



# TUJK 2021

## TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU 2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI

"YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA JEODEZİ"

*TURKISH NATIONAL GEODESY COMMISSION  
2021 SCIENTIFIC MEETING*

*"GEODESY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE"*

## BİLDİRİ ÖZETLERİ KİTABI ABSTRACT BOOK

**25-27  
KASIM  
NOVEMBER  
2021**

Destekleyen Kurum  
Supported By



[tujk2021.hacettepe.edu.tr](http://tujk2021.hacettepe.edu.tr)

**TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU**  
**2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI**  
**"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"**  
**25-27 Kasım 2021**

***TURKISH NATIONAL GEODESY COMMISSION***  
***2021 SCIENTIFIC MEETING***  
***"Geodesy in the Age of Artificial Intelligence"***  
***25-27 November 2021***

**BİLDİRİ ÖZETLERİ KİTABI**  
***ABSTRACT BOOK***

<http://tujk2021.hacettepe.edu.tr>  
Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü  
*Hacettepe University, Department of Geomatics Engineering*

Aralık 2021  
*December 2021*  
Ankara

## **ONUR KURULU / HONOR COUNCIL**

**Prof. Dr. Mehmet Cahit GÜRAN**, *Hacettepe Üniversitesi Rektörü*

**Tuğgeneral Hurşit AĞIRCAN**, *TUJJB Başkanı, Harita Genel Müdürü*

**Prof. Dr. Halil VURAL**, *Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı*

**Dr. Müh. Alb. İbrahim NALCI**, *TUJJB Başkan Yardımcısı*

**Ali İPEK**, *HKMO YK Başkanı*

**Dr. Müh. Alb. Ali İhsan KURT**, *TUJK Başkanı*

**Prof. Dr. Haluk ÖZENER**, *TUJK Üniversite Temsilcisi*

**Prof. Dr. Rasim DENİZ**, *TUJK Önceki Üniversite Temsilcisi*

**Prof. Dr. Tefik AYAN**, *TUJK Önceki Üniversite Temsilcisi*

**Prof. Dr. Onur GÜRKAN**, *TUJK Önceki Üniversite Temsilcisi*

## **DÜZENLEME KURULU / ORGANIZING COMMITTEE**

**Bahadır AKTUĞ**, *Prof. Dr., Ankara Üniversitesi*

**Orhan AKYILMAZ**, *Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi*

**Berkay BAHADUR**, *Arş. Gör. Dr., Hacettepe Üniversitesi*

**Ayhan CİNGÖZ**, *Yük. Müh. Alb., Harita Genel Müdürlüğü*

**Ali Osman DEMİRER**, *Öğr. Gör., Hacettepe Üniversitesi*

**Murat DURMAZ**, *Dr. Öğr. Üyesi, Hacettepe Üniversitesi*

**Müfide ER ELVANLI**, *Arş. Gör., Hacettepe Üniversitesi, Düzenleme Kurulu Sekreteri*

**Ali İhsan KURT**, *Dr. Müh. Alb., Harita Genel Müdürlüğü*

**Metin NOHUTCU**, *Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Düzenleme Kurulu Başkanı*

**Gonca OKAY AHİ**, *Dr. Öğr. Üyesi, Hacettepe Üniversitesi*

**Tevfik ÖZLÜDEMİR**, *Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi*

**Erdinç SEZEN**, *Dr. Müh. Alb., Harita Genel Müdürlüğü*

**Mehmet SİMAV**, *Doç. Müh. Yb., Harita Genel Müdürlüğü, Düzenleme Kurulu Sekreteri*

**Kamil TEKE**, *Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi*

**İbrahim TİRYAKİOĞLU**, *Prof. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi*

**Engin TUNALI**, *Arş. Gör. Dr., Hacettepe Üniversitesi*

**Aydın ÜSTÜN**, *Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi*

**Hasan Hakan YAVAŞOĞLU**, *Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi*

## **BİLİM KURULU / SCIENTIFIC COMMITTEE**

*(Bilim Kurulu bildiri değerlendirme sürecine katkıda bulunan akademisyenlerden oluşmaktadır)*

**Ramazan Alpay ABBAK**, Doç. Dr., Konya Teknik Üniversitesi  
**Burak AKPINAR**, Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi  
**Bahadır AKTUĞ**, Prof. Dr., Ankara Üniversitesi  
**Orhan AKYILMAZ**, Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi  
**Reha Metin ALKAN**, Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi  
**Cüneyt AYDIN**, Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi  
**Berkay BAHADUR**, Arş. Gör. Dr., Hacettepe Üniversitesi  
**Serkan DOĞANALP**, Doç. Dr., Konya Teknik Üniversitesi  
**Murat DURMAZ**, Dr. Öğr. Üyesi, Hacettepe Üniversitesi  
**Serdar EROL**, Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi  
**Caner GÜNEY**, Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi  
**Kerem HALICIOĞLU**, Dr., Freie Universität Berlin  
**Veli İLÇİ**, Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
**Himmet KARAMAN**, Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi  
**Ali İhsan KURT**, Dr. Müh. Alb., Harita Genel Müdürlüğü  
**Orhan KURT**, Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi  
**Çetin MEKİK**, Prof. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi  
**Hüseyin MERCAN**, Arş. Gör. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi  
**Gonca OKAY AHI**, Dr. Öğr. Üyesi, Hacettepe Üniversitesi  
**Sermet ÖĞÜTÇÜ**, Doç. Dr., Necmettin Erbakan Üniversitesi  
**Tevfik ÖZLÜDEMİR**, Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi  
**Mahmut Oğuz SELBESOĞLU**, Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi  
**Erdinç SEZEN**, Dr. Müh. Alb., Harita Genel Müdürlüğü  
**Mehmet SİMAV**, Doç. Müh. Yb., Harita Genel Müdürlüğü  
**Doğan Uğur ŞANLI**, Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi  
**Emine TANIR KAYIKÇI**, Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi  
**Kamil TEKE**, Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi  
**İbrahim TIRYAKIOĞLU**, Prof. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi  
**Nursu TUNALIOĞLU**, Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi  
**Aydın ÜSTÜN**, Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi  
**Hasan Hakan YAVAŞOĞLU**, Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi  
**Hasan YILDIZ**, Doç. Müh. Alb., Harita Genel Müdürlüğü  
**Mustafa YILMAZ**, Prof. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi  
**Cemal Özer YİĞİT**, Prof. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi

## **ÖNSÖZ**

25-27 Kasım 2021 tarihleri arasında Hacettepe Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü ev sahipliğinde çevrimiçi olarak gerçekleştirilen **Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2021 Yılı Bilimsel Toplantısı** Bildiri Özetleri Kitabı, Toplantıda sunulan 11'i çağrılı olmak üzere toplam 36 bildirinin özet metinlerini içermektedir.

Gönül isterdi ki 2002 yılından bu yana düzenli olarak bizleri bir araya getiren toplantımızı bu yıl da yüz yüze gerçekleştirelim. Esasen 2020 yılında Bölümümüz ev sahipliğinde yapılması planlanan TUJK Toplantısı Covid-19 pandemisi şartlarının sona ereceği ümidiyle ertelenmişti. Pandemi hala yüksek risk teşkil ettiği için, ama diğer yandan toplantılarımıza daha fazla ara vermemek adına bu yılki Bilimsel Toplantımızın çevrimiçi olarak gerçekleştirilmesi kararı alındı. Her ne kadar önceki toplantılarda yüz yüze görüşmeler ile sağlanan samimi ortam mümkün olamasa da, çevrimiçi buluşmanın bulaş riskini ortadan kaldırması yanında katılımın yüksek seviyede olabilmesi açısından sağladığı avantajlardan mümkün olduğunca yararlanmaya çalıştık.

En son toplantımızdan bu yana geçen iki yıllık süreçte hem özel hayatımızda hem de akademide, bir kısmının kalıcı olması muhtemel önemli değişiklikler oldu. TUJK toplantılarına katılım açısından bu yılki yeri doldurulamaz bir eksiklik ise, alanımızda yetişmiş birçok bilim insanının ve mühendisin eğitime doğrudan veya dolaylı katkı sağlamış olan Prof. Dr. Ahmet Aksoy Hocamızın artık aramızda olmaması. Bu vesile ile başta Ahmet Hocamız olmak üzere hayatını kaybetmiş olan tüm hocalarımızı saygıyla anıyoruz.

Bu yılki Toplantımız için kapsam olarak jeodezi alanında gerçekleştirilen tüm çalışmaların sunulabileceği bir program benimsendi ve TUJK bünyesinde faaliyet gösteren dört çalışma grubunun da alanlarını ihtiva edecek şekilde, Toplantıda yer alışı sırasıyla, “Jeodinamik”, “Konum Belirleme ve Uygulamalar”, “Gravite Alanı” ve “Referans Koordinat Sistemleri” başlıklı dört ayrı oturum planlandı. Çalışma grubu başkanları ve sekreterleri Toplantının düzenlenmesi aşamasında etkin rol aldılar. Bu yaklaşımın bir sonucu olarak Toplantıda sunulmak üzere öngörülen sayının üzerinde bildiri teslim edildi. Yine çevrimiçi toplantının bir avantajı olarak jeodezi alanında uluslararası tanınırlığa sahip bilim insanlarının sunumlarına yer verme şansımız oldu.

Bu yılki Toplantımızın sloganı “Yapay Zekâ Çağında Jeodezi” olarak belirlendi. Yapay zekâ belki zaman zaman öne sürüldüğü gibi bir mucize değil ama artık yapay zekâ marifetiyle makalelerin ve hatta belli şairlerin üslubuyla şiirlerin yazılabildiği bir döneme girdik. Sensör sayısının ve buna bağlı olarak kaydedilen veri miktarının her geçen gün artarak büyük veriye dönüştüğü günümüzde, yapay zekânın önemi ve uygulamaları giderek artmaktadır. Bu bakış açısıyla yapay zekanın jeodezi bilimine olan yansımalarına dikkat çekmek istedik. Bu nedenle programda, sayılan dört oturumun yanı sıra “Jeodezide Yapay Zekâ Uygulamaları” başlıklı beşinci bir oturuma daha yer verildi. Yine bu kapsamda, oturumların tamamlanması sonrasında “Makine Öğrenmesine Giriş” ve “Jeodezide Yapay Zekâ Uygulamaları” başlıkları altında teorik ve uygulamalı eğitimler düzenlendi.

Bu yıl Toplantımızın ev sahibi olarak Bölümümüz uygun görüldüğü için TUJK Başkanı Dr. Müh. Alb. Ali İhsan Kurt nezdinde TUJK Yürütme Kurulu ve Genel Kuruluna, katkılarından ötürü Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Ali İpek şahsında Harita ve Kadastro Mühendisleri Odasına, bildiri değerlendirme sürecine katkı sağlayan Bilim Kurulu üyelerine, eğitim programını gerçekleştiren Doç. Dr. Erkut Erdem ve Arş. Gör. Metehan Uz'a, bildirileri ile katılım sağlayan değerli konuşmacı ve bildiri ortak yazarlarına, aynı zamanda Toplantının oturum başkanlıklarını yapan TUJK çalışma grubu başkanı ve sekreteri görevlerini yürüten hocalarıma, web sayfasını hazırlayan Sayın Pınar Hazan'a, Düzenleme Kurulu üyeleri başta olmak üzere Toplantının gerçekleşmesinde emeği geçen herkese ve Toplantıya iştirak eden tüm dinleyicilere teşekkürlerimi sunarım.

Bildiri Özetleri Kitabının Toplantı kazanımlarının daha kalıcı hale gelmesine katkı sağlaması dileğiyle...

Doç. Dr. Metin Nohutcu  
*TUJK2021 Düzenleme Kurulu Başkanı*





## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

### BİLDİRİ ÖZETLERİ / ABSTRACTS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Oturum: JEODİNAMİK<br>Session 1: GEODYNAMICS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2  |
| <b>GNSS Ölçüleri ile Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ) Güney Kesimine ait Tektonik Hareketlerin İzlenmesi</b><br><i>Monitoring of Tectonic Movements of the Southern Section of the Tuz Gölü Fault Zone (TGFZ) with GNSS Measurements</i><br>Cemil Gezgin, Semih Ekercin, İbrahim Tiryakioğlu, Bahadır Aktuğ, Hediye Erdoğan                                                                                             | 3  |
| <b>Kuzeydoğu Akdeniz Bölgesindeki Güncel Tektonik Deformasyonların GPS Tekniği ile Belirlenmesi</b><br><i>Determination of Recent Tectonic Deformations in the Northeastern Mediterranean Region By GPS Technique</i><br>Ali Özkan, Hasan Hakan Yavaşoğlu, İbrahim Tiryakioğlu, Frédéric Masson, Mehmet Nurullah Alkan                                                                                          | 5  |
| <b>Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Destek Segmentindeki Asismik Krip Hareketlerinin GPS Ölçmeleriyle Belirlenmesi</b><br><i>Determination of Aseismic Creep on the Destek Segment of the North Anatolian Fault (NAF) Using GPS Observations</i><br>Mehmet Nurullah Alkan, Kayhan Aladoğan, Ahmet Emir Yakup, Hasan Hakan Yavaşoğlu, Ali Özkan, Zafer Köse                                                              | 7  |
| <b>Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Orta Kesimindeki Güncel Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemi ile Belirlenmesi</b><br><i>Determination of Current Earth's Crust Movements in the Central Section of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) using GNSS</i><br>Kayhan Aladoğan, Mehmet Nurullah Alkan, İbrahim Tiryakioğlu, Hasan Hakan Yavaşoğlu, Ali Özkan, Halil İbrahim Solak                                | 9  |
| <b>Orta Marmara Fayı Sismik Potansiyelinin Ortaya Konulması için Yapılan Jeodezik Faaliyetler</b><br><i>Geodetic Activities to Reveal the Seismic Potential of the Central Marmara Fault</i><br>M. Fahri Karabulut, H. Hakan Yavaşoğlu, İbrahim Tiryakioğlu, V. Engin Güllal, M. Nurullah Alkan, Ali Özkan                                                                                                      | 11 |
| <b>Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Yöntemi ile Deprem Kaynaklı Yüzey Dalga Hareketlerinin İzlenebilirliğinin İncelenmesi</b><br><i>Investigation of Capturing of Earthquake-induced Surface Wave Movements by Real-Time Precision Point Positioning (RT-PPP) Method</i><br>Barış Karadeniz, Mert Bezicioğlu, Cemal Özer Yiğit, A. Anıl Dindar, İbrahim Tiryakioğlu, Burak Akpınar, Bahadır Aktuğ | 13 |
| 2. Oturum: KONUM BELİRLEME VE UYGULAMALAR<br>Session 2: POSITIONING AND APPLICATIONS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 15 |
| <b>Türkiye Kaynaklı İlk Çevrimiçi PPP Servisi</b><br><i>The First Online PPP Service Developed in Turkey</i><br>Metin Nohutcu, Berkay Bahadır, Kamil Teke, M. Ali Güvenaltın, Pınar Hazan, M. Fikret Öcal, Duygu Dülger, Buğçe Gökçe, Yazgı Nur Sayın, Yelkin Turan                                                                                                                                             | 16 |
| <b>Navigasyon Dereceli Ataletsel Ölçü Birimi ile Bazı Jeodezik Parametrelerin Doğrudan Belirlenmesi</b><br><i>Direct Determination of Some Geodetic Parameters with Navigaton Grade Inertial Measurement Unit</i><br>İlyas Akpınar, Mehmet Simav, Kamil Teke, Yunus Aytac Akdoğan, Hasan Yıldız, Murat Durmaz                                                                                                   | 18 |
| <b>Akıllı Telefonların Kinematik Konum Belirleme Performansının Araştırılması</b><br><i>Investigation of Kinematic Positioning Performance of Smartphones</i><br>Berkay Bahadır                                                                                                                                                                                                                                 | 19 |
| <b>Akıllı Telefon IMU ve GNSS Entegrasyonu ile Harmonik Hareketlerin İzlenmesi</b><br><i>Harmonic Motion Tracking with Smartphone IMU and GNSS Integration</i><br>Caneren Gül, Taylan Öcalan                                                                                                                                                                                                                    | 21 |



|                                                                                                                                                                                          |                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Düşük Maliyetli GNSS Alıcılarının Farklı Anten Tiplerine Göre Konum Doğruluklarının Belirlenmesi</b>                                                                                  | 23                                       |
| <i>Determining The Position Accuracy of Low Cost GNSS Receivers Using Different Antenna Types</i>                                                                                        |                                          |
| M. Fahri Karabulut, <b>Nedim Onur Aykut</b> , Burak Akpınar, Cemal Özer Yiğit, Güldane Oku Topal, Barış Karadeniz, Zübeyir Bilal Çakmak, Bilge Doran, Ahmet Anıl Dindar, İlhan Emre İnam |                                          |
| <b>Ulusal Antarktika Bilim Seferi Kapsamında Jeodezik Çalışmalar</b>                                                                                                                     | 25                                       |
| <i>Geodetic Studies during the Turkish Antarctic Expeditions</i>                                                                                                                         |                                          |
| Burcu Özsoy, <b>Özgün Oktar</b>                                                                                                                                                          | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>4. Türkiye Antarktik Bilim Seferi Kapsamında Yapılan Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri Tabanlı Çalışmalar</b>                                                                        | 27                                       |
| <i>Global Navigation Satellite Systems-Based Studies within the Scope of the 4th Turkish Antarctic Expedition</i>                                                                        |                                          |
| Mahmut Oğuz Selbesoğlu, H. Hakan Yavaşoğlu, M. Fahri Karabulut, Özgün Oktar, Burcu Özsoy, Himmet Karaman, Mustafa Ersel Kamaşak, Vahap Engin Gülal                                       |                                          |
| <b>GNSS-IR Yönteminin Uzun Dönem Kar Kalınlığı Belirleme Performansının İncelenmesi</b>                                                                                                  | 28                                       |
| <i>Investigation of Long-term Snow Depth Retrieval Performance of GNSS-IR Method</i>                                                                                                     |                                          |
| Cemali Altuntaş, Nursu Tunalıoğlu, Bahattin Erdoğan                                                                                                                                      |                                          |
| <b>İHA Fotogrametri Yöntemi ile Yüzey Deformasyonlarının İzlenmesi</b>                                                                                                                   | 30                                       |
| <i>Monitoring of Surface Deformations with UAV Photogrammetry Method</i>                                                                                                                 |                                          |
| Kemal Özgür Hastaoğlu, Burak Can Kara, Yavuz Gül, Fatih Poyraz                                                                                                                           |                                          |
| <b>3. Oturum: GRAVİTE ALANI</b>                                                                                                                                                          | 32                                       |
| <b>Session 3: GRAVITY FIELD</b>                                                                                                                                                          |                                          |
| <b>Satellite Gravimetry-based Monitoring System for Water Resources Management and Natural Hazards Monitoring</b>                                                                        | 33                                       |
| C.K. Shum, Yu Zhang, Vibhor Agarwal, Orhan Akyılmaz, Ehsan Forootan                                                                                                                      | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>GNSS-IR Tekniği İle Meteorolojik Parametreler ve Gelgit Bileşenleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması</b>                                                                            | 34                                       |
| <i>Investigation of the Relationship between Meteorological Parameters and Tidal Constituents with GNSS-IR Technique</i>                                                                 |                                          |
| Cansu Beşel, Emine Tanır Kayıkçı                                                                                                                                                         |                                          |
| <b>Global Deniz Suyu ve Türkiye'deki Büyük Göl Suyu Kütlelerinin Çekim Etkileri</b>                                                                                                      | 36                                       |
| <i>Gravitational Effect of Global Seawater and Major Lake Water Masses in Turkey</i>                                                                                                     |                                          |
| Mehmet Simav, Hasan Yıldız                                                                                                                                                               |                                          |
| <b>Space Gravimetry Applications and Needs for Drought Monitoring, Water Resource Assessment and Regional Climate Monitoring</b>                                                         | 38                                       |
| Jürgen Kusche                                                                                                                                                                            | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>Kronometrik Nivelman Yöntemi ile Eşpotansiyel Yüzeylerin Belirlenmesi</b>                                                                                                             | 39                                       |
| <i>Determination of Equipotential Surfaces by Chronometric Leveling Method</i>                                                                                                           |                                          |
| Hasan Onur Işık, Mustafa Tevfik Özlüdemir, Kerem Halıcıoğlu                                                                                                                              |                                          |
| <b>Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığında Ham Deniz Gravite Verilerinin Toplanması, Veri İşlemi ve Kalite Kontrolü</b>                                                                   | 41                                       |
| <i>Acquisition, Data Processing and Quality Control of Raw Marine Gravity Data in Turkish Petroleum</i>                                                                                  |                                          |
| Kadir Barış Bakıoğlu, Hasan Salih Külünk                                                                                                                                                 |                                          |
| <b>En Küçük Karelerle Kolokasyonla Serbest Hava Düşey Gravite Gradyenti Modelleme</b>                                                                                                    | 43                                       |
| <i>Free-Air Vertical Gravity Gradient Modelling with Least-Squares Collocation</i>                                                                                                       |                                          |
| Yunus Aytaç Akdoğan, Gonca Okay Ahi, Hasan Yıldız                                                                                                                                        |                                          |
| <b>tc-cylinder.v1.0: Yüksek Çözünürlük ve Doğrulukta Vektör Tabanlı Topoğrafik Düzeltme Hesabı</b>                                                                                       | 45                                       |
| <i>tc-cylinder.v1.0: Vector Based Terrain Correction Calculation in High Resolution and Accuracy</i>                                                                                     |                                          |
| Sevda Olgun, Aydın Üstün                                                                                                                                                                 |                                          |

|                                                                                                                                                                                  |                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>4. Oturum: REFERANS KOORDİNAT SİSTEMLERİ</b>                                                                                                                                  | <b>47</b>                                |
| <i>Session 4: REFERENCE COORDINATE SYSTEMS</i>                                                                                                                                   |                                          |
| <b>ICRF3 – Geodetic Aspects</b>                                                                                                                                                  | <b>48</b>                                |
| <b>Robert Heinkelmann</b>                                                                                                                                                        | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>Toward ITRF2020: Enhancing the Modelling of Nonlinear Station Motions</b>                                                                                                     | <b>49</b>                                |
| <b>Zuheir Altamimi, Paul Rebischung, Xavier Collilieux, Laurent Métivier, Kristel Chanard</b>                                                                                    | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>Earth Orientation Parameters – An Important Dataset for Science and Society</b>                                                                                               | <b>50</b>                                |
| <b>Robert Heinkelmann</b>                                                                                                                                                        | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>Güncel TUREF Hız Alanı Modelinin Uzun Dönemli GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesiyle Oluşturulması</b>                                                                 | <b>51</b>                                |
| <i>Semi-Kinematic Reference Frame Realization in Turkey and Determination of an Improved Velocity Field Model</i>                                                                |                                          |
| <b>Ali İhsan Kurt, Ali Değer Özbakır, Ayhan Cingöz, Uğur Doğan, Semih Ergintav</b>                                                                                               | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>Towards a Global Unified Height System</b>                                                                                                                                    | <b>53</b>                                |
| <b>Laura Sanchez</b>                                                                                                                                                             | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>Türkiye Düşey Koordinat Referans Çerçevesi</b>                                                                                                                                | <b>54</b>                                |
| <i>Vertical Coordinate Reference Frame of Turkey</i>                                                                                                                             |                                          |
| <b>Mehmet Simav, Ali İhsan Kurt, Ayhan Cingöz, İlyas Akpinar, Yunus Aytac Akdoğan</b>                                                                                            | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>5. Oturum: JEODEZİDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI</b>                                                                                                                              | <b>55</b>                                |
| <i>Session 5: ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN GEODESY</i>                                                                                                                |                                          |
| <b>Acemi Zeka Çağında Mekansal Zeka</b>                                                                                                                                          | <b>56</b>                                |
| <i>GeoAI in the Age of Unexperienced Intelligence</i>                                                                                                                            |                                          |
| <b>Caner Güney</b>                                                                                                                                                               | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Jeoid Ondülasyon Değerlerinin Tahmini için Bayesian Regularization ve Levenberg-Marquardt Eğitim Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi</b>    | <b>58</b>                                |
| <i>Comparative Analysis of Bayesian Regularization and Levenberg-Marquardt Training Algorithms for Prediction of the Geoid Undulation Values Using Artificial Neural Network</i> |                                          |
| <b>Berkant Konakoğlu, Alper Akar</b>                                                                                                                                             |                                          |
| <b>Yerel Jeoidin Modellenmesinde Yapay Sinir Ağları ve Universal Kriging Enterpolasyon Yöntemlerinin Kullanılabilirliği</b>                                                      | <b>59</b>                                |
| <i>Usability of Artificial Neural Networks and Universal Kriging Interpolation Methods in Modelling the Local Geoid</i>                                                          |                                          |
| <b>Merve Ocak, Leyla Çakır</b>                                                                                                                                                   |                                          |
| <b>GRACE-benzeri Toplam Su Bütçesi Değişim Modellerinin Derin Öğrenme Algoritmaları ile Simülasyonu</b>                                                                          | <b>61</b>                                |
| <i>The Simulation of GRACE-like Terrestrial Water Storage Anomaly Models using Deep Learning Algorithms</i>                                                                      |                                          |
| <b>Metehan Uz, Kazım Gökhan Atman, Merve Keleş, Tuğçe Ay, Bihter Tandoğdu, Orhan Akyılmaz, Ck Shum, Yu Zhang, Hüseyin Mercan</b>                                                 |                                          |
| <b>Application of Machine Learning in Geodesy: Prediction, Detection, and Automation</b>                                                                                         | <b>63</b>                                |
| <b>Benedikt Soja</b>                                                                                                                                                             | <b>Çağrılı Konuşma / Invited Speaker</b> |
| <b>Yapay Zekanın Jeodezik Tomografisi</b>                                                                                                                                        | <b>64</b>                                |
| <i>A Geodetic Tomography to Artificial Intelligence</i>                                                                                                                          |                                          |
| <b>Orhan Kurt</b>                                                                                                                                                                |                                          |
| <b>Cep Telefonlarındaki İvmeölçer ve Yapay Sinir Ağları ile Olası Deprem Tespiti</b>                                                                                             | <b>66</b>                                |
| <i>Possible Earthquake Detection with Accelerometers and Artificial Neural Networks in Mobile Phones</i>                                                                         |                                          |
| <b>Baran Canpolat, Gonca Okay Ahi</b>                                                                                                                                            |                                          |



# **BİLDİRİ ÖZETLERİ**

## ***ABSTRACTS***



## **1. Oturum: JEODİNAMİK**

Oturum Başkanları:

Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ, Dr. Öğr. Üyesi Gonca OKAY AHİ

## ***Session 1: GEODYNAMICS***

*Convenors:*

*Prof. Bahadır AKTUĞ, Asst. Prof. Gonca OKAY AHİ*

## GNSS Ölçüleri ile Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ) Güney Kesimine ait Tektonik Hareketlerin İzlenmesi

### *Monitoring of Tectonic Movements of the Southern Section of the Tuz Gölü Fault Zone (TGFZ) with GNSS Measurements*

Cemil Gezgin<sup>1,✉</sup>, Semih Ekercin<sup>2</sup>, İbrahim Tiryakioğlu<sup>3,4</sup>, Bahadır Aktuğ<sup>5</sup>, Hediye Erdoğan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray

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

<sup>3</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyon

<sup>4</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi (DUAM), Afyon

<sup>5</sup>Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara

✉ cemilgezgin@aksaray.edu.tr

## Özet

Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ), Orta Anadolu Bölgesinin en önemli aktif tektonik unsurlarının başında gelmektedir. TGFZ üzerinde yakın zamanda yapılan çalışmalar, zonun Aksaray'a yakın segmentlerinin (Aksaray segmenti, Akhisar-Kılıç segmenti ve Altunhisar segmenti) büyüklüğü 6,8'e varabilecek depremler üretme potansiyeline sahip olduklarını göstermektedir. Bu durum, Aksaray il merkezi başta olmak üzere, büyük ölçüde alüvyon zemin üzerine kurulmuş ilin tamamına yakınında yıkıcı hasarların ve can kayıplarının ortaya çıkabileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, özellikle son dönemde yapılan çalışmalarda jeolojik ve jeomorfolojik veriler ışığında fayın kayma hızına yönelik yaklaşımlar sunulmakta ancak fayın güncel kayma hızı hesaplamalarına dair çalışmalar kısıtlı kalmaktadır. Ayrıca fay zonunun mevcut uzun dönem ve güncel dönem kayma hızları arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Dolayısıyla, gerek Tuz Gölü Fay Zonu'nun günümüz kayma hızı değerinin doğru ve hassas şekilde tespitinin yapılması, gerekse de bu veriler kapsamında bölgenin deformasyon özelliklerinin ortaya konulması büyük önem taşımaktadır.

Bu amaçla, bu çalışmada TGFZ'nin güney kesimine ait deformasyonun jeodezik ölçmelerle yüksek duyarlılık olarak belirlenmesi amaçlanmış ve TGFZ'nin güney kesimine 24 adet yeni nirengi ve 2 Sürekli Gözlem Yapan GNSS istasyonu tesis edilmiştir. Kurulan ağ üzerinde 2018-2020 yılları arasında GNSS ölçüleri yapılmıştır. Çalışma bölgesi çevresinde bulunan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) ve Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) noktalarına ait ölçüler de çalışmaya dahil edilerek GNSS ölçüleri GAMIT/GLOBK yazılım takımı ile değerlendirilmiş ve bölgenin güncel hız alanı elde edilmiştir. Ayrıca GeodSuit® yazılımı kullanılarak çalışma bölgesinde blok modelleme çalışmaları yürütülmüştür. İlk defa bu çalışma ile doğrudan Tuz Gölü Fay Zonu segmentleri üzerinde kurulmuş jeodezik ağıdan sağlanan kayma hızları literatürdeki önemli bir eksikliği doldurarak ülke ve bölge tektoniğine katkıda bulunmakta ve fay zonunun sismik aktivitesinin derecesinin anlaşılmasında önemli bir veri seti sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında yaklaşık olarak yatayda 3.2 mm/yıl ve düşeyde 1.5 mm/yıl olarak elde edilen kayma hızları, şimdiye kadar gerçekleştirilen farklı jeolojik çalışmalardan elde edilen kayma değerleri ile karşılaştırıldığında, zondaki aktif deformasyonun aslında ifade edilenden daha yüksek olduğuna işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ), GAMIT/GLOBK, Kayma Hızı, Orta Anadolu

## Abstract

Tuz Gölü Fault Zone (TGFZ) is one of the most important active tectonic elements of Central Anatolia. Recent studies on the TGFZ show that the zone has a potential to produce earthquakes near Aksaray (Aksaray segment, Akhisar-Kılıç segment and Altunhisar segment), which may reach a magnitude of 6.8. This situation indicates that destructive damages and loss of life may occur in the vicinity of the province, which is founded largely on a alluvial soils especially in Aksaray city center. However, recent studies have suggested some approaches on the rate of fault slip in the light of geological and geomorphologic data. But the studies on the calculation of the current slip rate of the fault are limited. There are also significant differences between the suggested long-term and short-term slip rates of the



fault zone. Therefore, the accurate determination of the current slip rate of the TGFZ is essential, and very crucial to understand the deformation characteristics of the region.

Within the scope of this study, it is aimed to determine the deformation of the southern part of the TGFZ with high sensitivity by geodetic measurements and 24 new reference points and 2 Continuously Operating Reference Stations were established in the southern part of the TGFZ. GNSS measurements were made on this network between the years of 2018-2020. The data of Turkish National Fundamental GPS Network (TNFGN) and Continuously Operating Reference Stations-Turkey (CORS-TR) points located around the study area were also included in the study and GNSS measurements were processed using the GAMIT/GLOBK academic software and recent velocity field of the region was determined. In addition, block modeling studies were carried out in the study area using GeodSuit® software. For the first time with this study slip rates provided by the geodetic network established directly on the Tuz Gölü Fault Zone segments, filling a significant deficiency in the literature, contribute to the tectonics of the country and the region and provides an important dataset in understanding the degree of seismic activity of the fault zone. The slip rates obtained within the scope of this study approximately 3.2 mm/year horizontally and 1.5 mm/year vertical, indicate that the active deformation in the zone is actually higher than expressed, compared to the sliding values calculated by different geological studies so far.

**Keywords:** GNSS, Tuz Gölü Fault Zone (TGFZ), GAMIT/GLOBK, Slip Rate, Central Anatolia



## Kuzeydoğu Akdeniz Bölgesindeki Güncel Tektonik Deformasyonların GPS Tekniği ile Belirlenmesi

### *Determination of Recent Tectonic Deformations in the Northeastern Mediterranean Region By GPS Technique*

Ali Özkan<sup>1,✉</sup>, Hasan Hakan Yavaşoğlu<sup>2</sup>, İbrahim Tiryakioğlu<sup>3</sup>, Frédéric Masson<sup>4</sup>, Mehmet Nurullah Alkan<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Harita ve Kadastro Programı, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye

<sup>2</sup>Geomatik Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>Harita Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye

<sup>4</sup>Institut de Physique du Globe, UMR 7516, Université de Strasbourg/EOST CNRS, Strasbourg, France

<sup>5</sup>Harita ve Kadastro Programı, Osmancık Ömer Derindere Meslek Yüksekokulu, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye

✉ aliozkan@osmaniye.edu.tr

### Özet

Son on yıllar süre zarfında Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'nin kuzey bölümünde meydana gelen Elazığ-Sivrice (Mw=6.5, 2020, KOERI), Bingöl (Mw=6.4, 2003, KOERI) ve Elazığ-Karakoçan (Mw=6.1, 2010, KOERI) depremleri yıkıcı etkileri ile ortaya çıkan orta büyüklükteki depremlerdendir. DAFZ'nin güney ucundaki Adana, Osmaniye, Hatay ve Gaziantep illerini içine alan Kuzeydoğu Akdeniz bölgesi de sismik aktivitelerin yoğun olarak yaşandığı tektonik açıdan kritik bir bölgedir. Anadolu, Arabistan ve Afrika levhalarının kesiştiği Kuzeydoğu Akdeniz bölgesindeki potansiyel deprem tehlikesinin ortaya konulabilmesi güncel tektonik deformasyonların belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir.

Çok yaygın olarak, tektonik mekanizmaların yer yüzeyinde oluşturduğu deformasyonların kestirilmesinde tesis edilen jeodezik noktalardaki sürekli olarak veya periyodik zaman dilimlerinde GPS tekniği ile yapılan gözlemlerden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada, Kuzeydoğu Akdeniz bölgesi ve çevresindeki güncel tektonik deformasyonların belirlenebilmesi için önemli sismik aktivitelere neden olan başlıca diri fayların kinematik özellikleri GPS gözlemleri kullanılarak sorgulanmıştır. Bu doğrultuda, bölge civarındaki TUSAGA-Aktif ile kamu kurumlarının himayesindeki sürekli GPS istasyonları ve kampanya GPS gözlem noktalarından meydana gelen bir GPS gözlem ağı oluşturulmuştur. Kuzeydoğu Akdeniz bölgesinde gerinim biriktiren önemli diri fayları dik olarak kesen profillerin de yer aldığı bu gözlem ağı, söz konusu diri fayların kinematik özelliklerinin sorgulanmasına olanak sağlayan yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüklü güncel bir GPS veri seti sunmaktadır.

Bölgenin güncel tektonik deformasyonları sorgulanırken 2009, 2010, 2011 ve 2019 yıllarında gerçekleştirilen kampanya GPS gözlemleri ile bölgedeki sürekli GPS istasyonlarından elde edilen veriler birlikte analiz edilmiştir. GPS verilerinin değerlendirilmesi aşamasında GAMIT/GLOBK yazılımından faydalanılmıştır. GPS verilerinin işlenmesi neticesinde çalışma bölgesi ve civarı için kampanya gözlem noktaları ve sürekli GPS istasyonlarının ITRF2008 datumunda tanımlandığı güncel yatay GPS hız alanı elde edilmiştir. Literatürdeki diğer GPS hız alanı çözümleri ile ortak bir referans sisteminde entegrasyonu sağlamak amacıyla 6 parametrelili (3 öteleme ve 3 dönüklük) bir dönüşüm modeli tercih edilmiştir. Bu dönüşüm sonucunda ITRF2000 referans sisteminde bütünleşik bir yatay GPS hız alanı oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, diri fayların kinematik özelliklerinin sorgulanabilmesi için blok modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Blok modellemede, tanımlanan fay ve blok geometrilerine göre GPS hız değerlerine ters çözüm uygulanarak bir Euler kutbuna bağlı blok dönüklükleri ile fay düzlemleri boyunca kayma vektörleri kestirilmiştir. Blok modelleme çalışmalarında TDEFNODE yazılımı tercih edilmiştir. Oluşturulan farklı kinematik modeller için GPS veri setinin model ile uyumu istatistiksel olarak indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) parametresine bağlı olarak test edilmiştir. Buna göre, istatistiksel açıdan en anlamlı kinematik model sonuçlarına bağlı olarak güncel fay kayma hızları ve kayma eksikliği ile kilitlenme oranı dağılımları elde edilmiştir. Ayrıca, fay kayma hızı kestirimleri ile literatürde var olan ampirik bağıntılar kullanılarak başlıca fay segmentleri üzerinde oluşabilecek potansiyel deprem büyüklükleri hesaplanmıştır.





Bu çalışma, finansal olarak Hitit Üniversitesi (Proje No. ODMYO19001.9.002) ve İstanbul Teknik Üniversitesi (Proje No. MGA-2019-42243) Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlükleri tarafından desteklenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Aktif Tektonik, GPS, Doğu Anadolu Fayı, Kayma Hızı, Fay Kilitlenme Derinliği*

## Abstract

The earthquakes of Elazığ-Sivrice ( $M_w=6.5$ , 2020, KOERI), Bingöl ( $M_w=6.4$ , 2003, KOERI) and Elazığ-Karakoçan ( $M_w=6.1$ , 2010, KOERI), which occurred in the northern part of the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) during the last decades, were moderate earthquakes having devastating effects. The Northeastern Mediterranean region containing Adana, Osmaniye, Hatay and Gaziantep provinces at the southern end of the EAFZ, is likewise a tectonically crucial region where there are intense seismic activities. By determining the recent tectonic deformations, it is possible to reveal the probable earthquake hazard in the Northeastern Mediterranean region at the junction of Anatolian, Arabian and African plates.

Observations carried out using GPS technique continuously or periodically are very commonly used in estimating the deformations caused by tectonic mechanisms on the earth's surface. In this study, in order to determine the recent tectonic deformations in the Northeastern Mediterranean region and its surroundings, the kinematic features of the main active faults that cause major seismic activities were investigated by employing GPS observations. Thus, a GPS network has been formed, which consist of permanent stations within both Turkish National Permanent GPS Network-Active and other local networks belonging to public institutions around the region together with the campaign observation sites as well. This network, which also contains the perpendicular profiles passing across to the main active faults accumulating strain in the Northeastern Mediterranean region, provides a latest GPS dataset with high spatial and temporal resolutions that allows the kinematic features of these active faults to be investigated.

While studying the recent tectonic deformations of the region, the campaign GPS observations performed in 2009, 2010, 2011 and 2019 and the data obtained from the permanent GPS stations in the region were analyzed together. The GAMIT/GLOBK software was allocated for GPS data processing. Upon GPS data processing achieved, the recent horizontal GPS velocity field, in which the campaign observation sites and permanent GPS stations are defined in the ITRF2008 datum, has been obtained for the study area and its vicinity. A transformation model with 6 parameters (3 translations and 3 rotations) was preferred to be integrated into a common reference system with other GPS velocity field solutions in the literature. As a result of this transformation, an integrated horizontal GPS velocity field was realized in the ITRF2000 reference system.

In this study, block modeling approach was used to investigate the kinematic features of the active faults. In the block modeling, the block rotations associated with an Euler pole and the slip vectors along the fault planes were estimated by applying inversion to the GPS velocities as per the defined fault and block geometries. The TDEFNODE software was preferred in block modeling studies. The model fitting to the GPS dataset for the different kinematic models formed was statistically tested based on the reduced chi-square ( $\chi^2$ ) parameter. Accordingly, the recent fault slip rates, slip deficit and coupling fraction distributions were derived depending on the most significant kinematic model results statistically. In addition, the probable magnitudes of the earthquakes that may occur on the main fault segments were calculated using the fault slip rate estimations and the empirical equations available in the literature.

This study was supported financially by the Coordinatorships of Scientific Research Projects (BAP) of Hitit University (Project No. ODMYO19001.19.002) and Istanbul Technical University (Project No. MGA-2019-42243).

**Keywords:** *Active Tectonics, GPS, East Anatolian Fault, Slip Rate, Fault Locking Depth*

## Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Destek Segmentindeki Asismik Krip Hareketlerinin GPS Ölçmeleriyle Belirlenmesi

### *Determination of Aseismic Creep on the Destek Segment of the North Anatolian Fault (NAF) Using GPS Observations*

Mehmet Nurullah Alkan<sup>1,✉</sup>, Kayhan Aladoğan<sup>1</sup>, Ahmet Emir Yakup<sup>1</sup>, Hasan Hakan Yavaşoğlu<sup>2</sup>, Ali Özkan<sup>3</sup>, Zafer Köse<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Hitit Üniversitesi, Osmancık Ömer Derindere Meslek Yüksekokulu, Osmancık, Çorum

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Geomatik Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

<sup>3</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Osmaniye

<sup>4</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Gölhisar Meslek Yüksekokulu, Burdur

✉ nurullahalkan@hitit.edu.tr

### Özet

Tektonik bloklar ve bunların birbirlerine göre rölatif hareketleri, blok sınırlarındaki faylarda çok sayıda depreme neden olmaktadır. Ülkemiz de bu açıdan oldukça geniş bir coğrafyayı kapsayan faylara sahip olup, bunların en önemlisi de Kuzey Anadolu Fayı (KAF) olarak öne çıkmaktadır.

Blok sınırlarında biriken bu gerilime ait mekanizmalar incelendiğinde, söz konusu enerjinin sadece depremlerle değil; aynı zamanda depresiz de boşalabildiği gözlenmiştir. Bu hareketler yeryüzünden de gözlenebilen deformasyonlara ev sahipliği yapmakta ve literatürde “asismik krip” olarak tanımlanmaktadır. Asismik krip deprem olmaksızın fay zonunda biriken enerjinin bir kısmının ya da tamamının boşalmasına neden olabilmektedir. Bu hareket sırasında krip sismojenik tabakanın tabanına kadar ya da belirli bir kısmında da gözlenebilir. Bu açıdan incelendiğinde sismik risklerin incelenmesi açısından da önem arz etmektedir.

Ülkemizde 1970’li yılların başından bu yana, doğada nadiren görülen asismik krip hareketinin raporlandığı iki bölge bulunmaktadır. Bunlar KAF üzerindeki İsmetpaşa ve Destek segmentleridir. Bu bölgelerde kurulan yerel ya da bölgesel ağırlar yardımıyla da bu hareketin doğası anlaşılmasına çalışılmaktadır.

2014-2016 yılları arasında, söz konusu iki segmenti de içeren bir jeodezik ağ tasarlanmış, asismik krip gözlenen bölgelerde fayın her iki tarafında 3 ve 10 km uzaklıklarda tesis edilen noktalar ve bölgedeki TUSAGA-AKTİF istasyonlarından elde edilen GPS verileri değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, özellikle Destek segmentindeki krip hızının önceki çalışmalara göre %50 civarında arttığı söylenebilir.

Bu çalışmada, daha önce tesis edilen bu ağın Destek segmentinde bulunan 4 istasyonda 2021 yılı içerisinde GPS gözlemleri yapılmıştır. Bu aşamada veriler öncelikle GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilecek ve bölgesel hız alanı oluşturulacaktır. Ardından da bu veriler TDEFNODE yazılımı ile yarı elastik blok modeline göre değerlendirilecek ve tektonik blok dönüklükleri, yamulma birikimleri ve asismik kripin fay düzlemi yapısı üzerindeki değişimleri ve derinlikleri tartışılacaktır.

Bu araştırma Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından desteklenmektedir (Proje No: ODMYO19001.21.001).

**Anahtar Kelimeler:** Tektonik Bloklar, Deprem, Asismik Krip, Yarı Elastik Blok Modelleme

### Abstract

Tectonic blocks and their relative movements with respect to each other cause many earthquakes on the faults which are at the boundaries of the blocks. In this respect, our country has numerous fault zones covering a very wide geography, and the most important of which is the North Anatolian Fault (NAF).

When the mechanisms of this tension accumulated at the block boundaries are examined, the energy within the fault zone can be discharged without an earthquake, also. These movements cause deformations that can also be observed from the earth surface and are defined as “aseismic creep” in the literature. Aseismic creep can cause to be fully or partly discharged the accumulated strain in the fault



zone without an earthquake. During this movement, the creep can be observed to the bottom of the seismogenic layer or in a certain part of it. From this point of view, it is also important in terms of examining seismic risks.

Since 1970s, there are two regions in our country where aseismic creep has been reported, which is rarely observed in the nature. These are İsmetpaşa and Destek segments on the NAF. With the help of local or regional networks established in these regions, the nature of this movement is examined.

Between 2014-2016, a geodetic network covering both segments was designed and GPS data from observation points which are established through the aseismic creep segments with 3 and 10 km distances on the both side of the fault and TUSAGA-AKTİF (CORS-TR) stations are evaluated. According to the results, aseismic creep movement, especially in the Destek segment, has increased about 50% compared to the previous studies.

In this study, GPS observations were made in 2021 at 4 stations in the Destek segment of this previously established network. At this stage, the data will first be evaluated with the GAMIT/GLOBK software and a regional velocity field will be created. Then, these data will be evaluated according to the semi-elastic block model with TDEFNODE software and tectonic block rotations, strain accumulations and changes and depths of the aseismic creep on the fault plane will be discussed.

This research has been supported by Coordinatorship of Scientific Research Projects (BAP) of Hitit University (Grant No.ODMYO19001.21.001).

**Keywords:** *Tectonic Blocks, Earthquake, Aseismic Creep, Semi-elastic Block Modelling*



## Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Orta Kesimindeki Güncel Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemi ile Belirlenmesi

### *Determination of Current Earth's Crust Movements in the Central Section of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) using GNSS*

Kayhan Aladoğan<sup>1,✉</sup>, Mehmet Nurullah Alkan<sup>1</sup>, İbrahim Tiryakioğlu<sup>2</sup>, Hasan Hakan Yavaşoğlu<sup>3</sup>, Ali Özkan<sup>4</sup>, Halil İbrahim Solak<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Hitit Üniversitesi, Osmancık Ömer Derindere Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Osmancık/Çorum

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Maslak/İstanbul

<sup>4</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Osmaniye

<sup>5</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Afyonkarahisar

✉ kayhanaladogan@hitit.edu.tr

## Özet

Yer kabuğunun sürekli hareketi deprem çalışmalarına yeni bir boyut kazanmıştır. Bu yeniliğin sağladığı yaklaşımlar sayesinde jeodezik ölçme teknikleri deprem çalışmalarına önemli bir altyapı sağlamaktadır. Jeodezi biliminde kullanılan GNSS'in (Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri), 1980'li yıllardan itibaren klasik ölçme tekniklerini geride bırakarak yaygın bir kullanım alanı olmuştur. Kabuk deformasyonları sonucu oluşan depremlerin tahmin çalışmalarının en önemlilerinden birisi de fay hatları üzerinde oluşturulan ağların periyodik olarak takip edilmesidir. Jeodezik çalışmalarda kullanılan GNSS, bu izleme çalışmalarında kullanılan en önemli teknolojilerden birisidir.

Türkiye'nin doğusunda Karlıova'dan Saros Körfezi'ne kadar uzanan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), yaklaşık 1500 km uzunluğu ile dünyanın en uzun aktif doğrultu atımlı faylarından biridir. KAFZ'in ana kolundan ayrılan ve Anadolu'nun iç kısımlarına uzanan farklı faylar bulunmaktadır. Fay uzantısının tamamı hala sismik olarak aktif olmasına rağmen, büyük sismisite KAF'in ana kolu boyunca yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmanın amacı KAFZ'in orta kesiminde, fayın ana kolu ve yan kolları üzerinde deformasyon miktarının belirlenmesidir. Doğuda Tokat'dan batıda Kastamonu'ya, Kuzeyde Sinop'tan güneyde Alaca'ya kadar geniş bir ağ oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ içerisinde kalan bölge KAFZ'in en az incelenen bölgesidir. Kendi içinde birden fazla segmentlere ayrılmış ve bunlardan en önemlileri de Merzifon-Esençay Segmenti ve Sungurlu Segmenti sayılabilir.

Çalışma bölgesinde oluşturulan ağ içerisinde mevcut TUTGA noktaları ve bunlara ek olarak Tusaga-AKTİF noktaları belirlenmiştir. Ağ içerisinde kalan TUTGA noktalarının 2000 yılından 2018 yılına kadar belirli periyotlardaki verileri Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) temin edilmiştir. TUTGA ve Tusaga-AKTİF verileri GAMİT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiş ve hız alanı tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen güncel GNSS hızlarının kullanıldığı blok modelleme yaklaşımı esas alınarak, tanımlanan tektonik blokların dönüklükleri ve fay segmentleri üzerindeki yamulma birikimleri modellenerek çalışma alanındaki kilitlenme hareketinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** KAF, GNSS, Tektonik, Blok Model

## Abstract

The continuous movement of the earth's crust has gained a new dimension to earthquake studies. Thanks to the approaches provided by this innovation, geodetic measurement techniques provide an important infrastructure for earthquake studies. GNSS (Global Navigation Satellite Systems), which is used in geodesy, has become a widespread area of use, leaving behind classical surveying techniques since the 1980s. One of the most important estimation studies of earthquakes formed as a result of crustal deformations is the periodic monitoring of networks formed on fault lines. GNSS, which is used in geodetic studies, is one of the most important technologies used in these monitoring studies.

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ), which stretches from Karlıova to Saros Bay in eastern Turkey, is one of the longest active strike-slip faults in the world, with a length of approximately 1500 km. There



are different faults that separate from the main branch of the NAFZ and extend into the inner parts of Anatolia. Although the entire fault extension is still seismically active, major seismicity is concentrated along the main branch of the NAF.

The aim of this study is to determine the amount of deformation on the main branch and side branches of the fault in the central part of the NAFZ. A wide network was formed from Tokat in the east to Kastamonu in the west, from Sinop in the north to Alaca in the south. The region within the created network is the least studied region of the NAFZ. It is divided into more than one segment, and the most important of these are the Merzifon-Esençay Segment and the Sungurlu Segment.

In our area, existing TUTGA points and additionally TUSAGA-ACTIVE points were determined. The data of the TUTGA points remaining in the network in certain periods from 2000 to 2018 were obtained from the General Directorate of Mapping (HGM). TUTGA and TUSAGA-AKTİF data were evaluated with GAMIT/GLOBK software and the velocity field has been determined. Based on the block modeling approach using the current GNSS velocities, it is aimed to determine the locking movement in the study area by modeling the rotations of the defined tectonic blocks and the strain accumulations on the fault segments.

**Keywords:** NAF, GNSS, Tectonic, Block Model





## Orta Marmara Fayı Sismik Potansiyelinin Ortaya Konulması için Yapılan Jeodezik Faaliyetler

### *Geodetic Activities to Reveal the Seismic Potential of the Central Marmara Fault*

M. Fahri Karabulut<sup>1</sup>, H. Hakan Yavaşoğlu<sup>2</sup>, İbrahim Tiryakioğlu<sup>3</sup>, V. Engin Güllal<sup>4</sup>,  
M. Nurullah Alkan<sup>5</sup>, Ali Özkan<sup>6,✉</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği, İSTANBUL

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği, İSTANBUL

<sup>3</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği, AFYONKARAHİSAR

<sup>4</sup>Atlas Üniversitesi, İSTANBUL

<sup>5</sup>Hitit Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, ÇORUM

<sup>6</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, OSMANİYE

✉ aliozkan@osmaniye.edu.tr

### Özet

Yerkürenin iç dinamiği sonucu kara parçalarının birbirlerine görece olarak hareket etmesi ile uzun yıllar içerisinde oluşan enerji birikiminin eşik değeri aşmasıyla beraber biriken enerjinin saniyeler içerisinde salınmasıyla kuvvetli yer sarsıntıları meydana gelmektedir. Enerji salınımı sırası ve sonrasında genelde yerkabuğu üzerinde kırıklar şeklinde gözlemlenebilen çatlaklar oluşmaktadır. Fay olarak adlandırılan bu çatlakların çoğu okyanus diplerinde yer almaktadır. Bu sebeple kara üzerinde gözlemlenebilen fay hatları, tektonik çalışmalar yapan bilim insanları için büyük önem arz etmektedir.

Arap, Afrika ve Avrasya plakalarının sıkıştırması sonucu batıya doğru kaçış hareketi izleyen Anadolu mikro plakası üzerinde birçok farklı tektonik yapı gözlemlenmektedir. Bu açıdan ülkemiz, tektonik çalışmaların yapılabileceği önemli çalışma alanlarından birisidir. Özellikle Karlıova'dan başlayarak Ege Denizi'nde sonlanan ve uzunluğu yaklaşık 1200 km olan, sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fayı (KAF) en önemli faylardan biridir. Bu fay üzerinde, şiddeti Mw 7.9'lara kadar çıkan yıkıcı depremlerin meydana gelmesi, Dünya'nın kalabalık kentlerinden birisi olan İstanbul'un yakınından geçmesi, karakter olarak San Andreas fayı ile benzer olması gibi sebepler, KAF'ın önemini daha da arttırmaktadır. Son yüzyıl içerisinde 1939 Erzincan depremi ile başlayan ve 1999 Düzce ve İzmit depremi ile son bulan yıkıcı deprem silsilesinin meydana geldiği KAF'da, kırılmalar doğudan batıya doğru göç etmektedir. Jeodezi, jeoloji, jeofizik vb. farklı disiplinlerden birçok bilim insanının gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda bir sonraki büyük depremin Marmara Denizi'nin altından geçen fayın batı kesiminde meydana gelebileceği öngörülmüştür. Ancak literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, KAF'ın İstanbul ve Tekirdağ illeri arasında kalan segment için kapsamlı bir jeodezik çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bu nedenle, Marmara Bölgesi'nde, farklı kurum ve kuruluşlar tarafından oluşturulan mevcut GNSS ağlar ile entegre edilen, kıyı boyunca yaklaşık 10 km aralıklarla sürekli gözlem yapan GNSS istasyonlarının tesis edilmesi ile yeni bir ağ oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ağda ve mevcut ağlarda yer alan GNSS istasyonlarının Ağustos 2017 ile Şubat 2020 arasındaki verileri değerlendirilerek hızlar belirlenmiştir. Elde edilen hızlar GEODSUIT yazılımı kullanılarak bölgenin gerinim haritası oluşturulmuştur. Farklı kurum ve kuruluşların tesis ettiği ağlarda yer alan noktalar ile ve bu veri setine çalışma kapsamında tesis edilen noktaların hızları eklenerek iki farklı gerinim haritası oluşturulmuştur. Elde edilen gerinim değerlerine göre mevcut ağlardaki noktalardan elde edilen gerinin anlamsız olduğu, eklenen noktalar ile elde edilen gerinin haritasına göre ağın mevcut jeodezik veri eksikliğini giderdiği görülmektedir. Ayrıca gerinim analizi sonucunda KAF'ın Marmara Denizi'ndeki en aktif bölümünün Tekirdağ Segmenti (TS), Kumburgaz Segmenti (KS) ve Orta Segment (OS) olduğu görülmektedir ve buna ek olarak OS üzerinde meydana gelen sismik aktivitelerin sonucunda TS ve KS'ye gerinim transferi söz konusu olabilir. Değerlendirmelerimize göre bu bölgede meydana gelen deformasyon sonucunda büyük bir depremin meydana gelebileceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Orta Marmara, KAF, Jeodezi, Tektonik

### Abstract

Earth crusts, caused by the internal dynamics of the earth, accumulate energy over many years with their movements relative to each other. As a result of the energy accumulation exceeding the threshold value,



the energy is released within seconds, therefore strong ground shaking occurs. During and after the energy release, fractures that can be observed on the earth's crust occur. Most of these fractures, called faults, are located at the bottom of the ocean. For this reason, faults that can be observed on land are of great importance for scientists working on tectonic studies.

Many different tectonic structures can be observed on the Anatolian microplate, which moves westward as a result of the interaction of the Arabian, African and Eurasian plates. In this respect, our country is one of the important study areas where tectonic studies can be done. Especially the right-lateral North Anatolian Fault (NAF), which starts from Karlıova and ends in the Aegean Sea and has a length of approximately 1200 km, is one of the most important faults. The reasons such as the occurrence of destructive earthquakes with a magnitude of up to Mw 7.9 on this fault, the fact that it passes near one of the most crowded cities of the world, Istanbul, and that it is similar in character to the San Andreas fault increase the importance of the NAF. Fractures migrate from east to west in the NAF, where a devastating earthquake sequence occurred in the last century, which started with the 1939 Erzincan earthquake and ended with the 1999 Düzce and İzmit earthquakes. As a result of studies that carried out by many scientists from geodesy, geology, geophysics etc. disciplines, show that the next devastating earthquake may occur in the western part of the fault that passes under the Marmara Sea. However, when we look at the studies in the literature, it is seen that there is no comprehensive geodetic study for the segment between Istanbul and Tekirdağ provinces of the NAF. For this reason, a new network has been established in the Marmara Region, with the installed of GNSS stations that operate continuously observations at approximately 10 km intervals along the coast, which are integrated with the existing GNSS networks created by different organizations. Velocities were determined by processing the data of GNSS stations in this created network and existing networks between August 2017 and February 2020. The strain map of the region was created using the obtained velocities and the GEODSUIT software. Two different strain maps were created; by using existing networks stations velocities and the velocities of the stations newly installed and existing networks. According to the strain values that are estimated from existing network stations velocities, it is seen that there are no significant deformations. On the contrary, according to the strain values that are estimated from all station velocities, it is seen that the newly network eliminates the existing geodetic data deficiency. Also analysis demonstrates that the most active part of the NAF in the Marmara Sea is the Tekirdağ Segment (TS), Kumburgaz Segment (KS) and Central Segment (CeS), and as a result of the seismic activities on the Ces, there may be stress transfer to TS and KS. According to our evaluations, a major earthquake may occur as a result of the ongoing deformation in this region.

**Keywords:** *Central Marmara, NAF, Geodesy, Tectonic*



## Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Yöntemi ile Deprem Kaynaklı Yüzey Dalga Hareketlerinin İzlenebilirliğinin İncelenmesi

### *Investigation of Capturing of Earthquake-induced Surface Wave Movements by Real-Time Precision Point Positioning (RT-PPP) Method*

Barış Karadeniz<sup>1,✉</sup>, Mert Bezcioglu<sup>1</sup>, Cemal Özer Yiğit<sup>1</sup>, Ahmet Anıl Dindar<sup>2</sup>, İbrahim Tiryakioğlu<sup>3</sup>, Burak Akpınar<sup>4</sup>, Bahadır Aktuğ<sup>5</sup>

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

<sup>2</sup> Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

<sup>3</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>4</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

<sup>5</sup> Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara.dresi

✉ b.karadeniz@gtu.edu.tr

### Özet

Yüksek örnekleme aralığına (10, 20, 50 ve 100 Hz) sahip jeodezik nitelikli GNSS (Global Navigation Satellite System) alıcılarının üretilmesiyle yüksek zamansal çözünürlüklü zamana bağlı, ani değişebilen yer değiştirme zaman serilerinin elde edilmesi mümkün hale gelmiştir. Uluslararası GNSS servisi (IGS) analiz merkezlerinin ürettiği hassas uydu yörünge ve saat düzeltme bilgilerini kullanıcıya ücretsiz olarak sağlamasıyla tek bir GNSS alıcısı, verileri Kinematik Hassas Nokta Konumlama (PPP) yöntemi ile proses edilmektedir. PPP sonradan değerlendirme yöntemiyle epok-epok deplasman zaman serileri hesaplanmaktadır. IGS'in yürütmüş olduğu IGS Gerçek Zamanlı Servis(RTS) pilot projesi kapsamında IGS analiz merkezlerinden gelen uydu yörünge ve saat düzeltme bilgileri, birlikte hesaplanıp kombine edilerek RTS (Real Time Service) ürünleri (IGS01/IGC01, IGS02 ve IGS03) olarak internet servisi üzerinden, NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) veri iletim protokolü vasıtasıyla RTCM/SSR(Radio Technical Commission for Maritime Services/State Space Representation) veri formatında Nisan 2013'den beri kullanıcıya ücretsiz sunulmaktadır. Bununla birlikte tek bir GNSS alıcısının kullanıcıya sunulan ürünlerin sürekli yayın efemerisi akışı sağlanarak gerçek zamanlı PPP (RT-PPP) yöntemiyle anlık olarak koordinat değişimleri elde edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, yüksek örneklem aralığına sahip gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) yönteminin kısa süreli (20-60 sn) dinamik deplasmanları izleyebilme kabiliyeti, depremin yarattığı etkiyi simüle edebilen ve rastgele harmonik hareketler üretebilen yatay yönlü sarsma tablasında harmonik salınımlar ve deprem yer hareketi simülasyonu yapılarak incelenmiştir. Farklı günlerde ve günün farklı zamanlarında gerçekleştirilmiş deney setleri yöntemin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Deprem deney setlerinden biri olan ve yatay sarsma tablasında simülasyonu yapılan Düzce (1999) depremine ait deprem yer hareketini tespit etmek için hem sarsma tablasına monte edilmiş LVDT (Linear Variable Differential Transformer) sensör hem de 20 Hz örnekleme aralığında veri toplayan GPS gözlemleri IGC01 RTS ürünü kullanılarak açık kaynaklı bir yazılım paketi olan RTKLIB yazılımının RTKLIB\_Navi uygulaması aracılığıyla RT-PPP çözümleri elde edilmiştir. RT-PPP yönteminin dinamik davranışları belirleme doğruluğu LVDT sensörün ürettiği yer değiştirme verisi referans alınarak ayrıca sonradan değerlendirme PPP yöntemiyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Araştırma bulguları RT-PPP yönteminin yüksek örneklem aralığına sahip GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde ve dinamik deplasmanların yakalanmasında etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada ayrıca 30 Ekim 2020' de meydana gelen Mw=7.0 büyüklüğündeki Samos depremi yer hareketleri, 1 Hz örnek aralığına sahip GPS verileri RT-PPP tekniğinin yanında, gerçek zamanlı hassas uydu yörünge ve saat ürünleri kullanılarak yakın gerçek zamanlı PPP yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan incelemede hem deprem anı yer hareketleri hem de kosmik deformasyonların kinematik zaman serisinden belirlenebildiği görülmüştür. Sonuçlar, gerçek zamanlı hassas uydu yörünge ve saat ürünleri kullanılarak, yakın gerçek zamanlı PPP ile hızlı bir şekilde deprem yer hareketlerinin yakalanabileceği ve yeterli sayı/dağılımda nokta olması durumunda kinematik kosmik deformasyon değerleriyle deprem mekanizmasının hızlı bir kestirimi yapılabileceğini işaret etmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** RT-PPP, GNSS, Dinamik yer değiştirme, Kosmik Deformasyon, IGS-RTS



## Abstract

With the development of geodetic GNSS (Global Navigation Satellite System) receivers with high sampling intervals (10, 20, 50 and 100 Hz), it has become possible to obtain time-dependent, abruptly changing displacement time series with high temporal resolution. By providing the precise satellite orbit and clock correction produced by the International GNSS service (IGS) analysis centers free of charge to the user, a single GNSS receiver data can be processed with the Kinematic Precise Point Positioning (PPP) method. Epoch by epoch displacement time series are estimated by post-mission PPP. Within the scope of the IGS Real Time Service (RTS) pilot project carried out by IGS, the satellite orbit and clock correction from the IGS analysis centers are calculated and combined together and are available over the internet as RTS products (IGS01/IGC01, IGS02 and IGS03). It has been provided free of charge to the user since April 2013 in RTCM/SSR (Radio Technical Commission for Maritime Services/State Space Representation) data format via NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) data transmission protocol. In addition, by providing a continuous broadcast ephemeris flow of the products offered to the user by a single GNSS receiver, instantaneous coordinate changes have begun to be obtained with the real-time PPP (RT-PPP) method. In this study, the ability of real-time precise point positioning (RT-PPP) method with a high sampling rate to monitor short-term (20-60 sec) dynamic displacements, such as harmonic oscillations and earthquake-induced ground wave motion, was investigated. Experiments performed on different days and at different times of the day were used to evaluate the method. In order to detect the ground motion of Düzce (1999) earthquake, both the LVDT (Linear Variable Differential Transformer) sensor mounted on the shaking table and the GPS observations with a sampling rate of 20 Hz were used using the IGC01 RTS product. RT-PPP solutions were obtained through the RTKNav application of RTKLIB software, which is an open source software package. The accuracy of determining the dynamic behaviors of the RT-PPP method was evaluated by reference to the displacement data produced by the LVDT sensor and also by comparing it with the post-processed PPP method. The research findings showed that the RT-PPP method can be used effectively in the evaluation of GPS observations with high sampling rate and in capturing dynamic displacements. In this study, ground motions of the Samos earthquake with a magnitude of  $M_w = 7.0$ , which occurred on October 30, 2020, and GPS data with 1 Hz sample interval were also examined using the near real-time PPP method using real-time precise satellite orbit and clock products. In the study, it was seen that both earthquake ground motions and co-seismic deformations could be determined from the kinematic time series. The results indicated that by using real-time precise satellite orbit and clock products, earthquake ground motions can be captured quickly with near real-time PPP and a rapid estimation of earthquake mechanism can be made with kinematic co-seismic deformation values if there are sufficient number/distribution points.

**Keywords:** RT-PPP, GNSS, Dynamic Displacement, Co-seismic Deformation, IGS-RTS



## **2. Oturum:**

### **KONUM BELİRLEME VE UYGULAMALAR**

Oturum Başkanları:

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU, Doç. Dr. H. Hakan YAVAŞOĞLU

## ***Session 2:***

### ***POSITIONING AND APPLICATIONS***

*Convenors:*

*Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU, Assoc. Prof. H. Hakan YAVAŞOĞLU*



## Türkiye Kaynaklı İlk Çevrimiçi PPP Servisi

### *The First Online PPP Service Developed in Turkey*

Metin Nohutcu<sup>1,✉</sup>, Berkay Bahadır<sup>1</sup>, Kamil Teke<sup>1</sup>, M. Ali Güvenaltın<sup>1</sup>, Pınar Hazan<sup>1</sup>,  
M. Fikret Öcal<sup>1</sup>, Duygu Dülger<sup>1</sup>, Buğçe Gökçe<sup>1</sup>, Yazgı Nur Sayın<sup>1</sup>, Yelkin Turan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800 Çankaya, Ankara

✉mnohutcu@hacettepe.edu.tr

### Özet

Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) yalnızca bir alıcı ile küresel ölçekte yüksek konum doğruluğu sağlayabilen küresel navigasyon uydusu sistemleri (GNSS) konum belirleme tekniğidir. Uygulama kolaylığı, düşük maliyeti ve referans istasyon ihtiyacını ortadan kaldırması gibi avantajları ile PPP tekniğinin GNSS uygulamalarındaki kullanım oranı her geçen gün artmaktadır. Son dönemde GLONASS uydusu takımının tekrar tamamlanması ve Galileo ve BeiDou gibi yeni küresel navigasyon sistemlerinin ortaya çıkması tüm GNSS uygulamaları için ilave uydusu ve sinyal kaynağı sağlamıştır. Birden fazla navigasyon sisteminin ortak kullanılması, yani çoklu-GNSS, konum doğruluğu açısından PPP performansının iyileştirilmesinin yanı sıra, tekniğin en önemli dezavantajı olan yakınsama süresinin kısaltılması için de önemli fırsatlar sunmaktadır. PPP tekniğine olan ilginin artması, son dönemde bu konuda geliştirilen yazılım sayısının da artmasına neden olmuştur. Bu kapsamda hizmete sunulan yazılımlardan birisi de Hacettepe Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü bünyesinde 2017 yılında tamamlanmış olan ve çoklu-GNSS PPP çözümü gerçekleştirebilen “PPPH” adlı açık-kaynak kodlu GNSS analiz yazılımıdır.

Bu çalışmada, halen sürmekte olan 118Y410 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında ülkemizde geliştirilen ilk çevrimiçi PPP servisi olan “PPPH Online” tanıtılacaktır. İlgili projenin ilk aşamasında “PPPH” yazılımında kullanılan algoritmalar güncellenmiş ve çeşitlendirilmiş, ve yazılımının performansı konum doğruluğunun yanı sıra yakınsama süresi olarak da iyileştirilmiştir. Projenin ikinci aşamasında ise yazılım dünyada birkaç örneği bulunan çevrimiçi PPP servislerinden birisine dönüştürülmüştür. “PPPH Online” benzer çevrimiçi servislerden farklı olarak günümüz itibarıyla dört küresel navigasyon sisteminin (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) gözlemlerini işleyebilen tek çevrimiçi servis durumundadır. Servis İngilizce’nin yanı sıra Türkçe ara yüzü ile de hizmet vermektedir. Çalışmada ayrıca öncül bir performans değerlendirmesi olarak “PPPH Online” sonuçları, oldukça yaygın olarak kullanılan bir diğer çevrimiçi PPP servisi olan CSRS sonuçları ile karşılaştırmalı olarak sunulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** PPPH Online, Çevrimiçi PPP Servisi, Hassas Nokta Konumlama, Çoklu-GNSS

### Abstract

Precise Point Positioning (PPP) is a global navigation satellite systems (GNSS) technique that can provide high positioning accuracy on a global scale with only one receiver. With its advantages such as ease of application, low cost and eliminating the need for reference stations, the use of PPP technique in GNSS applications is increasing day by day. The recent recompletion of the GLONASS constellation and the emergence of new global navigation systems such as Galileo and BeiDou have provided additional satellite and signal sources for all GNSS applications. The joint use of more than one navigation system, namely multi-GNSS, offers important opportunities to improve the PPP performance in terms of positioning accuracy, as well as to shorten the convergence time, which is the most important drawback of the technique. The increasing interest in the PPP technique has led to an increase in the number of software developed in this regard recently. One of the software put into service in this context is the open-source GNSS analysis software called “PPPH”, which was completed in 2017 within the Department of Geomatics Engineering at Hacettepe University and which can realize a multi-GNSS PPP solutions.

In this study, “PPPH Online”, which is the first online PPP service developed in our country within the scope of the TÜBİTAK 1001 project numbered 118Y410, will be introduced. In the first phase of the



related project, the algorithms used in the “PPPH” software have been updated and diversified, and the performance of the software has been improved in terms of position accuracy as well as convergence time. In the second phase of the project, the software was transformed into an online PPP service, which has few examples in the world. Unlike similar online services, “PPPH Online” is currently the only online service that can process observations of four global navigation systems (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou). The service works with a Turkish interface as well as English. In the study, as a preliminary performance evaluation, the results of the “PPPH Online” will also be presented in comparison with the results of CSRS, which is another widely used online PPP service.

**Keywords:** *PPPH Online, Online PPP Service, Precise Point Positioning, Multi-GNSS*



## Navigasyon Dereceli Ataletsel Ölçü Birimi ile Bazı Jeodezik Parametrelerin Doğrudan Belirlenmesi

### *Direct Determination of Some Geodetic Parameters with Navigaton Grade Inertial Measurement Unit*

İlyas Akpınar<sup>1,✉</sup>, Mehmet Simav<sup>1</sup>, Kamil Teke<sup>2</sup>, Yunus Aytaç Akdoğan<sup>1</sup>, Hasan Yıldız<sup>1</sup>, Murat Durmaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Harita Genel Müdürlüğü, Tıp Fakültesi Caddesi, 06590, Dikimevi, Çankaya, Ankara

<sup>2</sup>Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Çankaya, Ankara

✉ilyas.akpinar@harita.gov.tr

### Özet

Ataletsel Ölçü Birimi (Inertial Measurement Unit-IMU) günümüzde akıllı cep telefonlarından, robotlara, insanlı/insansız kara-hava-deniz ve uzay araçlarından, stabilizasyon sistemlerine kadar birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İvmeölçer ve dönüölçerlerden (jiroskop) oluşan ataletsel sensörler, monte edildikleri objenin gövde referans çerçevesinin inersiyal referans çerçevesine göre hareketinin algılanmasına ve harekete ilişkin ivme ve açısal hızların elde edilmesini sağlamaktadır. Uygulamada IMU'lar genellikle GNSS, odometre, manyetometre, kamera, lazer tarayıcı vb. yardımcı sensörler ile entegre edilerek navigasyon problemlerinin çözümünde asıl sensör olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda hareketli platformlar ile Yer gravite alanının ölçülmesinde de IMU'lardan aktif olarak faydalanılmıştır. Durgun ve hareketsiz durumdaki ataletsel sensör çıktıları ile Yer dönme açısal hızı, lokal gravite, jeodezik enlem, yönelim ve kuzey yönü gibi bazı jeodezik parametreler kabaca fakat hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu çalışmada söz konusu jeodezik parametrelerin belirlenmesi konu edilmiştir. Kuvars ivmeölçer ve halka lazer dönüölçer üçlülerinden oluşan navigasyon dereceli bir IMU kullanılarak, laboratuvar koşullarında her biri en az 24 saat sürecek şekilde 4 farklı oturum gerçekleştirilmiş ve 300 Hz örneklem aralığında durağan IMU verileri toplanmıştır. Elde edilen veriler ile Yer dönme açısal hızı, lokal gravite, jeodezik enlem, yönelim ve kuzey yönü kestirilmiş ve referans değerleri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ataletsel Ölçü Birimi (IMU), Yer Dönme Açısal Hızı, Lokal Gravite, Jeodezik Enlem, Yönelim Parametreleri

### Abstract

Inertial Measurement Unit (IMU) is widely used in many fields from smart phones to robotics, from manned/unmanned land-air-sea and space vehicles to stabilization systems. Inertial sensors, consisting of accelerometers and gyroscopes, measure the motion of body reference frame origin of an object with respect to the inertial reference frame and provide acceleration and angular rate data related to this motion. Integrated with auxiliary sensors such as GNSS, odometer, magnetometer, camera, and laser scanner, IMUs are usually used as the primary navigation sensor in solving navigation problems in practice. IMUs have been actively used in measuring the Earth's gravity field with moving platforms in the recent years. Some geodetic parameters such as Earth's angular rotation rate, local gravity, geodetic latitude, attitude, and north finding can be determined roughly but in a quick way with inertial sensor outputs acquired in stationary position. Determination of such geodetic parameters is the subject of this study. We use a navigation grade IMU consisting of quartz accelerometer and ring laser gyroscope triads, and collect 4 sessions of IMU data at 300 Hz sampling interval in laboratory conditions, each lasting at least 24 hours. Earth's angular rotation rate, local gravity, geodetic latitude, attitude, and north direction are estimated based on the measured data and compared with reference values.

**Keywords:** Inertial Measurement Unit (IMU), Earth's Angular Rotation Rate, Local Gravity, Geodetic Latitude, Attitude Parameters



## Akıllı Telefonların Kinematik Konum Belirleme Performansının Araştırılması

### *Investigation of Kinematic Positioning Performance of Smartphones*

Berkay Bahadır<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Çankaya, Ankara

✉berkaybahadir@hacettepe.edu.tr

### Özet

2016 yılında Android telefonlara ait ham GNSS (Global Navigation Satellite Systems) gözlem verilerinin kullanıcılarla paylaşılmaya başlanmasıyla birlikte akıllı telefonlarla konum belirleme uygulamaları GNSS kullanıcıları arasında oldukça ilgi çeken bir konu olmuştur. Bunun temel nedeni mevcut GNSS pazarının büyük bir bölümünü halen cep telefonu ve akıllı cihazlardaki GNSS alıcılarının oluşturmasıdır. Ancak, çift-frekanslı GNSS alıcısı bulunduran yeni nesil telefon modelleri olsa dahi mevcut akıllı telefonların önemli bir kısmı tek-frekanslı kod gözlemlerini kaydedebilen görece daha düşük maliyetli GNSS alıcılarına sahiptir. Dolayısıyla akıllı telefonlar ile yüksek konum doğruluğuna erişmek kendine has problemleri nedeniyle oldukça zor ve ileri düzey işleme teknikleri gerektiren bir konudur. Bu nedenle son yıllarda PPP (Precise Point Positioning), RTK (Real-time Kinematic), kısa baz çözümlerini içeren rölatif teknikler başta olmak üzere akıllı telefonların konum belirleme performansını iyileştirmek amacıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı da akıllı telefonlar ile gerçek-zamanlı kinematik konum belirleme performansının araştırılmasıdır. Bu çalışmada Google GNSS ekibi tarafından Android cihazlar kullanılarak toplanan ve araştırmacıların kendi algoritmalarını denemeleri için paylaşılan GNSS veri seti kullanılmıştır. İlgili veri seti 14 Mayıs 2020'de San Francisco'da bulunan bir otoyolda hareketli bir araç üzerine yerleştirilmiş Pixel 4 marka akıllı telefonda elde edilen ham GNSS verisini içermektedir. İlgili telefon GPS, GLONASS ve Galileo uydularına ait gözlemleri 1 saniye aralıkla kaydedebilen çoklu-GNSS bir alıcıya sahiptir. Buna ek olarak veri setinde harici bir INS (Inertial Navigation System) ile belirlenmiş ve kontrol için kullanılabilecek akıllı telefona ait referans konum bilgisi de sunulmaktadır. Çalışma kapsamında ilgili veri seti tek-frekanslı kod gözlemleri kullanılacak şekilde GPS, GLONASS ve Galileo sistemlerinin tekli çözümleri ve hepsinin dahil edildiği çoklu-GNSS çözümü olmak üzere toplamda 4 farklı senaryoda kinematik modda işlenmiştir. Çözümlerde uydu yörünge ve saat hatalarını gidermek için Wuhan Üniversitesi analiz merkezi (WHU) tarafından sağlanan ultra-hızlı (ultra-rapid) ürünlerin kullanıldığı gelişmiş bir işlem stratejisi kullanılmıştır. Bu ürünlerin en büyük özelliği tahmini uydu yörünge ve saat bilgilerini içerdiği için gerçek-zamanlı uygulamalarda herhangi bir harici bağlantı gerektirmeden kullanılabilir olmasıdır. Sonuçlar, GPS, GLONASS ve Galileo çözümlerinin 5,613, 10,103 ve 3,552 m yatay konum doğruluğu sağlayabildiğini göstermektedir. Düşeyde ise ilgili çözümler sırasıyla 6,891, 14,512 ve 6,688 m konum doğruluğuna sahiptir. Sonuçlardan gerek yatayda gerekse düşeyde Galileo çözümünün diğer sistem çözümlerine kıyasla çok daha iyi konum belirleme performansına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca çoklu-GNSS çözümünden yatay ve düşey bileşenler için elde edilen konum doğruluğu sırasıyla 2,865 ve 3,760 m olarak hesap edilmiştir. Bu sonuçlar çoklu-GNSS çözümünün kullanılması durumunda akıllı telefonlar ile çok daha yüksek konum doğruluğu elde edilebileceğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, Hassas Konumlama, Akıllı Telefonlar, Gerçek-zamanlı

### Abstract

With initializing the share of raw GNSS (Global Navigation Satellite System) observation data of Android smartphones with users, the positioning applications with smartphones have been a topic attracting interest within the GNSS users. Its main reason is that GNSS receivers in smartphones and other smart devices still comprise the vast majority of the current GNSS market. However, a significant portion of existing smartphones contains relatively low-cost GNSS receivers that can collect single-frequency code observations only, while there exist some new-generation smartphone models with dual-frequency GNSS receivers. Therefore, achieving high positioning accuracy with smartphones is a rough topic that requires advanced processing techniques because of its specific restrictions. Hence, several studies, including especially PPP (Precise Point Positioning), RTK (Real-time Kinematic), and relative



positioning techniques that contain the short baseline solutions have been done to improve the positioning performance of smartphones. The main objective of this study is to investigate the performance of real-time kinematic positioning with smartphones. The GNSS dataset collected by the Google GNSS team with Android devices and provided for researchers to evaluate their algorithms has been used in this study. The related dataset includes the raw GNSS data acquired from the Pixel 4 smartphone placed on a vehicle moving along a highway in the US San Francisco on May 14, 2020. The smartphone has a multi-GNSS receiver that can collect GPS, GLONASS, and Galileo observations with a sampling interval of 1 second. In addition, the dataset provides the ground truth information for the smartphone obtained from an external INS (Inertial Navigation System), and it can be used for the performance assessment. As a part of this study, the related dataset was processed in kinematic mode using single-frequency code observations at four different scenarios, including single-system solutions of GPS, GLONASS, and Galileo in addition to their multi-GNSS solution. An advanced processing strategy, where ultra-rapid products generated by the Wuhan University analysis center (WHU) are utilized to mitigate satellite orbit and clock errors, was employed in the GNSS solutions. The main feature of these products is that they can be used in real-time applications without an external connection since they include the predicted satellite orbit and clock errors. The results indicated that GPS, GLONASS, and Galileo solutions provide horizontal positioning accuracies of 5.613, 10.103 and 3.552 m, respectively. Also, the corresponding solutions have positioning accuracies of 6.891, 14.512 and 6.688 m vertically. It can be seen from the results that the Galileo solution provides considerably better positioning performance for both horizontal and vertical components when compared with other single-system solutions. Besides, the positioning accuracies obtained from the multi-GNSS solution are computed as 2.865 and 3.760 m for horizontal and vertical components, respectively. The results revealed that substantially higher positioning accuracy could be acquired with smartphones when the multi-GNSS solution is employed.

**Keywords:** GNSS, Precise Positioning, Smartphones, Real-time

## Akıllı Telefon IMU ve GNSS Entegrasyonu ile Harmonik Hareketlerin İzlenmesi *Harmonic Motion Tracking with Smartphone IMU and GNSS Integration*

Caneren Gül<sup>1,✉</sup>, Taylan Öcalan<sup>1</sup>

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, Esenler, İstanbul, Türkiye

✉cgul@yildiz.edu.tr

### Özet

GNSS ve ivmeölçer yapı sağlığı, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, deformasyonların belirlenmesi vb. çalışmalarda farklı nitelikteki donanımların dışında yaygın olarak kullanılan sensörlerdir. Yüksek frekanslı jeodezik GNSS alıcıları, sismometrelerin ölçebileceğinden daha büyük yer değiştirmeleri ölçebilmektedir. Buna karşın ivmeölçerler ise GNSS alıcılarına kıyasla daha yüksek örnekleme frekansına sahiptirler. Bu özellikler GNSS alıcısı ve ivmeölçerin birbirlerini tamamlayan sensörler olmasını sağlarken, GNSS/IMU entegrasyonunun yer değiştirme hareketlerinin belirlenmesinde etkin kullanımını sağlamaktadır. Bu çalışmada yüksek maliyetli ve yüksek frekanslı jeodezik nitelikteki sabit referans istasyonu kalitesinde GNSS alıcısı (Trimble NETR9) gözlemleri ile görece düşük maliyetli ve düşük frekanslı çift frekans GNSS çipine sahip akıllı bir telefonun (Xiaomi Mi8) GNSS gözlemleri, akıllı telefonda bulunan Ataletsel Ölçüm Birimleri (Inertial Measurement Unit, IMU) ile entegre edilerek, harmonik hareketleri izleyebilme yetenekleri araştırılmıştır. Yüksek frekanslı hassas GNSS gözlemleri için Trimble NETR9 (20 Hz), düşük frekanslı akıllı telefon GNSS gözlemleri için ise Xiaomi Mi8 (1 Hz) eş zamanlı olarak kullanılmıştır. GNSS verilerinin değerlendirilmesinde bağıl yöntem ve Hassas Mutlak Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) teknikleri kullanılmış, veri değerlendirme ve analizler RTK-LIB yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Entegre edilecek IMU ölçüleri için Xiaomi Mi8 telefonda bulunan ICM20690 ivmeölçer ve ak0991x manyetometre sensörleri ile 100 Hz örnekleme frekansında kayıt yapılmıştır. Harmonik hareketler tek eksenli bir sarsma tablasında üç kez tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Harmonik hareketler için frekans ve genlikler 0.5 Hz için 2 cm ve 5 cm; 1 Hz için 2 cm ve 5 cm; 2 Hz için yalnızca 2 cm olarak belirlenmiştir. İlk olarak GNSS alıcılarının harmonik hareketleri algılayabilme yeteneğini gözlemlemek amacıyla Trimble NETR9 GNSS gözlem çözümlerine Allan varyansı analizi yapılarak gürültü süreçleri belirlenmiş, ardından bu gürültü süreçleri Kalman Süzgeci ile giderilerek elde edilen sonuçlar Butterworth bant geçiren süzgeç ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için genlik ve frekans değerleri Hızlı Fourier Dönüşümü ile elde edilmiştir. Karşılaştırmada Trimble NETR9 gözlemlerindeki gürültülerin giderilmesinde Kalman Süzgeci'nin bant geçiren süzgece alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır. Xiaomi Mi8 GNSS gözlemleri için ise Butterworth yüksek geçiren süzgeç kullanılmış ve sonuçlar Kalman Süzgeci ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada Kalman süzgecinin ve yüksek geçiren süzgecin Xiaomi Mi8 gözlemlerindeki gürültüleri gidermede yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. GNSS ve IMU entegrasyonu öncesinde ivmeölçer ve manyetometre sensör çerçevesinden referans vektörler yardımıyla Tekil Değer Ayrıştırması (Singular Value Decomposition, SVD) yöntemi kullanılarak lokal çerçeveye dönüşüm yapılmıştır. Entegrasyonda kullanılan Kalman Süzgeci'nin dinamik gürültü sürecini belirlemek amacıyla ivmeölçer verilerine Allan Varyansı analizi yapılmıştır. Hızlı Fourier Dönüşümü ile elde edilen genlik ve frekans değerleri referans değerler ile karşılaştırılmış, bağıl çözüm ve PPP gözlemleriyle yapılan entegrasyonun performansı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda Trimble NETR9 bağıl çözüm GNSS ve IMU entegrasyonunda genlik değerlerindeki hataların mm düzeyinde, PPP GNSS ve IMU entegrasyonunda ise genlik değerlerindeki hataların mm – cm düzeyinde olduğu görülmüştür. Xiaomi Mi8 bağıl çözüm ve PPP GNSS entegrasyonunda ise genlik değerlerindeki hataların dm – m düzeyinde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, IMU, İvmeölçer, Harmonik Hareket, Kalman Süzgeci, Allan Varyansı

### Abstract

GNSS and accelerometer are sensors that are widely used in studies of structural health monitoring, crustal monitoring, and detection of deformation, apart from different other sensors. High-frequency geodetic grade GNSS receivers can capture larger displacements than seismometers can measure. On



the other hand, compared to GNSS receivers, accelerometers have a higher sampling frequency. While these features make GNSS receivers and accelerometers complementary sensors, they enable the effective use of GNSS/IMU integration in detection of displacements. In this study, high cost and high frequency geodetic grade permanent reference station quality GNSS receiver (Trimble NETR9) observations and relatively low cost, low frequency and dual frequency GNSS chipset (Xiaomi Mi8) observations were integrated with Inertial Measurement Units (IMU) found in smartphone to investigate the ability of harmonic motion tracking. Trimble NETR9 (20 Hz) was used for high-frequency precise GNSS measurements and Xiaomi Mi8 was used for low-frequency smartphone GNSS measurements simultaneously. Relative positioning and Precise Point Positioning (PPP) methods were used to process GNSS data and processing and analysis were performed using RTK-LIB. The IMU data for integration was recorded with a 100 Hz sampling rate using the ICM20690 accelerometer and the ak0991x magnetometer sensors at Xiaomi Mi8. The harmonic motions were simulated three times in a single axis shake table. Frequencies and amplitudes for harmonic motion simulations were selected as 2 cm and 5 cm for 0.5 Hz, as 2 cm and 5 cm for 1 Hz, as 2 cm for 2 Hz. Firstly, in order to observe the ability of tracking the harmonic motions with GNSS receivers, the noise processes in GNSS solutions were identified using the Allan variance and then these processes were denoised with Kalman Filter and results were compared with a Butterworth bandpass filter. Frequencies and amplitudes were obtained from Fast Fourier Transform for comparison. It was concluded that Kalman Filter can be an alternative to the bandpass filter for denoising Trimble NETR9 solutions. A Butterworth highpass filter were used for denoising Xiaomi Mi8 GNSS solutions and compared with Kalman Filter. Results showed that both Kalman Filter and highpass filter are not sufficient for denoising Xiaomi Mi8 solutions. Before GNSS/IMU integration, accelerometer and magnetometer sensor frame was transformed local frame using Singular Value Decomposition (SVD) method. Dynamic noise processes in Kalman Filter used in the integration were analysed with Allan variance method. Frequencies and amplitudes obtained from Fast Fourier Transform were compared with reference data, performance of integration with relative and PPP solutions were evaluated. Results showed that amplitude errors in Trimble NETR9 relative solution and IMU integration were at mm level, PPP GNSS and IMU integration errors were in the range of mm – cm. Amplitude errors in Xiaomi Mi8 relative solution and PPP IMU integration were reached to dm – m level.

**Keywords:** GNSS, IMU, Accelerometer, Harmonic Motion, Kalman Filter, Allan Variance



## Düşük Maliyetli GNSS Alıcılarının Farklı Anten Tiplerine Göre Konum Doğruluklarının Belirlenmesi

### *Determining The Position Accuracy of Low Cost GNSS Receivers Using Different Antenna Types*

M. Fahri Karabulut<sup>1</sup>, **Nedim Onur Aykut**<sup>1,✉</sup>, Burak Akpınar<sup>1</sup>, Cemal Özer Yiğit<sup>2</sup>,  
Güldane Oku Topal<sup>1</sup>, Barış Karadeniz<sup>2</sup>, Zübeyir Bilal Çakmak<sup>1</sup>, Bilge Doran<sup>3</sup>, Ahmet Anıl Dindar<sup>4</sup>,  
İlhan Emre İnam<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği, İSTANBUL

<sup>2</sup>Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği, KOCAELİ

<sup>3</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, İSTANBUL

<sup>4</sup>Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, KOCAELİ

✉ oaykut@yildiz.edu.tr

### Özet

Yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, deformasyon ölçmeleri, heyelanların izlenmesi, mühendislik ölçmeleri, yapı sağlığı izleme gibi yüksek konum doğruluğu gerektiren çalışmalarda jeodezik GNSS alıcıları ile bağlı konum belirlemeyle santimetre altı doğruluğa ulaşmak mümkün olmaktadır. Yüksek doğruluk, kullanılan alıcı ve anten tipleri ile ilişkilidir. Bu amaçla kullanılan alıcı ve antenlerin toplam maliyeti yaklaşık olarak 5.000\$ ile 20.000\$ mertebesinde değişmektedir. Çoğu çalışmada tek bir GNSS seti yeterli olmamakta, eşzamanlı gözlemler yapabilmek için çok sayıda GNSS alıcısına ve antene ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla bu durum toplam maliyetleri artırmaktadır.

Teknolojinin uydu konumlandırma sistemlerindeki gelişimi ile birlikte önceleri navigasyon amaçlı kullanılmaya başlanan düşük maliyetli OEM GNSS alıcılarının (<300\$) artık günümüzde çoğu mühendislik projeleri için kullanılabilir durumda olduğu literatürde yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, U-blox ZED P9F GNSS alıcısı tercih edilmiştir. Alıcı çok-frekanslı yapıya sahip olup, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou sistemlerine gözlem yapabilmekte, bununla birlikte gerçek zamanlı kinematik, kinematik ve statik yöntemler ile veri toplayabilmektedir. Arazi testlerinde Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi üzerinde tesis edilmiş, koordinatları ve hızları bilinen UZEL noktasından yararlanılmıştır. U-blox ZED P9F GNSS alıcısı ile ASH701008-01B jeodezik anteni, OEM A10 jeodezik anteni ve ANN-MB-00 anteni kullanılarak GNSS gözlemleri yapılmıştır. Söz konusu alıcı ve 3 farklı anten tipi ile uzun süreli yapılan gözlemler değerlendirilerek UZEL test noktasının koordinatları bağlı yöntemle hesaplanmıştır. Hesaplamalarda YLDZ noktası referans olarak seçilmiştir. Elde edilen koordinat farkları analiz edilerek, ölçülerin kalite kontrol değerlendirmeleriyle farklı anten tiplerinin konum doğruluğuna etkisi belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, OEM, Düşük Maliyet, Doğruluk

### Abstract

Using geodetic GNSS receivers, it is possible to reach sub-centimeter accuracy with relative positioning in studies that require high position accuracy such as determination of earth crust movements, deformation measurements, landslide monitoring, engineering surveying, and structural health monitoring. High accuracy is associated with the receiver and antenna types used. The total cost of receivers and antennas used for this purpose ranges from approximately \$5,000 to \$20,000. In most studies, a single GNSS set is not enough, GNSS receivers and antennas are needed to do simultaneous observations. Therefore, this situation increases the total costs.

With the development of technology in satellite positioning systems, it is understood from the studies in the literature that low-cost OEM GNSS receivers (<\$300), which were used for navigation purposes, are now available for most engineering projects.

In this study, the U-blox ZED P9F GNSS receiver was chosen. The receiver has a multi-frequency structure and can observe GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou systems, as well as collect data with real-



time kinematic, kinematic and static methods. In field tests, UZEL point, which was established on Yıldız Technical University Faculty of Civil Engineering and whose coordinates and velocities are known, was used. GNSS observations were done using U-blox ZED P9F GNSS receiver and ASH701008-01B geodetic antenna, OEM A10 geodetic antenna and ANN-MB-00 antenna. The coordinates of the UZEL test point were estimated by the relative positioning by processing the long-term observations with the receiver and 3 different antenna types. YLDZ GNSS station were chosen as reference in the processes. By analyzing the estimated coordinate differences, the effect of different antenna types on the position accuracy was determined by quality control assessments of the measurements.

**Keywords:** GNSS, OEM, Low Cost, Accuracy





## Ulusal Antarktika Bilim Seferi Kapsamında Jeodezik Çalışmalar

### *Geodetic Studies during the Turkish Antarctic Expeditions*

Burcu Özsoy<sup>1</sup>, Özgün Oktar<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü

✉ozgun.oktar@tubitak.gov.tr

#### Özet

Antarktika kıtası dünyamızın en güney bölgesinde, güney kutbunu içine alan, Türkiye'nin 17 katı büyüklüğünde, %2'lik kısmı buzdan arı olan 14 milyon metrekarelik anakaraya sahip coğrafi bir alandır. Türkiye'den Afrika kıtası aşılarak direkt mesafe ölçüldüğünde yaklaşık 12000km mesafededir.

Denizciler tarafından keşfedilen kıtaya ulaşım ve lojistikte deniz yolu ile sağlanmaktadır. Herhangi bir ülkeye ait olmayan kıtada bulunan deniz, topraklar ve buzullar bilimsel çalışmalara ayrılmıştır. Tüm dünyadan 53 ülke 100 bilim istasyonu ile kıta üzerinde ve çevresinde bulunan adalarda bilimsel çalışmalar yapmaktadır.

İlk Türk bilim insanı Prof. Dr. Atok Karaali 1967 yılında Antarktika'ya ayak basmıştır. 50 yıllık süreçte birçok Türk bilim insanı kıtayı ziyaret etmiş, bilimsel çalışmalarda bulunmuştur. Son zamanlarda Antarktika kıtasına olan ilginin artması ve yapılan çalışmalar sonucunda ülkemizin de kıta üzerinde bir üs kurma zorunluluğu oluşmuştur. Bu amaçla, 2017 yılından bugüne T.C. Cumhurbaşkanlığı himayesinde, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesine, İTÜ PolREC (2017-2019) ve TÜBİTAK MAM KARE (Kutup Araştırmaları Enstitüsü) koordinasyonunda, Ulusal Antarktika Bilim Seferleri başarı ile gerçekleştirilmektedir.

Seferler kapsamında her yıl TÜBİTAK MAM KARE ve ARDEB iş birliği ile Kutup 1001 Proje çağrıları açılmakta ve bilimsel değerlendirme süreci sonrasında başarılı bulunan projeler desteklenmeye hak kazanmaktadır. Ayrıca, ikili iş birliği (Yabancı Üsse Katılım) proje çağrıları ile diğer ülkelerin Antarktika seferlerine Türk Bilim İnsanları katılmaktadır.

Seferler kapsamında desteklenen projeler yanında Antarktika'da uzun dönem izleme projeleri yapılmaktadır. Anılan proje ve çalışmaların bir ayağını da Jeodezik çalışmalar oluşturmaktadır. Bu kapsamda, seferlerde jeodezik olarak;

- Detay ölçmeleri yapılmış ve batimetrik veriler toplanmıştır.
- Ülkemizin sınırları dışındaki ilk GNSS istasyonları (3 adet) kurulmuştur.
- İHA ile Termal, Optik ve LiDAR verileri toplanmıştır.
- Ülkemize ait UA uyduları ile görüntü temini sağlanmıştır.

Böylece, Antarktika'da çalışılan bölgede navigasyon ve deniz seyrine destek sunulmuş, buzul değişimleri takip edilmeye başlanmış, doğal hayatın izlenmesine destek verilmiş ve fiziki bilimler içinde (atmosferik parametrelerin takibi, deniz seviyesinin izlenmesi, Kar ve buz kalınlık değişimi) çalışmalar yürütülmüştür. Ayrıca, bu kapsamda Türk Bilim İnsanlarının ulusal ve uluslararası yayınları, tez ve bildirileri görünür olmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, ülkemizin T.C. Cumhurbaşkanlığı himayesinde, bir vizyon projesi olan Kutup Çalışmaları özetlenecek, Türk Bilim İnsanlarımızın Antarktika'da başardığı çalışmalara değinilecek ve yapılan/yapılacak olan Jeodezik projeler, diğer bilim insanlarımıza ilham kaynağı olarak sunulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Arktik, Antarktika, GPS, İHA, Deniz Buzu, Uzaktan Algılama

#### Abstract

The Antarctic continent is a geographical area in the southernmost region of our world, encompassing the south pole, 17 times the size of Turkey, and a 14 million square meter mainland, 2% of which is ice-



free. When the direct distance is measured from Turkey to the African continent, it is approximately 12000 km away.

Transportation and logistics to the continent discovered by sailors are provided by sea. The sea, land and glaciers on the continent that does not belong to any country are devoted to scientific studies. 53 countries from all over the world carry out scientific studies with 100 science stations on the continent and on the islands around it.

The first Turkish scientist Prof. Atok Karaali touched on Antarctica in 1967. During the 50-year period, many Turkish scientists visited the continent and conducted scientific studies. Recently, as a result of the increasing interest in the Antarctic continent and the studies carried out, our country has had to establish a base on the continent. For this purpose, since 2017, under the auspices of the Presidency and, the responsibility of the Ministry of Industry and Technology, the Turkish Antarctic Expeditions have been successfully carried out with the coordination of ITU PolREC (2017-2019) and TUBITAK MAM PRI (Polar Research Institute).

Within the scope of the expeditions, Kutup-1001 Project calls are opened every year in cooperation with TÜBİTAK MAM PRI and ARDEB, and projects that are successful after the scientific evaluation are entitled to be supported. In addition, Turkish scientists participate in the Antarctic expeditions of other countries through bilateral cooperation (Foreign Base Participation) project calls.

In addition to the projects supported within the scope of the expeditions, long-term monitoring projects are carried out in Antarctica. Geodetic studies constitute one of the aforementioned projects and studies. In this context, geodetically during the expeditions;

- Terrestrial geodetic and bathymetric data were obtained.
- The first GNSS stations (3 units) out of the borders of our country were established.
- Thermal, Optical and LiDAR data were collected by UAV.
- Images were provided with the UA satellites of our country.

Thus, the precise geodetic data was provided to navigation in the region studied in Antarctica, glacial changes were started to be monitored, support was given to the monitoring of natural life and studies were carried out within the physical sciences (monitoring of atmospheric parameters, sea level and snow & ice thickness changes). In addition, in this context, national and international publications of Turkish Scientists have started to be visible.

In this study, our country's under the auspices of the Presidency, the Polar Studies, which is a vision project, will be summarized, the works of our Turkish Scientists in Antarctica will be mentioned, and the geodetic projects will be presented as a source of inspiration to our other scientists.

**Keywords:** Arctic, Antarctica, GNSS, UAV, Sea Ice, Remote Sensing



#### 4. Türkiye Antarktik Bilim Seferi Kapsamında Yapılan Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri Tabanlı Çalışmalar

##### *Global Navigation Satellite Systems-Based Studies within the Scope of the 4th Turkish Antarctic Expedition*

**Mahmut Oğuz Selbesoğlu<sup>1,✉</sup>**, Hasan Hakan Yavaşoğlu<sup>2</sup>, Mustafa Fahri Karabulut<sup>3</sup>, Özgün Oktar<sup>2</sup>, Burcu Özsoy<sup>2</sup>, Himmet Karaman<sup>1</sup>, Mustafa Ersel Kamaşak<sup>1</sup>, Vahap Engin Güral<sup>4</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi

<sup>2</sup>TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Kutup Araştırmaları Enstitüsü

<sup>3</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi

<sup>4</sup>Atlas Üniversitesi

✉ selbesoglu@itu.edu.tr

#### Özet

Antarktika Kıtası, iklim değişikliğini ve zaman içindeki evrimini izlemek için çok önemli bir bölgedir. Bölgede yapılan bilimsel çalışmalarda uzay temelli jeodezik yöntemler ve birçok gözlem tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzay temelli jeodezik yöntemlere dayalı olarak, jeodinamik ve tektonik modelleme, buzul dinamiği çalışmaları, gravite çalışmaları, troposfer ve iyonosferin izlenmesi ve deniz/buz seviyelerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi konularında çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçlarla son yıllarda geniş kullanım alanı bulan GNSS Meteorolojisi ve GNSS Reflektometresi teknikleri, küresel ısınmanın etkilerinin izlenmesinde önemli bir araç haline gelmiştir. Bu çalışmalar, Antarktika'nın geçmişi hakkında önemli bilgiler sağlamakta ve küresel iklim değişikliğinin izlenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu kapsamda, ülkemiz araştırmacıları tarafından da son yıllarda çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu amaçla, 118Y322 No'lu TUBİTAK projesi kapsamında Antarktika Horseshoe Adası'na TUR1 ve TUR2 GNSS istasyonları tesis edilmiştir. İstasyon verilerinin GNSS Meteorolojisi ve GNSS Reflektometresi teknikleri ile analiz edilmesiyse, 24 Şubat 2020 tarihinden itibaren Antarktika'da atmosferik su buharı değişimleri, kar derinliği ve buz kalınlığı değişimleri gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, Antarktika'da atmosferik su buharı değişimleri, kar derinliği ve buz kalınlığı değişimlerinin izlenmesi amacıyla tasarlanan GNSS istasyonlarının sistem bileşenleri ve ilk gözlemleri aktarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Antarktika, GNSS, Troposfer, Su Buhar, Küresel İklim Değişikliği

#### Abstract

The Antarctic Continent is a very important region for monitoring climate change and its evolution over time. Space-based geodetic methods and many observation techniques are widely used in scientific studies in the region. Based on space-based geodetic methods, studies are carried out on geodynamic and tectonic modelling, glacial dynamics studies, gravity studies, monitoring of the troposphere and ionosphere, and determination of changes in sea/ice levels. For these purposes, GNSS Meteorology and GNSS Reflectometry techniques, which have been widely used in recent years, have become an important tool in monitoring the effects of global warming. These studies provide important information about Antarctica's past and contribute to the monitoring of global climate change. In this context, studies have been continuing intensively by the researchers of our country in recent years. For this purpose, TUR1 and TUR2 GNSS stations have been installed on the Antarctic Horseshoe Island within the scope of the TUBİTAK project numbered 118Y322. By analyzing the stations data with GNSS Meteorology and GNSS Reflectometry techniques, atmospheric water vapor changes, snow depth and ice thickness changes have been observed in Antarctica since February 24, 2020. In this study, system components and first observations of GNSS stations designed to monitor atmospheric water vapor changes, snow depth and ice thickness changes in Antarctica are presented.

**Keywords:** Antarctica, GNSS, Troposphere, Water Vapor, Global Climate Change

## GNSS-IR Yönteminin Uzun Dönem Kar Kalınlığı Belirleme Performansının İncelenmesi *Investigation of Long-term Snow Depth Retrieval Performance of GNSS-IR Method*

Cemali Altuntaş<sup>1,✉</sup>, Nursu Tunalıoğlu<sup>1</sup>, Bahattin Erdoğan<sup>1</sup>

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

✉cemali@yildiz.edu.tr

### Özet

Küresel ısınmaya bağlı olarak gerçekleşen iklim değişimi ve etkilerine yönelik çalışmalar tüm dünyada güncel ve öncelikli hâle gelmiştir. Mevsimsel döngüye göre kar kalınlığı değişimlerinin izlenmesi, karın birikiminin tespit edilmesi ve yüzeyde kalma süresi ile erime hızının belirlenmesi de temel iklim modelleme çalışmaları için önemlidir. Bununla birlikte, kar hidrolojisi bakımından suya dönüşebilir kar kalınlığının tespiti ve sürekli izlenmesi; başta su döngüsü olmak üzere iklim, su bilimi, kuraklık, taşkın ve su baskını tahmini çalışmalarında önceliklidir. GNSS-İnterferometrik Reflektometri (GNSS-IR) yöntemi, GNSS hata kaynaklarından biri olan sinyal çok yolluluk etkisini dikkate alan, alıcıya doğrudan gelen ve bir yüzeyden yansarak gelen sinyallerin girişimiyle meydana gelen örüntüyü modelleyerek yansıma yüzeyi hakkında bilgi elde edilmesini mümkün kılan bir uzaktan algılama yöntemidir. Yöntem, temel olarak çok yolluluk sinyal salınım örüntüsünün, faz, genlik ve reflektör yüksekliği parametreleri ile modellenmesine dayanmaktadır. Bu çalışmada, kar kalınlığının tespiti ve sürekli izlenmesi için geleneksel yöntemleri destekleyici ve aynı zamanda da alternatif bir yöntem olan GNSS-IR yöntemiyle sabit GNSS istasyonlarına ait sürekli gözlem verileri kullanılarak mevsimsel kar kalınlığı değişimlerinin izlenmesi ve doğruluk analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında, ABD'nin Alaska eyaletindeki global düzeyde hizmet veren The University NAVSTAR Consortium (UNAVCO) tarafından işletilen EarthScope Plate Boundary Observatory ağında yer alan AB33 ve AB39 sabit GNSS referans istasyonlarının 5 yıllık (2015-2019) L1 ve L2 frekanslarına ait sinyal gürültü oranı (signal-to-noise ratio, SNR) verileri, farklı değerlendirme stratejileri kullanılarak analiz edilmiştir. Doğrulama verisi olarak istasyonların bulunduğu bölgelerde bulunan SNOTEL ağına bağlı istasyonların günlük kar kalınlığı ölçüleri kullanılmıştır. Analizlerde, baskın frekansı belirlemede Lomb Scargle Periodogramı (LSP) kullanılırken kestirilebilir maksimum reflektör yüksekliği 5 m, istenen hassasiyet 0.001 m olarak belirlenmiş, uydu yükseklik açısı aralığı ise 5°-25° olarak seçilmiştir. İstasyonlar için analiz stratejileri, farklı azimut aralıkları dikkate alınarak dört farklı şekilde oluşturulmuştur. Her bir analiz stratejisi ile elde edilen kestirim sonuçlarına, kaba hatalı sonuçların elimine edilmesi için Robust Uyuşumsuz Ölçü Belirleme (Robust Outlier Detection, ROD) işlemi uygulanmıştır. Buna göre, AB33 istasyonunda S1 verisi için 5 yıllık korelasyon değeri ROD kullanılmadığında %61.94 olarak elde edilirken, ROD kullanıldığında %66.19 bulunmuştur. AB39 istasyonunda ise bu değerler sırasıyla %91.58 ve %94.93 olarak bulunmuştur. Tüm sonuçlar incelendiğinde, S1 verisinin, uygun azimut aralığı seçildiğinde ve ROD işlemi uygulandığında, mevsimsel kar kalınlığı değişiminin kestiriminde daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS-IR, Lomb Scargle Periodogramı (LSP), Sinyal Gürültü Oranı (SNR), Robust Uyuşumsuz Ölçü Belirleme (ROD)

### Abstract

Studies on climate change due to global warming and its impacts have become current and a priority all over the World. Monitoring the changes in snow depth, determining the snow accumulation, residence time, and melting rate are also crucial for climate modeling studies. However, in terms of snow hydrology, the detection and continuous monitoring of the watery snow depth has priority in climatology, water science, drought, and flood forecasting, and especially in the water cycle studies. The GNSS-Interferometric Reflectometry (GNSS-IR) method is a remote sensing method in which the multipath effect, which is one of the GNSS error sources, is considered, and in which it is possible to obtain information about the reflection surface by modeling the pattern formed by the interference of signals coming directly to the receiver and reflected from a surface. The method is basically based on modeling the multipath signal oscillation pattern with phase, amplitude, and reflector height parameters.



In this study, it is aimed to monitor seasonal snow depth changes and perform accuracy analysis by using the observation data of continuously operating GNSS stations with the GNSS-IR method, which is an alternative method for the detection and continuous monitoring of snow depth. Within the scope of this study, 5-year (2015-2019), L1 and L2 frequency signal-to-noise ratio (SNR) data of AB33 and AB39 GNSS stations in the EarthScope Plate Boundary Observatory network operated by The University NAVSTAR Consortium (UNAVCO), which provides data globally, in the US state of Alaska were analyzed using different evaluation strategies. Daily snow depth measurements of the stations of the SNOTEL network located in the regions where the GNSS stations are located were used as validation data. In the analysis, the Lomb Scargle Periodogram (LSP) was used to estimate the dominant frequency, with choosing maximum reflector height as 5 m, desired precision as 0.001 m, and satellite elevation range as 5°-25°. Analysis strategies for the stations were designed in four different ways, considering different azimuth ranges. Robust Outlier Detection (ROD) process was applied to the estimation results obtained with each analysis strategy to eliminate outliers. According to the results, the 5-year correlation value for S1 data of AB33 was 61.94% without ROD, while it was 66.19% with ROD. For the AB39 station, these values were found as 91.58% and 94.93%, respectively. Based on the results, it is seen that the S1 data gives better results in determining the seasonal snow depth variation when the appropriate azimuth range is selected and the ROD is applied.

**Keywords:** *GNSS-IR, Lomb Scargle Periodogram (LSP), Signal to Noise Ratio (SNR), Robust Outlier Detection (ROD)*





## İHA Fotogrametri Yöntemi ile Yüzey Deformasyonlarının İzlenmesi

### Monitoring of Surface Deformations with UAV Photogrammetry Method

Kemal Özgür Hastaoğlu<sup>1,✉</sup>, Burak Can Kara<sup>2</sup>, Yavuz Gül<sup>3</sup>, Fatih Poyraz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Kampüs, Sivas, 58140.

<sup>2</sup>Amasya Üniversitesi Merzifon Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, Merzifon Yakacık Yerleşkesi.

<sup>3</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Kampüs, Sivas, 58140.

✉khastaoglu@cumhuriyet.edu.tr

### Özet

Son yıllarda insansız Hava Araçlarındaki (İHA) teknolojik gelişmelere bağlı olarak gerek donanım gerekse yazılım açısından İHA Fotogrametri yönteminde de önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu gelişmeler ışığında İHA Fotogrametri yöntemi kullanılarak yüksek doğrulukta konum bilgisi üretilebilmektedir. İHA Fotogrametri yönteminden üretilen konum bilgisinin doğruluğu kullanılan donanıma, uçuş planına ve uçuş zamanına bağlı olarak değişmektedir. Doğru bir planlama ve donanım kullanılarak cm düzeyinde konum doğruluğuna sahip Ortofotolar ve Sayısal Yükseklik modelleri (SYM) üretile bilinmektedir. Heyelanlar gibi kütsel deformasyonların meydana geldiği alanların klasik jeodezik yersel yöntemlerle izlenmesinde sadece noktasal sonuçlar elde edilmektedir. Klasik jeodezik yersel yöntemler ile alansal sonuçların elde edilmesi ise emek, maliyet ve zaman açısından oldukça külfetlidir. Buna karşın alansal deformasyonların İHA fotogrametri yöntemi ile izlenmesi oldukça hızlı ve daha az maliyetlidir. Bu yüzden bu çalışma kapsamında İHA Fotogrametri yöntemi ile deformasyonların izlenmesine yönelik bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında İHA Fotogrametri yöntemi ile elde edilen Ortofotolar ve SYM' ler kullanılarak yüzey deformasyonlarının izlenmesine yönelik geliştirilen yöntem sunulmaktadır. Geliştirilen bu yöntemde yüksek çözünürlük ve doğruluğa sahip periyodik Ortofotolar ve SYM' ler kullanılarak özel tasarlanmış hedef levhalarına ait yıllık deformasyon miktarları Kalman filtre tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Özel tasarım plakalara ait üç boyutlu periyodik konum bilgileri Ortofotolar SYM' ler kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra Kalman Filtre Tekniği kullanılarak noktalara ait üç boyutlu hız değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak Ortofoto ve SYM' lerin konum doğruluğuna bağlı olarak İHA Fotogrametri yöntemi yüzey deformasyonlarının izlenmesinde başarı ile kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İHA Fotogrametri, Kalman Filtre, Deformasyon

### Abstract

In recent years, there have been significant developments in the UAV Photogrammetry method in terms of both hardware and software, depending on the technological developments in Unmanned Aerial Vehicles (UAV). In the light of these developments, high accuracy position information can be produced by using the UAV Photogrammetry method. The accuracy of the location information produced by the UAV Photogrammetry method varies depending on the equipment used, flight plan and flight time. Orthophotos and Digital Elevation models (DEM) with cm-level position accuracy can be produced by using the right planning and hardware. In the monitoring of areas where massive deformations such as landslides occur, with classical geodetic terrestrial methods, only point results are obtained. Obtaining spatial results with classical geodetic terrestrial methods is quite burdensome in terms of labor, cost and time. On the other hand, monitoring of spatial deformations by UAV photogrammetry method is very fast and less costly. Therefore, within the scope of this study, a method has been tried to be developed for monitoring deformations with the UAV Photogrammetry method. Within the scope of the study, the method developed for monitoring the surface deformations by using Orthophotos and DEMs obtained by the UAV Photogrammetry method is presented. In this developed method, annual deformation amounts of specially designed target plates were determined by Kalman filter technique by using periodic orthophotos and DEMs with high resolution and accuracy. Three-dimensional periodic position information of specially designed plates was obtained by using Orthophotos DEMs. Then, three-dimensional velocity values of the points were obtained using the Kalman Filter Technique. As a result,





the UAV Photogrammetry method has been used successfully in monitoring the surface deformations, depending on the location accuracy of the Orthophoto and DEMs.

**Keywords:** *UAV Photogrammetry, Kalman Filter, Deformation*



### **3. Oturum:**

## **GRAVİTE ALANI**

Oturum Başkanları:

Prof. Dr. Orhan AKYILMAZ, Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN

### ***Session 3:***

## ***GRAVITY FIELD***

*Convenors:*

*Prof. Orhan AKYILMAZ, Prof. Aydın ÜSTÜN*



## Satellite Gravimetry-based Monitoring System for Water Resources Management and Natural Hazards Monitoring

C.K. Shum<sup>1,✉</sup>, Yu Zhang<sup>1</sup>, Vibhor Agarwal<sup>2</sup>, Orhan Akyılmaz<sup>3</sup>, Ehsan Forootan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Division of Geodetic Science, School of Earth Sciences, The Ohio State University, United States

<sup>2</sup>Department of Geology and Environmental Geosciences, University of Dayton, United States

<sup>3</sup>Department of Geomatics, Istanbul Technical University, Turkey

<sup>4</sup>Department of Planning, Aalborg University, Aalborg, Denmark

✉ ck.shum@outlook.com

### Abstract

The advent of dedicated Earth gravity satellite missions during the Decade of the Geopotential, in to 2000, revolutionized measurements of gravity signals and mass transports within the Earth system with pioneering satellite gravimetry missions initiated during the Decade of Geopotential Missions in 2000: CHAMP, GRACE, and GOCE missions. Temporal satellite gravimetry missions, Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE), 2002–2017, and GRACE-Followon (GRACE-FO) twin-satellite missions, 2018–, are innovative sensors cable of observing global mass transport signals within the Earth system at monthly sampling and spatial scale longer than 333 km (half wavelength). The onset of climate change and its ensuing effects exacerbate adverse impacts on global environmental and ecological regimes, and natural or anthropogenic hazards such as abrupt climate/weather episodes, surface and groundwater depletion, storms, cyclones, large floods, and prolonged droughts. Timely monitoring of climate or hazardous weather variables governing these complex processes at an adequately downscaled spatio-temporal resolutions provide a means for applications to potentially improve water resources management and hazards response. Here we postulate the plausible spatio-temporal downscaling of GRACE/GRACE-FO data inverted Earth's mass change would enable accurate monitoring of the aforementioned natural hazards and surface/groundwater sensing for improved water resources management and disaster response, and present preliminary results for case studies on monitoring of groundwater, snow-storm, and floods.

**Keywords:** *Satellite Gravimetry, GRACE/GRACE-FO, Natural Hazards, Water Resources*

## GNSS-IR Tekniği İle Meteorolojik Parametreler ve Gelgit Bileşenleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması

### *Investigation of the Relationship between Meteorological Parameters and Tidal Constituents with GNSS-IR Technique*

Cansu Beşel<sup>1,\*</sup>, Emine Tanır Kayıkcı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye.

\*cansubesel@ktu.edu.tr

## Özet

Artan deniz seviyesinin özellikle kıyı alanlarında çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, deniz seviyesinde zaman içerisinde meydana gelen değişimin etkili ve doğru bir şekilde gözlemlenmesi ve değişime neden olan faktörlerin belirlenmesi önemlidir. Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri İnterferometrik Reflektometri (GNSS-IR), yansıyan sinyalleri kullanarak deniz seviyesinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, geleneksel mareograf ölçümlerine alternatif bir teknik olarak düşünülmektedir. Bu çalışmada; meteorolojik parametrelerin deniz yüzeyinden yansıyan GNSS sinyalleri üzerindeki etkisi ve GNSS-IR tekniğinin gelgit bileşenlerinin belirlenmesine katkısı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Servisi'ne (TUDES) bağlı mareograf istasyonu ile ortak yerleşkeli TRBZ sabit GNSS istasyonuna ait Sinyal Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio-SNR) verileri kullanılmıştır. Meteorolojik parametrelerin yansıyan sinyaller üzerindeki etkisini incelemek için ise TUDES üzerinden sağlanan TRBZ istasyonuna ait hava basıncı verisi ve ERA5 veri setinden sağlanan sıcaklık ve rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Sıcaklık, hava basıncı ve rüzgar hızı meteorolojik parametreleri ile SNR genlikleri ve trendden arındırılmış SNR genlikleri karşılaştırılmıştır. Bunun için; SNR genlikleri, trendden arındırılmış SNR genlikleri ve meteorolojik parametreler için sırasıyla trend analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, sıcaklık ve rüzgar hızı parametreleri ile SNR ve trendden arındırılmış SNR genliklerinin aynı yönde eğilime sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, yapılan çalışma kapsamında gelgit değişimlerini incelemek ve GNSS-IR tekniğinin gelgit bileşenlerinin belirlenmesine katkısını araştırmak için SNR verileri kullanılarak GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi gözlemleri hesaplanmıştır. Ardından, GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemleri ve mareograf kayıtları için yarı-günlük (M2, S2) ve günlük (K1, O1, P1) gelgitlerin genlikleri hesaplanmıştır. Elde edilen genlikler karşılaştırıldığında, maksimum ve minimum fark sırasıyla 4.16 cm ve 0.09 cm olarak bulunmuştur. Son olarak, mareograf kayıtlarından ve GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemlerinden hesaplanan gelgit bileşenleri FES2014b, TPXO9-Atlas ve EOT20 küresel okyanus modelleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, yapılacak iyileştirmelerle beraber GNSS-IR tekniğinin de gelgit bileşenlerinin belirlenmesinde bir potansiyel olabileceği öngörülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Deniz Seviyesi, GNSS İnterferometrik Reflektometri, Meteorolojik Parametreler, Gelgit Bileşenleri

## Abstract

Rising sea levels have significant impacts such as environmental, social, and economic along with coastal areas. For this reason, it is important to accurately monitoring the sea level change and identifying the factors that cause change. Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry (GNSS-IR) enables to retrieve sea level heights using the reflected signal. Moreover, GNSS-IR is considered a promising alternative to conventional tide gauges. This study investigates both the effect of meteorological parameters on GNSS reflected signals from the sea surface and the contribution of the GNSS-IR technique to the determination of tidal constituents. Within the scope of the study, we used Signal-to-Noise Ratio (SNR) data from the TRBZ co-located GNSS station operated by the Turkish National Sea Level Monitoring System (TUDES). Air pressure from TUDES and temperature and wind speed data obtained by the ERA5 dataset have been used to assess the effect of meteorological parameters on reflected signals. Temperature, air pressure, and wind speed



meteorological parameters compared with the SNR amplitude and detrended SNR amplitude. Therefore; trend analysis were performed for SNR amplitudes, detrended SNR amplitudes, and meteorological parameters, respectively. Consequently, the temperature and wind speed parameters have the same trend with SNR and detrended SNR amplitudes. Moreover, sea level observations were calculated using GNSS-IR SNR data to examine the tidal variability and to investigate the contribution of the GNSS-IR technique to the determination of tidal constituents. Then, semi-diurnal (M2, S2) and diurnal (K1, O1, P1) amplitudes of tidal constituents were computed from GNSS-IR-based sea level observations and tide gauge records. The comparison of amplitudes demonstrated that the maximum and minimum differences were 4.16 cm and 0.09 cm, respectively. Finally, estimating the tidal constituents from tide gauge records and GNSS-IR-based sea level observations compared with global ocean models such as FES2014b, TPXO9-Atlas, and EOT20. As a result of the study, it was predicted that the improving GNSS-IR technique may also have the potential in estimating the tidal constituents.

**Keywords:** *Sea Level, GNSS Interferometric Reflectometry, Meteorological Parameter, Tidal Constituents*

## Global Deniz Suyu ve Türkiye'deki Büyük Göl Suyu Kütlelerinin Çekim Etkileri *Gravitational Effect of Global Seawater and Major Lake Water Masses in Turkey*

Mehmet Simav<sup>1,✉</sup>, Hasan Yıldız<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harita Genel Müdürlüğü, Tıp Fakültesi Caddesi, 06590, Cebeci/ANKARA

✉ mehmet.simav@harita.gov.tr

### Özet

Yer gravite alanı fonksiyonellerinin gridleme amaçlı yumuşatılması ve yüzey altındaki bilinmeyen yoğunluk anomalilerinin ters çözüm ile ortaya çıkarılması için, Yer sistemi içerisindeki çekim etkisi bilinen oluşumların gravite alanı ölçülerinden çıkarılması gerekmektedir. Uygulamada, zaman değişkenli aletsel etkiler ile yine zaman-konum değişkenli katı Yer ve okyanus gelgitleri, atmosferik kütle hareketleri, kutup gezinmesi, yer altı suyu ve toprak nemi değişimleri gibi diğer etkiler gravite alanı ölçülerinden çıkarılarak gerçek statik gravite alanı sinyali belirlenmektedir. Ardından referans Yer elipsoidinin normal gravite alanı sinyali, gerçek statik alan sinyalinden çıkarılarak bozucu gravite alanı sinyali elde edilebilmektedir. Bozucu gravite alanı içerisinde ise uygulanan ilave düzeltmelere bağlı olarak çeşitli gravite alanı anomalileri tanımlanmaktadır. Bozucu alan içerisinde, deniz yüzeyi üzerindeki topoğrafik kütlelerin çekim etkisinden arındırılarak hesaplanan sinyal, Bouguer gravite anomalisi olarak tanımlanır ve jeodezik/jeofizik uygulamalarda sıklıkla kullanılır. Ancak Bouguer anomalileri; atmosfer, deniz suyu, göl suyu, kara ve deniz buzullarının yoğunluk kontrastı kaynaklı etkilerinin dikkate alınmadığı istenmeyen sinyalleri de içerir. Bu etkilerinin giderilmesi işlemine gravimetrik sıyırma (stripping) adı verilmekte ve gravite sinyalinin ayrıştırılmasında evrişim, filtreleme vb. sayısal yöntemlerden daha iyi ve doğru sonuçlar üretmektedir. Bu çalışmada; SRTM15+ global okyanus batimetri verileri ile Van, Beyşehir, Eğirdir, Burdur ve Salda Göllerine ait göl batimetri verileri kullanılarak deniz suyu ve göl suyu kütlelerinin gravimetrik sıyırma etkileri belirlenmiştir. Çalışma bölgesi Türkiye ve çevresini kapsayacak şekilde 25°D–45°D ve 35°K–43°K arasında kalan bölge olup, hesaplamalar 1' × 1' yay-dakikası çözünürlüğünde ve yeryüzünde gerçekleştirilmiştir. Deniz suyu batimetrik düzeltmeleri çevre denizlerde derinliğe bağlı olarak 132 mGal ile 418 mGal arasında değişmektedir. Anakarada uzun dalga boylu bir yapı sergilemekte olup, ortalama 133 mGal düzeyindedir. Kıyılarda ve adalarda ise global deniz suyu yoğunluk kontrastı kaynaklı etkiler 163 mGal'e kadar ulaşabilmektedir. Göl suyu kütlelerinin gravimetrik sıyırma etkisi yine göl derinliğine bağlı olarak Van Gölü üzerinde 32 mGal'e, Eğirdir ve Burdur Gölleri üzerinde 18 mGal'e, Salda Gölü üzerinde ise 6.5 mGal'e kadar erişmektedir. Ancak, göl kıyılarından karaya doğru 1 km tampon bölge dışında göl suyu gravimetrik sıyırma etkileri ihmal edilebilir düzeydedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yer Gravite Alanı, Deniz ve Göl Suyu Kütleleri, Gravimetrik Sıyırma Etkisi

### Abstract

The gravitational effects of the a priori known features within the Earth's system should be determined and removed from the gravity field measurements to smooth the Earth's gravity field functionals for gridding, and to reveal the remaining signals of the unknown anomalous subsurface density distributions by inversion. In practice, time-variable instrumental and spatially and temporally varying gravitational effects due to the solid Earth and ocean tides, atmospheric mass movements, polar motion, groundwater, and soil moisture variations are removed from gravity field observations to obtain the actual static gravity field. Then the actual static field can be transformed into the anomalous field by introducing a reference normal gravity field generated by a suitable ellipsoid of revolution which captures the general features of the actual field. There are several types of gravity field anomalies defined in the anomalous gravity field based on the additional corrections applied for the extraneous sources. The complete Bouguer anomaly, which takes into account the correction for the gravitational attraction of the topographic masses above the sea level, is the most useful one in exploration geophysics and geodesy. However, the Bouguer anomaly may still contain unwanted density contrast effects of the other major known elements, such as atmosphere, offshore seawater, inland water bodies, glaciers, and ice sheets. The removal of density contrast effects from the Bouguer gravity anomalies is denoted as gravity





stripping, and this procedure is known to be more accurate than any other mathematical methods (e.g., convolution, filtering) for the separation of the gravity field signals. In this study, we determine the bathymetric stripping gravity corrections of global seawater using SRTM15+ global ocean bathymetry data and lake water stripping corrections of Van, Beyşehir, Eğirdir, Burdur, and Salda Lakes. The computations are performed on a regular  $1' \times 1'$  arc-min grid at the Earth's surface over the territory of Turkey including offshore bounded by  $25^{\circ}\text{E}$ – $45^{\circ}\text{E}$  and  $35^{\circ}\text{N}$ – $43^{\circ}\text{N}$ . The seawater bathymetric correction varies from 132 to 418 mGal over the marine areas depending on the ocean bathymetry. It shows a long-wavelength pattern over the inland with a mean value of 133 mGal, and produces significant variations onshore close to the coasts and on some islands up to 163 mGal. The bathymetric gravity stripping due to the lake water density contrast produces notable effects on the lake surfaces reaching up to 32 mGal at Lake Van, 18 mGal at Eğirdir and Burdur Lakes, and 6.5 mGal at Lake Salda. However, the effects are negligible outside a 1 km width buffer zone around the lakes.

**Keywords:** *Earth's Gravity Field, Seawater and Lake Water Masses, Gravity Stripping Effects.*



## Space Gravimetry Applications and Needs for Drought Monitoring, Water Resource Assessment and Regional Climate Monitoring

Jürgen Kusche<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>University of Bonn, Germany

✉ kusche@geod.uni-bonn.de

### Abstract

GRACE and GRACE-FO have been instrumental in terrestrial water cycle monitoring, including quantification and monitoring of droughts and the assessment of water resources, as well as the hydrological contribution to sea level rise. Further, space gravimetric data has been successfully used for validating global and regional climate models. However, the biggest obstacle for a more widespread application is the still coarse resolution of these data, which is far from the resolution of processes relevant to the terrestrial water cycle, e.g., precipitation or soil moisture, from the horizontal resolutions of numerical modelling of the Earth system, as well as too coarse as required e.g. for operational drought monitoring and mitigation. Data assimilation, either for direct integration of space gravimetric data in numerical models and water cycle service applications, or for generating downscaled data products, has been suggested to overcome this problem. Data assimilation can further contribute to the disaggregation of total water storage variability measured via space gravimetry into various components. In the presentation, I will showcase results of GRACE data analysis, including assimilation for drought monitoring, water resource assessment, sea level contribution, and providing a downscaled 12km land water storage reference data set over Europe consistent with the meteorological COSMO-REA6 reanalysis. I will conclude with discussing needs for future data products from a user perspective.

**Keywords:** GRACE, Hydrology, Data Assimilation, Downscaling, Temporal Gravity, Climate Change



## Kronometrik Nivelman Yöntemi ile Eşpotansiyel Yüzeylerin Belirlenmesi

### *Determination of Equipotential Surfaces by Chronometric Leveling Method*

Hasan Onur Işık<sup>1,2,✉</sup>, Mustafa Tevfik Özlüdemir<sup>2</sup>, Kerem Halıcıoğlu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı, Harita Şube Müdürlüğü, 34134, İstanbul.

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul.

<sup>3</sup>Freie Universität Berlin, Department of Mathematics and Computer Science, 14195, Berlin.

✉ isikh@itu.edu.tr

### Özet

Eşpotansiyel yüzeylerin belirlenmesine ilişkin geleneksel yöntemler gravite ve yükseklik ölçmelerine dayanmaktadır. Bu yaklaşımlar yola bağımlı olarak biriken hatalar barındırırken, yüzey bilgisinin farklı veri kombinasyonları ile dolaylı olarak elde edilmesi de hata birikimini artırmaktadır. Konvansiyonel yöntemlerin önemli sorunları arasında arazi koşulları nedeniyle ölçmelerin artmasına bağlı olarak artan işgücü ve hata miktarı yer almaktadır. Farklı yükseklik sistemlerinin birleştirilmesi ise yükseklik belirleme çalışmalarının bir diğer güncel sorunudur. Ulusal yükseklik sistemleri arasındaki datum farklılıkları desimetreler mertebesine ulaşabilmektedir. Bu bağlamda yüksek doğruluğa sahip bir küresel yükseklik referans sisteminin belirlenmesi önemli bir ihtiyaçtır. Jeodezi'nin güncel konuları arasında yer alan bu problemler için farklı çözüm yöntemleri önerilmektedir. Günümüzde güncel çalışmaların yoğunlaştığı yöntemlerden birisi de kronometrik nivelman yöntemidir.

Kronometrik nivelman yöntemi Einstein'ın Genel Görelilik Teorisi'nin bir sonucu olarak 1986 yılında Bjerhammar tarafından önerilmiştir. Teoriye göre uzay-zaman geometrisi kütle tarafından belirlenmektedir. Aynı kütleçekimsel potansiyele sahip yüzeyler, aynı uygun zamanı (proper time) ölçerler. Böylece yüksek hassasiyette zaman ölçmeleri, eşpotansiyel yüzeyler arasındaki potansiyel farkın belirlenmesini mümkün hale getirir.

Görelilik etkilerinin gözlemlenmesini mümkün kılacak araçların gelişimi son yıllarda artmaktadır. Optik spektrumda yüksek frekans gözlemleri yapmayı mümkün kılan gelişmeler neticesinde optik atom saatleri, yüksek doğruluklu ve kararlı olacak şekilde geliştirilmektedir. Optik atomik saatleri kullanarak optik fiber iletim teknolojisi aracılığıyla  $10^{-18}$  mertebesinde frekans karşılaştırma preizisyonunun elde edilmesi yapılan birçok çalışma ile görülmüştür. Günümüzde frekans farkı belirleme preizisyonu  $\Delta\nu/\nu \approx 10^{-18}$  olan bir optik atomik saat ile, yerçekimi ivmesi  $g \approx 10 \text{ m/s}^2$  ve  $c \approx 300\,000\,000 \text{ m/s}$  olmak üzere; yaklaşık 1 santimetrelik yükseklik değişimlerini belirlemek mümkün hale gelmiştir. Geleneksel yöntemlere ilişkin zorlukların aşılmasına dönük motivasyon ile birlikte bu gelişmeler kronometrik nivelman yöntemini yeniden, uygulamalı olarak gündeme getirmiştir.

Bu kapsamda Küresel Birleşik Yükseklik Sistemi ve cm geodi belirleme problemleri konusunda kronometrik nivelman, çözüm üretebilecek yöntemlerden birisi olarak IAG'nin gündemine aldığı bir konu olmuştur. Ayrıca frekans transfer teknikleri ve atom saati ağları üzerine çalışmalar yürütülmeye devam etmektedir. Optik fiber frekans karşılaştırma ağlarının yanı sıra taşınabilir atom saati uygulamaları ve GNSS frekans transfer teknikleri üzerine çalışmalar da sürdürülmektedir.

Bu çalışma kapsamında kronometrik nivelman yöntemi hakkında literatür verisi ile birlikte Avrupa Kıtası ölçeğindeki yoğunluklu olmak üzere yapılan çalışmalar incelenmiş ve yöntemin ulusal yükseklik sistemine sağlayabileceği olası katkılar ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Relativistik Jeodezi, Kronometrik Nivelman, Geoit Belirleme, Eşpotansiyel Yüzey, Atomik Saat

### Abstract

Traditional methods for determining equipotential surfaces are based on gravity and height measurements. While these approaches contain errors that accumulate depending on the path, obtaining surface information indirectly with different data combinations also increases the error accumulation. Among the important problems of conventional methods are the increased workforces and error amount



due to the increase in measurements as a result of field conditions. Unification of different height systems is another current problem of height determination studies. The datum differences between national height systems can reach the order of decimetres. In this context, it is an important requirement to determine a high-accuracy global height reference system. Different solution methods are suggested for these problems, which are among the current topics of geodesy. One of the methods that current studies concentrate on is the chronometric leveling method.

The chronometric leveling method was proposed by Bjerhammar in 1986 as a result of Einstein's General Theory of Relativity. According to the theory, the geometry of space-time is determined by mass. Surfaces with the same gravitational potential measure the same proper time. Thus, high-precision time measurements make it possible to determine the potential difference between equipotential surfaces.

The development of tools that make it possible to observe the effects of relativity has been increasing in recent years. As a result of the developments enabling make high frequency observations in the optical spectrum, optical atomic clocks are developed to be highly accurate and stable. Obtaining frequency comparison precision of the order of  $10^{-18}$  by means of optical fiber transmission technology using optical atomic clocks has been seen in many studies. Today, with an optical atomic clock with frequency difference determination  $\Delta\nu/\nu \approx 10^{-18}$ , gravitational acceleration  $g \approx 10 \text{ m/s}^2$  and  $c \approx 300\,000\,000 \text{ m/s}$ ; It has become possible to detect height changes of about 1 centimeter. Together with the motivation to overcome the difficulties related to traditional methods, these developments revive practically the chronometric leveling method again.

In this context, chronometric leveling method for the Unification of Unified Global Height Reference System and cm geoid determination problems has been a topic that IAG has taken to its agenda as one of the methods that can solve these. In addition, studies on frequency transfer techniques and atomic clock networks continue to be carried out. In addition to optical fiber frequency comparison networks, studies on portable atomic clock applications and GNSS frequency transfer techniques also carry on.

Within the scope of this study, the literature data about the chronometric leveling method, as well as the studies on the European Continent scale, were examined and the possible contributions of the method to the Turkey National Height System were discussed.

**Keywords:** *Relativistic Geodesy, Chronometric Leveling, Geoid Determination, Equipotential Surface, Atomic Clock*



## **Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığında Deniz Gravite Verilerinin Toplanması, Veri İşlemi ve Kalite Kontrolü**

### ***Acquisition, Data Processing and Quality Control of Raw Marine Gravity Data in Turkish Petroleum***

**Kadir Barış Bakioğlu<sup>1,✉</sup>, Hasan Salih Külünk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Söğütözü Mah. 2180. Cadde No:10 Çankaya/ANKARA 06100

<sup>2</sup>Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Söğütözü Mah. 2180. Cadde No:10 Çankaya/ANKARA 06100

✉bbakioğlu@tpao.gov.tr

### **Özet**

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı bünyesinde faaliyetlerini sürdüren Gravite, Manyetik & Uzaktan Algıma Müdürlüğü, 1950’li yıllardan beri topladığı Kara Gravite Verilerinin yanında 2014 yılında M/V Barbaros Hayreddin Paşa sismik araştırma gemisine Deniz Gravimetresi alımı yapılmıştır. Alınan bu envanter ile TPAO öncülüğünde Türkiye’de ilk defa milli bir kurum tarafından Deniz Gravite verisi toplanması sağlanmıştır.

Mevcut yapıda bulunan deniz verilerinin artması ve son yıllarda TPAO’nun denizlerde yaptığı hidrokarbon aramalarının hızlanmasına binaen ham deniz gravite verilerinin işlenmesi ihtiyacı hâsıl olmuştur. Türkiye’de bu konunun yeni sayılabilecek bir konumda olması ve elde edilen verilerin özel firmalara proses ettirilmesinden doğan yüksek meblâğlardaki masraflar göz önüne alındığında, proses kabiliyetinin artırılması, verilerin kalite kontrolü ve farklı filtre işlemlerinin araştırılması yapılmıştır.

Araştırmalar, teorik incelemeler sonrası Deniz Verilerine benzerlik gösteren Hava Gravite Manyetik Verilerinin 2018 yılında toplattırılmasıyla hız kazanmıştır. Bu konuda dünyada yapılan iş akış standartları incelenerek araştırmalar nihayete erdirilmiş ve envanterde bulunan gravimetre; veri formatı, veri toplama tekniği ve çözüm odaklı uygun filtre dizaynları oluşturularak veri işlem çalışmaları başlatılmıştır. 2020 Yılından beri 10’a yakın proje ve 100.000 km’den fazla Ham Deniz Gravite verisi başarıyla işlenip Free Air ve Bouguer Anomalisine dönüştürülmüştür.

Başarıyla Veri İşlemden geçen Gravite Verileri, GRACE vb. Uydu Gravite verilerinden çözünürlük olarak çok daha iyi olduğu gözlenmiş; jeoloji, jeofizik ve jeodezi alanlarında kullanılmaya hazır hale getirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar, Jeofizik anlamda Sinyal/Gürültü oranı artırma ana başlığı altında oluşturulmuştur. Toplanan ve proses edilen gravite verilerinin tercih edilen yazılımlara aktarılması, batimetri verisi ile entegre edilmesi, drift olgusunun irdelenmesi ve giderilmesi, bağlı verilerin uygun şekilde baza bağlanması, uygun filtre dizaynlarının kullanılması, derin deniz / sığ denize özgü gürültü eliminasyonları ve hareket eden platformlarda toplanılan verilerin işlenmesinde önemli bir yere sahip olan dengeleme prosesedürleri alt başlıkları altında detaylı bir şekilde ilk defa incelenecektir.

Yapılan bu çalışmalar TPAO’nun katkıları ile Türkiye’de ilk defa yerli ve milli kaynaklar, dışarıdan hizmet alınmadan Türk Personel ile gerçekleştirilmiştir. Kamu kurumlarının deniz veya havada toplayacağı ham verilerin işlenmesinin yerli kaynaklarla yapılması, hatta gerektiğinde dışarıya hizmet verebilmesi için emsal ve öncü bir çalışma niteliği de taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Gravite, Veri Prosesi, Deniz Gravite Verileri

### **Abstract**

In 2014, The Department of Gravity, Magnetism and Remote Sensing in Turkish Petroleum (TPAO) purchased a marine gravimeter for the Seismic Research Vessel Barbaros Hayreddin Pasa as well as the Department have been acquiring Ground Gravity Data since the 1950s. Purchasing its own equipment, it is the first time in Turkey that a National Company leads Raw Marine Gravity Data Acquisition with its own asset.



Increasing acquired Raw Data in TPAO's archives and offshore projects for hydrocarbon exploration, Raw Marine Gravity Data Processing became necessary. Considering the concept of potential data processing is a new field in Turkey and the high costs of having these data processed by third parties, TPAO had begun researching potential field data processing, quality control, and filter design.

The research came to a conclusion in 2018, after the Airborne Gravity and Magnetic Survey of TPAO, which is similar to the Marine Surveys. The finding of this study leads to a worldwide standard workflow compatible with the data format of the gravimeter, data acquisition technique, and suitable filter design. More than 100.000 km of Raw Marine Gravity Data from several projects are successfully processed and converted to Free Air and Bouguer Anomaly since 2020.

The processed Free Air Anomaly data has considerably better resolution than GRACE and similar Satellite Free Air Data and the products are set to evaluate for Petroleum Geology and Exploration Geophysics.

In this presentation, the topic will be covered under the Geophysical Signal Analysis and basic concept of "Increasing Signal to Noise Ratio". However, the details will be discussed as the sub-steps of the Standard Workflow: Data Import into the preferred software, integration of Gravity Data with Bathymetry, the concept of drift and how to eliminate, how to tie relative gravity readings into reference gravity stations, selecting the proper filter design based on shallow/ deep offshore surveys and the leveling procedure, which is the most important step for the moving platform gravity data processing.

This study is conducted by the serious contribution and investment of TPAO and it is the first time the Marine Gravity Data Acquisition and Processing performed by the Turkish Personnel with the national asset. The study is a pioneering example of raw airborne and marine data processing with national assets and it could lead the national agencies to serve as profiteering third parties all over the world.

**Keywords:** Gravity, Potential Field Data Processing, Marine Gravity Data.





## En Küçük Karelerle Kolokasyonla Serbest Hava Düşey Gravite Gradyenti Modelleme *Free-Air Vertical Gravity Gradient Modelling with Least-Squares Collocation*

Yunus Aytaç Akdoğan<sup>1,✉</sup>, Gonca Okay Ahi<sup>2</sup>, Hasan Yıldız<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Harita Genel Müdürlüğü, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, 06590 Ankara

<sup>2</sup> Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara

<sup>3</sup> Harita Genel Müdürlüğü, Harita Yüksek Teknik Okulu, 06590 Ankara

✉ yunusaytac.akdogan@harita.gov.tr

### Özet

Serbest hava düşey gravite gradyenti (DGG) hem jeodezik hem de jeofizik uygulamalar için oldukça önemlidir. DGG ölçümünün zor olması, uzun zaman alması ve yeterli sayıda bulunmamasından dolayı, çalışmalarda genellikle teorik DGG değeri olan 3086 Eötvös kullanılmaktadır. Teorik DGG'nin özellikle dağlık alanlarda kullanılması gravimetrik indirgeme ve jeoit modeli hesaplama gibi uygulamalarda hatayı artırmakta ve hesaplamaların sonucuna olumsuz etki etmektedir. Yakın zamanda "Türkiye Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu ve Gravite Altyapısının İyileştirilmesi Projesi (2015-2020)" kapsamında, Türkiye'nin batısında homojen bir dağılımla gerçekleştirilen DGG ölçülerinde, DGG değerlerinin 2306 ile 4283 Eötvös arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu, teorik ve ölçülen serbest hava DGG arasındaki farkların -25% ile +39% mertebelerinde farklı olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, teorik DGG değerleri yerine ölçülen veya modellenen DGG'nin dikkate alınması gerekliliği araştırılması gereken önemli bir konu olarak öne çıkmıştır. Bu çalışmada serbest hava DGG, yüksek hassasiyetli uydu tabanlı küresel jeopotansiyel model, nokta bazlı yersel gravite ölçümleri ve yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli kullanılarak 3 boyutlu En Küçük Karelerle Kolokasyon ve Kaldır-Hesapla-Yerine Koy metoduyla modellenmiştir. Modellenen serbest hava DGG, 159 noktadaki mevcut ölçümler kullanılarak doğrulanmış ve ölçü-model arasındaki fark oldukça iyi bir sonuç olan 190 Eötvös çıkmıştır. Ayrıca, modellenen DGG'nin topoğrafik yüksekliklere göre değişimi de araştırılmıştır. 1000 m'den daha yüksek olan yerlerde teorik değerden olan sapma artmış ve anlamlı hale gelmiştir. Modellenen serbest hava DGG sadece jeodezideki gravite indirgemeleri ve jeoit modeli hesabı için değil aynı zamanda jeofizik araştırmalar için de kullanılabilir, çünkü serbest hava DGG'nin Yeryuvarının üst katmanlarındaki yoğunluk değişimine de duyarlı olduğu bilinmektedir. Sonuç olarak özellikle dağlık alanlarda teorik DGG yerine ölçülen veya modellenen DGG kullanılması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Serbest Hava Düşey Gravite Gradyenti, Kaldır-Hesapla-Yerine Koy Metodu, En Küçük Karelerle Kolokasyon

### Abstract

Free-air vertical gravity gradient (VGG) is quite important for both geodetic and geophysical applications. The theoretical VGG value of 3086 Eötvös is generally used, since VGG, not being sufficiently available, is difficult to measure and takes a long time. The use of theoretical VGG, especially in mountainous areas, increases the error in applications such as gravimetric reduction and geoid model computations and negatively affects the results of these computations. Within the scope of the "Turkish Height System Modernization and Gravity Recovery Project (2015-2020)" recently, it has been observed that the VGG values vary between 2306 and 4283 Eötvös in the VGG measurements carried out with a homogeneous distribution in the west of Turkey. This means that the differences between the theoretical and measured free-air VGG range from -25% to +39%. Therefore, the necessity of considering the measured or modelled VGG instead of the theoretical VGG values becomes important that needs to be investigated. In this study, the free-air VGG is modelled by the 3D Least-Squares Collocation and Remove-Compute-Restore method using a high-precision satellite-based global geopotential model, point-based terrestrial gravity measurements and a high-resolution digital elevation model. The modelled free-air VGG is validated against available measurements at 159 points, and the difference between the measured and model is 190 Eötvös, which is a very satisfactory result. In addition, the variation of the modelled VGG with respect to the topographic heights was also investigated. In areas higher than 1000 m, the deviation from the theoretical value increases and becomes



significant. The modelled free-air VGG can be used not only for gravity reductions in geodesy and geoid model computations but also for geophysical research since free-air VGG is known to be sensitive to density variations in the upper layers of the Earth. As a result, it is recommended that measured or modelled VGG is used instead of theoretical VGG, especially in mountainous areas.

**Keywords:** *Free-Air Vertical Gravity Gradient, Remove-Compute-Restore Method, Least-Squares Collocation*



## tc-cylinder.v1.0: Yüksek Çözünürlük ve Doğrulukta Vektör Tabanlı Topoğrafik Düzeltme Hesabı

### *tc-cylinder.v1.0: Vector Based Terrain Correction Calculation in High Resolution and Accuracy*

Sevda Olgun<sup>1,✉</sup>, Aydın Üstün<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Harita Mühendisliği, Kocaeli

<sup>2</sup>Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği, Ankara

✉ sevda.olgun@kocaeli.edu.tr

## Özet

Gravite alanı belirleme çalışmalarında yüksek doğruluklu ( $< 1$  mGal) gravite bilgisine gereksinim giderek artmaktadır. Yeryüzü seviyesindeki gravite verisine ilişkin topoğrafik düzeltmeler teorik olarak büyüklüğü 100 mGal'i aşan hatalarla yüklü olabilir. Kullanılan Sayısal Yükseklik Model (SYM) çözünürlüğü, yükseklik bilgisi doğruluğu, kitlelerin yanal yoğunluk bilgisi ve hesap yöntemlerindeki sorunlar istenen doğruluğun önündeki başlıca engellerdir. Son dönemde SRTM1" gibi yüksek çözünürlüklü SYM'ler ve global/bölgesel yoğunluk modelleri, doğrulukta anlamlı iyileşmeler kazandırmış olsa da topoğrafik düzeltme hesabında yöntem ve verimliliği esas alan algoritma ihtiyacı geçerliliğini korumaktadır.

'tc-cylinder' kullanıcı opsiyonlu olarak istenilen çözünürlükte yükseklik ve yoğunluk girdi verileriyle, yüzeyde veya yeriçinde düzeltme değerlerinin hızlı ve yüksek doğruluklu elde edilmesini sağlar. Hesap noktasının çevresindeki grid düğümlerinin özelliklerini temsil eden silindir parçalarının her biri ortalama yükseklik, yoğunluk ve konum bilgilerini taşımaktadır. Ayrıca, Newton integrali yüksek doğruluklu gravite etkisinin belirlenebilmesi için daha küçük silindir parçalarına ihtiyaç duyar. Yükseklik modelinin çözünürlüğünün yetersiz kalması durumunda integrasyon ile boş kompartmanlar tamamlanır ve doğruluğun anlamlı ölçüde düşmesi önlenir. Ayrıca, hesap noktasından uzaklaştıkça yüksek çözünürlüklü verinin işlenmesi, zaman ve depolama problemine dönüşebilir. C programlama dili işaretçileri kullanılarak daha kısa algoritma, daha az depolama alanı ve daha hızlı işleyen bir yapı tasarlamak amaçlanmıştır. Bu amaçla işaretçi yapısına uyan platformdan bağımsız NetCDF formatı girdi verisi tercih edilmiştir. Ayrıca, Intel mimarisinin ve derleyicisinin otomatik vektörleştirmede ve duraksız depolamada (streaming stores) sağladığı kolaylıklar ile program optimize edilmiştir. Vektörleştirme, programa paralellik kazandırılmakta, böylece bir komut veya işlem çoklu veri parçalarına uygulanabilmektedir. İşlemler bağımsız çekirdeklerde çalışırken, belleğe yazma işi bitene kadar veriler önbellekte yeniden kullanılmak üzere saklanmaktadır. Diğer yandan söz konusu verilerin tekrar kullanımı gerekmiyorsa önbelleği atlayarak doğrudan RAM'e göndermek (duraksız depolama) hesap işlemini daha verimli kılmaktadır. Duraksız depolama yöntemi Intel derleyicisi (icc) ile tüm hesap döngüler için uygulanmış ve önbellekten tasarruf edilmiştir. Önbellek depolama tekniği yerine duraksız depolama ile işlem hızı 2.5 kat iyileştirilmiştir. Sonuç olarak, 'tc-cylinder' topoğrafik düzeltme değerlerinin yüksek çözünürlük ve doğrulukta hızlı ve verimli hesaplanabilmesini sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Topoğrafik Düzeltme, Yüksek Çözünürlüklü SYM, İşaretleyici, Vektörleştirme, Duraksız Depolama

## Abstract

In gravity field determination investigations, the requirement for high-accuracy ( $< 1$  mGal) gravity information is increasing. Theoretically, terrain corrections of ground level gravity data can have errors of more than 100 mGal. The primary difficulties to achieving the required accuracy are the resolution of the Digital Elevation Model (DEM), the accuracy of the height information, the lateral density information of the masses, and problems with the calculation methods. Although high-resolution DEMs such as SRTM1" and global/regional density models have recently improved accuracy, the necessity for algorithms based on method and efficiency in terrain correction computations continues.



The 'tc-cylinder' allows the user to compute terrain corrections effectively and accurately on the surface or in the ground, optionally with the specified resolution, height, and density input data. Each of the cylinder segments representing the attributes of grid nodes around the calculation point has average height, density, and location data. Also, the Newton integral requires smaller cylinder segments to measure the gravity effect with high accuracy. If the resolution of DEM is insufficient, the empty compartments are filled with integration to prevent reducing accuracy dramatically. Furthermore, moving away from the calculation point can create a time and storage issue when processing high resolution data. It is intended to design a shorter algorithm, less storage space, and a faster functioning structure by using pointers in the C programming language. Input data in the platform independent NetCDF format that conforms to the pointer structure is ideal for this purpose. In addition, the program is optimized with automatic vectorization and streaming stores owing to the Intel architecture and compiler's convenience. Vectorization adds parallelism to the program, allowing one instruction or operation to be applied to numerous pieces of data at the same time. While processes execute on separate cores, data is stored in cache for reuse until the write-to-memory job is completed. If the data in question does not need to be reused, skipping the cache, and delivering it directly to RAM (streaming stores) speeds up the calculating process. In this study, the streaming stores strategy was used in conjunction with the Intel compiler (icc) for all loops to save caches. Using streaming stores instead of cache storage increased processing speed by 2.5 times. As a result, 'tc-cylinder' effectively calculates terrain corrections with high resolution and accuracy.

**Keywords:** *Terrain Correction, High-resolution DEMs, Pointers, Vectorization, Streaming Stores*



## **4. Oturum:**

# **REFERANS KOORDİNAT SİSTEMLERİ**

Oturum Başkanları:

Doç. Dr. Tevfik ÖZLÜDEMİR, Doç. Dr. Kamil TEKE

## ***Session 4:***

# ***REFERENCE COORDINATE SYSTEMS***

*Convenors:*

*Assoc. Prof. Tevfik ÖZLÜDEMİR, Assoc. Prof. Kamil TEKE*



## ICRF3 – Geodetic Aspects

Robert Heinkelmann<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>Helmholtz Centre Potsdam, German Research Centre for Geosciences (GFZ), Telegrafenberg, A17, 14473 Potsdam, Germany

✉ rob@gfz-potsdam.de

### Abstract

As documented by Resolution B2 of International Astronomical Union 2018, the international celestial reference frame 3 (ICRF3) is the current realization of the international celestial reference system: ICRS. ICRF3 establishes stationary axial directions in space at a precision level of about 10 micro arc seconds. Among all global reference frames, ICRF3 provides the spatial orientation with highest accuracy. The ITRF2014 realization of ITRS, in contrast, establishes reference directions w.r.t. the Earth surface that are approximately two orders of magnitude less precise. The causes of which are attributable to the variety of geodynamical processes that deform the Earth crust continuously. The objects used as reference points in ICRF3 are extragalactic, compact AGN (active galactic nuclei) at distances between about  $100 \cdot 10^6$  and  $10 \cdot 10^9$  lightyears to our Solar System.

ICRF3 is the third release of ICRS realizations based on very long baseline interferometry (VLBI) observations only. Its main advantage over its predecessor (ICRF2) is that for some hundreds of radio sources, positions are available at several wavelengths. Still, the majority of observations has been obtained at S- and X-band by the IVS (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry), but additionally X- and Ka-band (NASA, ESA) and K-band catalogues (VLBA and a baseline between South Africa and Australia) are part of ICRF3 as well. Each wavelengths solution is independent and provides interesting opportunities for comparisons and empirical quality assessments. One of the upcoming tasks will be to establish an ICRS realization for VGOS, the new generation of VLBI ground stations, which again observes at different wavelengths.

Since 2012, the ESA mission Gaia is revolutionizing optical astrometry allowing for a multitude of detailed scientific studies and for improved technical applications. Recently, Gaia has been accepted as the realization of ICRS in optical wavelengths (IAU Resolution B3 2021). Relying on AGN, the ICRF3-SX solution establishes the current datum of Gaia positions. AGN, however, are very faint at optical wavelengths. In order to realize the datum for the bright part of the Gaia dataset properly, D-VLBI observations of radio stars are a promising observing technique.

The presentation will cover general aspects of ICRS and a review of its various realizations. The main part will be a conceptual, qualitative and quantitative description of the ICRF3 including its objects and object categories “defining” and “others” and the associated selection criteria. The presentation will address the role of the celestial frames for astrometry and geodesy. Remaining deficits and new issues coming up through the evolution of equipment from classical S/X-VLBI to modern VGOS will be mentioned as well.

**Keywords:** *Celestial Reference Frames and Systems, VLBI, VGOS*





## Toward ITRF2020: Enhancing the Modelling of Nonlinear Station Motions

Zuheir Altamimi<sup>1,2,✉</sup>, Paul Rebischung<sup>1,2</sup>, Xavier Collilieux<sup>1</sup>, Laurent Métivier<sup>1,2</sup>, Kristel Chanard<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), France

<sup>2</sup>Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), Université de Paris, Paris, France

✉ zuheir.altamimi@ign.fr

### Abstract

In preparation for the ITRF2020, a number of combination software developments and updates were undertaken in order to enhance and improve the modelling of nonlinear station motions. While the adjustment of post-seismic deformation (PSD) parametric models for stations subject to major earthquakes will be rigorously determined on a station-by-station basis, significant periodic signals embedded in the station coordinates time series will be jointly determined during the ITRF2020 combination process. In addition to the classical annual and semi-annual frequencies, satellite draconitic periods will also be adjusted and their impact on the ITRF2020 results will be assessed. The ITRF2020 is expected to be provided in the form of an augmented reference frame so that in addition to station positions and velocities, parametric models for both PSD and seasonal signals (expressed in the CM frame of satellite laser ranging) will also be delivered to the users. After some introductory remarks, the presentation recalls the main features of data analysis and shows major preliminary results, focusing on the frame origin and scale parameters, horizontal and vertical velocity fields, the level of technique consistencies of nonlinear station motions (PSD functions and seasonal signals) at colocation sites, as well as some performance indicators of the ITRF2020.

**Keywords:** ITRF, ITRF2020, Nonlinear Station Motions



## Earth Orientation Parameters – an Important Dataset for Science and Society

Robert Heinkelmann<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>Helmholtz Centre Potsdam, German Research Centre for Geosciences (GFZ), Telegrafenberg, A17, 14473 Potsdam, Germany

✉ rob@gfz-potsdam.de

### Abstract

Earth Orientation is the difference of celestial and terrestrial orientations of geocentric reference systems. The corresponding set of parameters are the Earth Orientation Parameters (EOP). The EOP are offsets to the celestial pole coordinates computed with the conventional IAU2000A model: dX, dY, celestial pole offsets (CPO), the terrestrial pole coordinates  $x_p$ ,  $y_p$ , and the phase offset between celestial and terrestrial intermediate origins on the CIP (celestial intermediate pole) equator: ERA (Earth Rotation Angle). Besides these five parameters, there are other parameters in use, such as length of day (LOD), most of which are time derivatives of the before mentioned five. The EOP are typically disseminated at integer midnight epochs with diurnal resolution. Interpolation at other daytimes can be done applying conventional models of sub-daily Earth rotation variation. Official datasets date back to the early 80ies, since the advent of the space geodetic techniques. Other EOP datasets involve optical astrometric observations and therefore start already in the 19<sup>th</sup> century.

The EOP have practical relevance for connecting the terrestrial and celestial reference frames. Doing so, they enable the data analysis of space geodetic techniques and allow for ground-based astronomy. They are applied for the attitude control of satellites and the planning and controlling of space missions and the associated orbits. The rotational speed of Earth also serves as a time scale called mean solar time (UT1~ERA), which is required to keep the civil time that is based on the atomic time compatible SI second attached to the local apparent position of Sun.

From the scientific point of view, the EOP contribute to the basic research of solid Earth. As drilling is not (yet) possible below about 20 km, the rotational motion of Earth provides valuable insides about its interior. Other rotational variations are due to angular momentum exchange between solid, liquid and gaseous envelopes of Earth. As the rotational state observed with ground-based space geodetic techniques displays the geometric situation for solid Earth only, comparisons with the centrifugal potential as a part of Earth time-variable gravity field can only be done, if the contributions due to the fluid envelopes are adequately modelled and subtracted. On the long-term, the speed of Earth rotation decreases due to tidal friction, which in turn leads to a growing lunar semi-major axis due to the exchange of angular momentum with the lunar orbit. Earth rotation is one of the oldest disciplines of astronomy. However, it is still a topic of modern scientific interest. Currently, the international community concentrates on the consistency of the EOP with the corresponding reference systems and on aspects of predictability of the dataset.

The presentation will cover general aspects of Earth rotation and a review of the current official EOP products. The main part will be a conceptual, qualitative and quantitative description of the parameters including their definition and observation by space geodetic techniques. Other sensors for Earth rotation determination are not mentioned. The focus of the presentation will be on the role of the EOP for geodesy.

**Keywords:** Earth Orientation Parameters (EOP), Celestial Reference Frames and Systems, Terrestrial Reference Frames and Systems



## Güncel TUREF Hız Alanı Modelinin Uzun Dönemli GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesiyle Oluşturulması

### *Semi-Kinematic Reference Frame Realization in Turkey and Determination of an Improved Velocity Field Model*

Ali İhsan Kurt<sup>1,✉</sup>, Ali Değer Özbakır<sup>2</sup>, Ayhan Cingöz<sup>1</sup>, Uğur Doğan<sup>3</sup>, Semih Ergintav<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Harita Genel Müdürlüğü, Tıp Fakültesi Cad., 06590 Çankaya, Ankara

<sup>2</sup> Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 34684 Çengelköy, İstanbul

<sup>3</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34220 Esenler, İstanbul

✉ alihsan.kurt@harita.gov.tr

## Özet

Ülke çapında yüksek duyarlıklılı ve küresel bir referans koordinat sistemi gereksinimini karşılamak için Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) 1997-1999 yılları arasındaki ölçmelerle, homojen olarak dağılmış 594 noktada kurulmuştur. TUTGA'nın hesaplandığı dönemdeki güncel Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRS)'nin çözümü olan ITRF96, Türkiye için referans koordinat sistemi olarak kabul edilmiş ve 2005.0 epogu referans epogu seçilerek ülkemizin ITRF tabanlı modern jeodezik datumu Türkiye Ulusal Referans Koordinat Sistemi (TUREF) tanımlanmıştır.

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği kapsamında referans noktası üreten kullanıcıların ölçme epogunda ürettikleri jeodezik nokta koordinatlarını referans epoguna (2005.0) kaydırmak için noktaların hız bilgisini de üretmeleri gerekmektedir. Söz konusu Yönetmeliğe göre kullanıcılar, güncel TUTGA/TUSAGA-Aktif nokta hızlarından idare tarafından belirlenen enterpolasyon yöntemini kullanarak hız bilgisi hesaplamaktadır. Yönetmelikte tektonik durum ile ilgili herhangi bir husus yer almadığı için hangi noktaların enterpolasyonda kullanılacağına yönelik sorunlar oluşabilmektedir. Diğer bir deyişle, fay hatlarına ya da genel bölgesel karakteristiğe uygun olarak seçilmeyen enterpolasyon noktaları, yeni nokta hızlarının belirlenmesinde hataya sebep olabilmektedir. Bu çalışmada, kullanıcılara nokta koordinatını girdiğinde hız bilgisine ulaşabileceği standart bir hız alanı sunabilmek amaçlanmıştır.

Bu amaç kapsamında, öncelikle yeniden veri değerlendirme çalışmaları ile tarihsel tüm GNSS verileri, homojen bir veri değerlendirme stratejisi, güncellenen uydu yörüngeleri ve yer dönme parametreleri kullanılarak değerlendirilmiş ve güncel zaman serileri ve nokta hızları elde edilmiştir. GNSS noktalarının zaman serilerinin analizi ve çapraz doğrulama teknikleri ile uyumsuz olan nokta hızları ayıklandıktan sonra ortalama 37 km nokta aralığında ve 836 noktadan hız alanı, güncel ITRF2014 referans sisteminde elde edilmiştir. Söz konusu hızlar ITRF dönüşüm parametreleri kullanılarak ülke ulusal datumu olan TUREF hızlarına dönüştürülmüştür. TUREF datumunda elde edilen tüm nokta hızları, kümeleme analizi ile 5 bölgeye ayrılmıştır. Bölgelere ayrılan hızlardan, kendi içinde 0.1 derece örnekleme aralığında grid dosyaları oluşturulmuştur. Harita Genel Müdürlüğü web sitesinde test amaçlı olarak yayımlanması amacıyla, kullanıcıların konumlarını girdiklerinde hızlarını hesaplayabilecekleri bir web uygulaması geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hız Alanı, GNSS, Deformasyon, TUTGA, TUSAGA

## Abstract

In order to meet the need for a three dimensional modern reference coordinate system nationwide, Turkish National Fundamental GPS Network (TNFGN) was established between 1997-1999 with 594 homogenously distributed sites. International Terrestrial Reference Frame-96 (ITRF96) which was the realization of International Terrestrial Reference System (ITRS) at the time TNFGN calculated, was adopted as the Turkish reference coordinate frame at epoch 2005.0 and Turkish Reference Frame (TUREF) was named as an ITRF based national modern geodetic datum.

Surveyors who establish reference control points within the context of Large Scale Mapping and Geospatial Data Production Directive of Turkey should also produce velocity for each point in order to have the coordinates at epoch 2005.0. According to the mentioned Directive, users estimate the velocity



information from the TNFGN/TNPGN sites by using an interpolation method determined by the Administration. As there are no guidelines in the Directive explaining the tectonic situation in Turkey, users may encounter problems selecting the interpolation sites. In other words, interpolation sites which are not selected according to the fault zones or general tectonic characteristic of the region, may cause blunders while calculating the velocities of the new sites. In this study, it is aimed to present a standard velocity field that users can access velocity information when they enter the point coordinates.

Within this concept, by processing all historical GNSS data using a homogeneous data analysis strategy, updated satellite orbits and Earth Orientation Parameters, more consistent time series and velocities are achieved. After removing outlier velocities by inspecting time series and applying cross validation analysis, we obtained the current ITRF2014 velocity field consisting of 836 sites with an interstation distance of 37 km averaged. Those velocities are transformed to TUREF velocities using ITRF transformation parameters. TUREF velocities are divided into 5 regions by cluster analysis. 0.1 degrees sampled grid files are obtained separately from 5 regions. A web application is developed for the users at the web site of General Directorate of Mapping.

**Keywords:** *Velocity Field, GNSS, Deformation, TNFGN, TNPGN*



## Towards a Global Unified Height System

Laura Sanchez<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, Technische Universität München (DGFI-TUM), Munich, Germany

✉ [lm.sanchez@tum.de](mailto:lm.sanchez@tum.de)

### Abstract

The International Height Reference System (IHRF) was introduced by the International Association of Geodesy (IAG) in 2015 to provide a global standard for the precise determination of physical heights. The IHRF is based on the combination of a geometric component given by coordinates  $\mathbf{X}$  referring to the International Terrestrial Reference Frame (ITRF), and a physical component given by the determination of potential values  $W_P$  at the positions  $P$  defined by the ITRF coordinates. The primary vertical coordinate is the geopotential number ( $-\Delta W_P = C_P = W_0 - W_P$ ), which may easily be converted to a metric physical height (orthometric, normal or dynamic height). The IHRF vertical datum is realised by the equipotential surface of the Earth's gravity field defined by the conventional value  $W_0 = 62\,636\,853.4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ . The realisation of the IHRF is the International Height Reference Frame (IHRF). The IHRF realises the IHRF in two ways: physically, by a set of globally distributed reference stations, and mathematically, by the precise determination of potential values at the reference stations. Thanks to a strong international cooperation hosted by the IAG, a first proposal for the IHRF reference network is completed. Present efforts concentrate on the determination of the potential values at the global IHRF reference stations. After evaluating different computation approaches, a standard procedure to determine potential values based on existing regional and global gravity field models was compiled and applied to release a first preliminary IHRF solution. This contribution summarises advances and present challenges in the establishment of the IHRF/IHRF.

**Keywords:** *Global Unified Height System, International Height Reference System and Frame, Global Vertical Datum, World Height System*



## Türkiye Düşey Koordinat Referans Çerçevesi

### Vertical Coordinate Reference Frame of Turkey

Mehmet Simav<sup>1,✉</sup>, Ali İhsan Kurt<sup>1</sup>, Ayhan Cingöz<sup>1</sup>, İlyas Akpınar<sup>1</sup>, Yunus Aytaç Akdoğan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harita Genel Müdürlüğü, Tıp Fakültesi Caddesi, 06590, Cebeçi/ANKARA

✉ mehmet.simav@harita.gov.tr

### Özet

ISO 19111:2019 Coğrafi Bilgi – Koordinatlarla Referanslandırma dokümanına göre, uzaydaki bir objeyi benzersiz bir şekilde referanslandırmaya yarayan sabitler, parametreler ve matematiksel kurallar bütünü olarak tanımlanan Koordinat Referans Sistemi (KRS)'nin, datum ve koordinat sistemi olmak üzere iki bileşeni vardır. Datum, koordinat sisteminin başlangıcını, ölçeğini ve oryantasyonunu tanımlayan parametre veya parametreler seti olup, KRS'nin Yer ile ilişkilendirilmesini sağlar. Koordinat sistemi ise, söz konusu objeye koordinatların nasıl atanacağını belirten matematiksel kurallardır. Dolayısıyla KRS kısaca, datum vasıtasıyla Dünya ile ilişkilendirilmiş koordinat sistemi anlamına gelmektedir. Bu tanımdan hareketle, düşey datum ve yükseklik/derinlik bileşeni içeren bir koordinat sisteminden oluşan sisteme düşey KRS adı verilmektedir. KRS'nin yeryüzündeki fiziksel noktalar ile gerçekleşimi Koordinat Referans Çerçevesi (KRÇ) olarak adlandırılır. Halihazırda dünya genelinde birçok ülke lokal veya bölgesel düşey KRÇ kullanmaktadır. Son yıllarda Uluslararası Jeodezi Birliği bünyesinde global birleşik yükseklik sistemi ve uluslararası yükseklik referans sistemi/çerçevesi konusunda çalışmalar devam etmektedir. Bu bildiride; Türkiye düşey KRÇ'si, Avrupa düşey KRÇ'si ve global birleşik yükseklik sistemi ile ilişkisi, bugüne kadar hesaplanan Türkiye jeoit modelleri, ulusal yükseklik sistemi modernizasyonu projesi ve modernizasyon sonrası devam eden çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Düşey Koordinat Referans Çerçevesi, Nivelman Ağı, Türkiye Jeoit Modelleri, Yükseklik Sistemi Modernizasyonu.

### Abstract

In accordance with ISO 19111:2019 Geographic information - Referencing by coordinates document, a Coordinate Reference System (CRS), which defines the constants, parameters and mathematical rules needed for uniquely referencing a given object in space, contains two different elements: the datum and the coordinate system. The datum means a parameter or set of parameters that define the position of the origin, the scale, and the orientation of a coordinate system, and it relates the CRS to the Earth. The coordinate system means a set of mathematical rules for specifying how the coordinates are to be assigned to points. Therefore, a CRS means a coordinate system which is related to the Earth by a datum. By definition, a vertical CRS is composed of a vertical datum and a coordinate system with a height/depth component. A CRS is realized by a set of physical points and their coordinates. The realization is known as Coordinate Reference Frame (CRF). Most countries today use local or regional vertical CRFs. However, the International Association of Geodesy has been coordinating the establishment of a global unified height system and International Height Reference System/Frame (IHRF/IHRF). This proceeding summarizes the vertical CRF of Turkey, its relation to European vertical CRF, Turkish geoid models computed so far, and the activities during and after the national height system modernization project.

**Keywords:** Vertical Coordinate Reference Frame, Levelling Network, Geoid Models of Turkey, Height System Modernization.





## **5. Oturum:**

# **JEODEZİDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI**

Oturum Başkanları:

Prof. Dr. Orhan AKYILMAZ, Dr. Öğr. Üyesi Murat DURMAZ

## ***Session 5:***

# ***ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN GEODESY***

*Convenors:*

*Prof. Orhan AKYILMAZ, Asst. Prof. Murat DURMAZ*



## Acemi Zekâ Çağında Mekânsal Zekâ

### *GeoAI in the Age of Unexperienced Intelligence*

Caner Güney<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Sarıyer, İstanbul*

✉ [guneycan@itu.edu.tr](mailto:guneycan@itu.edu.tr)

#### Özet

Yapay zekâ ve etrafında kümelenen büyük veri, bulut bilişim, nesnelerin interneti, robotik gibi diğer kavramlar birçok uygulamalı bilimin, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin çalışma yöntemlerini evirmektedir. Jeodezi biliminde ve Geomatik/Harita mühendisliği uygulamalarında da gözlem ve ölçme sistemlerinden bulut ortamında çalışan bilgi sistemlerine kadar geniş bir yelpazede mekânsal zekâ özellikli yenilikçi çözümler geliştirilmeye başlanmıştır.

Yerin merkezinden uzayın derinliklerine ve siber dünyaya kadar her yerde gerçekleşen olguların ve insan faaliyetlerinin mekânsal modellemesinde, analizinde, görselleştirilmesinde, mekânsal problemlerin çözümünde ve mekânsal karar vermede yapay zekâ yöntemlerinin diğer gelişkin teknolojilerle birlikte toplum yararına kullanımı mekânsal zekâ (GeoAI) olarak tanımlanabilir.

Endüstri 4.0 devrimi içinde önemli bir yere sahip olan yapay zekâ, neredeyse tüm disiplinlerin ve sektörlerin üretim yaklaşımlarında bir paradigma değişimine neden olmuştur. Büyük veri çağında bu paradigma değişimini idrak edebilmek için yapay zekanın geçmişi, bugünü ve geleceği üzerine düşünmek, yapay öğrenmedeki kavramsal yaklaşımların nasıl gerçekliğe dönüştüğünü anlayabilmek gereklidir. Ancak bu tür bir düşünsel altyapı üzerine mekânsal zekanın yapay zekadan nasıl yararlanabileceği kurgulanabilir.

Makine öğrenmesi, derin öğrenme gibi yapay öğrenme tekniklerinin uygulanması sırasında gerekli olan ilk bileşen veri olarak kabul edilir. Dünya genelinde farklı ölçeklerde, farklı ayrıntı düzeylerinde uzamsal verinin üretimi ve depolanması yaygınlık kazanmış, diğer bir ifadeyle mekânsal bilgi üretimi için dijital dönüşüm neredeyse tamamlanmıştır. Global ölçekte ‘Global Geodetic Observing System (GGOS)’, ulusal düzeyde farklı kurumların gerçekleştirdiği sürekli çalışan GNSS ağları, ortofoto projeleri ve/veya Göktürk uyduları bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Bu aşamadan sonra sıradaki adım mekânsal zekâ yaklaşımıyla sözü edilen mekânsal veri kümelerinden anlamlı sonuçları çıkarabilmektir.

Mekânsal zekâ yalnız yapay öğrenme teknikleri kullanılarak örüntü tanıyan, görüntüler ve diğer mekânsal veriler üzerinde sınıflandırma yapan araç olarak algılanmamalıdır. Aynı zamanda veriler üzerinden öğrendiklerini kullanarak akıl yürütmeler gerçekleştiren ve çıkarımlar yapabilen bir yaklaşım olarak da düşünülmelidir. Bu durumda araştırmacılar, uygulayıcılar ve karar vericiler için diğer bir zihinsel dönüşüm evresini gerektirir.

Çalışma kapsamında makinelerin öğrenme süreçleri ve mekânsal dünyaya olan etkileri üzerinde durulacaktır. Ayrıca, çok hızlı gelişen yapay zekâ yaklaşımını jeodezi biliminde etkin biçimde kullanabilmek için geomatik mühendislerinin kendi doğal düşünme yetisini ne şekilde yönlendirmesi gerektiği konusu ele alınacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** *Mekânsal Zekâ, Yapay Öğrenme, Derin Öğrenme*

#### Abstract

Artificial intelligence and other concepts such as big data, cloud computing, internet of things, robotics, which are clustered around it, evolve the working methods of many applied sciences, research and development activities. In Geodesy science and Geomatics/Map engineering applications, innovative solutions with geospatial intelligence have started to be developed in a wide range from observation and measurement systems to information systems operating in the cloud environment.



Geospatial intelligence (GeoAI) can be defined as the use of artificial intelligence methods together with other advanced technologies in the spatial modeling, analysis, visualization of phenomena and human activities that occur everywhere from the center of the earth to the depths of space and the cyber world, in solving spatial problems and in spatial decision making.

Artificial intelligence, which has an important place in the Industry 4.0 revolution, has caused a paradigm shift in the production approaches of almost all disciplines and sectors. In order to comprehend this paradigm shift in the age of big data, it is necessary to think about the past, present and future of artificial intelligence and to understand how the conceptual approaches in artificial learning turn into reality. On such an intellectual infrastructure, how spatial intelligence can benefit from artificial intelligence can be constructed.

The first component required during the application of machine learning techniques such as machine learning and deep learning is considered as data. The production and storage of spatial data at different scales and different levels of detail has become widespread throughout the world, in other words, the digital transformation for the production of spatial information is almost complete. Global Geodetic Observing System (GGOS) on a global scale, continuously operating GNSS networks carried out by different institutions at the national level, orthophoto projects and/or Göktürk satellites can be given as examples. After this stage, the next step is to draw meaningful results from the spatial datasets mentioned with the spatial intelligence approach.

Spatial intelligence should not be perceived as a tool that recognizes patterns and makes classifications on images and other spatial data using only artificial learning techniques. At the same time, it should be considered as an approach that makes reasoning and can make inferences by using what it has learned over the data. In this case, it requires another phase of mental transformation for researchers, practitioners and decision makers.

Within the scope of the study, the learning processes of machines and their effects on the spatial world will be emphasized. In addition, it will be discussed how geomatics engineers should direct their natural thinking ability in order to effectively use the rapidly developing artificial intelligence approach in geodesy science.

**Keywords:** *Geospatial Intelligence (GeoAI), Artificial Learning, Deep Learning*

## Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Jeoid Ondülasyon Değerlerinin Tahmini için Bayesian Regularization ve Levenberg-Marquardt Eğitim Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

### *Comparative Analysis of Bayesian Regularization and Levenberg-Marquardt Training Algorithms for Prediction of the Geoid Undulation Values Using Artificial Neural Network*

Berkant Konakoğlu<sup>1,✉</sup>, Alper Akar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 05100, Amasya

<sup>2</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 24000, Erzincan

✉berkantkonakoglu@amasya.edu.tr

## Özet

Klasik nivelman ölçümleri ile mühendislik uygulamalarında kullanılan ortometrik yükseklikleri bulmak çok zor ve zaman alıcı olmasına rağmen, GNNS tekniği ile belirlenen elipsoid yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere dönüşüm daha kolaydır. Ancak bu dönüşüm için jeoid ondülasyon değerlerinin kesin doğrulukla bilinmesi gerekir. Bu bağlamda bu çalışmada, yapay sinir ağlarına (YSA) ait Bayesian Regularization (BR) ve Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritmalarının, jeoid ondülasyon değerlerinin modellenmesi ve tahmininde uygulanması değerlendirilmektedir. Sinir ağı modelleri, Rize, Türkiye için yapılan bir dizi ölçümden (414 C3 noktası) alınan veriler kullanılarak geliştirilmiştir. Veri seti iki bölüme ayrılmıştır. İlk kısım ağı eğitmek için kullanılmıştır (373 C3 noktası, tüm veri setinin %90'ı). Kalan 41 C3 noktası test işlemi için kullanılmıştır. Gizli katman için gereken optimal nöron sayısı, her bir algoritma için nöronların 5 ile 25 arasında değişen çeşitli topolojiler incelendikten sonra belirlenmiştir. İstatistiksel ve grafiksel sonuçlara dayanarak LM algoritması en iyi doğruluğu vermiştir. BR algoritması için sırasıyla en düşük KOH, OMH ve  $R^2$  değerleri 5.95 cm, 6.80 cm ve 0.99929 olarak elde edilmiştir. En düşük KOH, OMH ve  $R^2$  değerleri 5.27 cm, 4.88 cm ve 0.99945 LM algoritması için kaydedilmiştir. Her iki algoritmanın sonuçları karşılaştırıldığında, LM algoritması daha doğru bir model uydurma ve daha verimli bir tahmin yeteneği ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Sinir Ağları (YSA), Bayesian Regularization (BR), Jeoid Ondülasyonu, Levenberg-Marquardt (LM), Eğitim Algoritması

## Abstract

Although it is very difficult and time consuming to find orthometric heights used in engineering applications with classical leveling measurements, conversion from ellipsoid heights determined by GNNS technique to orthometric heights is easier. However, the geoid undulation values with certain accuracy must be known for this transformation. In this context, this study evaluates the application of Bayesian Regularization (BR) and Levenberg-Marquardt (LM) training algorithms of artificial neural networks (ANNs) in the modeling and prediction of geoid undulation values. The neural network models were developed using data from a set of measurements (414 C3 points) made for Rize, Turkey. The data set was divided into two parts. The first part was used to train the network (373 C3 points, 90% of the whole data set). The remaining 41 C3 points were used for testing process. The optimal number of neurons required for the hidden layer was determined after examining several topologies wherein the neurons were varied from 5 to 25 for each of the algorithms. Based on the statistical and graphical results, the LM algorithm gave the best accuracy. For the BR algorithm, the least RMSE, MAE and  $R^2$  values of 5.95 cm, 6.80 cm, and 0.99929 were obtained, respectively. The least RMSE, MAE and  $R^2$  values of 5.27 cm, 4.88 cm, and 0.99945 were recorded for the LM algorithm. Comparing to the results of the both algorithms, the LM algorithm reveals a more accurate model fitting and a more efficient predicting ability.

**Keywords:** Artificial Neural Networks (ANNs), Bayesian Regularization (BR), Geoid Undulation, Levenberg-Marquardt (LM), Training algorithm



## Yerel Jeoidin Modellenmesinde Yapay Sinir Ağları ve Universal Kriging Enterpolasyon Yöntemlerinin Kullanılabilirliği

### *Usability of Artificial Neural Networks and Universal Kriging Interpolation Methods in Modelling the Local Geoid*

Merve Ocak<sup>1,✉</sup>, Leyla Çakır<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, 61080, Trabzon

✉ merveocak@ktu.edu.tr

## Özet

Teknolojinin gelişmesi ve uydu tekniklerinin yaygınlaşmasıyla birlikte bir noktaya ait konum bilgisinin GNSS (Küresel Konum Belirleme Sistemleri) ölçüm teknikleri ile pratik, ekonomik ve hızlı bir şekilde elde edilmesi, bu tekniğin yersel ölçüm tekniklerine kıyasla sahada kullanımını arttırmıştır. GNSS ölçüm teknikleri ile elde edilen yatay konum bilgisi doğrudan kullanılabilirken dikey konum bilgisi olan elipsoid yüksekliği fiziksel bir anlam taşımadığından dolayı haritacılık faaliyetlerinde doğrudan kullanılamamaktadır. Bu sebeple elipsoid yüksekliklerin pratikte kullanılan ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm için de jeoid yüksekliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Jeoid yükseklikleri de Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde (BÖHHBÜY) önerildiği gibi lokal bir çalışma alanında GNSS/Nivelman ölçülerinde yararlanarak jeoidin modellenmesi ile kolaylıkla elde edilebilir. Bu çalışmada kullanılan veriler Tapu ve Kadastro IX. Bölge Müdürlüğü tarafından Trabzon'da yapılan çalışmalar kapsamında oluşturulmuş C3 dereceli noktalardır. Yaklaşık olarak 4700 km<sup>2</sup>'lik alanda bulunan 355 adet C3 dereceli nokta ile enterpolasyon tekniklerinden yaygın olarak kullanılan universal kriging (UK) enterpolasyon yöntemi, yapay zekanın alt dallarından biri olan yapay sinir ağlarından (YSA) çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA) ve genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları (GRYSA) yöntemlerine göre yerel jeoidin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yöntemlerin uygulanmasında kullanılan veriler dayanak ve test noktaları olarak iki gruba ayrılmış olup dayanak noktalarının belirlenmesinde noktaların çalışma alanında homojen dağılımda olmasına ve jeoid modeli en iyi temsil edecek yerlerde olmasına dikkat edilmiştir. Dayanak noktaları referans alınarak oluşturulan jeoid modellerinde, test noktalarına ait gerçek jeoid yükseklik değerleri ile UK, ÇKA ve GRYSA yöntemlerinden hesaplanan jeoid yükseklik değerlerinden elde edilen farklar istatistiksel olarak irdelenmiştir. Kullanılan yöntemlerden jeoid modellemede en iyi duyarlılığa sahip sonuçlar ÇKA yöntemi ile elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Jeoid, Universal Kriging, Yapay Sinir Ağları

## Abstract

With the development of technology and the widespread use of satellite techniques, obtaining the location information of a point with GNSS (Global Positioning Systems) measurement techniques, practical, economical and fast, has increased the use of this technique in applications compared to terrestrial measurement techniques. Although the horizontal position information obtained by GNSS measurement techniques can be used directly, the vertical position information, which is the ellipsoid height, cannot be used directly in surveying activities because it has no physical meaning. Therefore, heights need to be converted to orthometric heights used in practice. The geoid height is also needed for this transformation. Geoid heights can also be easily obtained by modelling the geoid by using GNSS/Leveling measurements in a local study area, as recommended in the Large Scale Map and Map Information Production Regulation (LSMMIPR). The data used in this study are C3 points created by the Land Registry and Cadastre IX. Regional Directorate within the scope of the studies carried out in Trabzon. It is aimed to determine the local geoid with 355 C3 points located in the area of approximately 4700 km<sup>2</sup>, according to with the universal kriging (UK) interpolation method, which is one of the widely used interpolation techniques, multi layer



perceptions (MLP) and generalized regression neural network (GRNN) methods from artificial neural networks (ANN), which is one of the sub-fields of artificial intelligence. The data set used in the methods were divided into two groups as reference and test points. While determining the reference points, the selection was made according to the homogeneous distribution of the points in the study area and the locations that would best represent the geoid model. In the geoid models created based on reference points, the differences between the real geoid height values of the test points and the calculated geoid height values from the UK, MLP and GRNN methods of these points were examined statistically. Among the methods used, the results with the best precision in geoid modelling were obtained with the MLP method.

**Keywords:** *Geoid, Universal Kriging, Artificial Neural Network*





## GRACE-benzeri Toplam Su Bütçesi Değişim Modellerinin Derin Öğrenme Algoritmaları ile Simülasyonu

### *The Simulation of GRACE-like Terrestrial Water Storage Anomaly Models using Deep Learning Algorithms*

Metehan Uz<sup>1,\*</sup>, Kazım Gökhan Atman<sup>2</sup>, Merve Keleş<sup>1</sup>, Tuğçe Ay<sup>1</sup>, Bihter Tandoğdu<sup>1</sup>, Orhan Akyılmaz<sup>1</sup>, C.K. Shum<sup>3,4</sup>, Yu Zhang<sup>3</sup>, Hüseyin Mercan<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>The School of Mathematic Sciences, Queen Mary University of London, London, United Kingdom

<sup>3</sup>The School of Earth Sciences, Ohio State University, Columbus, Ohio, United States

<sup>4</sup>Innovation Academy for Precision Measurement Science and Technology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, China

<sup>5</sup>Geomatik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

\*uzme16@itu.edu.tr

## Özet

2002 yılı Nisan ayından 2017 yılı Haziran ayına kadar yörünge dolanımı gerçekleştiren GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) misyonunun yanı sıra 2018 yılı Mayıs ayında yörüngeye fırlatılan ve halen aktif olarak görev alan GRACE-FO (-Follow On) misyonu görev sürelerince yeryuvarının toplam su bütçesi değişimlerinin (TSBD) modellenmesine katkı sağlamaktadır. Gerek uydu konfigürasyonu gerekse yörünge manevraları gibi yapay etkilerin varlığı ile GRACE/-FO misyonlarına ait ölçü ve gözlemlerle kestirilen gravite alanı modellerinde boşluklar bulunmaktadır. Ayrıca iki misyonun aktif oldukları zaman periyotları arasında 11 aylık boşlukta (2017 Temmuz – 2018 Mayıs) vardır. Son yıllarda 11-aylık boşluğun elde edilebilirliği Makine ve/veya Derin öğrenme (MÖ, DÖ) teknikleri kullanılarak araştırılmaya başlanmıştır. GRACE-benzeri TSBD modellerinin DÖ algoritmaları kullanılarak kestirilmesi ve bu boşluğun doldurulmasında hidroklimatik verilerinin (yağış, sıcaklık, buharlaşma v.b.) sahip olduğu mekânsal-zamansal değişimlerin de dikkate alınması sıkça uygulanır hale gelmiştir. Bu çalışma kapsamında, Convolutional Neural Network (CNN), Deep Convolutional AutoEncoder (DCAE) ve Bayesian Deep Convolutional encoder-decoder Networks (BCNN) algoritmaları kullanılarak GRACE-benzeri TSBA modelleri sadece karaları içerecek biçimde elde edilmiştir. Çalışma literatürde şu ana kadar uygulanmamış olan iki özgün amacı kapsamaktadır; (i) SWARM uydu misyonuna ait Küresel Harmonik Katsayılardan hesaplanan TSBD modelleri girdi verisi olarak ele alınmış ve böylece gravite alanının uzun dalga boylu sinyalinin simülasyon modellerine başarılı bir şekilde aktarılması sağlanmıştır. Öte yandan (ii) aylık modellerin sahip oldukları zaman bilgisi de girdi verisi olarak kullanılarak kestirilen sinyallerin trend ve mevsimsel davranışının anlamlı bir şekilde modellenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)'ye ait ERA5-Land modelinin sahip olduğu veya türetilen yağış, sıcaklık ve kümülatif su bütçesi değişimi gibi veriler hidroklimatik girdi verileri olarak kullanılmıştır. Böylece üç farklı DÖ algoritması kullanılarak Ocak 2014 ile Aralık 2020 ayları arasında tanımlı GRACE-benzeri TSBD simülasyon modelleri elde edilmiştir. Modellerin başarısı hem matematiksel hem de fiziksel anlamda test edilmesi amacıyla iç ve dış doğrulama işlemlerine tabii tutulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** GRACE ve GRACE-FO Uydu Misyonları, GRACE-benzeri TSBD, Derin Öğrenme Algoritmaları

## Abstract

The Terrestrial Water Storage Anomalies (TWSA) have been modelled using GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) observations from April 2002 to June 2017 and GRACE-FollowOn observations until May 2018. There are data gaps in time period of the gravity field due to the orbit configuration and artificial effects such as manoeuvres. In addition, there is 11'th months gap between, i.e., July 2017 and May 2018, GRACE and GRACE/-FO. Nowadays, GRACE-like TWSA simulations are studied using Deep Learning (DL) and/or Machine Learning (ML) algorithms in order to model and fill to this gap considering hydro-climatic variables, i.e., precipitation and/or temperature data. In this study, Convolutional Neural Network (CNN), Deep Convolutional AutoEncoder (DCAE) and Bayesian Deep Convolutional encoder-decoder Networks (BCNN) are used to simulate GRACE-like TWSA



models only including land areas on Earth. There are two novel ideas which are listed as; (i) the long wavelength of the gravity field of SWARM satellites are considered as input to utilize gravitational information sensed by SWARM satellites, (ii) the normalized day-of-year (nDOY) of monthly models are also considered as input in order to determine the trend and seasonal behaviour of simulated TWSA significantly. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA5-Land datasets is also used as hydro-climatic input that are precipitation, temperature, and the cumulative water storage changes. Thus, the three different DL algorithms are utilized to simulate GRACE-like TWSA models between January 2014 and December 2020. The achievement of the simulated TWSA models is evaluated mathematically and physically considering in the internal and external validation.

**Keywords:** *GRACE and GRACE/-FO missions, GRACE-like TWSA, Deep Learning Algorithms*



## Application of Machine Learning in Geodesy: Prediction, Detection, and Automation

Benedikt Soja<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>ETH Zurich, Switzerland

✉soja@ethz.ch

### Abstract

In recent years, the amount of geodetic data has grown dramatically. In particular, there has been a strong increase in stations and satellites of the Global Navigation Satellite Systems (GNSS). At the same time, there have been significant methodological and computational advances, with the potential to better exploit the growing amount of data for science and society. A major development in this respect has been the success of data science and machine learning, in particular deep learning, in various fields.

In this talk, I will give an overview of the application of machine learning in geodesy. For certain geodetic problems, including parameter prediction, anomaly detection, and automation, machine learning is especially promising. At ETH Zurich, we have put significant efforts in solving such problems with artificial intelligence. I will present examples concerning the detection of discontinuities in GNSS station position time series, the prediction of Earth orientation parameters, and the automation of scheduling very long baseline interferometry experiments.

**Keywords:** Machine Learning, Parameter Prediction, Anomaly Detection, GNSS, EOP



## Yapay Zekanın Jeodezik Tomografisi

### A Geodetic Tomography to Artificial Intelligence

Orhan Kurt<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi Karamürsel MYO, Karamürsel, Kocaeli, Türkiye

✉ orhankurt@gmail.com

#### Özet

Yapay Zeka (YZ) çalışmaları günümüzde geniş uygulama alanı bulmuştur. Bunun nedeni kullanıcıların GNU ortamda hazırlanmış olan verilere ve alt programlara İnternet üzerinden kolayca ulaşabilmesidir. Buna ek olarak, bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte YZ sistemleri kullanıcının modelleme ve yorumlama yükünü de azaltmıştır.

YZ ile ilgili yazılı ve görsel kaynaklara (bildiriler, makaleler, kitaplar, vb.) bakıldığında, çoğunlukla tanımsal bilgiler verilmekte, teknik aşamaları çok kapalı olarak işlenmektedir. Bu nedenle YZ çalışmalarının hangi boşluğu doldurduğu iyi anlaşılmamaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, YZ sistemlerinin, bilimsel ve mühendislik problemlerinde hangi aşamaya hizmet ettiğini tartışmaktır. Bu bildiride, Kararlı Hesaplama (KH) ile YZ (ya da Esnek Hesaplama, EH) tekniklerinin karşılaştırmasını aşağıda sıralanan maddeler üzerinden yapmaktır.

\* KH yöntemlerinde iki tür nicelik vardır. Ölçüler (veriler) ve model parametreleri (söz gelimi jeodezik problemde ölçüler; uzunluk, açı, gravite, zaman, vb ve model parametreleri; genellikle nokta konum bilgileridir). YZ problemlerinde ölçüler (girilen veriler) ve ağırlıklar ise model parametreleridir. YZ yöntemindeki ağırlıklar stokastik bilgiler içermezler, deterministik parametrelerdir.

\* KH yöntemlerinin çoğunda model parametreleri ile ölçüler arasındaki fonksiyonel ilişki bellidir. YZ fonksiyonel modelleri uzman görüşüne bağlı olarak Derin Öğrenme (DÖ) ya da probleme uygun bir Makine Öğrenmesi (MÖ) algoritmasına ile deneme yanılma yolu ile belirlenir (ileri beslemeli Yapay Sinir ağları, YSA). YZ sistemlerinde süreci hızlandırmak için eşit ağırlıklı En Küçük Kareler (EKK) yöntemine karşılık gelen geriye yayımlı YSA kullanılır.

\* KH yöntemleri ile çözümünde, fiziksel korelasyonları yansıtan stokastik model kullanılır. YZ yöntemi ile çözümün en zayıf yanı stokastik modelin çözümünde kullanılmamasıdır. YZ yönteminde kullanılan sınıflandırma stokastik model oluşturmak için değil, verileri gruplandırmak için yapılır. Verilerin stokastik bilgileri bu aşamada kullanılmalıdır.

\* KH yöntemlerinde yorumlama %80 test gücü sağlanacak şekilde %95 güvenilirlik ile yapılır. YZ yönteminin başarısı başarı oranı (ya da olasılığına) dayalı ve bir sınırlama koyulmadan gerçekleştirilir. Söz gelimi %30 olan başarı %40 çıkarıldığında, YZ yöntemini başarısının %10 artırıldığından söz edilir. Başarısızlık hala %60 dır.

\* YZ yöntemi ayrı olarak sınıflandırılmış statik problemlere uygundur. Koşulların zamanla değiştiği dinamik problemlerde eğitim süreci tekrarlanmalıdır.

\* YZ yöntemindeki öğrenme ve test verilerin seçimi uzman seviyesine göre değişim gösterir.

Bu bildiri ile yukarıda kısaca özetlenen maddeler iki (regresyon analizi) ve üç (GNSS nivelman) boyutlu uydurma örnekleri üzerinden tartışılacak ve jeodezik bir bakış açısıyla sonuçlar çıkarılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Matematik Model, Kararlı Çözüm, Hipotez Testleri, Yapay Sinir Ağları, Derin Öğrenme, Makine Öğrenmesi, Yapay Zeka

#### Abstract

Artificial Intelligence (AI) studies have found wide application today. The reason for this is that users can easily access the data and subprograms prepared in the GNU environment over the Internet. In addition, with the development of computer technology, AI systems have also reduced the modeling and interpretation burden of the user.



When looking at the written and visual sources (proceedings, articles, books, etc.) related to AI, mostly descriptive information is given and the technical stages are covered in a very closed manner. Therefore, it is not well understood which gap AI studies fill. The main purpose of this study is to discuss which stage AI systems serve in scientific and engineering problems. In this paper, the comparison of Hard Computing (HC) and AI (or Soft Computing, SC) techniques is to be made over the items listed below.

\* There are two types of quantities in HC methods. Measures (data) and model parameters (for example, in a geodetic problem, measures; length, angle, gravity, time, etc., and model parameters; usually point positions). In AI problems, measures and weights are input data and model parameters respectively. The weights in the AI methods do not contain stochastic information, they are deterministic parameters.

\* In most HC methods, the functional relationship between model parameters and measures is clear. AI functional models are determined by a Deep Learning (DL) or Machine Learning (ML) algorithm suitable for the problem with respect to the expert level of the user by trial and error method (feedforward Artificial Neural Network, ANN). In order to speed up the process in AI systems, backpropagation ANN corresponding to the equally-weighted Least Squared (LS) method is used.

\* In the solution with HC methods, a stochastic model including physical correlations is used. The weakest aspect of the AI method is that the stochastic model is not used in the solution. The classification used in the AI method is not to reflect a stochastic model for data but to group the data. Stochastic information of the data should be used at the classification stage as well in AI.

\* In HC methods, interpretation is made with a 95% confidence level under 80% test power. The success of the AI method is based on the success rate (or probability) and without limitations. For example, when the success rate of 30% is subtracted from a 40% developed new rate, it is said that the success of the AI method is increased by 10%. But, failure is still 60%.

\* The AI method is suitable for discretely classified static problems. In dynamic problems where conditions change over time, the training process should be repeated.

\* The selection of learning and test data in the AI method varies according to the expert level.

In this paper, the items briefly summarized above will be discussed over two (regression analysis) and three (GNSS leveling) fitting examples, and conclusions will be drawn from a geodetic point of view.

**Keywords:** *Mathematical Model, Hard Computing, Hypothesis Tests, Artificial Neural Networks, Deep Learning, Machine Learning, Artificial Intelligence*



## Cep Telefonlarındaki İvmeölçer ve Yapay Sinir Ağları ile Olası Deprem Tespiti

### *Possible Earthquake Detection with Accelerometers and Artificial Neural Networks in Mobile Phones*

Baran Canpolat<sup>1,✉</sup>, Gonca Okay Ahi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RKSoft bilişim teknolojileri, ODTÜ Teknokent B1M, Mustafa Kemal mah. Çankaya, Ankara

<sup>2</sup>Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Çankaya, Ankara

✉ b.canpolat@hotmail.com.tr

#### Özet

Günümüzde neredeyse belli bir yaş üzeri nüfus ile doğru orantılı artan bir şekilde cep telefonu kullanımı mevcuttur. Teknolojinin gelişmesi ile, telefonlar, asıl amacı iletişimin dışında, neredeyse bir cep bilgisayarına evrilmiş çeşitli kullanım alanları sunmaktadır. Bu kadar sık kullanılan elektronik bir aletin içerisinde jeodezik/jeofizik ölçülerde kullanılan aletlerin elektronik devrelerinde rastladığımız, daha küçük ölçekte, benzer ekipmanlar bulunmaktadır. Bunlar; ivmeölçer, jiroskop ve GPS alıcısı gibi sensörler olarak örneklendirilebilir. Bu durumda, yeterli duyarlılıktaki cep telefonları jeodezik/jeofizik ölçüm cihazlarına dönüştürülebilirse, çeşitli yerbilimleri uygulamaları için kullanılması fikri oldukça heyecan verici olacaktır. Bu tip uygulamalardan en önemli olabilecek bir tanesi, deprem kaynaklı olası bir sarsıntıyı, cep telefonları içindeki ivmeölçerler yardımı ile, önceden algılayabilecek ve bunun uyarısını kullanıcıya sunabilecek bir deprem erken uyarı sisteminin geliştirilmesidir. Bu çalışmada, bunun ilk denemesi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, cep telefonunda algılanan ivmeölçer verisini çekebilen bir yazılım ve telefon-sunucu arası bağlantıyı sağlayan bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Daha sonra, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) internet sayfasındaki veritabanında bulunan, çeşitli büyüklüklerdeki gerçek depremlere ait ivmeölçer verileri kullanılarak, Uzun kısa süreli belleğe sahip (Long-Short Term Memory: LSTM) tekrarlayan sinir ağı mimarisi (Recurrent Neural Network: RNN) derin öğrenme algoritmasına ivmeölçer verisi öğretilmiştir. Öncelikli olarak, uyku halinde olunması varsayımı göz önüne alınarak, yatay bir düzlemde sabit bulunan cep telefonundan elde edilen sarsıntı kaynaklı ivmeölçer verisi, sunucuda eğitilmiş veri/veriler (çoklu kullanıcı durumunda) ile karşılaştırılıp kullanıcıya gerektiğinde deprem uyarısı vermektedir. Elde edilen ilk sonuçlarda, % 82 ve üzeri duyarlılık gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Telefon, İvmeölçer, Sensör, Deprem Erken Uyarı, Derin Öğrenme

#### Abstract

Today, there is an increasing use of mobile phones in direct proportion to the population over a certain age. With the development of technology, phones offer various usage areas that have almost evolved into a pocket computer, apart from the main purpose of communication. In such a frequently used electronic device, there are similar equipment on a smaller scale, which we encounter in the electronic circuits of instruments used in geodetic/geophysical measurements. These; sensors such as accelerometer, gyroscope and GPS receiver. In this case, the idea of using mobile phones with sufficient sensitivity for various geoscience applications would be very exciting if they could be converted into geodetic/geophysical measuring devices. One of the most important applications of this type is the development of an earthquake early warning system that can detect a possible earthquake-induced shaking with the help of accelerometers in mobile phones and present the warning to the user. In this study, the first attempt of this was carried out. First of all, a software that can capture the accelerometer data detected on the mobile phone and a mobile application that provides the connection between the phone and the server have been developed. Then, using the accelerometer data of real earthquakes of various sizes in the database on the website of the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Recurrent Neural Network: RNN with Long-Short Term Memory: LSTM. ) accelerometer data is taught to the deep learning algorithm. First of all, taking into account the assumption of being asleep, the accelerometer data obtained from the mobile phone fixed on a horizontal plane is compared with the data/data trained on the server (in the case of multiple users) and gives an earthquake warning to the user when necessary. In the first results obtained, a sensitivity of 82% and above was observed.

**Keywords:** Smartphone, Accelerometer, Sensor, Earthquake Early Warning, Deep Learning