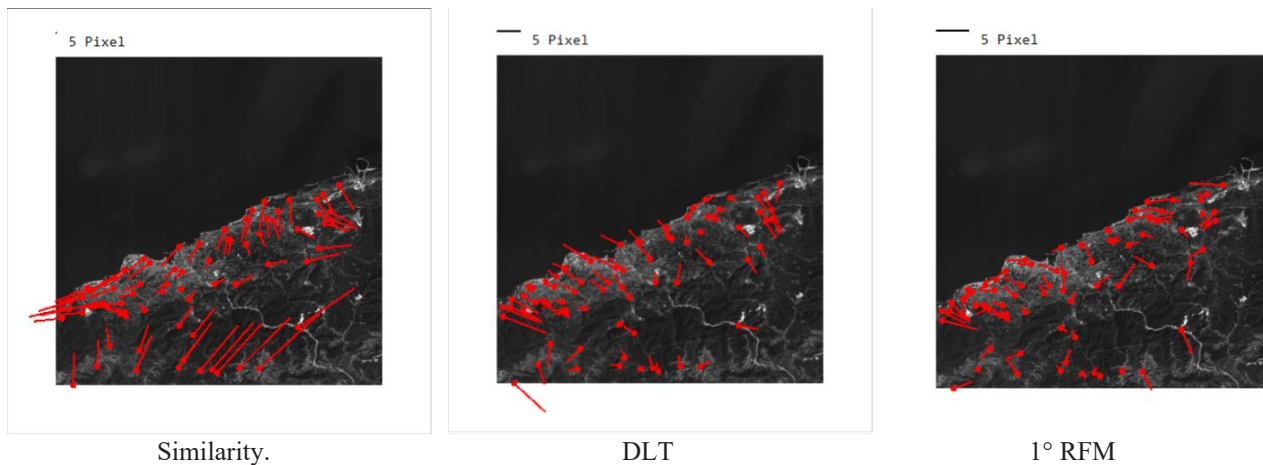


Figure 7:Sample of vector graphic of residuals

### 5. Community

GeoEtrim aims to be established by both international user and developer community. It is distributed free-of-charge for research and educational activities through its account via <http://github.com/geoetrim>. A website (<http://www.geoetrim.org>) also allows the detailed information about tools, team, publications, presentations and contact. GeoEtrim is actively used in the applications of the lessons at bachelor, master and doctorate programs in Zonguldak Bulent Ecevit University, Department of Geomatics Engineering, and is being developed by substantial feedback. The team is growing with the new members, the master and doctorate students advised by the second author, and the students and their advisors from the Department of Computer Engineering (Karabuk University), and also the contributors from related communities.

Table 1: 2D georeferencing accuracy ( $\pm$  pixel)

Method	$m_r$	$m_c$	$m_0$
Similarity	174.26	194.08	184.44
Affine (1° polynomial)	1.87	5.27	3.95
1° polynomial (Affine)	0.91	4.09	2.96
2° polynomial	0.89	4.05	2.94
3° polynomial	0.79	3.81	2.75
4° polynomial	0.75	3.68	2.65
5° polynomial	1.85	4.00	3.11
Affine projection	0.91	2.66	1.99
Affine projection (Generic)	1.75	3.95	3.06
Affine projection (for OrbView-3 geometry)	2.43	4.60	3.68
Affine projection (for IKONOS & QuickBird geometry)	2.42	2.99	2.73
Projective	1.35	2.05	1.74
DLT	0.71	0.69	0.70
1° RFM (sensor independent)	0.47	0.38	0.43
2° RFM (sensor independent)			
3° RFM (sensor independent)			

## 6. Conclusion and Further Studies

This paper presents the new version of GeoEtrim, which is freely available for the academic usage. Although full version consists of sensor dependent and independent orientation models, the version in this paper runs only the sensor independent models. The main motivation of developing such kind of version is to suggest user-friendly software for geospatial image evaluation overcoming the limitations of the MATLAB platform. Therefore, a user can create the project by importing many images, and collecting/importing/exporting the GCP/ICPs, and running the sensor independent orientation models by getting the numerical and graphical results. The theoretical background and details are presented through the software web site.

Although this first executed version has reached a proper structure, it will definitely need further developments in the future. For instance, GeoTransform could be improved by adding sensor dependent RFM for mono and stereo images, and its' image-to-ground version should be taken into account. In spite of the fact that GeoTransform's MATLAB version has the orthoimage generation, the executed version still does not have that capability. Performing the first version of Geo3o1 tool was completed, and its first publication via Pléiades 1A stereo panchromatic images will be soon. This tool is also available for SPOT 6&7 and Göktürk-1 images. C# version of GeoEtrim has been stopped since the advisory board of GeoEtrim has decided to continue the developing of GeoEtrim in C++ via Qt environment with GitHub platform to be fully open access project.

## Acknowledgements

The authors would like to thank Murat ORUC for the contribution as a professional user, to Mr. Ali CAM for sharing the MATLAB codes for GeoTransform, to Asst. Prof. Mursel Ozan INCETAS for the contribution as a computer scientist, and also to the Turkish Air Force for the providing Göktürk-2 image.

## Author Contribution

**Yunus Emre Elkar:** Conception, Design, Analysis and interpretation, Writing. **Huseyin Topan:** Conception, Design, Literature review, Data collection, Supervision, Writing, Review of article.



## Declaration of Competing Interests

The authors declare that they have no known relevant competing financial or non-financial interests that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## References

- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *American Society of Photogrammetry: Symposium on Close-Range Photogrammetry*, 1-18.
- Aguilera, D. G., & Lahoz, J. G. (2006). sv3DVision: didactical photogrammetric software for single image-based modeling. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(6), 171-179.
- AlphaBeta (2017). *The Economic Impact of Geospatial Services: How Consumers, Businesses and Society Benefit from Location-Based Information*. [https://storage.googleapis.com/valueoftheweb/pdfs/GeoSpatial%2520FA\\_Pages-compressed%2520%25282%2529.pdf](https://storage.googleapis.com/valueoftheweb/pdfs/GeoSpatial%2520FA_Pages-compressed%2520%25282%2529.pdf) (Accessed: 12 August 2018)
- Ayoub, F., Leprince, S., & Keene, L. (2009). User's guide to COSI-CORR co-registration of optically sensed images and correlation. *California Institute of Technology: Pasadena, CA, USA*, 38.
- Aytekin, G., Topan, H., Elkar, Y. E., Kisi, M., & Erisik, O. (2019). 2D Orientation Accuracy of Göktürk-1 Panchromatic Imagery. *2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, 821-826.
- Baarda, W. (1968). A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks. *Publication on Geodesy*, 2(5), 97
- Buyuksalih, G., Akcin, H., & Jacobsen, K. (2006). Geometry of OrbView-3 Images. *ISPRS Workshop on Topographic Mapping From Space (with Special Emphasis on Small Satellites)*.
- Cam, A. (2018). *Algılayıcıdan Bağımsız Dönüşüm Yöntemleri İle Üretilen Ortogörüntülerin Konum Doğruluğunun Belirlenmesi* (Master Thesis). Zonguldak Bulent Ecevit University, Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences, Zonguldak, Turkey (in Turkish).
- Chen, J., Dowman, I., Li, S., Li, Z., Madden, M., Mills, J., Paparoditis, N., Rottensteiner, F., Sester, M., Toth, C., Trinder, J., & Heipke, C. (2016). Information from imagery: ISPRS scientific vision and research agenda. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 3-21.
- CloudCompare (2020). CloudCompare: 3D point cloud and mesh processing software. <https://www.cloudcompare.org/> (Accessed: 27 August 2018).
- COLMAP (2020). <https://demuc.de/colmap/> (Accessed: 27 August 2018).
- CRCSI (2020). <http://www.crcsi.com.au/impact/barista/> (Accessed: 27 August 2018).
- Dowman, I. (2010). *Need to Reach Out to Other Sciences*. (Durk Haarsma, Publishing Director, GIM International), <https://www.gim-international.com/content/article/need-to-reach-out-to-other-sciences> (Accessed: 30 August 2018).
- Euroconsult (2017). Satellite-based Earth Observation Market: Strong Growth and Fierce Competition. <https://www.gim-international.com/content/news/satellite-based-earth-observation-market-strong-growth-and-fierce-competition> (Accessed: 30 August 2018)
- European Space Agency (ESA) (2020). Sentinel Application Platform (SNAP). <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/> (Accessed: 30 August 2018)
- FORSAT (2018). A Satellite Image Processing Platform for High Resolution Forest Assessment. <http://forsat.eu> (Accessed: 30 December 2018).
- Fuhrmann, S., Langguth, F., & Goesele, M. (2014). MVE-A Multi-View Reconstruction Environment. *EUROGRAPHICS Workshops on Graphics and Cultural Heritage*.
- Furukawa, Y., & Ponce, J. (2018). Patch-based Multi-view Stereo Software (PMVS). <https://www.di.ens.fr/pmvs/> (Accessed: 30 December 2018).
- Furukawa, Y. (2020). Clustering Views for Multi-view Stereo (CMVS). <https://www.di.ens.fr/cmvs> (Accessed: 27 August 2020).
- GeoEtrim (2020). GeoEtrim: Geospatial Evaluation and Training of Images. [www.geoetrim.org](http://www.geoetrim.org) (Accessed: 27 August 2020).
- González-Aguilera, D., Guerrero, D., Hernández López, D., Rodríguez-González, P., Pierrot, M., & Fernández-Hernández, J. (2012). PW,

- Photogrammetry Workbench. CATCON Silver Award, ISPRS WG VI/2. *Proceedings of the 22nd ISPRS Congress*.
- Gonzalez-Aguilera, D., López-Fernández, L., Rodríguez-Gonzálvez, P., Hernández-López, D., Guerrero, D., Remondino, F., Menna, F., Nocerino, E., Toschi, I., Ballabeni, A., & Gaiani, M. (2018). GRAPHOS—open-source software for photogrammetric applications. *The Photogrammetric Record*, 33(161), 11-29.
- Grizonnet, M., Michel, J., Poughon, V., Inglada, J., Savinaud, M., & Cresson, R. (2017). Orfeo ToolBox: open source processing of remote sensing images. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2(1), 1-8.
- Hejlsberg, A., Wiltamuth, S., & Golde, P. (2003). *C# language specification*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Institut Géographique National (IGN), & l'École de la Géomatique (ENSG). (2020). MicMac. <https://micmac.ensg.eu/index.php/Accueil> (Accessed: 27 August 2020).
- Jacobsen, K. (2003). Geometric potential of IKONOS-and QuickBird-images. *Photogrammetric Weeks '03*, 101-110.
- Jacobsen, K. (2008). BLUH bundle block adjustment. *Program User Manual*, <https://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/BLUHinfo.pdf> (Accessed: 27 August 2020).
- Koch, K.-R. (1999). *Parameter estimation and hypothesis testing in linear models*. Springer Science & Business Media.
- Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F., & Avouac, J. P. (2007). Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of satellite images, application to ground deformation measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6), 1529-1558.
- Luhmann, T. (2016). Learning photogrammetry with interactive software tool PhoX. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 39.
- MeshLab (2020). MeshLab: the open source system for processing and editing 3D triangular meshes. <http://www.meshlab.net/> (Accessed: 27 August 2020).
- Moghaddam, S. H. A., Mokhtarzade, M., Naeini, A. A., & Amiri-Simkooei, A. (2018). A statistical variable selection solution for RFM ill-posedness and overparameterization problems. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(7), 3990-4001.
- Mota, G. L. A., Ribeiro, J. A., Bernardo Filho, O., Silveira, M. T., de Aguiar, R. A., da Silva Badolato, I., da Costa, S. L., & Reolon, P. F. (2012). The e-foto project and the research to implement a GNU/GPL open source educational digital photogrammetric workstation. *Geospatial free and open source software in the 21st century*, 89-106. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Moulon, P., & Bezzi, A. (2011). Python photogrammetry toolbox: a free solution for three-dimensional documentation. *ArcheoFoss*, 1-12.
- Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). (2020). OSGeo Projects. <https://www.osgeo.org/projects> (Accessed: 30 August 2020).
- Paganini, M., Petiteville, I., Ward, S., Dyke, G., Steventon, M., Harry, J., & Kerblat, F. (2018). Satellite earth observations in support of the sustainable development goals. *The CEOS Earth Observation Handbook*.
- Rothermel, M., & Wenzel, K. (2020). SURE (Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery). <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/software/sure/index.en.html> (Accessed: 30 August 2020).
- Seedahmed, G., & Schenk, T. (2001). Comparative Study of Two Approaches For Deriving The Camera parameters From Direct Linear Transformation. *Annual Conference of ASPRS*.
- Shi, S. (2013). *Emgu CV Essentials*. Packt Publishing Ltd.
- Snively, N. (2020). Bundler: Structure from Motion (SfM) for Unordered Image Collections. <http://www.cs.cornell.edu/~snively/bundler/> (Accessed: 30 August 2020).
- Stallmann, D. (2020). DGAP (Bundle Adjustment). <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/software/openbundle/index.en.html> (Accessed: 30 August 2020).
- Terlemezoglu, B., & Topan, H. (2020). Eigenvalue-Based Approaches for Solving an Ill-Posed Problem Arising in Sensor Orientation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(3), 1920-1930.
- Theia (2020). Theia Vision Library. <http://www.theia-sfm.org/> (Accessed: 30 August 2020).
- Topan, H. (2004). *Yörünge Düzeltilmeli IRS-1C/ID Pankromatik Mono Görüntüsünün Geometrik Doğruluk ve Bilgi İçeriği Açısından İncelenmesi* (Master Thesis). Zonguldak Karaelmas University, Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences, Zonguldak, Turkey (in Turkish).
- Topan, H., Buyuksalih, G., & Kocak, G. (2005) IRS-1C Düzey 1B Görüntüsünün Geometrik Analizinin Sensör Yöneltilme Modelleriyle ve Değişik Referans Verileriyle İrdelenmesi. *UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers, 10. Turkey Scientific and Technical Conference*, Ankara, Turkey.

- Topan, H. (2009). *Geometric Analysis of High Resolution Space Images Using Parametric Approaches Considering Satellite Orbital Parameters* (PhD Thesis). Istanbul Technical University, Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences, Istanbul, Turkey.
- Topan, H., & Kutoglu, H. S. (2009). Georeferencing accuracy assessment of high-resolution satellite images using figure condition method. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(4), 1256-1261.
- Topan, H. (2013). First Experience with Figure Condition Analysis Aided Bias Compensated Rational Function Model for Georeferencing of High Resolution Satellite Images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(4), 807-818.
- Topan, H., Taskanat, T., & Cam, A. (2013). Georeferencing accuracy assessment of Pléiades 1A images using rational function model. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W2.
- Topan, H., & Maktav, D. (2014). Efficiency of orientation parameters on georeferencing accuracy of SPOT-5 HRG level-1A stereoimages. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(6), 3683-3694.
- Topan, H., Oruc, M., Taskanat, T., & Cam, A. (2014). Combined efficiency of RPC and DEM accuracy on georeferencing accuracy of orthoimage: Case study with Pléiades panchromatic mono image. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(6), 1148-1152.
- Wachter, M., Moehrl, N., & Goesele, M. (2014). Let there be color! Large-scale texturing of 3D reconstructions. *European conference on computer vision*, 836-850. Springer, Cham.
- Wu, C. (2020). VisualSFM: A Visual Structure from Motion System. <http://ccwu.me/vsfm/doc.html> (Accessed: 30 August 2020).
- Zoej, M. J. V. (1997). *Photogrammetric Evaluation of Space Linear Array Imagery for Medium Scale Topographic Mapping* (PhD Thesis). University of Glasgow, Faculty of Science, Glasgow, Scotland.

## Akıllı mobil telefonlardan elde edilen çift frekanslı ham GNSS gözlemleri ile PPP konum belirleme performansının araştırılması

Caneren Gül<sup>1\*</sup>, Ali Hasan Doğan<sup>1</sup>, Taylan Öcalan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul, Türkiye.

**Öz:** Akıllı mobil telefonların ham GNSS verilerinin erişilebilir hale gelmesi ve bu yönüyle işlenebilir olması, düşük maliyetli GNSS konum belirleme çalışmaları için inovasyon olmuştur. Mayıs 2018'de Xiaomi firması tarafından dünyanın ilk çift frekanslı GNSS çipine sahip Mi8 model telefonun piyasaya sürülmesi ise mühendislik uygulamaları için akıllı mobil telefonlarla konum belirlemedeki çalışmalara büyük bir ivme kazandırmıştır. Bu gelişim dinamiği dikkate alınarak gerçekleştirilen bu çalışmada iki gün tekrarlı ve iki saat süre ile toplanan Xiaomi Mi8 akıllı telefon statik GNSS gözlemleri, GipsyX ve RTKLIB yazılımları ile farklı uydu yükseklik açılarında epok epok kinematik olarak hassas mutlak nokta konum belirleme (Precise Point Positioning, PPP) yöntemi ile değerlendirilmiş, yatay konum doğrulukları hesaplanmıştır. Xiaomi Mi8'den elde edilen çift frekanslı GNSS gözlemlerinin PPP performansı, farklı uydu yükseklik açılarında incelenmiştir. Çözümler eş zamanlı gözlem yapan Topcon Hiper SR jeodezik alıcının bağıl konumlama çözümleri referans alınarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda RTKLIB çözümlerinin yatay konum doğruluğunun uydu yükseklik açısı ile ters orantılı olduğu, buna karşın GipsyX çözümlerinde bu bağlamda farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Xiaomi Mi8 çift frekanslı GNSS gözlemlerinin PPP yöntemi ile değerlendirmesinde GipsyX çözümlerinin RTKLIB çözümlerinden daha yüksek doğrulukta sonuçlar ürettiği görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Akıllı mobil telefon, GNSS, PPP, Xiaomi Mi8, GipsyX, RTKLIB

### Investigation of PPP performance with dual frequency raw GNSS observations obtained from smartphones

**Abstract:** Being accessible and processible of the raw GNSS data of smartphones has been an innovation for low-cost GNSS positioning studies. With the release of world's first smartphone with dual frequency GNSS chipset Mi8 by Xiaomi in May 2018, studies on smartphone-based positioning for engineering applications have gained great momentum. Considering these development dynamics, in this study, repeatedly collected Xiaomi Mi8 dual frequency static GNSS observations for two days in two-hour time span were processed using GipsyX and RTKLIB software with epoch by epoch kinematic Precise Point Positioning (PPP) method at different satellite elevation angles, and horizontal positioning accuracies were calculated. The PPP performance of dual frequency GNSS observations collected by Xiaomi Mi8 was investigated at different satellite elevation angles. The process outputs were compared with results analyzed by relative positioning method collected simultaneously with Topcon Hiper SR geodetic receiver by considering as a reference solution. According to the results, it was noted that the horizontal positioning accuracy of RTKLIB outputs has directly inverse relationship with increasing satellite elevation angles whereas GipsyX outputs have differences in this context. In the processing of Xiaomi Mi8 dual frequency observations with PPP method, it was concluded that GipsyX produced higher horizontal positioning accuracy than RTKLIB.

**Keywords:** Smartphone, GNSS, PPP, Xiaomi Mi8, GipsyX, RTKLIB

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5333

Geliş Tarihi/Received: 04.12.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 28.01.2021



0000-0002-9491-7113, cgul@yildiz.edu.tr (Gül C.)\*  
0000-0002-8490-890X, alihasan@yildiz.edu.tr (Doğan A.H.)  
0000-0003-0861-013X, tocalan@yildiz.edu.tr (Öcalan T.)

## 1. Giriş

Günümüzde taşınabilir ve giyilebilir akıllı mobil cihazların (telefon, tablet, kol saati vb.) sayısı ve kullanım oranı her geçen gün artmaktadır. Bu cihazlar içerisinde akıllı telefonlar insanların günlük yaşantılarında kişisel asistanları olarak ön plana çıkmaktadırlar. Mobil internet erişimi sağlaması, sesli/görüntülü arama hizmetleri sunması, farklı sensör tabanlı uygulamaları gerçekleştirilmesi, konumlama, navigasyon ve zamanlama (Positioning, Navigation and Timing, PNT) için hızlı çözüm üretmesi ve kolay taşınabilirliği dikkate alındığında akıllı telefonlar çok yönlü ve kullanışlı özelliklere sahiptir. Bu bakımdan akıllı telefonların ekonomik pazar büyüklüğü diğer mobil cihazlara göre oldukça fazladır. Avrupa GNSS Ajansı (European GNSS Agency, GSA) 2019 Pazar Raporu'na göre 2020 yılı sonu itibarıyla akıllı telefon kullanıcılarının sayısının dünyada 3.5 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir ([URL-1](#)).

Akıllı telefonlarda farklı görevlere sahip birçok sensör bulunmaktadır. Bunlardan biri de farklı doğruluk seviyelerinde PNT hizmeti sağlayan gömülü GNSS çipleridir. PNT uygulamaları için ilk olarak 1999 yılında akıllı telefonlara GPS çipleri eklenmiştir. Günümüzde üretilen akıllı telefon konumlama çipleri ise GPS ile birlikte GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS ve SBAS sistemlerini destekler duruma gelmiştir ([Banville & Diggelen, 2016](#)).

Mayıs 2016'da Google, "I/O 2016" konferansında Android 7.0 (Nougat) sürümü ile akıllı cihazlarla toplanan ham GNSS verilerini kullanıcıların erişimine açacağını açıklamıştır. Bu karar, akıllı cihazlardaki ham GNSS verisinin işleme sürecine müdahale olanağı sağlayarak, uydulara ait kod, taşıyıcı faz ve Doppler gözlemleri ile metre altı seviyede konum doğruluğu sağlamanın ilk önemli adımı olmuştur. Google'ın bu açıklamasından sonra [Banville ve Diggelen \(2016\)](#) çalışmalarında, Broadcom 4774 model gömülü GNSS çipe sahip Samsung Galaxy S7 marka akıllı telefonda L1 frekansında GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou ve QZSS uydu sistemlerine ait kod, taşıyıcı faz ve Doppler gözlemlerini ham olarak kaydederek GNSS veri kalitesini incelemişlerdir. Sadece GPS gözlem verilerinin değerlendirildiği bu çalışmada, hassas konumlamada temel sorunun GNSS anten kalitesi ve sinyal sıçramaları olduğu vurgulanmıştır. [Siddakatte, Broumandan ve Lachapelle \(2017\)](#)'nin gerçekleştirdiği bir diğer çalışmada ise Broadcom 4774 model gömülü GNSS çipe sahip Huawei Mate 9 marka akıllı telefonda, dahili ve harici GNSS anten yapıları kullanılarak, ham ölçülerin kalitesi ve elde edilen konum doğruluklarının performansı çeşitli senaryolar altında test edilmiştir.

Akıllı telefonlar ile GNSS tabanlı hassas konum belirlemede ikinci önemli adım ise Mayıs 2018'de dünyanın ilk çift frekanslı telefonu olan Mi8'in, Xiaomi tarafından üretilmesi ve pazara sunulması ile gerçekleşmiştir. Xiaomi Mi8, GPS L1/L5 ve Galileo E1/E5a sinyallerini kaydedebilen Broadcom BCM47755 model gömülü GNSS çipine sahiptir. Özellikle akıllı telefonlar ile cm doğrulukta konum belirlemenin başlangıcını oluşturan bu gelişme, aynı zamanda GNSS'ye dayalı hassas konum belirleme çalışmalarında maliyetleri yüksek jeodezik alıcılar yerine, görece maliyetleri çok düşük olan akıllı telefonların mühendislik uygulamalarında kullanılabilirliği adına yapılacak birçok araştırmanın temel kaynağı ve motivasyonu olan süreci başlatmıştır ([Robustelli, Baiocchi, & Pugliano, 2019](#); [Wu, Sun, Zhou, & Zhang, 2019](#); [Chen, Gao, Liu, & Sun, 2019](#)). 2018'de Xiaomi'den sonra Huawei, One Plus, Lenovo gibi farklı markalar da çeşitli modellerinde çift frekanslı GNSS çiplerine sahip yeni ürünlerini piyasaya sunmuşlardır.

Yüksek maliyetli jeodezik GNSS alıcıları ile düşük maliyetli akıllı telefonlar arasındaki en temel fark, kullanılan GNSS anten/çip özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Akıllı telefon GNSS anten çipi, doğrusal (lineer) polarizasyona sahiptir. Bu durum antenin yakınındaki yüzeylerden yansıyan GNSS sinyallerinin çok yolluluk etkilerine duyarlı olmasına neden olur. Bu nedenle akıllı telefon GNSS anten çipi, çok yolluluk etkisini en aza indirmek için tasarlanan jeodezik GNSS alıcı antenine kıyasla düşük kaliteli GNSS ölçüleri toplar. Bu unsur akıllı telefon tabanlı GNSS konumlama için bir dezavantajdır

(Robustelli vd., 2019; Zhang, Tao, Zhu, Shi, & Whang, 2018; Pathak, Thornwall, Krier, & Rowson, 2003). Buna karşın Mayıs 2016 tarihinde Google'ın akıllı telefonlarda ham GNSS ölçülerini kullanıcıların erişimine açması, ardından Mayıs 2018'de dünyanın ilk çift frekanslı telefonu olan Xiaomi Mi8'in pazara sunulmasıyla akıllı telefon tabanlı GNSS konumlama çalışmaları oldukça hız kazanmıştır.

Wu vd. (2019), RTKLIB ve GAMP yazılımlarını kullanarak Xiaomi Mi8 akıllı telefonunun konum belirleme performansını statik ve kinematik hassas nokta mutlak konumlama (Precise Point Positioning, PPP) yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Değerlendirme sonucunda akıllı telefonun statik PPP konum belirleme performansının tek frekanslı jeodezik alıcıya yakın olduğu, kinematik PPP sonucunda ise yaklaşık 3-5 metre fark olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Robustelli vd. (2019), Topcon GRS-1 jeodezik alıcı ve Topcon PG-A1 anten ile Xiaomi Mi8 akıllı telefonun konum belirleme performansını düşük ve yüksek çok yolluluk etkisine sahip ortamlarda kod ve taşıyıcı faz ölçüleri ile ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Çalışmada TEQC (Estey & Meertens, 1999) yazılımı kullanılarak kod ölçülerinin çok yolluluk etkisi kestirilmiş, ayrıca 3600 epöğa sahip 1 saatlik verinin 900 epöğunda (%25'inde) yüksek çok yolluluk etkisi gözlemlenmiştir. Akıllı telefon ile toplanan verinin, jeodezik alıcıya göre daha düşük taşıyıcı gürültü oranı (Carrier-to-Noise Ratio, C/N<sub>0</sub>) profiline sahip olduğu ortaya konmuştur. Jeodezik alıcı referans alındığında akıllı telefon GNSS ölçüleri ile düşük çok yolluluk etkisine sahip ortamda 1.02 m, yüksek çok yolluluk etkisine sahip ortamda ise 1.95 m doğruluk elde edilmiştir. Kulikov, Chugunov ve Zamolodchikov (2019), araç ve yaya navigasyonunda sıklıkla yapılan manevralar esnasında jeodezik alıcı ve Samsung Galaxy S8 akıllı telefon ile veriler elde etmişlerdir. Veriler ölçü sonrası değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar jeodezik alıcı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Değerlendirme sonucunda akıllı telefon çözümleri ile jeodezik alıcı çözümleri arasında konum değerleri farkının 1-3 m arasında değiştiği gösterilmiştir. Elmezayen ve El-Rabbany (2019), Trimble R9 jeodezik alıcı ve Xiaomi Mi8 akıllı telefon performansını statik ve kinematik ölçümlerle değerlendirerek karşılaştırmıştır. Trimble Business Center (TBC) yazılımı kullanılarak bağıl çözümler yapılmış, ardından geliştirilen özel bir yazılım ile PPP çözümleri gerçekleştirilmiştir. PPP çözümleri hem gerçek zamanlı (NAVCAST servisi ile) elde edilmiş, hem de sonradan değerlendirilmiştir. PPP çözümleri karşılaştırıldığında gerçek zamanlı ve sonradan değerlendirilen statik çözümlerde desimetre mertebesinde doğruluk elde edilmiştir. Kinematik çözümlerle elde edilen doğruluk ise metre mertebesinde. Aggrey, Bisnath, Naciri, Shinghal ve Yang (2019), SwiftNav Piksi ve Topcon NET-G3A jeodezik alıcılar ile Xiaomi Mi8, Google Pixel 3, Huawei Mate 20 ve Samsung Galaxy S9 cihazlarının çoklu-GNSS PPP performanslarını değerlendiren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada alıcılarla statik durumda 6 saat gözlem yapılmıştır. Ayrıca, aracın üstüne yerleştirilen SwiftNav Piksi alıcı ve aracın içinde ön kısma kurulan akıllı telefonlar ile önceden belirlenen bir güzergâh üzerinde kinematik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme sonucunda akıllı telefonlarda, SwiftNav Piksi ve Topcon NET-G3A alıcılarına göre daha yüksek çok yolluluk etkisi ve daha düşük C/N<sub>0</sub> tespit edilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda çift frekanslı alıcıya sahip telefonlarda, 38 dakikalık gözlemlerle statik modda desimetre mertebesinde doğruluk, kinematik modda ise birkaç metre mertebesinde doğruluk elde etmenin mümkün olduğu belirtilmiştir.

Akıllı telefonlarda devrim niteliğindeki bu gelişmeler, kişisel uygulamaların yanında yakın gelecekte birçok mühendislik çalışması için de bu cihazların kullanım potansiyelini artırmıştır. Öyle ki akıllı telefonlarda kullanılan GNSS çipi kalitesi ve özellikleri artarken, aynı zamanda 3 boyutlu modelleme çalışmaları için lazer tarama sensör entegrasyonları da sağlanmaya başlamıştır. Bu gelişim dinamikleri dikkate alınarak gerçekleştirilen bu çalışmada, akıllı telefonlardan elde edilen çift frekanslı ham GNSS gözlemlerinin PPP performansı araştırılmıştır. Bu kapsamda Xiaomi Mi8 akıllı telefon ve Topcon Hiper SR jeodezik alıcı ile ardışık iki günde ikişer saatlik statik GNSS gözlemleri yapılmıştır. Xiaomi Mi8 ve Topcon Hiper SR'den eş zamanlı olarak elde edilen statik GNSS gözlemleri, farklı yükseklik açıları seçilerek PPP tekniği ile epok epok kinematik olarak analiz edilmiştir. Veri değerlendirme ve analiz aşamalarında hem RTKLIB hem de GipsyX yazılımları kullanılmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar jeodezik alıcı bağıl konum belirleme çözüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## 2. PPP Tekniği

PPP tekniği, 1990'ların sonunda bağıl konum belirleme tekniğine alternatif olarak geliştirilmiş, tek bir GNSS alıcısının kullanıldığı özel bir mutlak konum belirleme tekniğidir (Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins, & Web, 1997). PPP yönteminin gerek ölçü sonrası değerlendirme, gerekse gerçek zamanlı konumlama için sağladığı birçok avantaj bulunmaktadır. Tek bir GNSS alıcısının kullanılması, maliyetin görece düşük olması, referans istasyonlara gereksinim duyulmaması bunların başlıcalarıdır. Bu yönüyle bağıl/diferansiyel konum belirlemeye önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Erdoğan, Karlıtepe, Öcalan, & Tunalioglu 2018; Öcalan, Erdoğan, Tunalioglu, & Durdağ 2016). Bu nedenle, statik ve kinematik modda gerçekleştirilen GNSS uygulamalarında cm-dm seviyesinde doğruluk sağlayan PPP tekniği büyük ilgi görmüş ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. PPP tekniği, GNSS tabanlı konumlamada jeodezik-jeofizik ölçme uygulamalarında, iklim bilimi çalışmalarında, kıyı mühendisliğinde, hidrografik-öşinografik çalışmalarda, doğal afetlerin izlenmesi ve atmosferik araştırmalarda, tarım, madencilik, inşaat, enerji (petrol ve gaz) uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Lipatnikov & Shevchuk, 2019; Erdoğan vd., 2018). Yakın gelecekte ise özellikle araç park etme, kargo teslimatı, ortak araç kullanımı, acil durum müdahalesi ve otonom sürüş gibi akıllı şehir uygulamalarında da etkin olarak kullanımı beklenmektedir (Robustelli vd., 2019).

GNSS gözlemleri için çift frekanslı iyonosfer-bağımsız doğrusal kombinasyonun kullanımı, uydu ve alıcı kaynaklı hatalar ve jeofiziksel etkilerin modellenmesi temel olarak geleneksel PPP'yi tanımlamaktadır (Aggrey vd., 2019; Chen & Gao, 2005; Héroux vd., 2004; Zumberge vd., 1997). Genel olarak PPP'de kod (1) ve taşıyıcı faz (2) gözlem eşitlikleri aşağıdaki şekildedir.

$$P_r^s = \rho_r^s + c(dT_r - dT^s) + d_{orb} + d_{tro} + d_{ion}^{rs} + \varepsilon_p^{rs} \quad (1)$$

$$\phi_r^s = \rho_r^s + c(dT_r - dT^s) + d_{orb} + d_{tro} - d_{ion}^{rs} + N^{rs} + \varepsilon_\phi^{rs} \quad (2)$$

Burada alt indis  $r$  ve  $s$  sırasıyla alıcı ve uydu,  $P_r^s$  ve  $\phi_r^s$  sırasıyla kod ve faz gözlemleri,  $\rho_r^s$  alıcı ve uydu arasındaki geometrik mesafe,  $c$  ışık hızı,  $dT_r$  ve  $dT^s$  sırasıyla alıcı ve uydu saat hataları,  $d_{orb}$  uydu yörünge hataları,  $d_{tro}$  ve  $d_{ion}^{rs}$  sırasıyla troposfer ve iyonosfer gecikmesi,  $N^{rs}$  faz belirsizliği,  $\varepsilon_p^{rs}$  ve  $\varepsilon_\phi^{rs}$  sırasıyla kod ve faz gözlemlerine ait diğer (okyanus ve karasal yüklem, sinyal kod kayıklığı-bias, yer dönüklüğü, uydu faz dönmesi, çok yolluluk ve anten düzeltmeleri vs.) hatalardır. İlk mertebeden iyonosferik etkiler iyonosfer-bağımsız gözlem kombinasyonları ile, yüksek mertebeden iyonosferik etkiler, uydu yörünge ve saat hataları, jeofiziksel etkiler, sinyal kod kayıklığı (Differential Code Bias, DCB) ve anten düzeltmeleri GNSS analiz merkezleri tarafından sağlanan ilgili ürünler ile modellendiğinde (1) ve (2) eşitlikleri, kod ve faz ölçüleri için iyonosfer-bağımsız olarak (3) ve (4) eşitliklerine sadeleştirilebilir (Chen vd., 2019).

$$P_r^s = \rho_r^s + cdT_r + d_{tro} + \varepsilon_p^{rs} \quad (3)$$

$$\phi_r^s = \rho_r^s + cdT_r + d_{tro} + N^{rs} + \varepsilon_\phi^{rs} \quad (4)$$

## 3. Uygulama

### 3.1 Test Noktası

Xiaomi Mi8 akıllı telefonda elde edilen çift frekanslı ham GNSS gözlemlerinin PPP konum belirleme performansının araştırılması için Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü İnşaat Fakültesi çatısında bulunan ERBD pilyesi test noktası olarak seçilmiştir (Şekil 1). ERBD test noktası yakın çevresinde yapı, ağaç, yansıtıcı yüzey vb. bulunmaması nedeniyle, sinyal çok yolluluk etkisini en aza indirme özelliğine sahip olduğundan uygulama için tercih edilmiştir.

28-29 Ocak 2020 tarihlerinde iki gün süreyle ERBD noktasında aynı zaman aralığında Topcon Hiper SR ve Xiaomi Mi8 ile 2 saat süreyle eş zamanlı statik GNSS gözlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Xiaomi Mi8 ve Topcon Hiper SR için veri kayıt aralıkları 1 Hz olarak seçilmiş, uydu yükseklik açıları ise  $0^\circ$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 1: ERBD test noktasında Topcon Hiper SR ve Xiaomi Mi8 akıllı telefonun eş zamanlı statik GNSS ölçümü

Gerçekleştirilen deney sonucunda ilgili verilerin RTKLIB ve GipsyX yazılımlarında değerlendirilmesi ve analizi için tüm GNSS gözlemleri RINEX formatında elde edilmiştir. Xiaomi Mi8 ham GNSS gözlemlerinin elde edilmesinde Geo++ RINEX Logger yazılımından yararlanılmıştır (URL-2).

### 3.2 Verilerin Değerlendirilmesi ve Analizi

İki gün tekrarlı ve 2 saat olarak elde edilen Topcon Hiper SR ve Xiaomi Mi8 statik GNSS gözlemlerinin veri değerlendirme ve analiz aşamasında kullanılan uydu sistemleri, sinyaller, yöntemler ve yazılımlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: Veri değerlendirme ve analizlerde kullanılan uydu sistemleri, sinyaller, yöntemler ve yazılımlar

Cihaz	Uydu Sistemleri	Sinyaller	Değerlendirme Yöntemi	Yazılım
Topcon Hiper SR	GR	L1 - L2	Bağıl	Topcon MAGNET Tools
Xiaomi Mi8	GE	L1 - L5 E1 - E5a	PPP	RTKLIB v2.4.2 ve GipsyX v1.2
	(G): GPS	(R): GLONASS	(E): Galileo	

Referans çözüm olarak kullanılacak olan Topcon Hiper SR jeodezik alıcısının GPS+GLONASS çift frekans gözlemleri, bağıl konum belirleme yöntemiyle Topcon MAGNET Tools yazılımıyla değerlendirilmiştir. Değerlendirmede İstanbul’da yerel düzeyde faaliyet gösteren İSKİ-UKBS ağına PALA ve KCEK istasyon koordinatları sabit alınarak gözlem epogunda ve ITRF2014 datumunda Topcon Hiper SR jeodezik alıcısının anten faz merkezi yatay koordinatları toposentrik koordinat sisteminde ( $n, e$ ) hesaplanmıştır.

Xiaomi Mi8 akıllı telefonundan elde edilen çift frekans gözlemleri GPS+Galileo sistemlerine aittir. Xiaomi Mi8 gözlemlerinin değerlendirme aşamasında PPP yöntemi kullanılmıştır. 2 saat süreli ve 2 gün tekrarlı olarak elde edilen bu gözlemler hem RTKLIB hem de GipsyX yazılımları ile epok epok (1 sn aralıklı) kinematik olarak değerlendirilmiştir.



RTKLIB ve GipsyX yazılımları ile epok epok kinematik olarak analiz edilen Xiaomi Mi8 verilerinin PPP çözümleri için kullanılan ürünler ve değerlendirme stratejileri Tablo 2’de yer almaktadır.

**Tablo 2:** RTKLIB ve GipsyX’de kullanılan ürün ve stratejiler

Parametre	RTKLIB	GipsyX
Yayın yörünge bilgisi	IGS	-
Hassas yörünge bilgisi	CODE	CODE
Saat bilgisi	CODE	CODE
TEC	CODE	CODE
ZWD	Modellendi	Modellendi
Faz Belirsizliği Çözümü		Kısmi (Float)
Uydu Yükseklik Açısı		0°, 15°, 30° ve 45°

GipsyX ve RTKLIB yazılımlarında Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi (Center for Orbit Determination in Europe, CODE) tarafından sağlanan hassas uydu yörünge ve saat bilgileri kullanılmıştır. RTKLIB değerlendirme aşamasında yayın yörünge bilgilerine de ihtiyaç duymaktadır. Bu bilgi Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) tarafından Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesi kapsamında üretilen ürünler yardımıyla sağlanmıştır. Her iki yazılımda da iyonosferden bağımsız (IonoFree) sinyaller değerlendirilmiştir. Başlangıç tamsayı faz belirsizliği kısmi olarak belirlenmiştir. DCB ve yer dönmesi dikkate alınmıştır. Troposferin ıslak bileşenine ait etki modellenerek giderilmiştir. RTKLIB yazılımına ait detaylı bilgi Takasu (2013)’de, GipsyX’e ait detaylı bilgi ise Bertiger vd. (2020)’de bulunabilir.

Xiaomi Mi8 akıllı telefon GNSS gözlemleri 0° uydu yükseklik açısında elde edilmiştir. Akıllı mobil telefonların GNSS anten çipi özellikleri dikkate alındığında sinyal çok yolluluk etkisinin konum belirleme performansını belirgin düzeyde etkilediği bilindiğinden, PPP analizleri 0°, 15°, 30° ve 45° için farklı uydu yükseklik açılarına göre yapılarak dört farklı çözüm elde edilmiştir. PPP konum belirleme çözümlerinde önemli bir dezavantaj tamsayı belirsizliği çözüm süresinin uzun olmasıdır. Xiaomi Mi8 akıllı telefonunun gerek RTKLIB gerekse GipsyX yazılımlarında gerçekleştirilen epok epok kinematik PPP analizlerinde faz belirsizliği çözüm durumu kısmi (float) olarak belirlenmiştir.

Topcon Hiper SR alıcısından elde edilen bağıl çözüm koordinatları referans alınarak GipsyX ve RTKLIB yazılımları ile epok epok elde edilen kinematik PPP çözümleri toposentrik koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Çözümlerin karesel ortalama hatası (KOH):

$$KOH_i = \sqrt{\frac{\sum_k^m \Delta_{i,k}^2}{m}}, i \in \{n, e\}, k \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (5)$$

eşitliği ile elde edilmiştir. Eşitlikte kullanılan  $\Delta$ : koordinat değeri (referans koordinatlardan farklar),  $i$ : koordinat bileşen indeksi,  $n$ : toposentrik kuzey,  $e$ : toposentrik doğu ve  $m$ : ölçü sayısıdır.

### 3.3 Bulgular

Xiaomi Mi8 akıllı telefonundan 28-29 Ocak 2020 (day of year-DoY: 28 ve 29) tarihlerinde elde edilen 2 saat süreli çift frekanslı GPS+Galileo gözlemleri RTKLIB ve GipsyX yazılımlarıyla 0°, 15°, 30° ve 45° uydu yükseklik açıları ile değerlendirilmiş ve Bölüm 3.2’de açıklandığı üzere  $n$ ,  $e$  bileşenlerine ait KOH değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3). Tablo 4 ve Şekil 2 ise 0°, 15°, 30° ve 45° uydu yükseklik açıları için GipsyX ve RTKLIB’den elde edilen yatay konum doğruluklarını göstermektedir.

**Tablo 3:** *Xiaomi Mi8 için GipsyX ve RTKLIB çözümlerinden elde edilen KOH değeri sonuçları*

KOH	28 Ocak 2020 DoY:28		29 Ocak 2020 DoY:29		Yükseklik Açısı (°)
	GipsyX	RTKLIB	GipsyX	RTKLIB	
n(m)	3.17	5.19	3.54	6.15	0
	2.58	6.10	4.17	6.76	15
	2.91	6.22	3.95	8.36	30
	9.30	6.57	2.54	33.34	45
e(m)	2.04	4.96	3.71	6.47	0
	2.15	5.42	4.03	6.65	15
	5.20	5.93	5.89	6.49	30
	4.70	6.74	2.87	11.50	45

n ve e için KOH değerleri ile yatay konum doğruluğu eşitlik (6) ile hesaplanır.

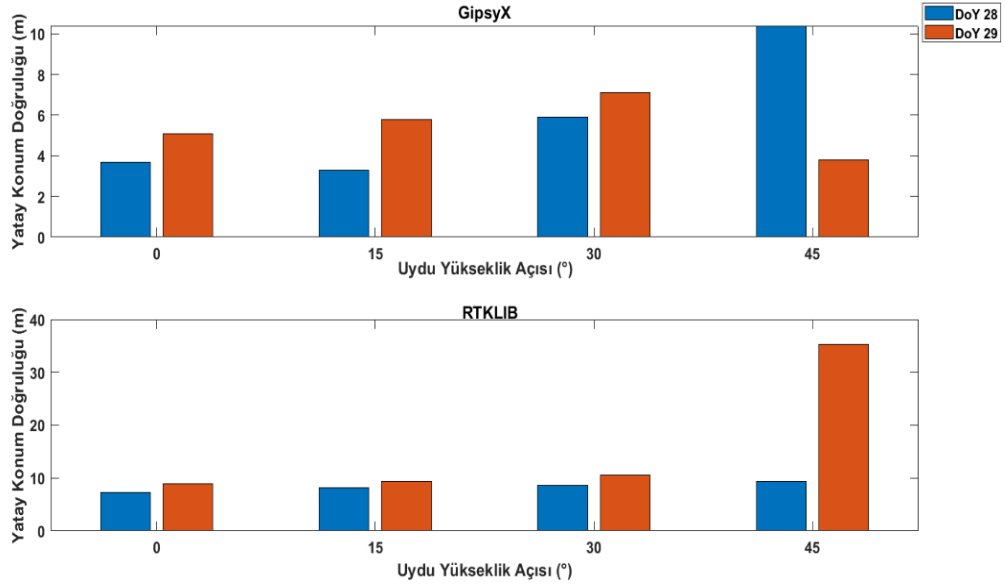
$$Yatay\ Konum\ Doğruluğu = \sqrt{KOH_n^2 + KOH_e^2} \quad (6)$$

**Tablo 4:** *Xiaomi Mi8 için GipsyX ve RTKLIB çözümlerinden elde edilen yatay konum doğruluğu sonuçları*

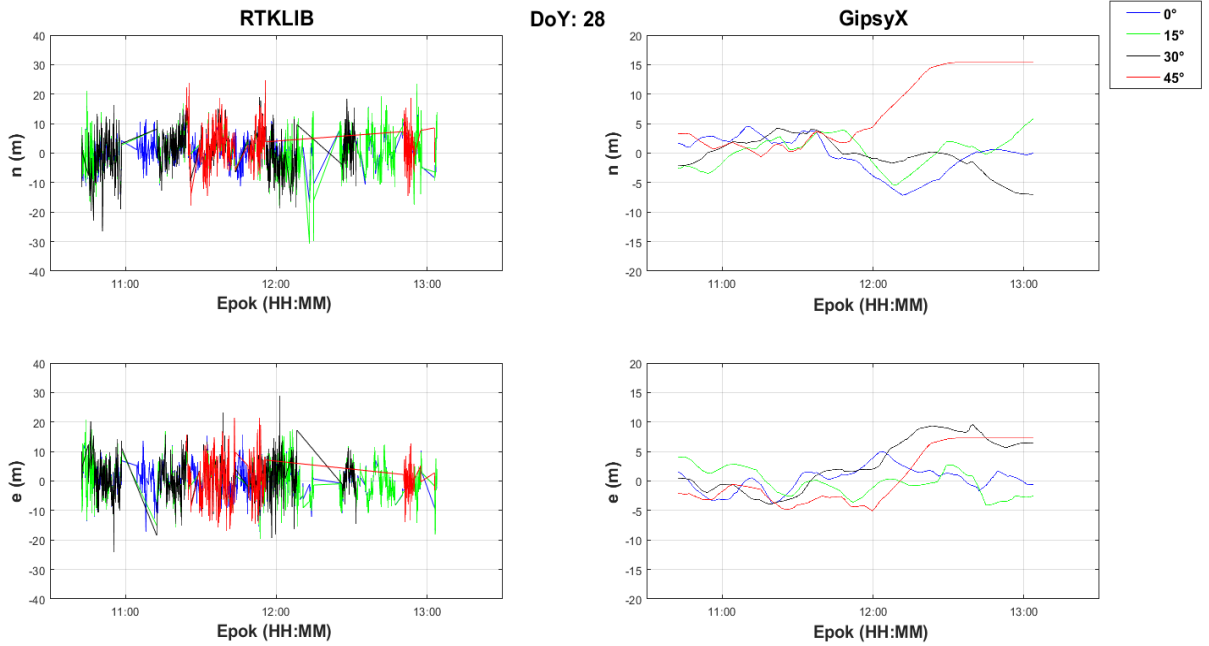
	28 Ocak 2020 DoY:28		29 Ocak 2020 DoY:29		Yükseklik Açısı (°)
	GipsyX	RTKLIB	GipsyX	RTKLIB	
Yatay Konum Doğruluğu(m)	3.8	7.2	5.1	8.9	0
	3.4	8.2	5.8	9.5	15
	6.0	8.6	7.1	10.6	30
	10.4	9.4	3.8	35.3	45

Xiaomi Mi8 akıllı telefon çift frekanslı GPS+Galileo gözlemleri için 28. günde GipsyX yazılımında yatay konum doğruluğu için elde edilen en iyi değer 15° yükseklik açısında 3.4 m iken en kötü değer 45° yükseklik açısında 10.4 m' dir. 29. günde ise en iyi değer 45° yükseklik açısında 3.8 m iken en kötü değer 30° yükseklik açısında 7.1 m olarak hesaplanmıştır.

RTKLIB yazılımında en iyi değer 0° yükseklik açısında 28. ve 29. günlerde sırasıyla 7.2 m ve 8.9 m hesaplanmıştır. En kötü değer ise 45° yükseklik açısında 28. ve 29. günlerde sırasıyla 9.4 m ve 35.3 m hesaplanmıştır. 28. ve 29. günler için sırasıyla GipsyX ve RTKLIB çözümleri Şekil 3 ve Şekil 4'te görselleştirilmiştir.

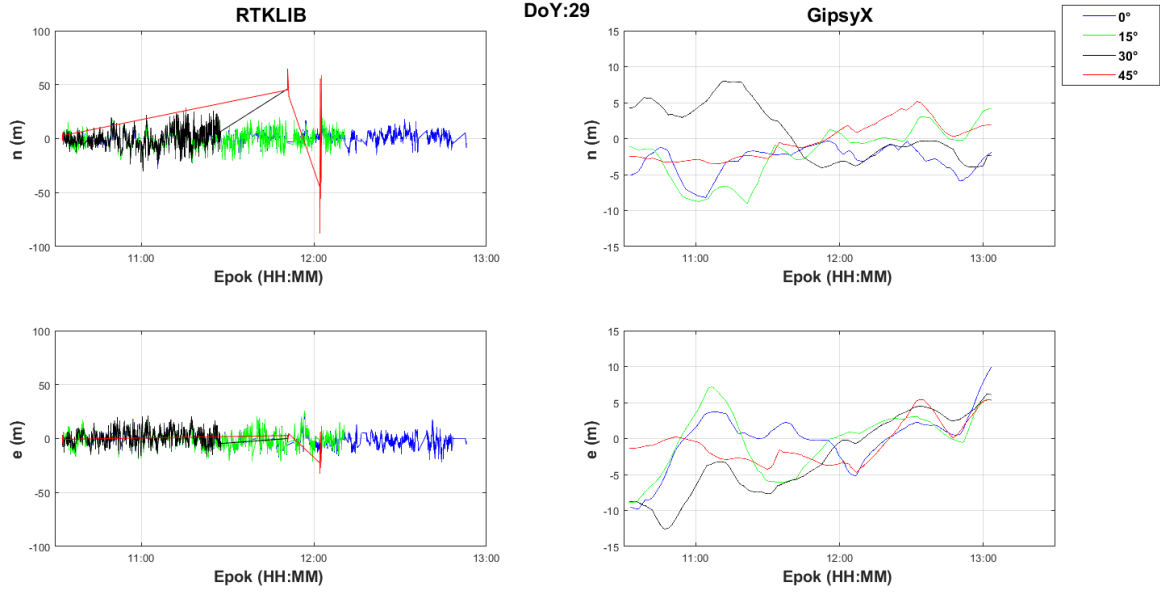


Şekil 2: GipsyX ve RTKLIB yatay konum doğrulukları(m)



Şekil 3: 28. gün RTKLIB ve GipsyX çözümleri

RTKLIB, aynı epokta aynı uydudan çift frekans gözlem bulunmadığı durumda ilgili epoktaki ölçüleri değerlendirmeye almamaktadır. Ancak GipsyX rastgele yürüyüş modeli ile gözlemlerin bulunmadığı epoklarda da koordinat üretebilmektedir. Bu bağlamda ilgili yazılımların çözüm algoritma yaklaşımları farklılık taşımaktadır.



Şekil 4: 29. gün RTKLIB ve GipsyX çözümleri

Uydu yükseklik açısı arttıkça gözlenen uydu sayısı azalmakta, dolayısıyla değerlendirmeye alınan ölçü sayısı da azalmaktadır. RTKLIB’de özellikle 30° ve 45° uydu yükseklik açılarında önemli derecede ölçü kaybı görülmektedir. Öyle ki, 29. günde 45° uydu yükseklik açısında toplam gözlem epoğunun yalnızca %0.4’ü değerlendirmeye alınabilmiş ve çok düşük doğruluk elde edilmiştir. RTKLIB yazılımı kullanıldığında uydu yükseklik açılarına göre değerlendirmeye alınan gözlem epogu oranları 28. gün ve 29. gün için Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 5: 28. ve 29. gün Xiaomi Mi8 RTKLIB çözümlerinde uydu yükseklik açısına göre değerlendirilmeye alınan epok oranları

Yükseklik Açısı (°)	Değerlendirmeye Alınan Epok Oranı (%)	
	28. gün	29. gün
0	41.2	52.6
15	38.9	45.3
30	31.0	27.6
45	12.9	0.4

#### 4. Sonuçlar

Akıllı mobil telefonlardan ham GNSS gözlem verilerinin elde edilmesi, bu cihazların mühendislik uygulamalarındaki kullanım potansiyelini artırmıştır. Son yıllarda çift frekanslı GNSS sinyal çipine sahip akıllı mobil telefonların sayısının artması da, bu sürecin gelişmesine katkı sağlamıştır. Özellikle cm-dm doğruluklarında konum belirleme için akıllı mobil telefonların kullanım potansiyelini araştırın çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. PPP tekniği ise zaman, maliyet ve işgücü kriterleri açısından bağıl konum belirlemeye önemli bir alternatif olarak GNSS konumlamada kullanıcılar tarafından tercih edilme oranı giderek artan güncel bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu gelişim dinamikleri dikkate alınarak gerçekleştirilen çalışmada, dünyanın ilk çift frekanslı akıllı mobil telefonu olma özelliğine sahip Xiaomi Mi8 ile 2 gün tekrarlı olarak 2 saatlik statik GNSS gözlemleri yapılmıştır. Elde edilen gözlemler, farklı uydu yükseklik açıları ile RTKLIB ve GipsyX yazılımları ile epok epok kinematik modda PPP tekniği ile

değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları, Topcon Hiper SR jeodezik alıcısı ile elde edilen bağıl çözümler referans alınarak karşılaştırılmıştır. Farklı çözüm algoritmaları kullanan RTKLIB ve GipsyX yazılımlarında, değişen uydu yükseklik açısının çözümlere etkisi incelenmiştir. Xiaomi Mi8 çift frekans GPS+Galileo gözlemlerinde GipsyX ile elde edilen çözümlerde en iyi yatay konum doğruluğu 28. günde 15° yükseklik açısı ile, 29. günde ise 45° yükseklik açısı ile elde edilmiştir. Diğer yandan RTKLIB’de, uydu yükseklik açısı arttıkça yatay konum doğruluğu belirgin düzeyde olumsuz etkilenmektedir. En iyi yatay konum doğruluğu her iki günde de 0° yükseklik açısı ile elde edilmiştir. GipsyX için, iki günlük tekrarlı olarak yapılan değerlendirme sonuçları incelendiğinde, uydu yükseklik açısı ile yatay konum doğrulukları arasında doğrudan bir ilişki tanımlanamamaktadır. Ancak RTKLIB yazılımında uydu yükseklik açısının artırılmasının elde edilen yatay konum doğruluğunu olumsuz etkilediği açıkça görülebilmektedir. Uydu yükseklik açısının artırılmasıyla azalan gözlem sayısının etkisi, RTKLIB değerlendirme sonuçlarında daha baskın hale gelmektedir. Tüm bu sonuçların yanında GipsyX ile elde edilen en iyi yatay konum doğruluğu ile RTKLIB’den elde edilen en iyi yatay konum doğruluğu arasındaki fark yaklaşık 4 m’dir. Sonuç olarak Xiaomi Mi8 ile 2 gün tekrarlı ve 2 saatlik ölçü süresine sahip çift frekanslı GNSS gözlemlerinin PPP analizlerinde, farklı uydu yükseklik açıları için GipsyX ile elde edilen yatay konum doğruluklarının RTKLIB’e göre görece daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

## Teşekkür

Verilerin değerlendirilmesinde kullanılan RTKLIB yazılımı için Tomoji Takasu’ya, GipsyX yazılımı için NASA-JPL’ye, ayrıca veri ve ürün desteklerinden ötürü IGS, CODE ve İSKİ’ye teşekkür ederiz.

## Yazar Katkısı

**Caneren Gül:** Tasarım, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Yazım, Veri toplama ve işleme, Makale değerlendirme. **Ali Hasan Doğan:** Denetleme, Yazım, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Veri toplama ve işleme, Makale değerlendirme. **Taylan Öcalan:** Fikir, Tasarım, Analiz ve yorumlama, Denetleme, Yazım, Makale değerlendirme.

## Çıkar Çatışması Beyanı

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

## Kaynaklar

- Aggrey, J., Bisnath, S., Naciri, N., Shinghal, G., & Yang, S. (2019). Use of PPP processing for next-generation smartphone GNSS chips: key benefits and challenges. *Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2019)*, 3862-3878.
- Banville, S., & Van Diggelen, F. (2016). Precise positioning using raw GPS measurements from Android smartphones. *GPS world*, 27(11), 43-48.
- Bertiger, W., Bar-Sever, Y., Dorsey, A., Haines, B., Harvey, N., Hemberger, D., Heflin, M., Lu, W., Moore, A.W., Murphy, D., Ries, P., Romans, L., Sibois, A., Sibthorpe, A., Szilagyi, B., Vallisneri, M., & Pascal, W. (2020). GipsyX/RTGx, a new tool set for space geodetic operations and research. *Advances in Space Research*, 66(3), 469-489.
- Chen, K., & Gao, Y. (2005). Real-time precise point positioning using single frequency data. *Proceedings of the 18th international technical meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2005)*, 1514-1523.
- Chen, B., Gao, C., Liu, Y., & Sun, P. (2019). Real-time precise point positioning with a Xiaomi MI 8 android smartphone. *Sensors*, 19(12), 2835.

- Elmezayen, A., & El-Rabbany, A. (2019). Precise point positioning using world's first dual-frequency GPS/GALILEO smartphone. *Sensors*, 19(11), 2593.
- Erdoğan, B., Karlitepe, F., Öcalan, T., & Tunalioglu, N. (2018). Performance analysis of Real Time PPP for transit of Mercury. *Measurement*, 129, 358-367.
- Estey, L. H., & Meertens, C. M. (1999). TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. *GPS solutions*, 3(1), 42-49.
- Héroux, P., Gao, Y., Kouba, J., Lahaye, F., Mireault, Y., Collins, P., Macleod, K., Tétreault, P., & Chen, K. (2004). Products and applications for Precise Point Positioning-Moving towards real-time. *Proceedings of the 17th international technical meeting of the satellite division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2004)*, 1832-1843.
- Kulikov, R., Chugunov, A., & Zamolodchikov, V. (2019). Investigation of collision warning possibilities by means of GNSS receivers of Android smartphones. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Vol. 695, No. 1, 12013.
- Lipatnikov, L. A., & Shevchuk, S. O. (2019). Cost Effective Precise Positioning with GNSS. *The International Federation of Surveyors (FIG)*, No: 74.
- Öcalan, T., Erdoğan, B., Tunalioglu, N., & Durdağ, U. M. (2016). Accuracy investigation of PPP method versus relative positioning using different satellite ephemerides products near/under forest environment. *Earth sciences research journal*, 20(4), 1-9.
- Pathak, V., Thornwall, S., Krier, M., Rowson, S., Poilasne, G., & Desclos, L. (2003). Mobile handset system performance comparison of a linearly polarized GPS internal antenna with a circularly polarized antenna. *IEEE antennas and propagation society international symposium. Digest. Held in conjunction with: USNC/CNC/URSI North American Radio Sci. Meeting* Vol. 3, 666-669.
- Robustelli, U., Baiocchi, V., & Pugliano, G. (2019). Assessment of dual frequency GNSS observations from a Xiaomi Mi 8 Android smartphone and positioning performance analysis. *Electronics*, 8(1), 91.
- Siddakatte, R., Broumandan, A., & Lachapelle, G. (2017). Performance evaluation of smartphone GNSS measurements with different antenna configurations. *Proceedings of the International Navigation Conference. 2007*.
- Takasu, T. (2013). RTKLIB ver. 2.4. 2 Manual. RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, 29-49.
- Wu, Q., Sun, M., Zhou, C., & Zhang, P. (2019). Precise point positioning using dual-frequency GNSS observations on smartphone. *Sensors*, 19(9), 2189.
- Zhang, X., Tao, X., Zhu, F., Shi, X., & Wang, F. (2018). Quality assessment of GNSS observations from an Android N smartphone and positioning performance analysis using time-differenced filtering approach. *GPS Solutions*, 22(3), 1-11.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., & Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *J. Geophys. Res.*, 102(B3), 5005– 5017
- URL-1: GSA GNSS Market Report 2019, Issue6, <https://www.gsa.europa.eu/newsroom/news/european-gnss-agency-gsa-releases-6th-gnss-market-report>, (Erişim Tarihi: 3 Şubat 2020)
- URL-2: Geo++RINEX Logger, <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.geopp.rinexlogger&hl=en>, (Erişim Tarihi: 28 Ocak 2020).

## Transversal azimutal projeksiyonlarda Aitoff ve Wagner dönüşümleri

İbrahim Öztuğ Bildirici<sup>1</sup> , Sevgi Böge<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya, Türkiye.

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Kadınhanı Faik İçil Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Programı, Kadınhanı, Konya, Türkiye.

**Öz:** David Alexandrovich Aitoff, uzunluk koruyan transversal azimutal projeksiyonu, planisfer gösterimler için kullanılabilir şekilde modifiye ederek ilginç bir yöntem uygulamıştır. Aitoff'tan çok sonra Karlheinz Wagner tarafından bu tür dönüşümler geliştirilmiştir. Bu çalışmada dönüşüm yöntemleri tartışılarak, dönüşüm streografik projeksiyona uygulanmıştır. Bu uyarlama deformasyonlar açısından incelenmiş, Aitoff ve Hammer projeksiyonları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bu yeni seçeneğin planisfer gösterimlerde kullanılabilirliğini göstermektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Harita projeksiyonu, Planisfer gösterim, Aitoff projeksiyonu

### Aitoff and Wagner transformation in transversal azimuthal projections

**Abstract:** An interesting method has been applied by David Alexandrovich Aitoff modifying the equidistant transversal azimuthal projection so that it can be used for planisphere representations. Such transformations were generalized by Karlheinz Wagner long after Aitoff. In this study, the transformation method is discussed, and it is applied to stereographic projection. This modification has been examined in terms of distortions and compared with Aitoff and Hammer projections. The results show that this new option can be used in planisphere representations.

**Keywords:** Map projection, Planisphere representation, Aitoff projection

## 1. Giriş

Yeryüzünün tamamının gösterimi için kullanılan planisfer gösterimler silindirik, konik ve azimutal projeksiyonlardan türetilirler. Bu tür projeksiyonlar artık silindirik, konik ya da azimutal olmadıklarından pseudo ya da gerçek anlamda olmayan ön eki ile anılırlar. Bu çalışmada azimutal projeksiyonlardan planisfer türü projeksiyonlar elde etmek için Rus bilim adamı D. A. Aitoff (1854 - 1933) tarafından ortaya atılmış, daha sonra Alman K. Wagner (1906 - 1985) tarafından geliştirilmiş olan dönüşüm yöntemi ele alınacaktır. Aitoff, uzunluk koruyan transversal azimutal projeksiyonu modifiye ederek adıyla anılan projeksiyonu geliştirmiştir. Alman E. Hammer (1858 - 1925), Aitoff'un yöntemini alan koruyan transversal azimutal projeksiyona uygulamıştır. Birbirine çok benzeyen bu iki projeksiyon kaynaklarda çoğunlukla karıştırılmıştır (Bildirici, 2019; Snyder, 1987). Bu çalışmada Aitoff'un dönüşümü ele alınacak, Aitoff ve Hammer projeksiyonunun nasıl geliştirildiği Wagner'in genel dönüşüm yöntemi eşliğinde ortaya konacaktır (Wagner, 1949). Dönüşümün başka azimutal projeksiyonlara da uygulanması mümkündür. Bu çalışmada streografik ve ortografik projeksiyon uygulamaları gösterilecektir. Uygulamada kullanılacak streografik projeksiyon uygulaması deformasyonlar açısından analiz edilip, Aitoff ve Hammer projeksiyonları ile karşılaştırılacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

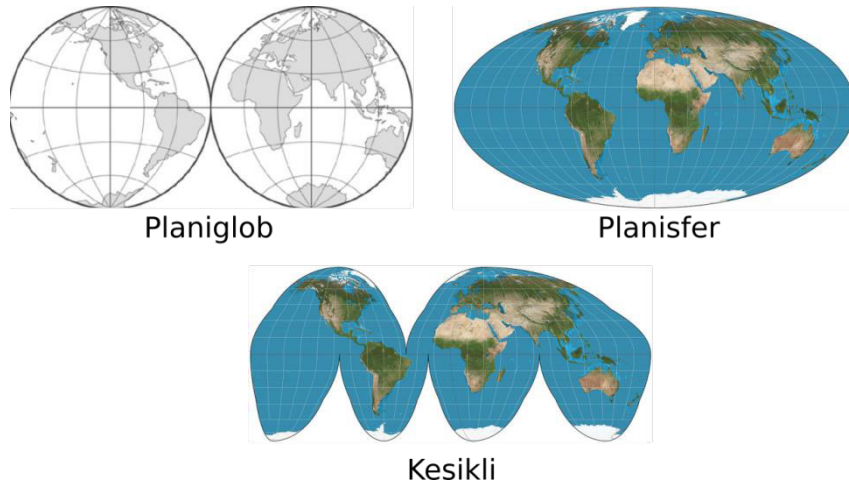
### 2.1 Yeryüzünün Tamamının Gösterimi Problemi

Gerçek anlamlı projeksiyonlar yeryüzünün tamamının gösterimi açısından bazı sakıncalar ortaya çıkarır. Azimutal projeksiyonda en çok bir yarı küre gösterilebilir. Konik projeksiyonda bir yarı küreden fazlası gösterilse de diğer kutba doğru hızla artan deformasyonlardan dolayı tercih edilmez. Bu projeksiyon türünün uygulamaları da bir yarı küre ile sınırlıdır. Bu kısıtlamanın yanında koninin açılımı yer küreselliğini yansıtmaz. Silindirik projeksiyonlar yeryüzünün tamamının gösterimi açısından uygundur. Bu projeksiyonda da yer küreselliği hissi oluşmaz. Dikdörtgen bir Dünya izlenimi söz konusudur. Kutuplara doğru hızla büyüyen deformasyonlar ve kutupların Ekvator uzunluğunda çizgilere dönüşmesi de bu projeksiyon türünün olumsuz özellikleri arasında sayılır.

Yeryüzünün tamamının gösterimi için silindirik projeksiyonlar dışında üç seçenek vardır (Bildirici, 2019; Hake, Grünreich & Meng, 2002);

- **Planiglob gösterim:** Yeryüzü yan yana yerleştirilen iki yarı küre halinde gösterilir. Çoğunlukla azimutal projeksiyonlar tercih edilir. Geçmişteki yaygın kullanımına rağmen günümüzde çok tercih edilen bir gösterim türü değildir (Şekil 1).
- **Planisfer gösterim:** Yer küreselliği algısı meydana getirmek için yeryüzünün tamamı elips ya da elipse yakın bir şekilde gösterilir (Şekil 1).
- **Kesikli gösterim:** Planisfer gösterimlerde oluşan deformasyonları azaltmak için birden fazla orta meridyen ile parçalı gösterim yapılabilir. Bu amaçla bilinen bir ya da iki projeksiyondan yararlanılır. Genellikle iki projeksiyonun kombinasyonu şeklinde uygulamalar yaygındır (Şekil 1).





Şekil 1: Yeryüzünün tamamının gösterimine yönelik üç temel yöntem

Düzlem, koni ve silindir gerçek anlamlı projeksiyon yüzeyleri olarak adlandırılır. Planisfer gösterimler bu üç projeksiyon türünün değişime uğratılmasıyla elde edilmiş gerçek anlamlı olmayan projeksiyonlar ile elde edilir. Gerçek anlamlı olmayan projeksiyonlar, itibari projeksiyonlar olarak da adlandırılır. İngilizce kaynaklarda genellikle gerçek anlamlı projeksiyon türlerinin önüne pseudo eki getirilerek ayırt edilirler. En tipik özellikleri coğrafi ağın ortogonal olmamasıdır.

Gerçek anlamlı olmayan projeksiyonlar genel olarak hem enleme ( $\varphi$ ) hem de boylama ( $\lambda$ ) bağlı iki fonksiyon ile ifade edilir.

$$x = x(\varphi, \lambda) \quad (1a)$$

$$y = y(\varphi, \lambda) \quad (1b)$$

Bu makalede eksen yönleri  $x$  sağa ve  $y$  yukarı olarak alınacaktır.

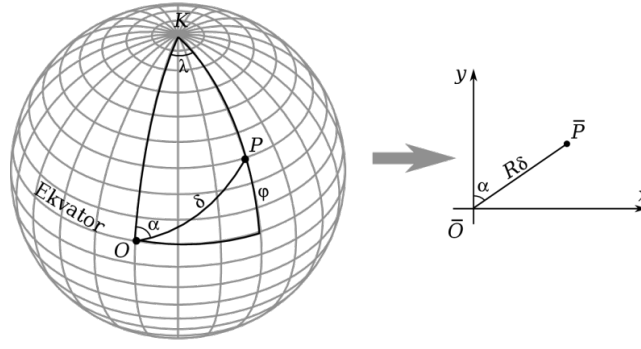
Planisfer gösterimler, kutupların nokta ve çizgi ile gösterilmesine göre de ikiye ayrılırlar. En tipik planisfer uygulaması, Ekvator ile orta meridyen oranının 2:1 olması ve kutuplar çizgi ile gösteriliyorsa kutup çizgilerinin de Ekvatorun yarısı uzunluğunda olmasıdır. Tipik olarak planisfer gösterimler ana karalar arasındaki alan oranlarının korunması amacıyla alan koruyandır. Bazıları ise her üç deformasyonu (alan, uzunluk, açı) dengeleyecek şekilde *optimal deformasyonlu* olarak tasarlanmıştır.

## 2.2 Aitoff Dönüşümü ve Projeksiyonu

Aitoff, transversal konumlu meridyen uzunluğu koruyan azimutal projeksiyondan hareketle tüm azimutal projeksiyonlardan planisfer projeksiyonlar elde edilebilecek bir dönüşüm uygulamasıdır (Bildirici, 2019; Snyder, 1987). Herhangi bir azimutal projeksiyon ekvator üzerinde (0,0) noktasında küreye teğet alınırsa (Şekil 2) projeksiyon genel eşitlikleri aşağıdaki gibidir.

$$x = Rf(\delta) \sin \alpha \quad (2a)$$

$$y = Rf(\delta) \cos \alpha \quad (2b)$$



Şekil 2: (0,0) noktasından teğet düzleme izdüşüm (meridyen uzunluğu koruyan transversal azimutal projeksiyon)

Burada  $f(\delta)$  azimutal projeksiyonlarda yarıçap fonksiyonudur.  $\alpha$  ise OP büyük daire yayının azimutudur (Şekil 2). Azimutal projeksiyon özelliği gereği kürede ve düzlemde aynıdır. Bu şekilde en çok  $-90^\circ$  ile  $+90^\circ$  boylamları arasındaki bölge (teğet noktaya göre oluşan yarımküre) gösterilebilir.

Aitoff, tüm yeryüzünü gösterebilmek için boylam açılarını yarıya indirmiş, bir daire içinde oluşan sıkışık görünümü gidermek için ise x koordinatını 2 ile çarparak yeryüzünü 2:1 oranında bir elips içinde göstermiştir.

Şekil 2'de gösterilen OP yayının azimutunun P noktasının coğrafi koordinatına bağlı olarak bilinmesi gerekir. Burada OKP küresel üçgenine sinüs teoremi uygulanır ise,

$$\sin \alpha = \frac{\cos \varphi \sin \lambda}{\sin \delta} \quad (3)$$

$$\cos \delta = \cos \varphi \cos \lambda \quad (4)$$

eşitlikleri yazılır. Dik kenarlı küresel üçgenlerde Neper bağıntılarından,

$$\tan \alpha = \frac{\sin \lambda}{\tan \varphi} \rightarrow \cos \alpha = \frac{\tan \varphi}{\sin \lambda} \sin \alpha \quad (5)$$

$$\cos \alpha = \frac{\sin \varphi}{\sin \delta} \quad (6)$$

elde edilir.

Uzunluk koruyan azimutal projeksiyonda  $f(\delta) = R\delta$  olduğundan eşitlik (3) ve eşitlik (6), eşitlik (2)'de yerine yazılırsa transversal projeksiyon eşitlikleri elde edilir (Bildirci, 2019).

$$x = R \frac{\delta}{\sin \delta} \cos \varphi \sin \lambda \quad (7a)$$

$$y = R \frac{\delta}{\sin \delta} \sin \varphi \quad (7b)$$

Eşitlik (7)'de yer alan  $\delta$ , eşitlik (4)'ten bulunur. Eşitlik (7) aşağıdaki gibi de düzenlenebilir.

$$x = R \frac{\arccos(\cos \varphi \cos \lambda)}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \lambda}} \cos \varphi \sin \lambda \quad (8a)$$

$$y = R \frac{\arccos(\cos \varphi \cos \lambda)}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \lambda}} \sin \varphi \quad (8b)$$

Eşitlik (7) ya da (8) ile bir yarım küre gösterilebilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3: Uzunluk koruyan transversal azimutal projeksiyon

Yeryüzünün tamamını göstermek için  $\lambda \rightarrow \lambda/2$  dönüşümü yapılırsa Şekil 4 elde edilir.



Şekil 4: Boylamin yarıya alınarak küre içinde tüm yeryüzünün gösterimi

Aitoff boylamı yarıya indirdikten sonra Şekil 4'te görülen gösterimi 2:1 oranında bir elips içine almak için  $x$  koordinatını da iki kat almıştır (Şekil 5).

$$x = 2R \frac{\delta}{\sin \delta} \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2} \quad (9a)$$

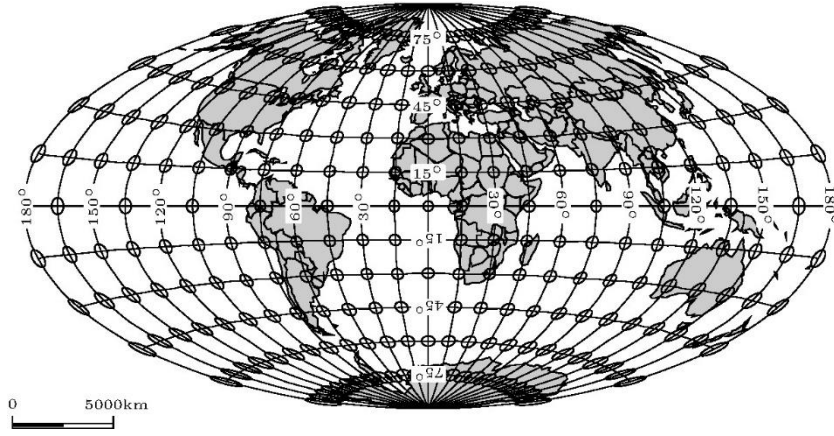
$$y = R \frac{\delta}{\sin \delta} \sin \varphi \quad (9b)$$

$$\cos \delta = \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2} \quad (9c)$$

ya da

$$x = 2R \frac{\arccos(\cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2})}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \frac{\lambda}{2}}} \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2} \quad (10a)$$

$$y = R \frac{\arccos(\cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2})}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \frac{\lambda}{2}}} \sin \varphi \quad (10b)$$



Şekil 5: Aitoff projeksiyonu

### 2.3 Hammer Projeksiyonu

Hammer, Aitoff dönüşümünü alan koruyan azimutal projeksiyona uygulamıştır. Bu şekilde alan koruyan bir planisfer projeksiyon elde edilmiştir ki alan koruma genel olarak planisferlerde aranan bir özelliktir.

Alan koruyan azimutal projeksiyonda yarıçap fonksiyonu,

$$f(\delta) = 2R \sin \frac{\delta}{2} \quad (11)$$

alınır ise transversal projeksiyon eşitlikleri,

$$x = 2R \sin \frac{\delta}{2} \sin \alpha \quad (12a)$$

$$y = 2R \sin \frac{\delta}{2} \cos \alpha \quad (12b)$$

elde edilir. Eşitlik (3), (4), (6), eşitlik (12)'de yerine yazılır ve,

$$\sin \delta = 2 \sin \frac{\delta}{2} \cos \frac{\delta}{2} \quad (13a)$$

$$\cos \frac{\delta}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \delta}{2}} \quad (13b)$$

olduğu göz önüne alınırsa, transversal alan koruyan projeksiyon için (14) eşitlikleri elde edilir.

$$x = \sqrt{2}R \frac{\cos \varphi \sin \lambda}{\sqrt{1 + \cos \varphi \cos \lambda}} \quad (14a)$$

$$y = \sqrt{2}R \frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 + \cos \varphi \cos \lambda}} \quad (14b)$$

Eşitlik (14)'e Aitoff dönüşümü uygulanırsa Hammer projeksiyonu elde edilir.

$$x = \sqrt{2}R \frac{\cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2}}{\sqrt{1 + \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2}}} \quad (15a)$$

$$y = \sqrt{2}R \frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 + \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2}}} \quad (15b)$$

Hammer projeksiyonu Aitoff projeksiyonundan esinlenilerek ortaya çıktığı için birçok kaynakta Hammer-Aitoff, Aitoff-Hammer gibi isimlendirilmiştir. Olası tercüme hataları nedeniyle zaman zaman Aitoff projeksiyonu ile karıştırılmıştır (Snyder, 1987). Bu karışıklıkta iki projeksiyonun birbirine çok benzer olmasının da etkisi vardır.

Aitoff projeksiyonu türetildiği uzunluk koruyan azimutal projeksiyonun özelliklerini kaybetmesine rağmen, Hammer projeksiyonu türetildiği alan koruyan azimutal projeksiyonun alan koruma özelliğine sahiptir.

## 2.4 Wagner Dönüşümü

Wagner, Aitoff'un düşüncesini genelleştirerek bilinen bir projeksiyondan yeni projeksiyonlar geliştirmek üzere bir dönüşüm yöntemi geliştirmiştir. Burada temel düşünce bilinen bir projeksiyonun belli bir bölgesinde daha geniş bir bölgeyi göstermektir. Şekil 4, bu düşüncüyü açıklamak için iyi bir örnektir. Transversal azimutal projeksiyon  $-90^\circ$  ile  $+90^\circ$  boylamları arasını göstermektedir. Bu bölgede boylamın yarısı alınarak  $-180^\circ$  ile  $+180^\circ$  boylamları arası gösterilmiştir. Wagner bu uygulama sonucu küçülen şekli dengelemek için türetilen yeni haritanın uygun bir dönüşümle tekrar büyütülmesini de öngörmüştür. Bu da Aitoff'un  $x$  koordinatını iki ile çarpması ile özdeş bir dönüşümdür. Wagner ünlü ders kitabında ele aldığı bu dönüşümü yeniden numaralama olarak tercüme edilebilecek "Umbeziffern" olarak adlandırmıştır (Wagner, 1949). Bu kavram İngilizce kaynaklara da bu isimle geçmiştir. Burada orijinal bir projeksiyonun dönüştürülmesi sonucu türetilmiş projeksiyonlar için geliştirilmiş eşitliklerin çıkarılması söz konusudur.

Wagner (1949)'da üç ana kategoride ele alınmış olan dönüşüm yöntemlerine verilen örnek uygulamalar daha sonra kaynaklara Wagner I, II, III, IV, V ve VI adı ile geçen projeksiyonlardır (Canters, 2002; Hoschek, 1984; Snyder, 1997). Wagner kendisi bu numaralamayı yapmamıştır. Kitabındaki sıraya göre sonradan bu şekilde isimlendirme yapılmıştır.

İngilizce kaynaklar arasında Canters (2002) Wagner'in dönüşümlerini açık ve yalın bir notasyon ile açıklayan bir eser olarak öne çıkar. Aşağıda Canters'in notasyonu ile Wagnerin 3 dönüşüm yöntemi ele alınacaktır. Bu yöntemler genel olarak gerçek anlamlı ve gerçek anlamlı olmayan silindirik projeksiyonlara uygulanmalarına rağmen azimutal projeksiyonlara da uygulanabilirler.

Wagner dönüşümlerinde  $(u, v)$  coğrafi koordinatlar gibi düşünülerek orijinal projeksiyon aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$x = f_1(u, v) \quad (16a)$$

$$y = f_2(u, v) \quad (16b)$$

olmak üzere orijinal projeksiyon;

$$x = Af_1(u, v) \quad (17a)$$

$$y = Bf_2(u, v) \quad (17b)$$

$$u = u(\varphi) \quad (17c)$$

$$v = v(\lambda) \quad (17d)$$

olarak dönüştürülür.  $u = u(\varphi)$ ,  $v = v(\lambda)$  fonksiyonları keyfi olarak seçilebilirler. Burada  $u$  ve  $v$ , coğrafi ağın dönüştürülmesini sağlayan, coğrafi koordinatlara bağlı, A ve B ise ağın yeniden ölçeklendirilmesini sağlayan parametrelerdir. Orijinal projeksiyonun bazı özellikleri korunacak ise belli kısıtlamalar söz konusu olur. Wagner'in birinci dönüşüm yönteminde bu fonksiyonlar doğrusal olarak seçilmiştir (Canters, 2002; Wagner, 1949).

$$u = m\varphi \quad (18a)$$

$$v = n\lambda \quad (18b)$$

Wagner'in birinci dönüşüm yöntemi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$x = \frac{k_1}{\sqrt{mn}} f_1(m\varphi, n\lambda) \quad (19a)$$

$$y = \frac{1}{k_2\sqrt{mn}} f_2(m\varphi, n\lambda) \quad (19b)$$

Bu dönüşüm tüm dünyayı orijinal projeksiyonun  $[-m\pi/2, m\pi/2]$  enlemleri,  $[-n\pi, n\pi]$  boylamları arasındaki kısmında gösterir. Orijinal projeksiyon kutbu nokta ile göstermiyor ve  $m = 1$  değilse kutup çizgi ile gösterilir. Coğrafi ağı büyütme için koordinatlar  $\sqrt{mn}$  terimine bölünür. Diğer katsayılar ise  $(k_1, k_2)$  eksenler doğrultusunda ölçekleme yapmak için konulmuştur. Bu terimler (17a) ve (17b) eşitliklerindeki A ve B parametrelerine karşılık gelmektedir.

Burada dönüşüm 4 parametreye  $(k_1, k_2, m, n)$  bağlı olmasına rağmen bunların üçünün bilinmesi durumunda dördüncüsü bulunabilir.

Gerçek anlamlı olmayan silindirik projeksiyonlarda kutup çizgisi ekvator oranı  $c$ , orta meridyen Ekvator oranı  $p$  ile gösterilirse (eksen oranları), bunlar ile (19) eşitliklerindeki parametreler arasında aşağıdaki ilişkiler vardır ( $k_2 = 1$  alınarak).

$$m = \sqrt{1 - c^2} \frac{m}{2k_1p} \quad (20a)$$

$$n = \frac{m}{2k_1p} \quad (20b)$$

İkinci dönüşüm, alan koruyan bir dönüşümdür. Orijinal projeksiyonun alan deformasyonu özelliği değişmez. Dolayısı ile orijinal projeksiyon alan koruyan ise, türetilmiş projeksiyonlar da alan koruyandır (Canters, 2002). Burada,

$$\sin u = m \sin \varphi \quad (21a)$$

$$v = n\lambda \quad (21b)$$

seçilir. Dönüşüm eşitlik (22) ile verilmektedir;

$$x = \frac{k}{\sqrt{mn}} f_1(u, v) \quad (22a)$$

$$y = \frac{1}{k\sqrt{mn}} f_2(u, v) \quad (22b)$$

Eksen oranları ve parametreler arasındaki ilişkiler;

$$m = \sqrt{1 - c^2} \quad (23a)$$

$$n = \frac{\arcsin m}{p\pi} \quad (23b)$$

şeklinde. İkinci dönüşümde orta meridyen üzerinde diferansiyel ölçek değişimi belirgindir. Bunu dengelemek için Wagner aşağıdaki fonksiyonlar ile üçüncü dönüşümü önermiştir. Eşitlik (24) dikkate alınırsa;

$$\sin u = m_1 \sin(m_2\varphi) \quad (24a)$$

$$v = n\lambda \quad (24b)$$

dönüşüm;

$$x = \frac{k}{\sqrt{m_1 m_2 n}} f_1(u, v) \quad (25a)$$

$$y = \frac{1}{k\sqrt{m_1 m_2 n}} f_2(u, v) \quad (25b)$$

eşitlikleri ile ifade edilir. Wagner, dönüşümlerini transversal azimutal projeksiyonlara da uygulamıştır. Uzunluk koruyan transversal projeksiyona birinci dönüşüm uygulanırsa eşitlik (2) ve (19)'dan,

$$x = R \frac{k_1}{\sqrt{mn}} \delta \sin \alpha \quad (26a)$$

$$y = R \frac{1}{k_2 \sqrt{mn}} \delta \cos \alpha \quad (26b)$$

ya da

$$x = R \frac{k_1}{\sqrt{mn}} \frac{\delta}{\sin \delta} \cos(m\varphi) \sin(n\lambda) \quad (27a)$$

$$y = R \frac{1}{k_2 \sqrt{mn}} \frac{\delta}{\sin \delta} \sin(m\varphi) \quad (27b)$$

$$\cos \delta = \cos(m\varphi) \cos(n\lambda) \quad (27c)$$

bağıntıları elde edilir. Burada hem meridyenler hem de paraleller eğri biçimindedir.  $m$  kutupların gösterimini,  $n$  ise paralellerin eğriliğini belirleyen bir parametredir. Kutuplar  $m = 1$  durumunda nokta ile  $m < 1$  durumunda eğri ile gösterilir. Orta meridyen Ekvator oranı,

$$p = \frac{m}{2k_1 k_2 n} \quad (28)$$

olur. Wagner'in birinci dönüşümünün transversal azimutal projeksiyona uygulamasında  $m = 1, n = 0.5, k_1 = k_2 = \sqrt{2}$  seçilirse Aitoff projeksiyonu elde edilir. Dolayısı ile Aitoff, Wagner'den 60 yıl önce birinci dönüşümün basit bir durumunu uygulamıştır. Wagner (1949)'da  $m = 7/9, n = 15/8, k_1 = 1.4725, k_2 = 1.6733$  seçilerek kutupların çizgi ile gösterildiği bir projeksiyon sunulmuştur. Aitoff-Wagner ve Wagner IX olarak anılır (Canters, 2002; Wagner, 1949).

Wagner'in ikinci dönüşümü alan koruyan transversal azimutal projeksiyona uygulanarak alan koruyan planisfer

projeksiyonlar elde edilebilir. (12) ve (22) eşitliklerinden, eşitlik (29) ve (30) elde edilir.

$$x = 2R \frac{k}{\sqrt{mn}} \sin \frac{\delta}{2} \sin \alpha \quad (29a)$$

$$y = 2R \frac{k}{k\sqrt{mn}} \sin \frac{\delta}{2} \cos \alpha \quad (29b)$$

elde edilir. Burada;

$$\cos \delta = \cos n\lambda \cos u \quad (30a)$$

$$\sin \alpha = \frac{\sin n\lambda \cos u}{\sin \delta} \quad (30b)$$

$$\cos \alpha = \frac{\sin u}{\sin \delta} \quad (30c)$$

$$\sin u = m \sin \varphi \quad (30d)$$

Bu dönüşümde  $m = 1$ ,  $n = 0.5$ ,  $k = \sqrt{2}$  alınırsa Hammer projeksiyonu elde edilir. Wagner bu dönüşümü  $m = \sin 65^\circ$ ,  $n = 1/3$ ,  $k = 1.466$  parametreleri ile uygulayarak Hammer-Wagner ya da Wagner VII olarak adlandırılan projeksiyonu sunmuştur (Canters, 2002; Wagner, 1949).

## 2.5 Aitoff Dönüşümünün Alternatif Uygulamaları

Wagner dönüşümleri ya da bunların basit versiyonu olan Aitoff dönüşüm yöntemi streografik ve ortografik projeksiyonlara da uygulanabilir. Transversal streografik projeksiyon eşitlikleri,

$$x = 2R \tan \frac{\delta \cos \varphi \sin \lambda}{2 \sin \delta} \quad (31a)$$

$$y = 2R \tan \frac{\delta \sin \varphi}{2 \sin \delta} \quad (31b)$$

biçimindedir. (31) eşitlikleri,

$$\sin \delta = 2 \sin \frac{\delta}{2} \cos \frac{\delta}{2} \quad (32a)$$

$$\cos^2 \frac{\delta}{2} = \frac{1 + \cos \delta}{2} = \frac{1 + \cos \varphi \cos \lambda}{2} \quad (32b)$$

yarım açı eşitlikleri ile daha sade bir duruma getirilebilir.

$$x = 2R \frac{\cos \varphi \sin \lambda}{1 + \cos \varphi \cos \lambda} \quad (33a)$$

$$y = 2R \frac{\sin \varphi}{1 + \cos \varphi \cos \lambda} \quad (33b)$$

Wagner'ın birinci dönüşümü uygulanırsa,

$$x = 2R \frac{k_1}{\sqrt{mn}} \frac{\cos(m\varphi) \sin(n\lambda)}{1 + \cos(m\varphi) \sin(n\lambda)} \quad (34a)$$



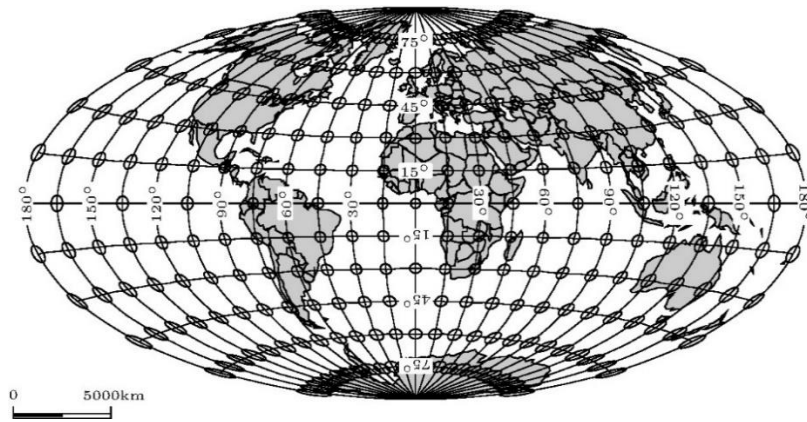
$$y = 2R \frac{k_1}{k_2 \sqrt{mn}} \frac{\sin(m\varphi)}{1 + \cos(m\varphi) \sin(n\lambda)} \quad (34b)$$

olur. Aitoff dönüşümü ile ( $m = 1, n = 0.5, k_1 = k_2 = \sqrt{2}$ ) eşitlik (35) elde edilir.

$$x = 4R \frac{\cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2}}{1 + \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2}} \quad (35a)$$

$$y = 2R \frac{\sin \varphi}{1 + \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2}} \quad (35b)$$

Dönüşüm sonrası elde edilen projeksiyonun konform olma özelliği kaybolur.  $m = 1$  alındığından kutuplar nokta ile gösterilir. Parametreler farklı seçilerek farklı projeksiyonlar da türetilir. Bu projeksiyon bu çalışma kapsamında Aitoff-Streografik olarak anılacaktır. Şekil 6'da bu projeksiyonda Dünya haritası görülmektedir.



Şekil 6: Streografik projeksiyona uygulanan Aitoff dönüşümü

Benzer bir deneme ortografik projeksiyon ile de yapılabilir. Transversal konum bağıntıları:

$$x = R \cos \varphi \sin \lambda \quad (36a)$$

$$y = R \sin \varphi \quad (36b)$$

olmak üzere, Wagner'in birinci dönüşümü;

$$x = R \frac{k_1}{\sqrt{mn}} \cos(m\varphi) \sin(n\lambda) \quad (37a)$$

$$y = R \frac{k_1}{k_2 \sqrt{mn}} \sin(m\varphi) \quad (37b)$$

ve Aitoff dönüşümü,

$$x = 2R \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2} \quad (38a)$$

$$y = R \sin \varphi \quad (38b)$$

şeklinde elde edilir. Bu projeksiyon da kutupların nokta ile gösterildiği bir planisferdir. Ortografik projeksiyonun özelliğine bağlı olarak dış meridyene doğru şekiller çok fazla sıkışır. Bu nedenle uygun bir planisfer elde edilmez.

Gnomonik projeksiyonda bir yarıkürenin gösterilmesi mümkün olmadığından Aitoff-Wagner dönüşümü uygulanamaz.

## 2.6 Deformasyon Ölçütleri

Projeksiyonlarda ortaya çıkan deformasyonlar (uzunluk, alan ve açı) sonsuz küçük ölçekte (diferansiyel anlamda) Tissot Endikatrisi yardımıyla incelenir. Tissot Endikatrisi orijinal yüzeyde (küre ya da elipsoit) sonsuz küçük yarıçaplı bir dairenin projeksiyon düzleminde izdüşümü olup, genel olarak elips biçimindedir. Elips yarıçapları en büyük ve en küçük (ana deformasyonlar) deformasyon büyüklüklerini ( $a, b$ ) ve yönlerini gösterirler.

Planisfer türü projeksiyonlarda ana deformasyon yönleri meridyenler ve paraleller yönünde değildir. Kısmi türevlerden yararlanılarak bulunur (Bildirici, 2019). Burada yalnızca en büyük ve en küçük deformasyon ya da diferansiyel ölçek değerleri ele alınacaktır. Tissot Endikatrisinin yönü için Bildirici (2017, 2019), Canters (2002), Hoschek (1984) gibi kaynaklardan yararlanılabilir.

Birim küre varsayımı ( $R=1$ ) ile  $a, b$  (Endikatrix yarıçapları) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(a + b)^2 = \left( \frac{\partial y}{\partial \varphi} + \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial x}{\partial \lambda} \right)^2 + \left( \frac{\partial x}{\partial \varphi} - \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial y}{\partial \lambda} \right)^2 \quad (39a)$$

$$(a - b)^2 = \left( \frac{\partial y}{\partial \varphi} - \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial x}{\partial \lambda} \right)^2 + \left( \frac{\partial x}{\partial \varphi} + \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial y}{\partial \lambda} \right)^2 \quad (39b)$$

Alan ( $p$ ) ve açı ( $w$ ) deformasyonları

$$p = ab \quad (40a)$$

$$w = 2 \arcsin \frac{a-b}{a+b} \quad (40b)$$

şeklinindedir. Diferansiyel anlamda deformasyon araştırmasında başka ölçütler de vardır. Airy ölçütleri;

$$e_{A1} = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{a}{b} - 1 \right)^2 + (ab - 1)^2 \right] \quad (41a)$$

$$e_{A2} = \frac{1}{2} [(a - 1)^2 + (b - 1)^2] \quad (41b)$$

Airy-Kavrayskiy ölçütü;

$$e_{AK} = \frac{1}{2} [(\ln a)^2 + (\ln b)^2] \quad (42)$$

Airy ölçütlerinin sayısal değerleri  $a$  ve  $b$  birden uzaklaştıkça hızlı büyür. Airy-Kavrayskiy ölçütü ise bu açıdan daha uygundur (Canters, 2002). Deformasyonlar açısından bir değerlendirme yapmak için düzenli ya da rasgele dağılmış noktalarda ölçütler hesaplanıp ortalamaları alınabilir.

## 3. Araştırma ve Tartışma

Bu başlık altında önceki bölümlerde eşitlikleri sunulmuş olan modifiye edilmiş streografik projeksiyon ya da bu çalışmada verilen isim ile Aitoff-Streografik projeksiyon, Aitoff ve Hammer projeksiyonları ile karşılaştırılacaktır.

Deformasyon karakterinin ortaya konması amacıyla  $0 \leq \varphi \leq \pi/2$ ,  $0 \leq \lambda \leq \pi$  aralığında rasgele dağılmış 100 adet noktada ana deformasyonlar ( $a$ ,  $b$ ), Airy ve Airy-Kavrayskiy ölçütleri hesaplanıp ortalamaları alınmıştır. Bu ölçütlerin hesaplanması için kısmi türevler Bildirici tarafından geliştirilmiş olan Earth Flattener yazılımı ile nümerik olarak hesaplanmıştır (Bildirici, 2017). Kısmi türevlerin bağıntıları Aitoff ve Hammer projeksiyonları için Bildirici (2019)'dan alınabilir. Aitoff-Streografik için kısmi türevler aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial x}{\partial \varphi} = -2R \sin \varphi \sin \frac{\lambda}{2} \quad (43a)$$

$$\frac{\partial x}{\partial \lambda} = R \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2} \quad (43b)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \varphi} = R \cos \varphi \quad (43c)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \lambda} = 0 \quad (43d)$$

**Tablo 1:** Üç projeksiyonda deformasyon ölçütlerinin ortalama değerleri (Rasgele dağılmış 100 nokta ile)

	$a$	$b$	$e_{A1}$	$e_{A2}$	$e_{AK}$	$p$	$w^\circ$
<b>Aitoff</b>	1.7521	0.7950	2.0969	0.4854	0.2347	1.3057	41.075
<b>Hammer</b>	1.6356	0.6669	3.5053	0.4004	0.2877	1.0000	47.734
<b>Aitoff-Streografik</b>	2.0706	1.1550	2.0789	0.9303	0.3082	2.3900	28.740

Tablo 1'de üç projeksiyon için 100 rastgele nokta ile hesaplanan ölçütlerin ortalama değerleri görülmektedir. Aitoff-Streografik projeksiyonu açı deformasyonu açısından en düşük değer ile dikkat çekmektedir. Airy ve Airy-Kavrayskiy ölçütleri bakımından Aitoff öne çıkmaktadır. Tablo 1'de önerilen yeni projeksiyonun da planisfer gösterimlerde bir seçenek olduğu görülmektedir. Özellikle şekil bozulmalarının alan bozulmalarına göre daha önemli olduğu uygulamalarda tercih edilebilir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Yeryüzünün tamamının gösterimi için kullanılan planisfer gösterimler genel olarak silindirik projeksiyonlardan türetilir. Bu tür projeksiyonlarda paraleller yatay doğrular biçimindedir. Planisfer türetmek için azimutal projeksiyonlardan da yararlanılabilir. Rus bilim adamı Aitoff 1889'da böyle bir dönüşümü uzunluk koruyan transversal azimutal projeksiyonu kullanarak yapmış ve adıyla anılan projeksiyonu sunmuştur. 1893'te Alman bilim adamı Hammer aynı dönüşümü alan koruyan azimutal projeksiyona uygulayarak alan koruma özelliğini koruyan bir projeksiyon geliştirmiştir. Wagner bu tür dönüşümleri üç seçenek ile sistematize etmiş ve ders kitabında yayınlamıştır (Wagner, 1949).

Bu makalede Wagner'in üç dönüşüm yöntemi incelenmiş, Aitoff ve Hammer projeksiyonlarının Wagner'in genelleştirilmiş projeksiyon eşitliklerinden elde edilebildiği gösterilmiştir. Aynı yaklaşımın başka azimutal projeksiyonlarda da uygulanabileceği gösterilmiş ve streografik projeksiyon uygulamasının planisfer gösterimlerde bir seçenek olabileceği ifade edilmiştir. Özellikle şekil bozulmalarının önemli olduğu harita çalışmalarında yararlı olabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca, Streografik projeksiyon uyarlaması Wagner'in genel eşitlikleri yardımıyla farklı parametrelerle de denenip kutupların eğri ile gösterildiği seçenekler de oluşturulabilir.

## Yazar Katkısı

**İbrahim Öztuğ Bildirici:** Fikir, Analiz ve yorumlama. **Sevgi Böge:** Yazım, Literatür taraması, Denetleme.

## Çıkar Çatışması Beyanı

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

## Kaynaklar

- Bildirici, I. O. (2017). An iterative approach for inverse transformation of map projections. *Cartography and Geographic Information Science*, 44(5), 463-471.
- Bildirici, İ. Ö. (2019). *Kartografya: Harita Tasarımı ve Kullanımı için Gerekli Bilim, Sanat ve Teknik*. Atlas Akademi Yayınevi, Konya.
- Canter, F. (2002). *Small-scale map projection design*. CRC Press.
- Hake, G., Grünreich, D., & Meng, L. (2002). *Kartographie: Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*. Walter de Gruyter.
- Hoschek, J. (1984). *Mathematische Grundlagen der Kartographie*. Bibliographisches. Institut, Zürich.
- Snyder, J. P. (1987). *Map projections—A working manual (Vol. 1395)*. US Government Printing Office.
- Snyder, J. P. (1997). *Flattening the earth: two thousand years of map projections*. University of Chicago Press.
- Wagner, K. (1949). *Kartographische Netzentwürfe*. Bibliographisches. Institut, Mannheim.

## Yağışların tarım alanlarında sebep olduğu göllenmelerin Sentinel-1 uydu görüntüleri ile analizi

Salih Babagiray<sup>1\*</sup> , Kaan Kalkan<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü-Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Merkezi, Yenimahalle, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Çankaya, Ankara, Türkiye

**Öz:** Bu çalışmada, 24.12.2019 - 08.01.2020 tarihleri arasında Adana ilinde aralıklarla etkili olan yağışlar çalışma alanı içerisinde ve çevresinde bulunan 18 adet Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonundan alınan günlük toplam yağış verileri ile birlikte analiz edilmiştir. Çalışma alanı, Adana ili; Seyhan, Çukurova, Sarıçam ve Yüreğir merkez ilçeleri ile Karataş ilçesinden oluşmaktadır. Bu yağışlardan kaynaklı bahsi geçen ilçelerdeki göllenmeler, Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak analiz edilmiştir. Uydu görüntüsü olarak; yağışlardan önce (09.12.2019), yağışlar sırasında (02.01.2020) ve sonunda (08.01.2020) olmak üzere üç farklı görüntü kullanılmıştır. Ayrıca, bölgedeki toprak neminin yağışlar ile değişimi de irdelenmiştir. Toprak nemi veri kaynağı olarak Soil Moisture Active Passive (SMAP) kullanılmıştır. Çalışmada kot, eğim, toprak yapısı, toprak nemi ve yağışlar incelenerek oluşan göllenmelerin sebepleri araştırılmıştır. Yağışların toprak nemini 2 katına kadar yükselttiği ve bu artışın, toprağın sızma kapasitesini azalttığı için göllenmeye yardımcı olduğu düşünülmektedir. Yapılan analizler doğrultusunda göllenmenin yoğun olduğu bölgelerde çoğunlukla hidrolojik toprak grubunun "D", eğimin ise %1'in altında olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Adana, Sentinel-1 SAR, SMAP, Hidrolojik toprak grubu, Toprak nemi, Taşkın

### Analysis of pondings caused by rainfall in agricultural areas by using Sentinel-1 satellite images

**Abstract:** In this study, the rainfall that was effective between 24.12.2019 - 08.01.2020 in Adana was analyzed together with the daily total precipitation data from 18 Automatic Meteorological Observation Stations located within and around the study area. The study area consists of the central districts of Adana province; Seyhan, Çukurova, Sarıçam and Yüreğir and the district of Karataş. The pondings in the districts mentioned due to these precipitations were analyzed using Sentinel-1 satellite images. Three different images were used as a satellite image in the study; before the precipitation (09.12.2019), during the precipitation (02.01.2020) and at the end of the precipitation (08.01.2020). In addition, the change of soil moisture in the region with precipitation was also examined. Soil Moisture Active Passive (SMAP) was used as a soil moisture data source. In the study; the effects of altitude, slope, soil structure, soil moisture and precipitation on pondings were investigated. Precipitation increased soil moisture up to 2 times, and therefore it is thought that it helped pondings due to the decrease of leakage capacity of the soil. According to the analyses, in regions where ponding is intense; it has been mostly determined that the hydrological soil group is "D" and the slope is below 1%.

**Keywords:** Adana, Sentinel-1 SAR, SMAP, Hydrologic soil group, Soil moisture, Flood

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 312 207 5858

Geliş Tarihi/Received: 05.10.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 02.03.2021



0000-0001-7959-7935, salihbabagiray@gmail.com (Babagiray S.)\*  
0000-0002-2732-5425, kalkaan@gmail.com (Kalkan K.)

## 1. Giriş

Şiddetli yağışlar, yerleşim yerlerindeki hayatı olumsuz etkilemekle birlikte zaman zaman tarım alanlarına da zarar verebilmektedir. Yağışların ani olarak yere inmesi veya uzun süreli devam etmesi toprağı doyumakta ve yüzey akışını artırmaktadır. Yüzey akışının hızlı artması, derelerin taşmasına sebep olabileceği gibi, topoğrafik şartlara ve toprak yapısına bağlı olarak suyun, dere yataklarına ulaşmadan tarım alanlarında göllenmesine de sebep olabilmektedir.

Eğimi düşük tarım alanlarında fazla suyu tahliye etmek için yapılan drenaj kanalları, proje ekonomisi ve işletme-bakım faaliyetleri göz önünde bulundurularak projelendirilirler. Bu nedenle, kanalların taşkın sularını tahliye kapasitesi sınırlı olup, ardışık ve şiddetli yağışlar sonucunda geniş alanlar su ile kaplanmakta ve önemli oranda tarımsal zararlara sebep olabilmektedir (Akgül & Çetin, 2019).

Su ile kaplı alanların haritalanması ve izlenmesinde, uzaktan algılama tekniklerinin başarılı bir araç olduğu son yıllarda yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Uydudan uzaktan algılama tekniklerinin özellikle büyük coğrafi alanlar için kullanımı, geleneksel haritalama tekniklerine kıyasla genellikle daha az maliyetlidir ve sonuçlar daha hızlı elde edilebilmektedir (Kaplan & Avdan, 2018a).

Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar, SAR) uydu görüntüleri bulutlu ortamlarda dahi görüntü sağlayarak optik görüntüye göre avantaj sağlamaktadır (Smith, 1997). Ayrıca Sentinel-1 SAR görüntüleri, sis veya dumandan da etkilenmez ve hem gece hem de gündüz veri sağlayabilmektedir (Carreño Conde & De Mata Munoz, 2019).

SAR görüntüleri kullanılarak taşkın alanlarının belirlenmesinde, özellikle şehir içerisindeki gölgeli alanların, düz su yüzeylerinde olduğu gibi geri saçılma yapamaması sebebiyle bazı zorluklar yaşanmaktadır. Çok sayıda beton, çelik vb. yapılardan oluşan kentsel alanlarda yaşanan bu geri saçılma problemi sebebiyle, bu alanlarda SAR görüntülerini kullanarak taşkınları tespit etmek oldukça zordur. Buna ek olarak, Sentinel-1 SAR görüntülerinin bize sağladığı mekânsal çözünürlük (10 x 10 m) cadde, bina vb. yapıları ayırmak için çok da uygun değildir. Ancak bu görüntülerle, açık alanlarda çok daha sorunsuz analizler yapılabilmektedir (Tavus, Kocaman, Gökçeoğlu, & Nefeslioğlu, 2018).

Çalışmada analiz edilen görüntülerin temin edildiği Sentinel-1 SAR uydusunun ana görevleri arasında; su kaynaklarının, toprakların ve tarım alanlarının izlenmesi, doğal afet durumunda acil durum haritalarının üretilmesi yer almaktadır. Söz konusu analizler için, SAR uydusunun sahip olduğu farklı polarizasyon modları (yatay, Horizontal-H; dikey, Vertical-V olmak üzere HH, VV, HH + VH veya VV + VH) kullanılabilir. SAR verileri kullanılarak taşkın alanı tespitinde, uydu üzerinde bulunan alıcı ve verici antenlerinin ikisinin de dikey konumlandığı VV modu, diğer polarizasyon modlarına göre daha iyi sonuç vermektedir (Akgül, 2018). Manjusree, Kumar, Bhatt, Rao ve Bhanumurty (2012)'de de yüzey pürüzlülüğüne ve taşkın alanlarına daha duyarlı olan VV modu kullanılmıştır.

Teknolojide yaşanan gelişmeler sayesinde, uydu görüntülerinin zamansal olarak sıklığı ve çözünürlüğü artmış ve bu da birçok alanda daha detaylı analizler yapmaya fırsat sağlamıştır. Yağış öncesi ve sonrasında elde edilen uydu görüntülerinin işlenmesi ile hangi bölgelerin ve ne kadarlık bir alanın sular altında kaldığı analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada da; 24.12.2019 - 08.01.2020 tarihleri arasında Adana ili ve civarında aralıklarla etkili olan ve birçok bölgede göllenmelere sebep olan yağışları incelemek için, 09.12.2019, 02.01.2020 ve 08.01.2020 tarihli Sentinel-1 SAR uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. Yağışlardan kaynaklı göllenmeler, noktasal olarak alınan Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) verilerinin alansallaştırılması ile elde edilen alansal yağışlar ve bahsi geçen uydu görüntüleri kullanılarak analiz edilmiştir.

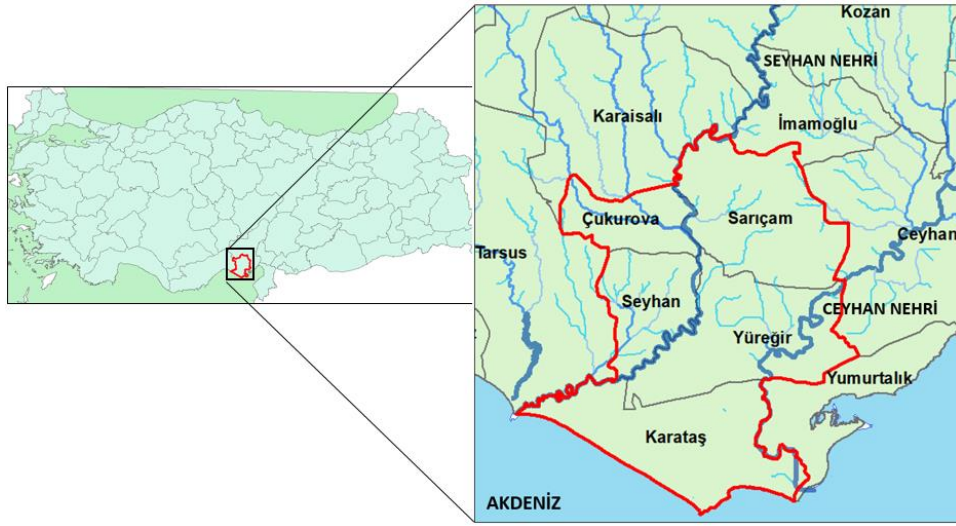
Özellikle kısmen düz alanlarda ve nehre yakın bölgelerde, şiddetli yağışlardan kaynaklı lokal göllenmeler ile nehrin yatağından taşması sonucu suyla kaplanan alanların ayırt edilebilmesi oldukça zordur. Bu sebeple, çalışma alanı içerisinde yer alan Seyhan ve Ceyhan Nehirlerinin hidrolojik ve hidrolik taşkın analizleri yapılmamış ve elde edilen su basma alanlarının tamamının şiddetli yağışlardan kaynaklanan göllenmeler olduğu kabulü ile analizler yapılmıştır. Benzer bir çalışmada da [Akgül ve Çetin \(2019\)](#), Aşağı Seyhan Ovası'nda 15-19 Ocak 2019 tarihlerindeki ardışık yağışları ve meydana gelen taşkınlardan etkilenen tarım alanlarını Sentinel 1, Sentinel 2 ve Landsat 8 uydu görüntüleri kullanarak incelemiştir. Burada diğer çalışmalardan farklı olarak, Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri ile toprak nemi değişimi ve toprak yapısı da ayrıca irdelenmiştir.

Toprak nemi, yer ve atmosfer arasındaki su ve enerji döngüsünün anlaşılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Toprak nemi değerlerinin doğru ve güvenilir bir şekilde elde edilmesi; hava tahmini, kuraklık analizi, taşkın tahmini ve orman yangınları gibi birçok alanda kullanılabilmesine olanak sağlar ([Bulut vd., 2019](#)). Yüksek zamansal çözünürlüğe sahip toprak nemi verileri; taşkınları izlemek, tahmin etmek ve sebep olduğu zararların boyutunu anlamak maksatlarıyla kullanılabilir ([Rahman vd., 2019](#)). Analizlerde kullanılan toprak nemi verilerinin sağlandığı Soil Moisture Active Passive (SMAP); yeryüzüne ait toprak nemi ve donma-çözülme durumları ile ilgili verileri sağlamak için tasarlanmış ve dünya genelinde gözlem yapabilen, uzay tabanlı bir projedir ([Entekhabi vd., 2010](#)). Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi tarafından geliştirilen SMAP, taşkın ve kuraklık çalışmalarında kullanıldığı gibi, daha farklı birçok alanda da kullanılabilir. Burada da; SMAP toprak nemi verilerinin, gerçekleşen yağışlarla değişimi ve bu değişimin göllenmelere olan etkisi görsel olarak incelenmiştir.

Yağışlarla yeryüzüne inen su, yerçekimi ve kapiler kuvvet etkisiyle toprak yüzeyindeki boşluk ve çatlaklardan içeri sızar. Buradaki sızma hızı; toprak yapısını oluşturan kum, silt ve kil içeriğine ve ayrıca toprağın drenaj özelliklerine göre belirlenmiş hidrolojik toprak gruplarına bağlıdır ([Usul, 2008](#)). Sızma, yüzey akışını etkileyen en önemli unsurlardandır ([Pitt Chen, Clark, Swenson, & Ong, 2008](#)). Örneğin; sızma hızının yavaş olduğu bölgelerde, eğim durumuna da bağlı olarak yüzey akışı oldukça yavaştır veya hiç gerçekleşmez. Yer altına sızamayan ve yüzey akışına da geçemeyen sular yüzeyde birikerek küçük su birikintileri ve gölcükleri oluşturur. Bu çalışmada da; inceleme alanına ait hidrolojik toprak grupları belirlenerek, göllenmelerin hangi bölgelerde daha yoğun olduğu eğim durumu ile birlikte analiz edilmiştir.

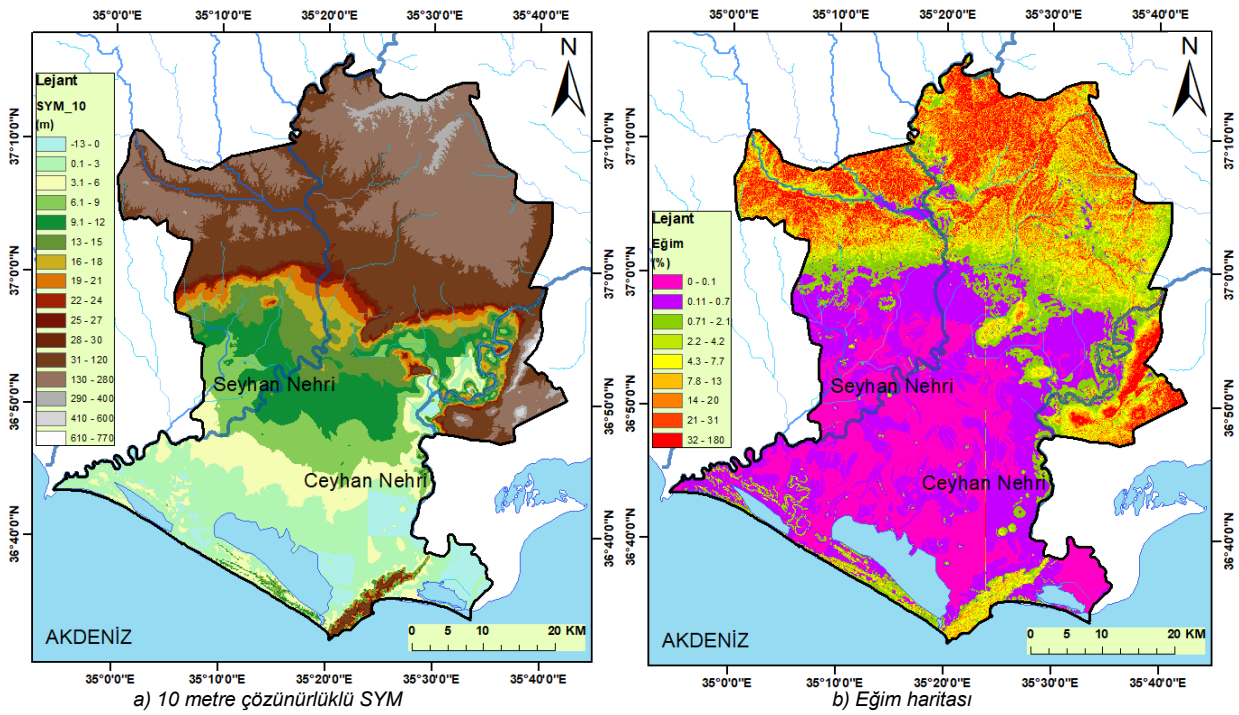
## 2. Çalışma Alanı

Yağışlardan kaynaklı göllenmeler, özellikle Yüreğir ve Karataş ilçe sınırları içerisindeki tarım alanlarında ve Seyhan ilçesinde de kısmen gözlenmiştir. Havzanın kuzeyinde bulunan dağlık kısımdaki yağış etkisinin de görülebilmesi için, Çukurova ve Sarıçam ilçeleri de çalışmaya dâhil edilmiştir. Sonuç olarak; Adana ili; Seyhan, Çukurova, Sarıçam ve Yüreğir Merkez ilçeleri ile Karataş ilçesi sınırları, çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Söz konusu çalışma alanı sınırları Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1: Çalışma alanı

Çalışma kapsamında üretilen sayısal yükseklik modeli (SYM), Harita Genel Müdürlüğü'nden alınan 10 m çözünürlüklü eş yükselti eğrileri kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 2a). Çalışma alanının güney kısmı, Seyhan ve Ceyhan Nehirlerinin yıllar boyunca taşıdığı alüvyonlar sebebiyle oldukça düz ve verimli arazilerden oluşmaktadır. Ortalama eğim %6 olmasına rağmen özellikle dağlık kısmın güneyindeki bölgede %0 eğime kadar düşen yerler mevcuttur (Şekil 2b).



Şekil 2: Çalışma alanı SYM ve eğim haritaları

Çalışma alanı içerisinde Seyhan ve Çatalan Barajları ile birlikte birkaç küçük gölet bulunmaktadır. Ayrıca güneyde üç adet doğal göl mevcuttur (Şekil 3). Oldukça verimli arazilerin yer aldığı ve Çukurova olarak bilinen bölgeyi Seyhan ve Ceyhan Nehirleri beslemektedir.





Şekil 3: Çalışma alanı içerisinde bulunan baraj, göl, akarsular ve OMGİ konumları

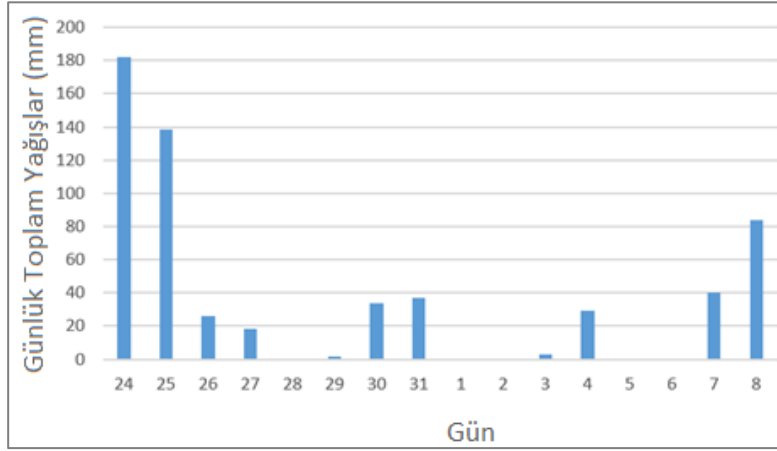
### 3. Yağış Analizleri

Yağışlar, 18 adet OMGİ'nin günlük toplam değerleri ile analiz edilmiştir. Söz konusu OMGİ konumları Şekil 3'te verilmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonlar ve 24.12.2019 - 08.01.2020 tarihleri arasında istasyonlarda ölçülen 16 günlük değerler Tablo 1'de verilmiştir (06:00 UTC). En fazla yağış görülen istasyon Yüreğir/Çukurova Tarım Araştırma İstasyonu olmuş ve en yüksek yağış 24.12.2019 tarihinde 182 mm olarak ölçülmüştür. 24 ve 25 Aralık 2019 tarihlerinde toplam 320 mm yağış görülmüştür. Bu istasyonun 16 gün boyunca kaydettiği toplam yağış miktarı ise 594 mm'dir.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan OMGİ'ler ve 24.12.2019 - 08.01.2020 tarihleri arasındaki OMGİ ölçümleri

İstasyon Adı	Günler																Toplam (mm)
	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	
Ceyhan Tigem	53	107	46	1	0	3	9	4	0	0	3	8	0	0	10	10	256
Ceyhan	53	131	60	8	0	3	12	8	0	0	5	9	0	0	14	17	319
Karaisalı	65	62	37	11	0	5	36	45	0	0	4	22	0	0	52	73	411
Karataş	42	35	61	20	0	2	50	52	0	0	2	54	0	0	38	82	438
Yumurtalık	11	96	78	13	0	13	6	3	0	0	6	17	0	0	18	23	286
Adana Bölge	92	147	24	12	0	3	29	23	0	0	4	15	0	0	28	67	444
Tarsus	64	46	13	12	0	18	39	51	0	0	7	26	1	1	53	67	397
Mersin	45	27	14	14	5	15	21	38	0	0	17	29	4	3	85	75	392
İmamoğlu	58	159	26	5	1	6	9	3	0	0	7	9	1	1	14	20	318
<b>Yüreğir/Çukurova Tarım Arş.</b>	<b>182</b>	<b>138</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>34</b>	<b>37</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>29</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>40</b>	<b>84</b>	<b>594</b>
Çamlıyayla/Meyvecilik Arş.	51	28	28	5	0	6	33	35	25	0	2	19	1	0	68	13	313
Çukurova	89	100	29	11	0	2	35	29	0	0	0	19	0	6	21	71	411
Sarıçam	84	158	24	9	0	2	25	20	0	0	5	16	0	0	24	68	436
Sarıçam/Hacı Sabancı Osb.	129	91	29	19	0	2	14	11	0	0	3	10	0	0	21	41	370
Sarıçam/Yağızlar Göleti	80	167	23	21	0	3	14	6	0	0	5	10	0	0	15	45	388
Karaisalı/Sadıkali Köyü	96	107	25	17	1	1	29	25	1	5	3	14	0	0	24	77	423
Karataş/Konaklı Köyü	148	102	19	7	0	1	53	57	0	0	1	32	1	0	60	86	566
Akdeniz/Yanpar Köyü	38	29	17	8	0	8	24	32	1	0	3	21	8	1	74	56	319

Söz konusu yağışlar, en fazla yağış ölçümü alınan Yüreğir/Çukurova Tarım Araştırma İstasyonu değerleri ile grafik halinde Şekil 4’te sunulmuştur. Buna göre; 24 ve 25 Aralık 2019 tarihlerinde 100 mm üzerinde bir yağış görülmüştür. 16 gün boyunca aralıklarla devam eden yağışlar, 8 gün 20 mm üzerine çıkmış ve 08.01.2020 tarihinde son bulmuştur.

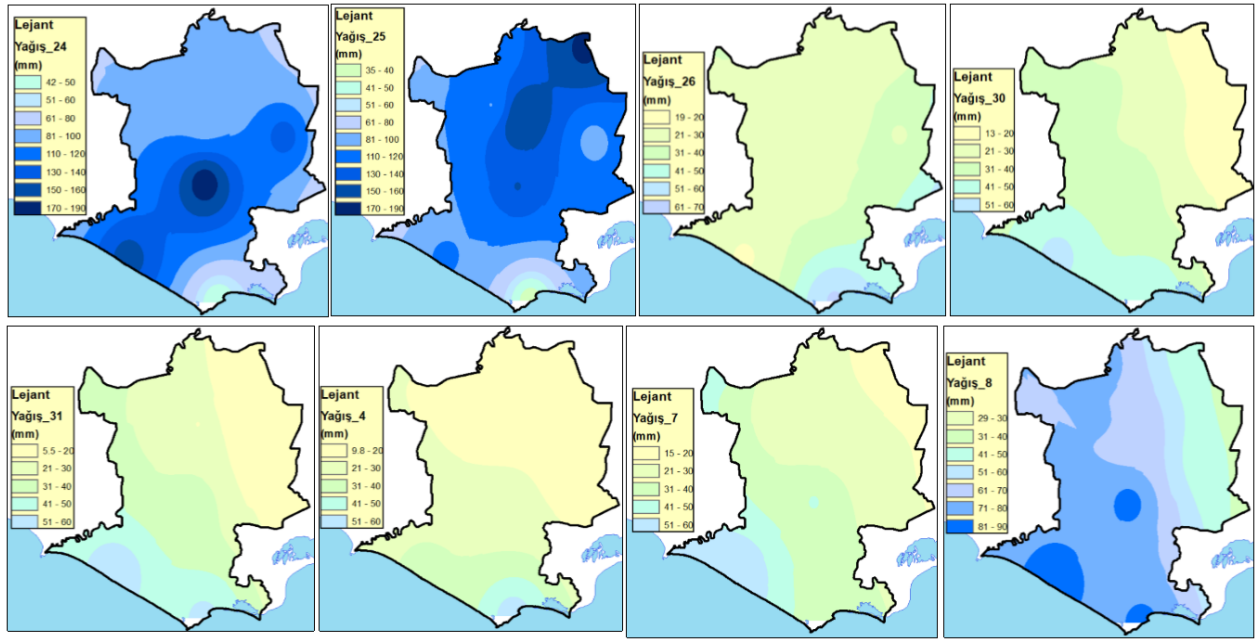


Şekil 4: Yüreğir/Çukurova Tarım Araştırma İstasyonunun ölçtüğü günlük toplam yağışlar

Ters Mesafe Ağırlıklı (Inverse Distance Weighted, IDW) enterpolasyon yöntemi; çalışma alanı içerisindeki ve/veya civarındaki bilinen verilerden, alansal yağış verilerini tahmin etmek için kullanılmaktadır (Chen & Lui, 2012). Bu çalışmada da, OMGİ’lerden nokta olarak alınan yağış verilerini alansallaştırmak amacıyla, hidrolojik çalışmalarda sıkça kullanılan IDW yöntemi kullanılmıştır. IDW yöntemi; ağırlığın, mesafenin tersi ile tanımlandığı ve toplamları bire eşit olacak şekilde normalize edildiği ters mesafelerin fonksiyonlarına dayanır. Mesafe arttıkça, noktasal verinin alansal veriye etki etme ağırlığı azalmaktadır (Ly, Charles, & Degré, 2013).

Alansallaştırma 20 mm üzerinde yağış görülen; 24, 25, 26, 30 ve 31 Aralık 2019 ile 4, 7 ve 8 Ocak 2020 tarihleri için yapılmıştır (Şekil 5). Bu analiz ile gerçekleşen yağışların alansal olarak hangi bölgeleri etkilediği daha iyi anlaşılmaktadır.

24.12.2019 tarihinde Yüreğir/Çukurova Tarım Araştırma İstasyonu civarında etkili olan yağışların ertesi gün kuzeye doğru hareket ettiği görülmektedir. Sonrasında, güneyde yer alan ve eğimi düşük olan bölgede, 26, 30 ve 31 Aralık 2019 ile 4, 7 Ocak 2020 tarihlerinde 30-40 mm arasında ve son olarak da 8 Ocak 2020 tarihinde 60-85 mm arasında günlük toplam yağışlar görülmüştür. Bahsi geçen yağışlar Şekil 5’te sırasıyla; 24, 25, 26, 30 ve 31 Aralık 2019 tarihleri ile 4, 7 ve 8 Ocak 2020 tarihleri için verilmiştir.



Şekil 5: 20 mm üzerindeki yağışların alansal etkisi

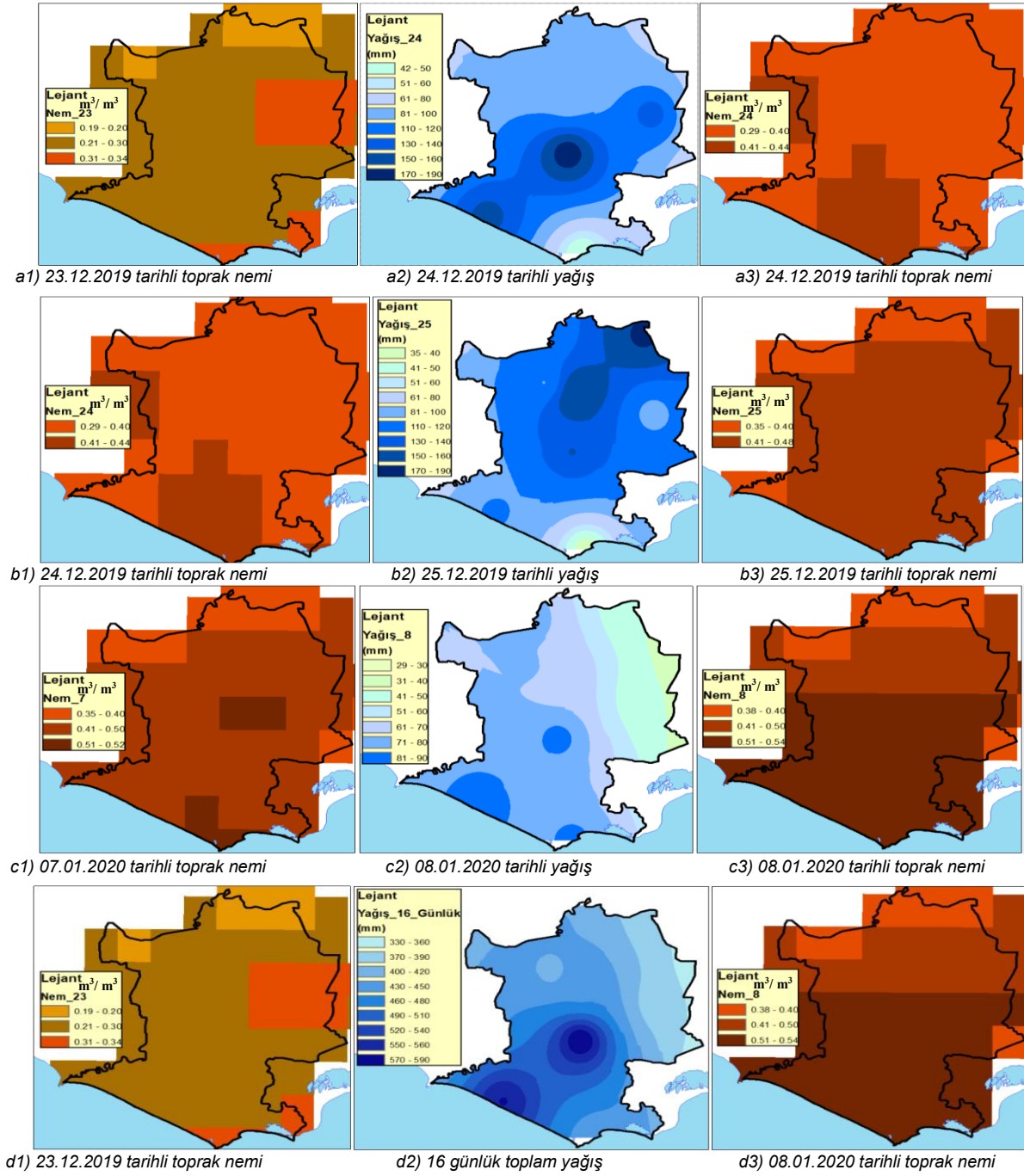
#### 4. Yağış ve Toprak Nemi İlişkisi

Toprak nemi, bir toprak örneğindeki su miktarının ölçüsüdür. Bu su içeriği ölçüsü, birimsizdir ve oran olarak ifade edilebilir. Toprak nemi, deneyler yardımıyla hacimsel veya gravimetrik olarak elde edilebilir (URL-1). Ancak gelişen uzaktan algılama teknolojileri, bu verinin uydu görüntüleri kullanılarak da elde edilmesine olanak sağlamıştır. Bu bağlamda görevleri, küresel toprak nem içeriğini mikrodalga sensörler aracılığıyla izlemek olan birçok özel uydu tasarlanmıştır. SMAP projesi buna örnek verilebilir.

Çalışmada kullanılan SMAP, L-bant mikrodalga radar ve radyometrik sistemlerden oluşmaktadır (Rahman vd., 2019). 3 saat aralıklarla tüm dünya genelinde elde edilebilen verilerin çözünürlüğü yaklaşık 9 km'dir (URL-2). SMAP verisinin elde edildiği radar, dünya yüzeyinden geri gelen yansımaların kalitesini ve miktarını ölçer. Bu veriler ile su miktarı için, toprağın ilk 10 cm'sine kadar yorum yapılabilir (URL-1). Çalışmanın günlük olması sebebiyle toprak nemi değerleri için, 06:00'daki (UTC) değerler günlük tek bir değer olarak alınmıştır. SMAP, ürettiği birçok verinin yanında L4\_SM (üretim tipi) koduyla kullanıma sunduğu veride, "Yüzey (Surface)" ve "Kök bölgesi (Root zone)" olmak üzere iki katmanda veri bulundurmaktadır. Bu çalışmada toprağın ilk 5 cm'lik kısmını algılayan "Yüzey (surface)" verisi kullanılmıştır.

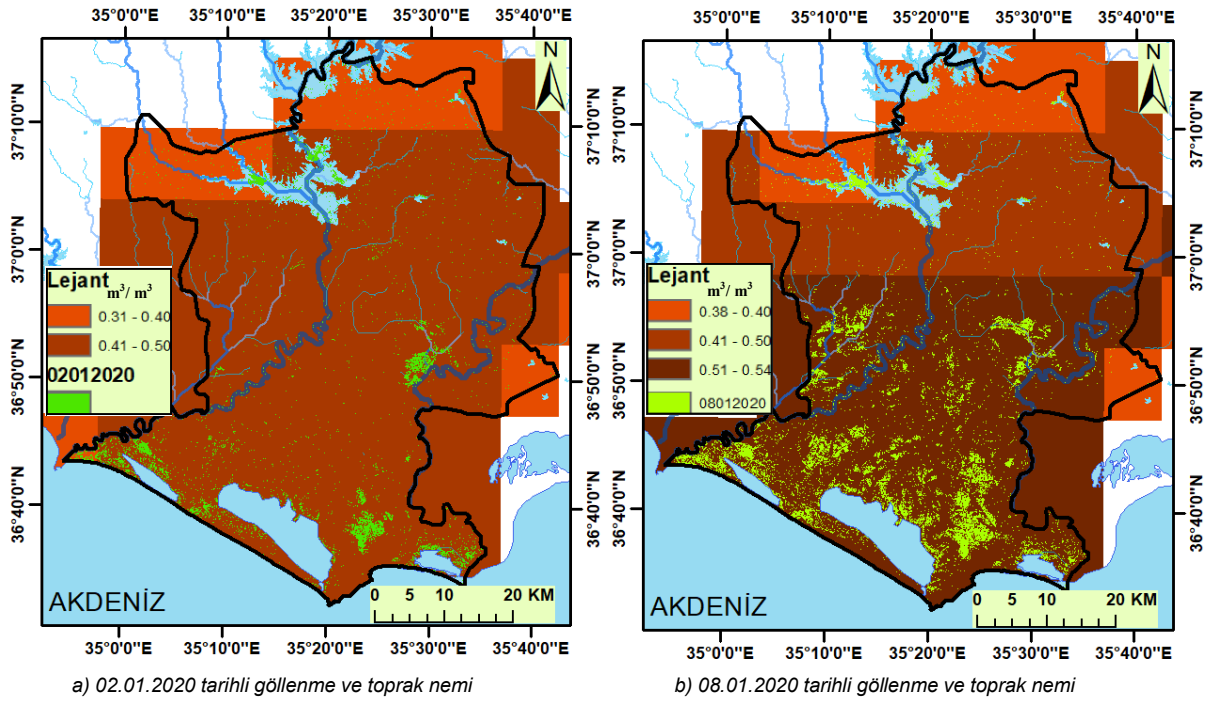
Toprak neminin yağış ile değişimi, 80 mm üzerinde günlük yağışların gerçekleştiği; 24 ve 25 Aralık 2019 ile 8 Ocak 2020 tarihleri için analiz edilmiştir. Burada analiz edilen günün öncesindeki toprak nemi, alansal yağış miktarı ve gün sonundaki toprak nemi sırasıyla bahsi geçen her gün için verilmiştir (Şekil 6). Ayrıca 16 günlük toplam yağış ve toprak nemi değişimi de Şekil 6d'de verilmiştir.

Bu veriler incelendiğinde özellikle 24 Aralık 2019 tarihinde gerçekleşen yağışın toprak nemini iki katına kadar artırdığı gözlenmiştir. 25 Aralık 2019 ve 8 Ocak 2020 tarihlerindeki yağışlar ise; yoğun olarak düştüğü yerlerde toprak nemini artırmıştır. 16 günlük toplam yağışlar incelendiğinde; toprak neminde iki kata kadar artışlar gözlenmiştir.



Şekil 6: 80 mm üzerindeki yağışların alansal etkisi

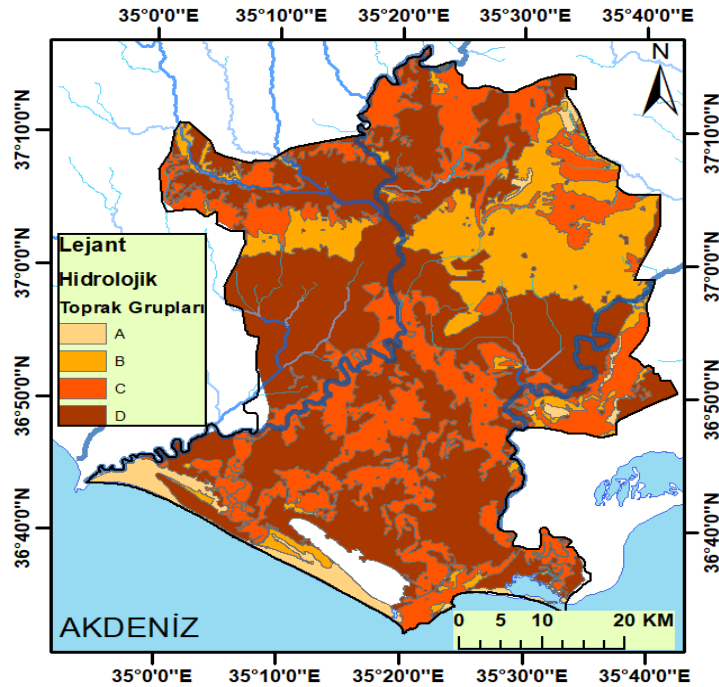
02.01.2020 ve 08.01.2020 tarihli uydu görüntülerinden elde edilen yağışlardan kaynaklı göllenmeler (bu konu Bölüm 6 ve Bölüm 7’de incelenmiştir) ile yine 02.01.2020 ve 08.01.2020 tarihli SMAP toprak nemi verileri Şekil 7’de verilmiştir. Toprak neminin gerçekleşen yağışların konumuna bağlı olarak arttığı (Şekil 6) ve bu sebeple, toprak neminin arttığı bölgelerde de göllenmelerin oluştuğu düşünülmektedir. Özellikle Şekil 7b’de, toprak neminin en yüksek (08.01.2020 tarihi için 0.51-0.54) olduğu, çalışma alanının güney kısmında çok daha fazla göllenme olduğu görülmektedir. Buradaki göllenmeler, aynı zamanda toprak yapısına da bağlıdır ancak bu konu detaylı olarak Bölüm 7’de incelenmiştir.



Şekil 7: Uydu verisinden elde edilen göllenmeler ve toprak nemi

## 5. Toprak Yapısı

Zeminin sızma hızı azaldıkça, yağışların yer altına inme süresi arttığı için yüzeydeki göllenmeler artmaktadır. Sızma hızını etkileyen en önemli faktörlerden biri de toprak yapısıdır. Bu sebeple, çalışma alanına ait hidrolojik toprak grupları, ülkemiz genelinde üretilmiş olan toprak haritaları kullanılarak belirlenmiştir. Toprak haritalarındaki; büyük toprak grubu (BTG), toprak özellikleri kombinasyonu (TOK), diğer toprak özellikleri (DTO), arazi tipleri (AZT), diğer coğrafi veriler (DCV) ve şimdiki arazi kullanım şekli (SAK) verileri kullanılarak CBS yardımıyla hidrolojik toprak grupları elde edilmiştir (Özer, 1990). Çalışma alanına ait hidrolojik toprak grupları; A, B, C ve D zemin gruplarına göre renklendirilerek Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: Çalışma alanının hidrolojik toprak grupları haritası

Zemin gruplarının belirlenmesi, özellikle yağış-akış ilişkisinin kurulması için oldukça faydalıdır. “A” grubu topraklar (düşük akış potansiyeli-iyi drenajlı); tamamen ıslanmaları durumunda bile orta infiltrasyon derecesine sahip, derin ve iyiden aşırıya kadar drene olmuş, başlıca kumlu ve çakıllı topraklardır. Bu topraklar yüksek su geçirime derecesine sahiptir. “B” grubu topraklar (normal akış potansiyeli-orta drenajlı); tamamen ıslanmaları durumunda orta infiltrasyon derecesine, orta derinden derine kadar derinliğe sahip, orta iyiden iyiye kadar drene olmuş, orta inceden orta kabaya kadar bünyeye sahip topraklardır. Bu topraklar orta derecede su geçirime derecesine sahiptir. “C” grubu topraklar (yüksek akış potansiyeli-düşük drenajlı); tamamen ıslanmaları durumunda yavaş infiltrasyon derecesine, orta inceden inceye kadar bünyeye ve yavaş infiltrasyon derecesine sahip topraklardır. Bu topraklar yavaş su geçirime derecesine sahiptir. “D” grubu topraklar (çok yüksek akış potansiyeli-çok düşük drenajlı); tamamen ıslanmaları durumunda çok yavaş infiltrasyon derecesine sahip, şişme potansiyeli yüksek killi topraklardır. Devamlı yüksek taban suyu seviyesine sahip topraklar, yüzeye yakın kil peni ya da kil katına sahip topraklar, hemen hemen geçirimsiz materyaller üzerindeki sıg topraklar bu gruba girer. Bu topraklar çok yavaş su geçirime potansiyeline sahiptir (Özer, 1990).

“A” grubu topraklar sızma hızı yüksek kum ve çakıllardan oluşurken, “D” grubu topraklar ise; sızma hızı çok düşük killi topraklardır (Tablo 2). Zeminin hidrolojik toprak gruplarının bilinmesi göllenme olabilecek yerlerin tespiti için de önemlidir.

**Tablo 2:** Zemin gruplarına göre son sızma hızları (Ağırlioğlu, 2004)

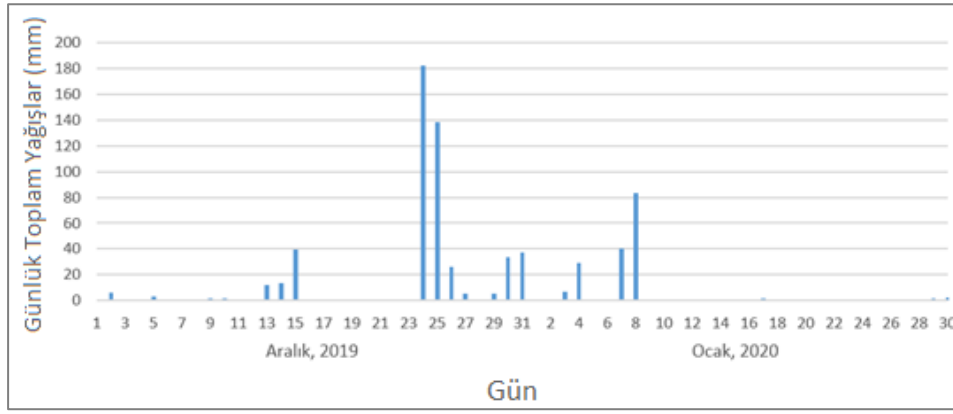
Zemin Grubu	Sızma Potansiyeli	Zemin Cinsi	Son Sızma Hızı (mm/saat)
A	Yüksek	Kum, çakıl	7.5 - 12.5
B	Orta	Kumlu toprak	3.8 - 7.5
C	Düşük	Killi toprak	0.4 - 3.8
D	Çok Düşük	Kil	0 - 0.4

## 6. Uydu Görüntülerinin İşlenmesi

Çalışmada, çözünürlüğü yaklaşık 10 m olan Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel-1, Avrupa Birliği tarafından Copernicus programı çerçevesinde üretilen 6 farklı uydudan (Sentinel-1, 2, 3, 4, 5 ve 5P) birisidir ve SAR sensörüne sahiptir. Son yıllarda SAR görüntülerinin kolaylıkla elde edilebilmesi ve SAR sensörlerinin artan geometrik çözünürlüğü sayesinde, radar ürünlerinin su ile kaplı alanların belirlenmesindeki kullanımı hızla artmaktadır. Su ile kaplı alanların mikrodalga saçılma mekanizmasında önemli avantajları vardır. Mikrodalga ışını, su içeriği ve yüzey pürüzlülüğündeki farklılıklara duyarlıdır. Nem veya pürüzlülük artışı, geri saçılmanın artmasına neden olur. Genel olarak, SAR temelli arazi örtüsü ve bitki örtüsü haritalamasının sonuçları, kullanılan dalga boyu (X, C veya L bandı) ve veri polarizasyonuna (VV, HH, VH veya HV) bağlıdır (Mleczo & Mróz, 2018). Sentinel-1 SAR C bandında (~ 5.7 cm dalga boyu), tek (HH veya VV) ve çift (HH + VH veya VV + VH) polarizasyona sahiptir. Son yıllarda sulak alanların izlenmesinde C bandının kullanımı artmaktadır (Kaplan ve Avdan, 2018b) ve bu çalışmada da Sentinel-1 SAR C bandı ve polarizasyon olarak VV modu kullanılmıştır.

Analiz edilecek görüntü tarihlerini belirlemek için, çalışma alanı ortasında yer alan ve en yüksek yağışların ölçüldüğü Yüreğir/Çukurova Tarım Arş. İstasyonu'nun Aralık (2019) ve Ocak (2020) aylarındaki günlük toplam yağışlarına bakılmıştır (Şekil 9). Bu verilere göre; 09.12.2019 tarihli görüntü, referans olarak seçilmiştir. Seçim yapılırken; incelenen yağış periyodundan önceki bir tarih olmasına, öncesindeki bir haftaya kadar olan süreçte herhangi bir ciddi yağışın olmamasına, çalışma alanının tamamını kapsamasına ve grid formatında olmasına dikkat edilmiştir (URL-3).

Yağışlar sırasında ve sonrasında ise; 2, 8 ve 14 Ocak 2020 tarihlerindeki görüntüler incelenmiştir. Sonuç olarak; 1 adet olay öncesi 3 adet olay sırası ve sonrası olmak üzere 4 adet görüntü işlenerek ön incelemeden geçirilmiştir. 14 Ocak 2020 tarihli görüntüde yağışlardan kaynaklı göllenmelerin azaldığı gözlemlendiği için bu görüntü çalışmaya dâhil edilmemiştir.

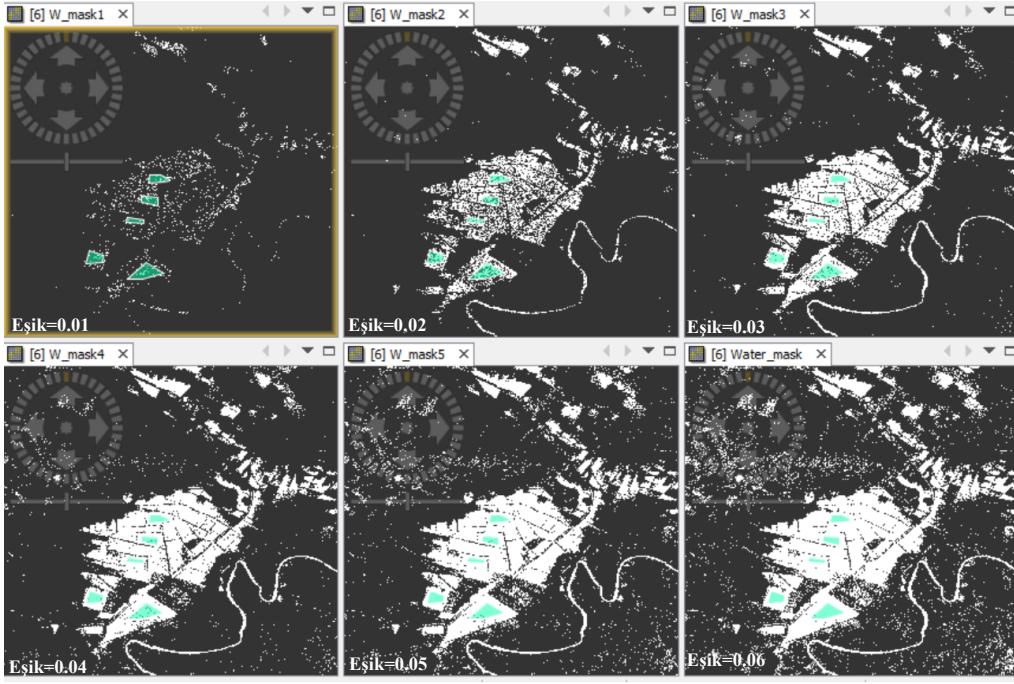


Şekil 9: Yüreğir/Çukurova Tarım Araştırma İstasyonu'nun iki aylık (Aralık, 2019 ve Ocak, 2020) günlük toplam yağışları

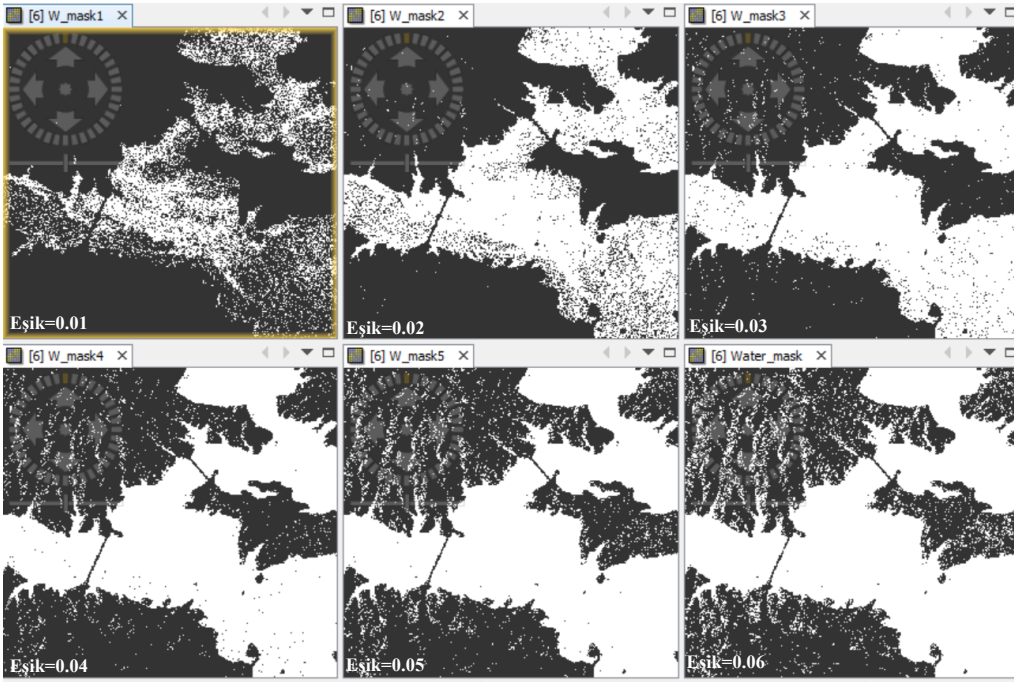
Görüntüleri işlemek için SNAP (Sentinels Application Platform) yazılımı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan görüntüye öncelikle düzeltme uygulanmıştır. Sonrasında görüntüler, çalışma alanına göre kestirilerek hem görüntülerin işleme süresi hem de çıktı ürünlerin boyutunun küçülmesi sağlanmış, son olarak da görüntülerin radyometrik kalibrasyonları yapılmıştır.

Suyla kaplı alanların yansımaya değerleri üzerinden analiz yapılarak bir eşik değeri belirlemek üzere, bu alanlar üzerine yeterli sayıda örnek poligonu çizilmiştir. Çizilen poligonların ve tüm görüntünün 0.01 ile 0.06 değerleri arasındaki istatistiksel ve görüntü analizleri yapılmıştır (Şekil 10). Bu analizler; hem tarım alanları üzerindeki göllenmelerde, hem de gerçek su kütlesi olan Seyhan Baraj gölünde yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, eşik değeri 0.03 olarak belirlenmiş ve yansımaya değeri 0.03 altında olan hücrelerin suyla kaplı oldukları kabulü yapılmıştır. Sadece suyla kaplı alanların görüntülerden çekilmesi amacıyla yapılan işlem (“if Sigma0\_VV < 0.03 then 2 else NaN” kodu ile) sonrasında, suyla kaplı alanlar yani 0.03’ten küçük değerli hücreler görünür hale gelmiştir.

Görüntü istenilen formatta dışarıya aktarılarak, görüntünün herhangi bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı ile açılabilmesi sağlanmıştır. Yağış sonrasında kullanılan her iki görüntü de yağış öncesindeki referans görüntü ile elde edilen suyla kaplı alanlardan çıkartılmış ve yağışlardan kaynaklı oluşan suyla kaplı alanlar tespit edilmiştir. Burada renklendirilen suyla kaplı alanlar (02.01.2020), 01.01.2020 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü (URL-4) ile örnek olarak iki bölgede karşılaştırılmış ve alınan sonuçların tutarlı olduğu gözlenmiştir (Şekil 11). Bu karşılaştırmada Sentinel-2 uydu görüntüsü işlenmemiş ve yalnızca görsel olarak karşılaştırma yapılmıştır. Su birikintilerinin karşılaştırılması sonucu ortaya çıkan ufak farklılıkların, görüntüler arasındaki 1 günlük farktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

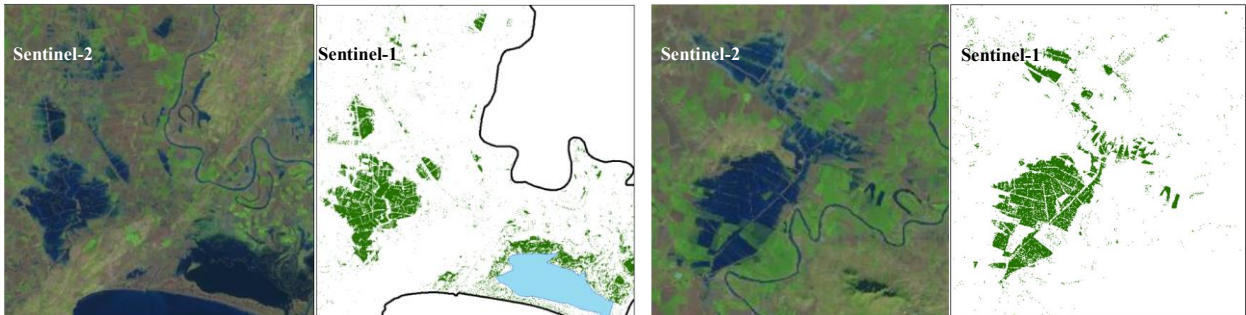


a) Tarım alanları üzerindeki göllenmelerdeki eşik değişimi



b) Baraj gölündeki eşik değişimi

Şekil 10: Tarım alanları üzerindeki ve baraj gölündeki eşik değişimleri (0.01-0.06 arası)

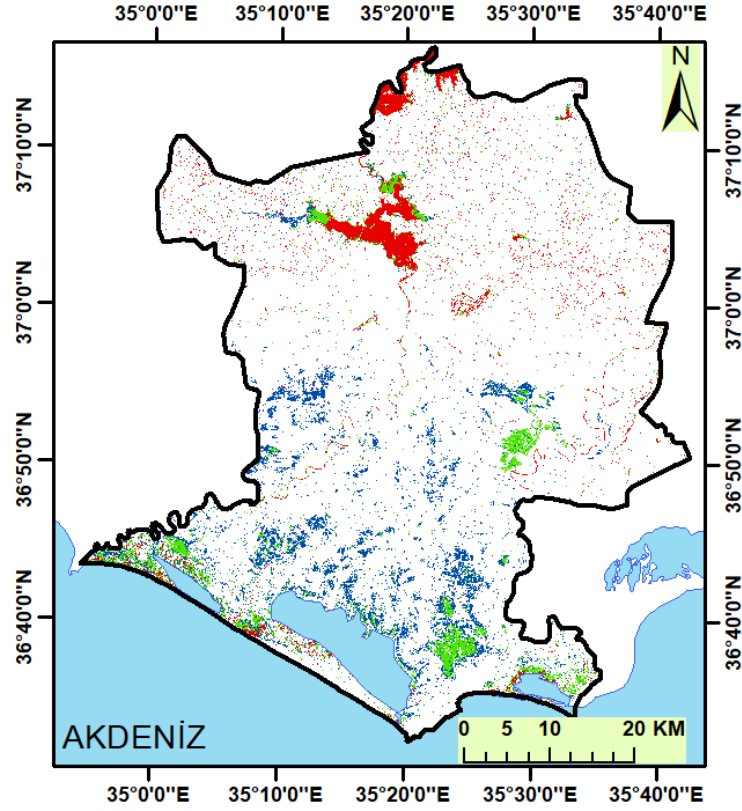


Şekil 11: Sentinel-2 görüntüsü (01.01.2020) ile Sentinel-1 görüntüsünün (02.01.2020) karşılaştırılması



## 7. Göllenen Bölgelerin Analizi

Uydu görüntüleri kullanılarak işlenen görüntüler, CBS yardımıyla tekrar analiz edilerek yağışların sebep olduğu göllenmeler bulunmuştur. İncelenen tarihlerde ciddi yağışların gerçekleştiği, çalışma alanının kuzeyindeki Seyhan Baraj gölündeki alansal değişimde de net bir şekilde görülmektedir (Şekil 12). 9 Aralık 2019 (kırmızı), 2 Ocak 2020 (yeşil) ve 8 Ocak 2020'deki (mavi) su ile kaplı alanlar Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12: Uydu görüntülerine göre göllenmeler

Tablo 3: Yaşanan göllenmelerin hidrolojik toprak gruplarına göre yüzdeleri

Hidrolojik Toprak Grubu	Göllenme (%)	
	02.01.2020	08.01.2020
C	17	17
D	62	71

## 8. Sonuçlar

Bu çalışmada; Adana ili ve civarında, 24.12.2019 - 08.01.2020 tarihleri arasında gerçekleşen ve 16 günlük periyotta 594 mm'ye, 3 günlük periyotta 346 mm'ye, günde ise 182 mm'ye kadar ulaşan yağışlar analiz edilmiştir. Söz konusu yağışlar hem yerleşim yerlerinde hem de tarım alanlarında maddi zararlara sebep olmuştur. Yağışların olumsuz etkileri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan taşkın raporlarında da görülmektedir (URL-5 ve URL-6).

Noktasal OMGI verilerinden üretilen alansal yağışlarla gerçekleştirilen bu çalışma, uydu ve radar yağış ürünleri kullanılarak da benzer şekilde yapılabilir. Üretilen yağış verileri ile yapılan toprak nemi karşılaştırmalarında, yağışların yoğun olarak gerçekleştiği bölgelerdeki toprak neminin daha fazla arttığı gözlenmiştir. İnceleme yapılan 16 günlük periyotta, toprak

nemindeki artışın %210'a kadar ulaştığı bölgeler gözlenmiştir. Yağışların en etkili olduğu 24.12.2019 tarihinde ise bu artışın, %170'e kadar çıktığı tespit edilmiştir. Toprak neminde gerçekleşen bu artışlar, toprak yapısı ve eğime de bağlı olarak göllenmelere sebep olmuştur. Burada yapılan günlük analizlere ek olarak, özellikle toprak nemi değişiminin daha iyi analiz edilebilmesi için, verinin temin edilebildiği 6 saatlik periyotlarda da inceleme yapılabilir. Çalışmada kullanılan SMAP verisi yaklaşık 9 km çözünürlüğe sahiptir. Bu çözünürlük, büyük alanları etkileyen sistem yağışlarındaki çalışmalarda yeterli olabilir ancak lokal yağışlar ve ufak çalışma alanları için yeterli gelmeyecektir. Burada sağlanan veride toprağın ilk 5 cm'lik kısmı için analizler yapılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda, toprağın daha alt katmanlarından sağlanan toprak nemi verileri ile de farklı analizler yapılabilir ve ortaya çıkan farklar tartışılabilir.

Su ile kaplı alanları tespit edebilmek için yapılan çalışmada, yağışlar öncesindeki 09.12.2019 tarihli görüntü ile yağışlar sırasındaki 02.01.2020 ve sonrasındaki 08.01.2020 tarihli Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri kullanılmıştır. Yağışlar sırasında ve sonrasındaki su kaplı alanlardan, 09.12.2019 tarihindeki su kaplı alanlar çıkartılarak gerekli analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, uzaktan algılama ürünleri kullanılarak ve CBS yardımıyla su kaplı alanların tespit edilebildiği görülmüştür. İleriki çalışmalarda; Sentinel-2, Landsat-8 vb. farklı uydu görüntüleri kullanılarak veya çalışmada kullanılan VV bandının yanında diğer bantlar (HH veya çift bantlar) da kullanılarak analizler yapılabilir.

Aşırı yağışlar sebebiyle oluşan göllenmelerin çok büyük bir kısmı; çalışma alanının güney kısmında, özellikle eğimin düşük olduğu ve kil içeriğine sahip olan bölgelerde meydana gelmiştir. Yapılan analizlere göre; göllenmelerin yaklaşık %92'sinin, %1 ve altında eğime sahip tarım alanlarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu duruma tabii ki yağış lokasyonu ve toprak yapısının da etkisi vardır ancak yine de göllenmeler için eğimin çok önemli bir etken olduğu söylenebilir.

Göllenmelerin araştırıldığı 02.01.2020 ve 08.01.2020 tarihli görüntü analizlerine göre; hidrolojik toprak grupları baz alınarak yapılan incelemelerde göllenmelerin alansal olarak sırasıyla; %79 ve %88'inin "C grubu (Killi toprak)" veya "D grubu (Kil özelliği taşıyan)" topraklarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yapılan bu tespit; topraktaki kil içeriğinin, göllenmedeki önemini ortaya çıkarmıştır. Buradaki göllenmelerin daha detaylı analizi için; drenaj kanallarının lokasyonlarının ve kapasitelerinin yanı sıra bölgedeki taban suyu haritalarından da faydalanılabilir.

Sonuç olarak bu çalışmada; Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri işlenerek, şiddetli yağışlardan kaynaklı göllenmeler tespit edilmiştir. Ayrıca Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri ile çalışmaya konu olan yağış, toprak nemi, eğim ve hidrolojik toprak grubu verilerinin entegrasyonu sağlanmış ve gerekli analizler yapılarak göllenmelerin sebepleri tartışılmıştır. Tarım alanlarındaki göllenmelerin uydu görüntüleri ile tespit edilebildiği ve bu göllenmelerin yağış lokasyonu ve yağışlara bağlı olarak artan toprak nemi ile birlikte eğim ve toprak yapısına da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Burada kullanılan yöntemlerin özellikle taşkına maruz kalan alanların tespiti için de oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

## Teşekkür

Çalışmalarımızda bize desteğini hiç eksik etmeyen Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdür Yardımcısı Mustafa UZUN'a teşekkür ederiz.

## Yazar Katkısı

**Salih Babagiray:** Fikir, Tasarım, Literatür taraması, Veri toplama ve işleme, Analiz ve yorumlama, Yazım. **Kaan Kalkan:** Fikir, Denetleme, Yazım, Makale değerlendirme.

## Çıkar Çatışması Beyanı

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

## Kaynaklar

- Ağralıoğlu, N. (2004). Taşkın Hidrolojisi Çalışmaları. *IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, Hidrolojide Yeni Yöntemler Semineri, İstanbul*. 1-22.
- Akgül, M. A. (2018). Sentetik Açıklıklı Radar verilerinin Taşkın Çalışmalarında Kullanılması: Berdan Ovası Taşkını. *Geomatik*, 3(2), 154-162.
- Akgül, M. A., & Çetin, M. (2019). Tarımsal Drenaj Alanlarında Meydana Gelen Taşkınlar Ve Etki Alanlarının Uzaktan Algılama İle Belirlenmesi: Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzasında Örnek Bir Çalışma. *10. Ulusal Hidroloji Kongresi 2019*, 849.
- Bulut, B., Yılmaz, M. T., Afshar, M. H., Sorman, A. U., Yucel, I., Cosh, M. H., & Simsek, O. (2019). Evaluation of remotely-sensed and model-based soil moisture products according to different soil type, vegetation cover and climate regime using station-based observations over Turkey. *Remote Sensing*, 11(16), 1875.
- Carreño Conde, F., & De Mata Muñoz, M. (2019). Flood monitoring based on the study of Sentinel-1 SAR images: The Ebro River case study. *Water*, 11(12), 2454.
- Chen, F. W., & Liu, C. W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, 10(3), 209-222.
- Entekhabi, D., Njoku, E. G., O'Neill P. E., Kellogg, K. H., Crow, W. T., Edelstein, W. N., Entin, J. K., Goodman, S. D., Jackson, T. J., Johnson, J., Kimball, J., Piepmeier, J. R., Koster, R. D., Martin, N., McDonald, K. C., Moghaddam, M., Moran, S., Reichle, R., Shi, J. C., Spencer, M. W., Thurman, S. W., Tsang, L. & Zyl J. V. (2010). The Soil Moisture Active and Passive (SMAP) Mission. *Proceedings of the IEEE*, 98(5), 704-716.
- Kaplan, G., & Avdan, U. (2018a). Sentinel-1 Verileri Kullanılarak Sulak Alanların Aylık Periyotlarla Takip Edilmesi. *VII. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu, Eskişehir*. 2.
- Kaplan, G., & Avdan, U. (2018b). Monthly analysis of wetlands dynamics using remote sensing data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 411.
- Ly, S., Charles, C., & Degré, A. (2013). Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale: a review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 17(2), 392-406.
- Manjusree, P., Kumar, L. P., Bhatt, C. M., Rao, G. S., & Bhanumurthy, V. (2012). Optimization of threshold ranges for rapid flood inundation mapping by evaluating backscatter profiles of high incidence angle SAR images. *International Journal of Disaster Risk Science*, 3(2), 113-122.
- Mleczo, M., & Mróz, M. (2018). Wetland mapping using sar data from the sentinel-1a and tandem-x missions: A comparative study in the biebrza floodplain (Poland). *Remote Sensing*, 10(1), 78.
- Özer, Z. (1990). Su yapılarının projelendirilmesinde hidrolojik ve hidrolik esaslar. *Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Havza Islahı ve Göletler Daire Başkanlığı, Ankara*. 378 – 380.
- Pitt, R., Chen, S. E., Clark, S. E., Swenson, J., & Ong, C. K. (2008). Compaction's impacts on urban storm-water infiltration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(5), 652-658.
- Rahman, M., Di, L., Yu, E., Lin, L., Zhang, C., & Tang, J. (2019). Rapid flood progress monitoring in cropland with NASA SMAP. *Remote Sensing*, 11(2), 191.
- Smith, L. C. (1997). Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: A review. *Hydrological processes*, 11(10), 1427-1439.
- Tavus, B., Kocaman, S., Gökçeoğlu, C., & Nefeslioğlu, H. A. (2018). Considerations on the use of Sentinel -1 Data in flood mapping in urban areas: Ankara (Turkey) 2018 Floods. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- Uşul, N. (2008). *Mühendislik Hidrolojisi* (pp. 149-152). ODTÜ Yayıncılık
- URL-1: NASA, SMAP veri tabanı, <https://smap.jpl.nasa.gov/faq/>, (Erişim Tarihi: 17 Kasım 2020)

URL-2: NASA Verileri (Earth Data, NASA), <https://search.earthdata.nasa.gov/search/>, (Erişim Tarihi: 26 Mayıs 2020).


URL-3: Avrupa Birliği, Kopernikus Programı Açık Veri Tabanı (Copernicus Open Access Hub, EU), <https://scihub.copernicus.eu/>, (Erişim Tarihi: 26 Mayıs 2020).

URL-4: Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (United States Geological Survey, USGS), <https://glovis.usgs.gov/>, (Erişim Tarihi: 26 Mayıs 2020).

URL-5: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Taşkın Raporu, <http://tambis.dsi.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 19 Haziran 2020).

URL-6: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Fevk Raporu, <https://mevbis.mgm.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 19 Haziran 2020).

## Ordu-Giresun Havalimanı'nın sürekli saçıcılar interferometrisi (PSI) ile deformasyon analizi

Çağlar Bayık<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye.

**Öz:** Günümüzde pek çok ülke, hızlı kentleşmenin getirmiş olduğu arazi taleplerini karşılayamamaktadır. Özellikle kıyı kentleri için bu sorun daha da büyüktür ve problemi ortadan kaldırmak amacıyla dolgu projeleri üretilmektedir. Ülkemizde de bu tip projelere benzer pek çok uygulama yapılmaktadır. Bu projelerin en önemlilerinden birisi de Ordu-Giresun il sınırına yakın Doğu Karadeniz kıyılarına yapılmış olan Ordu-Giresun Havalimanı'dır. Deniz üzerine dolgu ile inşa edilen arazinin temelleri yerleşime duyarlı ve jeolojik olarak hareketli bir yapıya sahiptir. Bu durum özellikle nüfusu fazla olan alanlarda olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. Bu tür alanlar üzerine inşa edilen havalimanlarında işletme güvenliğinin sağlanması kamu güvenliği açısından oldukça hayati bir öneme sahiptir ve bu güvenliğin sağlanması için bölgesel ölçekte yüzey deformasyonu izlenmelidir. Bu çalışmada 2011 yılında temeli atılıp 2015 yılında faaliyete geçen Ordu-Giresun Havalimanı'nın yüzey deformasyonu belirlenmiştir. Bu amaçla Sentinel-1A/B görüntüleri, aynı alanları kapsayan geometride alçalan yörüngede elde edilerek Sürekli Saçıcılar İnterferometrisi (PSI) tekniği ile zaman serileri analiz edilmiştir. Zaman serileri, PSI yaklaşımıyla ücretsiz olarak kullanıcıya sunulan SNAP ve Sürekli Saçıcılar için Stanford Yöntemi (StaMPS) paket programları kullanılarak oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen analiz sonucunda Ağustos 2017 ve Şubat 2019 tarihleri arasında Ordu-Giresun Havalimanı'ndaki deformasyon miktarı yaklaşık -14 ila 9 mm arasında olduğu belirlenmiştir. İlerleyen dönemlerdeki çalışmalarda havalimanının daha geniş zaman aralığında ve iki farklı yörüngede deformasyonunun izlenmesi planlanmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Deformasyon, PSI, Ordu-Giresun Havalimanı, Sentinel-1, InSAR

### Deformation Analysis of Ordu-Giresun Airport by Persistent Scatterer Interferometry (PSI)

**Abstract:** Nowadays, many countries cannot meet the land demands caused by rapid urbanization. This problem is even greater especially for coastal cities and land filling projects have been produced in order to eliminate this problem. In Turkey, there are also many applications similar to this type of projects. One of the most important of these projects is Ordu-Giresun Airport, which was built on the Eastern Black Sea coast close to the Ordu-Giresun provincial border. The foundation of the land, which was built with filling on the sea, is sensitive to settlement and geologically active. This can have adverse effects especially in areas with high population. Ensuring operational security at airports built on such areas is vital in terms of public security and surface deformation should be monitored at regional scale to ensure this security. In this study, the surface deformation of Ordu-Giresun Airport, which was founded in 2011 and became operational in 2015, was determined. For this purpose, Sentinel-1A/B images were obtained in a descending trajectory in geometry covering the same areas, and time series were analyzed with the Persistent Scatterer Interferometry (PSI) technique. Time series were created by using SNAP and Stanford Method Permanent Distributions (StaMPS) package programs offered to the user free of charge with the PSI approach. As a result, it was determined that the deformation at Ordu-Giresun Airport between August 2017 and February 2019 was approximately rates from -14 to 9 mm. In future studies, it is planned to monitor the deformation of the airport in a wider time interval and in two different orbits.

**Keywords:** Deformation, PSI, Ordu-Giresun Airport, Sentinel-1, InSAR

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 372 291 2613

Geliş Tarihi/Received: 06.12.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 08.03.2021

## 1. Giriş

Günümüzde, giderek artan ekonomik kalkınma hızı göz önüne alındığında birçok sahil kenti, kentsel ve inşaat yatırımlarında olduğu kadar ulaşım için de yapı alanı sıkıntısı çekmektedir (Hoeksema, 2007). Artan bu ihtiyacı karşılamak için, dünya genelinde birçok kıyı ülkesinde denize yapılan dolgu alanlar ile toprağın geri kazanılması yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Geçtiğimiz on yıllarda, bu geri kazanım yöntemi çeşitli arazi kullanım taleplerine yanıt vermiştir ve özellikle hava taşımacılığına oldukça fayda sağlamıştır. Kıyısı bulunan şehirlere hizmet veren birçok yeni havalimanı, nüfusun daha az olduğu bölgelerde ve denize daha yakın alanlarda inşa edilmiştir (Douglas & Lawson, 2003).

Dünyadaki yönelime paralel olarak ülkemizde de birçok yapı ve inşaat faaliyeti deniz üzerine dolgu yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntem ile inşa edilen tek havalimanı olan Ordu-Giresun Havalimanı yapılacak olan diğer projeler için bir öncü olmuştur. Şu anda Ordu-Giresun Havalimanı dışında Rize ve Artvin illeri arasında, 2017 yılında temeli atılan ve inşaatı devam eden Rize-Artvin Havalimanı projesi bulunmaktadır.

Deniz üstü dolgu ve yapı inşaatı için kullanılan bir alan, toprak parçası olarak kısa bir geçmişe sahip olduğundan, zayıf bir temel jeolojisine ve çok düşük stabilizeye sahiptir. Bu sebeple, bu tür alanlar üzerine inşa edilen havalimanları için temel yerleşimi önemli bir problemdir. Özellikle toprak üzerinde bulunan binalarda ve altyapıda meydana gelebilecek çatlama veya çökmeler önemli bir sorun teşkil etmektedir. Tehdit edici ve yüksek risk taşıyan bu yapılardaki mevcut veya potansiyel deformasyonun belirlenmesi ve izlenmesi risklerin değerlendirilmesinde hayati önem taşımaktadır. Özellikle havalimanı pistlerindeki hasarın önlenmesi amacıyla uygun önlemlerinin alınabilmesi için bu değişim mekanizmalarını anlamak çok önemlidir.

Geçtiğimiz birkaç on yılda, interferometrik sentetik açıklıklı radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) yöntemi etkili bir jeodezik araştırma tekniği olarak geliştirilmiştir. InSAR ile gerçekleştirilen deformasyon ölçmeleri, Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) ve nivelman gibi geleneksel yöntemlere göre yüksek hassasiyet, düşük maliyet ve büyük ölçekte bir gözlem olanağı sağlamaktadır (Chen vd., 2015). InSAR tekniği; sismik deformasyon (Hu vd., 2012), depremler (Simons, Fialko, & Rivera, 2002), yeraltı su çıkarımı (Chen vd., 2016), volkan dinamikleri (Pritchard & Simons, 2004), heyelanlar (Ye, Kaufmann, & Guo, 2004) gibi jeolojik süreçler dahil olmak üzere pek çok jeofizik olayını araştırmak için kullanılmıştır. Ayrıca 2007 yılı Yapay Açıklıklı Radar (SAR) görüntüleme teknolojisi için bir devrim yılı olmuştur. Yeni nesil uydular olan Cosmo-SkyMed ve TerraSAR-X ile 1m mekansal çözünürlüğe ulaşılmış ve bu uydu verileri ile üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) daha önceki uydu misyonlarına göre kaliteyi arttırdığı bir dönem başlamıştır (Capaldo, Crespi, Fratarcangeli, Nascetti, & Pieralice, 2011; Sefercik, Yastıklı, & Atalay, 2017). InSAR tekniği aynı zamanda madencilik (Abdikan, Arıkan, Şanlı, & Çakır, 2014), delta batması (Higgins vd., 2014) ve arazi çökmesi (Garthwaite, 2017) gibi insan faaliyetlerinin neden olduğu zemin deformasyonunun izlenmesinde de kullanılabilir.

Geleneksel InSAR tekniği farklı uydu pozisyonları, uzun veri edinim aralığı ve atmosferik değişimlerin neden olduğu zamansal-konumsal ilişki ve atmosferik gecikme gibi bazı sınırlamalar içermektedir (Hanssen, 2001). Bu sınırlamalar nedeniyle Diferansiyel InSAR (DInSAR) tarafından sağlanan deformasyon izleme doğruluğu ancak desimetreden santimetreye kadar belirlenebilir. Ayrıca kentsel alan ve yapı alanlarını izleme uygulamalarında hâlihazırda büyük sınırlamalar mevcuttur. Tekniğin uygulanmasındaki bu kısıtlamalar InSAR uygulamalarının genişletilerek deformasyonların zaman serisi biçiminde izlenmesini uygun hale getirmiştir. Sürekli saçıcılar interferometrisi (Persistent Scatterer Interferometry, PSI), geleneksel InSAR tekniği üzerindeki tutarsızlık sınırlamasının üstesinden gelmek için geliştirilmiştir (Ferretti, Prati, & Rocca, 2001). PSI, milimetre düzeyinde bir deformasyon hızı haritası oluşturmak için Sürekli Saçıcılar

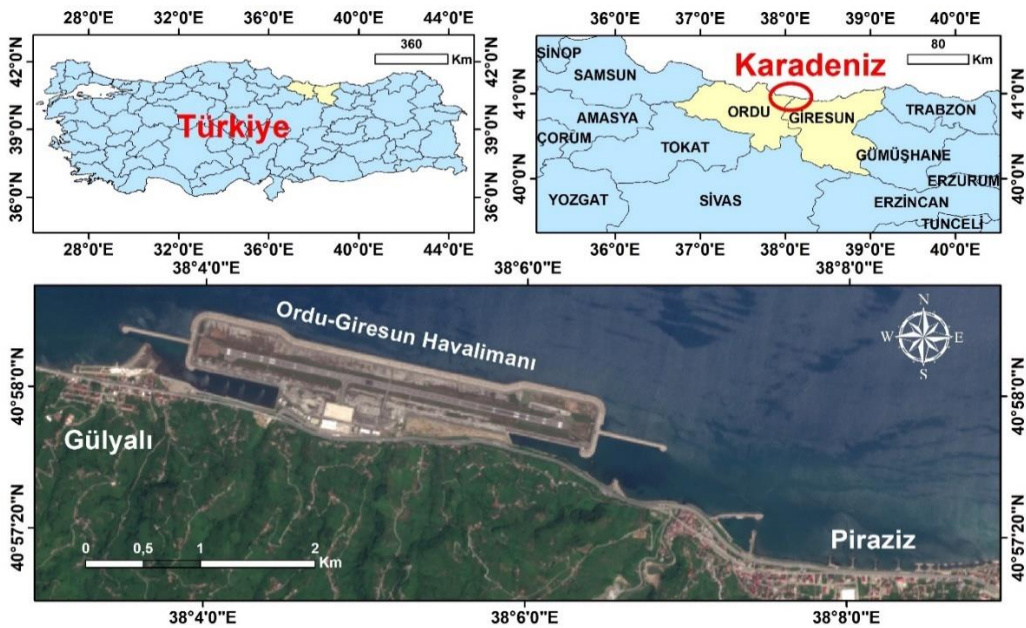
(Persistent Scatterer, PS) ile her deformasyonun zamansal davranışını izlemek için geliştirilmiştir.

Son yıllarda, en yüksek işletme güvenliği ve emniyet standartlarını sağlamak için uluslararası havalimanlarının bölgesel ölçekte deformasyonunu izlemek bir öncelik haline gelmiştir. Bu bağlamda, ulaşım altyapılarını izlemek amacıyla en yenilikçi ve uygun teknikler arasında yer alan PSI teknolojisinin zemin deformasyonlarını araştırmak için etkili bir teknik olduğu kanıtlanmıştır (Bianchini Ciampoli vd., 2020; Gao vd., 2019; Jiang, Liao, Wang, Zhang, & Balz, 2016; Marshall vd., 2018).

Bu çalışmada, PSI tekniğini kullanarak Ordu-Giresun Havalimanı alanındaki lokal yer değiştirmelerin zamansal olarak belirlenmesi, tanımlanması ve anlaşılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla Ağustos 2017'den Şubat 2019'a kadar elde edilen 84 adet alçalan yörüngeye ait Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydu görüntü veri kümesi kullanılarak lokal yer değiştirmeler ve bunların zamansal eğilimi milimetre ölçeğinde belirlenmiştir.

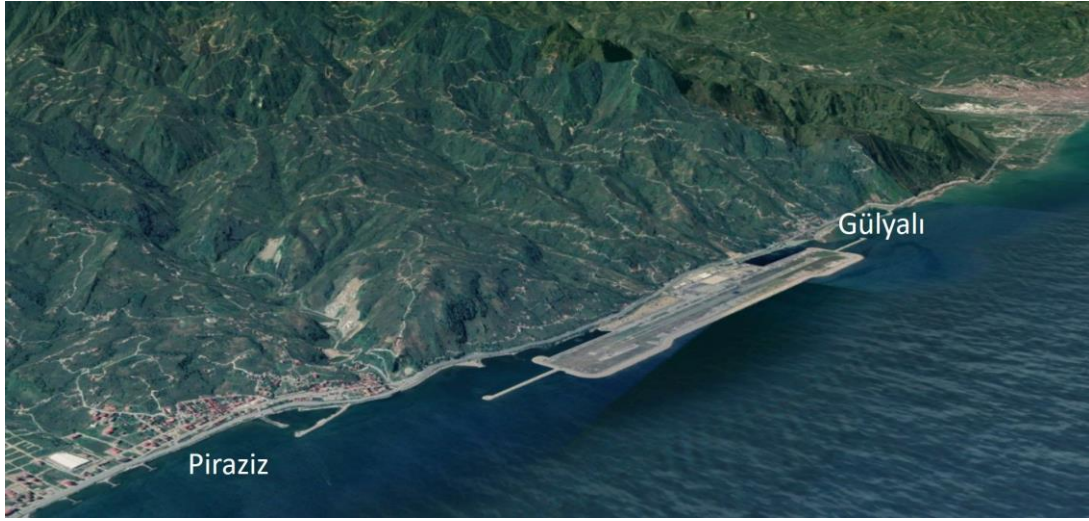
## 2. Çalışma Alanı

Çalışma Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesi kıyısında bulunan Ordu-Giresun Havalimanı alanında gerçekleştirilmiştir. Havalimanı deniz üzerine dolgu ile inşa edilmiş bir kamu havalimanıdır ve Türkiye'nin deniz üzerine dolgu ile inşa edilen ilk havalimanı olma özelliğine sahiptir. Adından da anlaşılacağı üzere havalimanı sahası Ordu ve Giresun il sınırının bulunduğu bölgede bulunup Ordu il sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma alanı

Bölge topoğrafyasının oldukça eğimli ve engebeli olması nüfus yoğunluğunun düşük kalmasına sebep olmuştur (Şekil 2). Aynı sebepten dolayı ulaşım gelişemediği için ekonomi ve turizm yönünden de zayıf kalmıştır. Bölgenin gelişimi için hava ulaşımı alternatifi düşünülmüş fakat düz ve eğimi az olan bölgelerde yerleşimler bulunduğu için havalimanı inşaatına uygun bir alan bulunamamıştır. Sonunda denize dolgu ile inşa edilmeye karar verilen havalimanı için 2011 yılında temel atılmış, 2015 yılında hizmete açılmıştır (Türk, 2015). Havalimanı yapımında üst ve altyapıları korumak için yaklaşık 7.5 km uzunluğunda ve ortalama 5.5 m yüksekliğinde taşlarla dolgu yapılarak mendirek inşa edilmiştir. Havalimanı pisti 3 km uzunluğunda ve 45 m genişliğindedir (URL-1).



Şekil 2: Çalışma alanı ve topoğrafyasının Google Earth görünümü

### 3. InSAR Gözlemleriyle Yüzey Hareketlerini Belirleme

PSI aynı yörüngede bulunan birden fazla SAR görüntüsünü işleyerek sinyallerdeki bozulmayı azaltmayı amaçlamaktadır. Bu yöntem sayesinde en iyi sinyal, zaman serisi analizi olarak da bilinen PSI ile elde edilmektedir (Ferretti, Prati, & Rocca, 2001). PS merkezinden alınan dominant yansıma prensibine dayanan PSI yöntemi, ilgisiz nokta hedeflerinin tamamen ortadan kaldırılmasına neden olur. PSI, görüntüleri piksellerin faz değerlerini kullanarak bir zaman serisinde kullanır (Ferretti, Prati, & Rocca, 2000; Hooper, Zebker, Segall, & Kampes, 2004; Kampes, 2006).

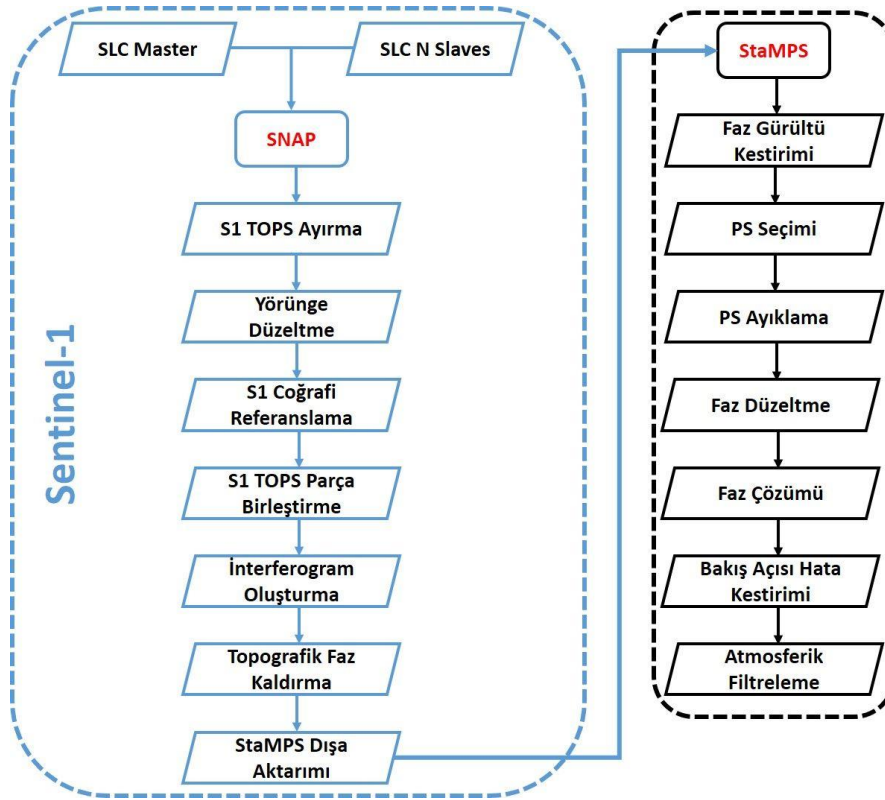
Çalışmada kullanılan Sentinel-1 A/B verileri ücretsiz olarak Avrupa Uzay Ajansı'ndan (European Space Agency, ESA) temin edilmiştir. Tüm görüntüler tek bakışlı karmaşık (Single Look Complex, SLC) görüntü formatında VV polarizasyonunda elde edilmiştir. Yüzey deformasyonunu belirlemek için, Sentinel-1 interferometrik geniş şerit mod (Interferometric Wide Swath, IW) görüntüleri Ağustos 2017-Şubat 2019 dönemini kapsayacak şekilde işlenmiştir. Sentinel-1 görüntülerinin her biri üç IW şeritten (sub-swath) oluşur. Her bir şerit ayrıca dokuz parçaya (burst) bölünür ve her parça ayrı bir SLC görüntüsü olarak işlenebilir. Sentinel-1A ve Sentinel-1B, beraber 6 gün gibi kısa bir zamansal baz uzunluğu sağlar. Bu özellik, zaman serisi çalışmaları için büyük bir avantajdır. InSAR tekniği ile yüzey yer değiştirmelerini belirlemenin avantajlarından biri de, alçalan ve yükselen yörüngelerde görüntü elde edilebilmesidir. Analizler için toplamda 84 alçalan yörünge görüntüsünden oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır. Görüntü özelliklerinin ayrıntıları Tablo 1'de gösterilmektedir. Veri seçimi sırasında, çerçeveler mümkün olduğunca çok sayıda görüntü için aynı yörüngeden seçilmiştir. Bu nedenle, veri setinde mevsimsel ayırım gözetilmemiştir. PSI yönteminde master belirlemek için meteorolojik veriler de kullanılmıştır.

Tablo 1: Kullanılan SAR görüntülerinin özellikleri

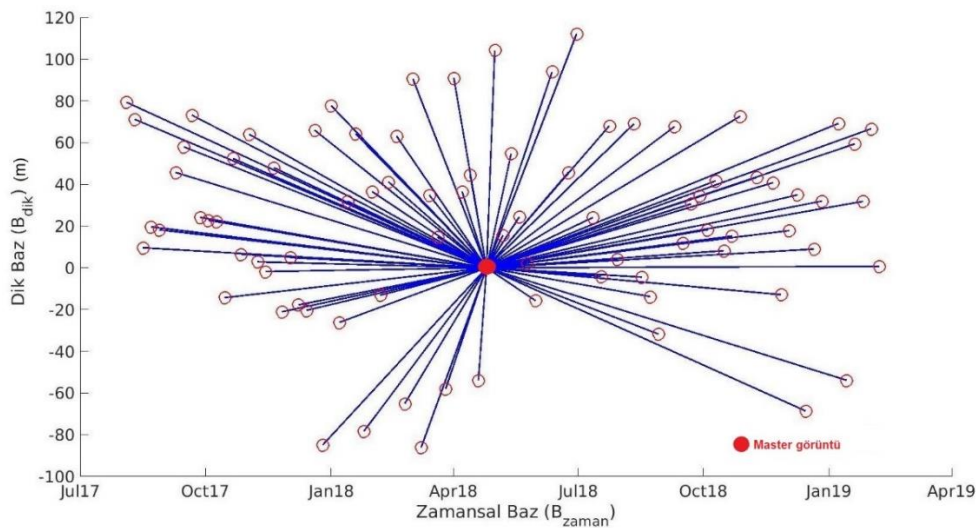
Algılayıcı	Sentinel-1
Yörünge	21
Geçiş yörüngesi	Alçalan
Modu	IW
Dalga boyu	C-bant: ~5.6 cm
Geliş açısı	~39°
Polarizasyon	VV
Periyot	20170804-20190207
Görüntü sayısı	84 adet



Analizlere ait işlem adımları Şekil 3’te sunulmaktadır. Öncelikle Sentinel-1 görüntülerinin ön işlenmesi, açık kaynak Sentinel Uygulama Platformu (SNAP) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise PS seçimi, SYM hata düzeltmesi ve interferogramların çözümü (unwrapping) işlemi açık kaynaklı StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) yazılımı ile yapılmıştır (Hooper vd., 2010). Şekil 4’te gösterildiği üzere görüntü eşleştirme işleminde, interferogramlar tek bir master görüntüye bağlı geometride üretilmiştir. InSAR verilerinden topografik faz etkisini kaldırmak için SYM olarak 30 m çözünürlüklü SRTM verisi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan koordinat sistemi WGS84’tür.



Şekil 3: SNAP ve StaMPS işlem adımları



Şekil 4: Sentinel-1 zamansal ve geometrik bazlar

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Havalimanlarının üzerine kurulduğu zeminin stabilizesi, işletme faaliyetlerinin düzenli olarak çalışması için çok önemlidir. Zeminde meydana gelen yüzey deformasyonlarının, özellikle uçakların iniş ve kalkışı sırasında pistlere ve terminallere risk oluşturma potansiyeli mevcuttur. Bu tip deformasyonlar özellikle denizden geri kazanılan arazi üzerine inşa edilen havalimanlarında meydana gelmektedir. Lap Kok Havalimanı (Hong Kong, Çin) (Liu, Ding, Chen, Li Zhilin, & Li Zhiwei, 2001), Kansai Uluslararası Havalimanı (Osaka, Japonya) (Puzrin, Alonso, & Pinyol, 2010), Pekin Başkent Uluslararası Havalimanı (Pekin, Çin) (Dai vd., 2020), San Francisco Uluslararası Havalimanı (San Francisco, ABD) (URL-2) gibi denizden geri kazanılan arazi üzerine inşa edilen düzinelerce havalimanında bu tip deformasyonlara rastlanmıştır. Bu havaalanlarından Hong Kong Uluslararası Havalimanı'nın yüzeyinde meydana gelen çökmeler PSI tekniğiyle ERS-1, ERS-2 ve ENVISAT ASAR uyduları kullanılarak izlenmiş ve çökmeler belirlenmiştir (Ding, Liu, Li Z.W., Li Z.L., & Chen, 2004; Zhao vd., 2011). Bir başka çalışmada Pudong Uluslararası Havalimanı'nda oluşan çökmeler belirlenmiş, çökme özellikleri ve çökmenin itici güçlerini incelemek için yüksek çözünürlüklü TerraSAR-X görüntüleri kullanılmıştır (Jiang vd., 2016). Çin'de ise 2016 yılında ıslah edilmiş bir alan üzerine inşa edilen Xiamen Xiang'an havalimanında meydana gelen çökme 1.5 yıllık Sentinel-1 verileri ile incelemiştir (Zhuo vd., 2020).

Araştırmalar, arazi ıslahı ile ilişkili arazi deformasyonunun temel nedenleri olarak birincil konsolidasyon, ıslahın altındaki alüvyonlu kil yataklarının uzun vadeli ikincil sıkıştırması ve ıslah dolgusunun kayması olmak üzere üç temel mekanizmayı işaret etmektedir (Jiang & Lin, 2010; Plant, Covil, & Hughes, 1998; Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996; Xu vd., 2016; Yang vd., 2018). Arazi ıslahından sonraki arazi deformasyonunun büyüklüğü ve hızı, öncelikli olarak ıslah edilen malzemelerin türü ve kalınlığı, alttaki alüvyonlu çökeltilerin kalınlığı, ıslahın tamamlanmasından sonraki süre ve temel işlemin etkisine bağlıdır (Pickles & Tosen, 1998). Toplam deformasyonun en büyük bölümü, alüvyonlu killerin birincil konsolidasyonundan kaynaklanmaktadır ve denizden geri kazanılan arazi üzerine inşa edilen havalimanlarında bu oran genellikle %70'in üzerindedir (Jiang & Lin, 2010). Ayrıca, birincil konsolidasyonun çökme süreci, ikincil sıkıştırma ve ıslah dolgusunun kaymasından çok daha hızlı meydana gelmektedir (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996).

T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (2012) raporuna göre, Ordu-Giresun Havalimanı'nın inşa edildiği dolgu arazisi genel olarak geçmiş çalışmalara konu olan havalimanlarına benzer yapıdadır. Dolgu arazisi kum ve alüvyonlardan oluşan iri çakıl tabakalarından oluşmaktadır. Oluşturulan bu dolgunun ilk tabakası gevşek olarak ifade edilen yapıya sahiptir. Dolgu sürecinde üstüne gelen ağırlıkla orta sıkı zemin özelliğine kavuşacağı öngörülmektedir. Kumlu çakıldan oluşan diğer tabaka ise ilk tabakaya göre daha sert bir yapıya sahiptir. En sert tabaka olan yüzey tabakası ise sıkı kum ve iri çakıllardan oluşmaktadır. Söz konusu yapısı nedeniyle deprem ve ekstrem hava şartlarının sebep olabileceği deformasyonlara karşı hassas bir yapıdadır (Türk, 2015).

Bu bilgiler ışığında, analizler sonucunda Sentinel-1 veri seti için, radar bakış yönündeki (Line of Sight, LOS) ortalama deformasyonun hız haritaları üretilmiştir. Ordu-Giresun Havalimanı için Sentinel-1 verilerinin ortalama LOS hızları Şekil 5'te gösterilmektedir. Alçalan yörünge için elde edilen LOS hız sonuçlarında, havalimanının kuzey bölümlerinde genel olarak kırmızı (yani negatif hız) renklerde, güneyinde ise hem kırmızı hem de mavi (yani pozitif hız) renklerinde hızlar gözlemlenmiştir. Alanın güney bölümü her iki rengi içermesine rağmen mavi renkteki hızların daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Elde edilen sonuçlar LOS yönünde ve bağıl hareketlerdir. Bu durum kırmızı renk ve tonlarına sahip noktaların zaman içindeki geçişlerde uydudan uzaklaşmış olduğunu, mavi renk ve tonlarına sahip noktaların ise zaman içindeki geçişlerde uyduya yaklaşmış olduğunu gösterir. Şekil 5'te görüldüğü gibi arazideki yıllık deformasyon -14 ile 9 mm arasında değişmektedir. Bu tip dolgu alanlarında meydana gelen yüzey deformasyonlarına sebep olarak taşıma kapasitelerindeki zayıflığı söylenebilir. Bu arazi parçalarının üzerine inşa edilen yapılara karşı hassas ve zaman içinde jeolojik



bölgelerine etkisi ve işletme güvenliği düşünüldüğünde bu yapının deformasyonunun izlenmesi ve görüntülenmesi oldukça önemlidir. Önümüzdeki çalışmalarda havalimanında meydana gelen bu yüzey hareketlerinin daha geniş bir zaman aralığı ve birbirinden farklı iki yörünge görüntüleri ile incelenmesi planlanmaktadır.

## Teşekkür

Yazar, çalışmada kullanılan InSAR verileri için Avrupa Uzay Ajansı'na (ESA) teşekkür eder.

## Çıkar Çatışması Beyanı

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

## Kaynaklar

- Abdikan, S., Arıkan, M., Şanlı, F. B., & Çakır, Z. (2014). Monitoring of coal mining subsidence in peri-urban area of Zonguldak city (NW Turkey) with persistent scatterer interferometry using ALOS-PALSAR. *Environmental Earth Sciences*, 71(9), 4081-4089.
- Bianchini Ciampoli, L., Gagliardi, V., Ferrante, C., Calvi, A., D'Amico, F., & Tosti, F. (2020). Displacement monitoring in airport runways by persistent scatterers SAR interferometry. *Remote Sensing*, 12(21), 3564.
- Capaldo, P., Crespi, M., Fratarcangeli, F., Nascetti, A., & Pieralice, F. (2011). High-resolution SAR radargrammetry: A first application with COSMO-SkyMed spotlight imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(6), 1100-1104.
- Chen, B., Gong, H., Li, X., Lei, K., Gao, M., Zhou, C., & Ke, Y. (2015). Spatial-temporal evolution patterns of land subsidence with different situation of space utilization. *Natural Hazards*, 77(3), 1765-1783.
- Chen, M., Tomás, R., Li, Z., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J., & Gong, X. (2016). Imaging land subsidence induced by groundwater extraction in Beijing (China) using satellite radar interferometry. *Remote Sensing*, 8(6), 468.
- Dai, K., Shi, X., Gou, J., Hu, L., Chen, M., Zhao, L., Dong, X., & Li, Z. (2020). Diagnosing Subsidence Geohazard at Beijing Capital International Airport, from High-Resolution SAR Interferometry. *Sustainability*, 12(6), 2269.
- Ding, X. L., Liu, G. X., Li, Z. W., Li, Z. L., & Chen, Y. Q. (2004). Ground subsidence monitoring in Hong Kong with satellite SAR interferometry. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(10), 1151-1156.
- Douglas, I., & Lawson, N. (2003). Airport construction: materials use and geomorphic change. *Journal of Air Transport Management*, 9(3), 177-185.
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 38(5), 2202-2212.
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 39(1), 8-20.
- Gao, M., Gong, H., Li, X., Chen, B., Zhou, C., Shi, M., Guo, L., Chen, Z., Ni, Z., & Duan, G. (2019). Land subsidence and ground fissures in Beijing capital international airport (bcia): Evidence from quasi-ps insar analysis. *Remote Sensing*, 11(12), 1466.
- Garthwaite, M. C. (2017). On the design of radar corner reflectors for deformation monitoring in multi-frequency InSAR. *Remote Sensing*, 9(7), 648.
- Hanssen, R. F. (2001). *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. Springer: Berlin, Germany.
- Higgins, S. A., Overeem, I., Steckler, M. S., Syvitski, J. P., Seeber, L., & Akhter, S. H. (2014). InSAR measurements of compaction and subsidence in the Ganges-Brahmaputra Delta, Bangladesh. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119(8), 1768-1781.
- Hoeksema, R. J. (2007). Three stages in the history of land reclamation in the Netherlands. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 56(S1), S113-S126.
- Hooper, A., Zebker, H., Segall, P., & Kampes, B. (2004). A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophysical research letters*, 31(23).

- Hooper, A., Spaans, K., Bekaert, D., Cuenca, M. C., Arıkan, M., & Oyen, A. (2010). StaMPS/MTI manual. *Delft Institute of Earth Observation and Space Systems Delft University of Technology, Kluuyverweg, 1*, 2629.
- Hu, J., Li, Z. W., Ding, X. L., Zhu, J. J., Zhang, L., & Sun, Q. (2012). 3D coseismic displacement of 2010 Darfield, New Zealand earthquake estimated from multi-aperture InSAR and D-InSAR measurements. *Journal of Geodesy*, 86(11), 1029-1041.
- Jiang, L., & Lin, H. (2010). Integrated analysis of SAR interferometric and geological data for investigating long-term reclamation settlement of Chek Lap Kok Airport, Hong Kong. *Engineering Geology*, 110(3-4), 77-92.
- Jiang, Y., Liao, M., Wang, H., Zhang, L., & Balz, T. (2016). Deformation monitoring and analysis of the geological environment of Pudong international airport with persistent scatterer SAR interferometry. *Remote Sensing*, 8(12), 1021.
- Kampes, B. M. (2006). *The Permanent Scatterer Technique. Radar Interferometry: Persistent Scatterer Technique*. Springer: Dordrecht, The Netherlands.
- Liu, G., Ding, X., Chen, Y., Li, Z., & Li, Z. (2001). Ground settlement of Chek Lap Kok Airport, Hong Kong, detected by satellite synthetic aperture radar interferometry. *Chinese Science Bulletin*, 46(21), 1778-1782.
- Marshall, C., Large, D. J., Athab, A., Evers, S. L., Sowter, A., Marsh, S., & Sjögersten, S. (2018). Monitoring tropical peat related settlement using isbas insar, kuala lumpur international airport (klia). *Engineering Geology*, 244, 57-65.
- Pickles, A. R., & Tosen, R. (1998). Settlement of Reclaimed Land for the New Hong Kong International Airport. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 131(4), 191-209.
- Plant, G. W., Covil, C. S., & Hughes, R. A. (1998). *Site Preparation for the New Hong Kong International Airport-The Design, Construction and Performance of the Airport Platform*. Thomas Telford: London, UK.
- Pritchard, M. E., & Simons, M. (2004). An InSAR-based survey of volcanic deformation in the central Andes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 5(2).
- Puzrin, A. M., Alonso, E. E., & Pinyol, N. M. (2010). *Unexpected excessive settlements: Kansai international airport, Japan. In Geomechanics of failures*. Springer: Dordrecht, The Netherlands.
- Sefercik, U. G., Yastıklı, N., & Atalay, C. (2017). Terrain estimation performance of advanced SAR satellites: Cosmo-SkyMed and TerraSAR-X. *2017 8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*.
- Simons, M., Fialko, Y., & Rivera, L. (2002). Coseismic deformation from the 1999 M w 7.1 Hector Mine, California, earthquake as inferred from InSAR and GPS observations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(4), 1390-1402.
- T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (2012). *Ordu-Giresun Havaalanı Kesim-1 (Tahkimat Km: 0+000-1+500) Deniz Dolguları Revize Geoteknik Proje Raporu*. Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Sons: Hoboken, NJ, USA.
- Türk, H. (2015). *Ordu Giresun Havalimanı (Mekan Seçimi ve Muhtemel Etkileri)* (Yüksek Lisans Tezi). Giresun Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Giresun, Türkiye.
- Xu, B., Feng, G., Li, Z., Wang, Q., Wang, C., & Xie, R. (2016). Coastal subsidence monitoring associated with land reclamation using the point target based SBAS-InSAR method: A case study of Shenzhen, China. *Remote Sensing*, 8(8), 652.
- Yang, M., Yang, T., Zhang, L., Lin, J., Qin, X., & Liao, M. (2018). Spatio-temporal characterization of a reclamation settlement in the Shanghai coastal area with time series analyses of X-, C-, and L-band SAR datasets. *Remote Sensing*, 10(2), 329.
- Ye, X., Kaufmann, H., & Guo, X. F. (2004). Landslide monitoring in the Three Gorges area using D-InSAR and corner reflectors. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(10), 1167-1172.
- Zhao, Q., Lin, H., Gao, W., Zebker, H. A., Chen, A., & Yeung, K. (2011). InSAR detection of residual settlement of an ocean reclamation engineering project: a case study of Hong Kong International Airport. *Journal of oceanography*, 67(4), 415-426.
- Zhuo, G., Dai, K., Huang, H., Li, S., Shi, X., Feng, Y., Li, T., Dong, X., & Deng, J. (2020). Evaluating potential ground subsidence geo-hazard of Xiamen Xiang'an new airport on reclaimed land by SAR interferometry. *Sustainability*, 12(17), 6991.
- URL-1: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Ordu-Giresun\\_Havaliman%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Ordu-Giresun_Havaliman%C4%B1) (Erişim Tarihi: 6 Aralık 2020).
- URL-2: Sea Level Rise in the SF Bay Area Just Got a Lot More Dire. <https://www.wired.com/story/sea-level-rise-in-the-sf-bay-area/?verso=true> (Erişim Tarihi: 28 Ocak 2021).





# Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi

## Journal of Geodesy and Geoinformation

# İÇİNDEKİLER - CONTENTS

### ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Ege Denizi'nde makine öğrenimi yöntemleri ile anlık deniz seviyesi değişimlerinin tahmini  
Forecasting instantaneous sea level changes with machine learning methods in Aegean Sea ..... 84-103  
*Ahmet YAVUZDOĞAN, Emine TANIR KAYIKÇI*
- GeoEtrim 2020 executed version: an academic software for geospatial image evaluation  
GeoEtrim 2020 sürümü: Konumsal görüntü değerlendirme için akademik bir yazılım ..... 104-119  
*Yunus Emre ELKAR, Hüseyin TOPAN*
- Akıllı mobil telefonlardan elde edilen çift frekanslı ham GNSS gözlemleri ile PPP konum belirleme performansının araştırılması  
Investigation of PPP performance with dual frequency raw GNSS observations obtained from smartphones ..... 120-130  
*Caneren GÜL, Ali Hasan DOĞAN, Taylan ÖCALAN*
- Transversal azimutal projeksiyonlarda Aitoff ve Wagner dönüşümleri  
Aitoff and Wagner transformation in transversal azimuthal projections ..... 131-144  
*İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ, Sevgi BÖGE*
- Yağışların tarım alanlarında sebep olduğu göllenmelerin Sentinel-1 uydu görüntüleri ile analizi  
Analysis of pondings caused by rainfall in agricultural areas by using Sentinel-1 satellite images ..... 145-160  
*Salih BABAGIRAY, Kaan KALKAN*
- Ordu-Giresun Havalimanı'nın sürekli saçıcılar interferometrisi (PSI) ile deformasyon analizi  
Deformation Analysis of Ordu-Giresun Airport by Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ..... 161-169  
*Çağlar BAYIK*

