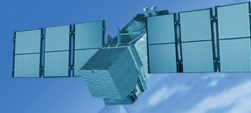


[Cilt/Volume:08] [Sayı/Issue:01] [Mayıs/May 2021] [Dergi No/Journal No.:113] [ISSN: 2147-1339] [e-ISSN: 2667-8519]

JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON DERGİSİ

JOURNAL OF GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

Yayıncı / Publisher

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

Yayın İdare Merkezi / Head Office

Mustafa Kemal Mahallesi 2129 Sk. No:1/7-8-9 06530 Çankaya, ANKARA, TURKEY

Tel: +90 (312) 2325777 • Fax: +90 (312) 2308574

jjd@hkmo.org.tr ; hkmojjd@gmail.com

dergipark.org.tr/hkmojjd

Tasarım ve Mizanpaj / Design & Layout

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

Baskı & Cilt / Printing & Binding

Elma Teknik Basım

www.elmateknikbasim.com

Tel: 312 229 92 65

Basım Tarihi / Publication Date: Mayıs 2021 / May 2021

Baskı Adedi / Circulation: 2000

Hakemli bir dergidir. / A Peer - reviewed journal.

Yaygın ve süreli yayındır. / A widely distributed periodical.

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

[Cilt/Volume:08] [Sayı/Issue:01] [Mayıs/May 2021] [Dergi No/Journal No.:113]

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

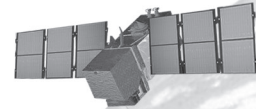


UCTEA

Chamber of Survey and Cadastre Engineers

JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON DERGİSİ

JOURNAL OF
GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers

JEODEZİ VE JOURNAL OF GEODESY

EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF

Doç. Dr. Bahattin ERDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
İstanbul

EDİTÖR YARDIMCILARI / CO-EDITORS

Prof. Dr. Tarık TÜRK
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Sivas

Doç. Dr. Nursu TUNALIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi
İstanbul

EDİTÖR KURULU / EDITORIAL BOARD

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

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

Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN,
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

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

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

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

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

Prof. Dr. Devrim AKÇA,
Işık Üniversitesi, İstanbul

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

Prof. Dr. Erol KÖKTÜRK,
Okan Üniversitesi, İstanbul

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

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

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

Prof. Dr. Haluk ÖZENER,
Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Haluk KONAK,
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

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

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

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

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

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

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

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

Prof. Dr. Mustafa TÜRKER,
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

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

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

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

Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR,
Ankara Üniversitesi, Ankara

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Doç. Dr. Nusret DEMİR,
Akdeniz Üniversitesi, Antalya

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

Doç. Dr. Saygın ABDİKAN,
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

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

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

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

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

Dr. Öğr. Üyesi Caner GÜNEY,
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

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

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

Dr. Öğr. Üyesi Melis UZAR,
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

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

SAHİBİ (HKMO adına)

OWNER (on behalf of CSCE)
Ali İPEK

HKMO, Ankara

YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ

MANAGING EDITOR

Timur Bilinç BATUR
HKMO, Ankara

YAYIN KURULU / PUBLICATION BOARD

Bahattin ERDOĞAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Nursu TUNALIOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Tarık TÜRK, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

Taylan ÖCALAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Onur SEVENCAN, HKMO, Ankara

JEOİNFORMASYON DERGİSİ AND GEOINFORMATION

Dergi Hakkında

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

Amaç ve Kapsam

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

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

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

Makale Gönderme

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

Telif Hakkı Bildirimi

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

Yayın Etiği

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

About the Journal

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

Aim and Scopes

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

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

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

Submission of Manuscript

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

Copyright Information

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

Publication Ethics

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

İÇİNDEKİLER

CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Türkiye denizlerinde GNSS reflektometre tekniği ile deniz seviyesi değişiminin araştırılması
Investigation of sea level variations in Turkish coasts using GNSS reflectometry..... 1-17
Cansu BEŞEL, Emine TANIR KAYIKÇI
- Hava Lidar verilerinin denetimsiz yapay sinir ağları kullanılarak filtrelenmesi
Filtering of airborne Lidar data by using unsupervised artificial neural Network 18-29
Alper ŞEN, Burcu BAYASLI
- Çoklu-GNSS çözümlerinin performansının internet tabanlı Trimble RTX servisi ile incelenmesi
Investigation of the performance of the Multi-GNSS analysis with web based Trimble RTX service 30-40
Gizem SEZER, Ali Hasan DOĞAN, Bahattin ERDOĞAN
- Web tabanlı CSRS-PPP uygulamasının farklı uydu sistemleri üzerindeki performansı
Performance of Web Based CSRS-PPP Service in Different Satellite Systems..... 41-56
Tuna EROL
- The performance analyses of support vector machine classifiers for examination of the temporal change of land-use/cover in the Beyşehir Basin in Turkey (1984-2018)
Türkiye'deki Beyşehir havzasında arazi kullanım/örtüsündeki zamansal değişimin incelenmesi için destek vektör makine sınıflandırıcılarının performans analizleri (1984-2018) 57-71
Münevver Gizem GÜMÜŞ, Süleyman Savaş DURDURAN
- Effect of altitude and distance on zenith tropospheric delay and integrated water vapour estimations in a local GNSS CORS network
Lokal bir GNSS CORS ağında yükseklik ve mesafenin zenit troposferik gecikme ve entegre su buharı kestirimleri üzerine etkisi...72-83
Ömer GÖKDAŞ, Mustafa Tevfik ÖZLÜDEMİR
-

Türkiye denizlerinde GNSS reflektometre tekniği ile deniz seviyesi değişiminin araştırılması

Cansu Beşel^{1*} , Emine Tanır Kayıkcı¹ 

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye.

Öz: Küresel ve bölgesel ölçekte deniz seviyesinde meydana gelen değişimin belirlenmesi ve değişimin nedenlerinin anlaşılması iklim değişikliği çalışmalarında önemlidir. Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) sinyalleri, uzaktan algılama uygulamaları için kullanılabilir bazı ayırt edici özelliklere sahiptir. GNSS tabanlı deniz seviyesinin belirlenmesine olanak sağlayan GNSS Reflektometre (GNSS-R) tekniği yeni ve geliştirilmeye açık bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı kıyılarında bulunan sabit GNSS istasyonlarının GNSS-R ile deniz seviyesi belirlenmesine katkısının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, TUSAGA-Aktif ağında bulunan ANMU, DATC, FASA, SINP ve TEKR, IGS ağında bulunan MERS ve TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında tesis edilen SAME sabit GNSS istasyonlarına ait Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio, SNR) verileri kullanılmıştır. SNR sinyallerinin dominant sinyal yansıma etkisi frekansı Lomb-Scargle periodogram (LSP) yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, MERS ve TEKR istasyonlarının güçlü yansıma genliklerine sahip olduğu ve anlamlı gözlemler içerdiği görülmüş olup GNSS-R ile deniz seviyesi belirlenmesine uygun istasyonlar olarak belirlenmiştir. Bu istasyonlarda hesaplanan GNSS tabanlı deniz seviyesi gözlemleri istasyon yakınında bulunan mareograf gözlemleri ile karşılaştırılarak aralarında sırasıyla 0.76 ve 0.91 korelasyon bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Deniz seviyesi, GNSS reflektometre, Sinyal gürültü oranı, Lomb-Scargle periodogram

Investigation of sea level variations in Turkish coasts using GNSS reflectometry

Abstract: Determination of the sea level changes and understanding the causes of changes are important in climate change studies at global and regional scales. The Global Navigation Satellite System (GNSS) signals have some characteristics that can be used for the remote sensing applications. GNSS Reflectometry (GNSS-R) technique that allows GNSS-based sea level determination is new and open to improvement. This study aims to investigate the contribution to the GNSS stations located in the different coasts of Turkey to determination of sea level by using GNSS-R. For this purpose, utilized existing the Signal to noise ratio (SNR) data from ANMU, DATC, FASA, SINP and TEKR of TUSAGA-Active network, MERS from IGS network and SAME constituted from TUBITAK 1001 project GNSS stations. The dominant multipath frequency of SNR signal was computed with Lomb-Scargle periodogram (LSP). Consequently, MERS and TEKR stations were found to be suitable for sea level determination by using GNSS-R because these stations have a strong reflection amplitudes and significant observations. The GNSS-based sea level results for these stations were compared to sea level observations from nearby tide gauges. The comparison shows a agreement with a correlation coefficient of 0.76 and 0.91, respectively.

Keywords: Sea level, GNSS reflectometry, Signal to noise ratio, Lomb-Scargle periodogram

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 462 377 2776

Geliş Tarihi/Received: 29.06.2020
Kabul Tarihi/Accepted: 06.10.2020

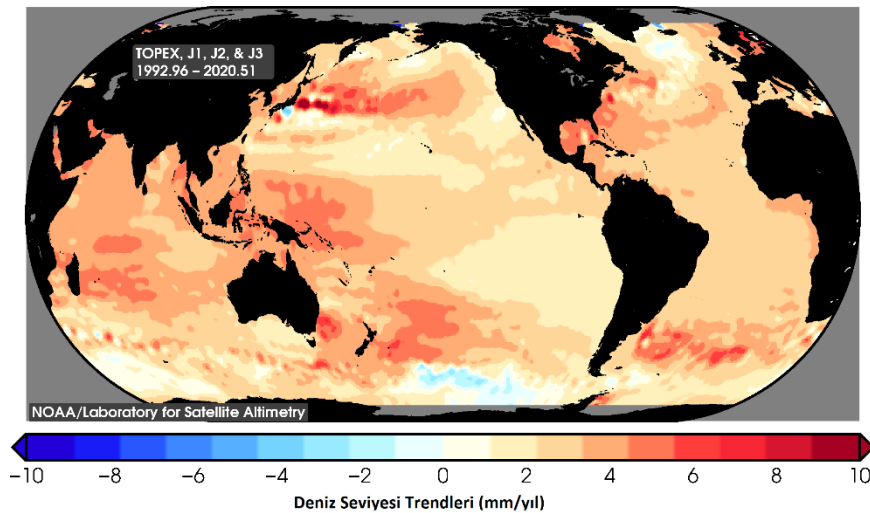


0000-0003-3434-6483, cansubesel@ktu.edu.tr (Beşel C.)*
0000-0001-8259-5543, etanir@ktu.edu.tr (Tanır Kayıkcı E.)

1. Giriş

Küresel ısınmayla birlikte atmosfer ve okyanuslar ısınmış, kar ve buz kütleleri zarar görmüş, rüzgar ve fırtına frekansları değişmiştir. Bununla birlikte buzullarda erime, okyanus ve deniz suyu seviyelerinde yükselme meydana gelmektedir. Antarktika ve Grönland'daki buz kütleleri erimenin hızlandığını göstermektedir. Üstelik deniz suyunun ısıl genişmesi, atmosferik değişimler ve okyanus sirkülasyonu gibi küresel ısınmanın diğer etkileri de deniz seviyesini etkilemeye devam edecektir (Löfgren, Haas, & Scherneck, 2011). Deniz seviyesi yükselmesinin hızlanması ile 1950'den bu yana gözlemlenen ekstrem olayların düzeninde de değişiklikler görülmektedir. Uluslararası İklim Değişikliği Paneli'nin (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) AR4 (Fourth Assessment Report-2007) raporunda 20. yüzyılda deniz seviyesindeki ortalama artış 1.7 mm/yıl, 1961-2003 periyodunda 1.8 mm/yıl, 1993-2003 periyodunda ise 3.1 mm/yıl olarak belirlenmiştir (IPCC, 2007). IPCC AR5 (Fifth Assessment Report-2013) raporunda ise emisyon senaryosunun en kötü durumunda deniz seviyesinin 2100 yılına kadar 61 cm ila 1.1 m arasında artması beklenmektedir (IPCC, 2013). Deniz seviyesindeki hızlı artış ile kıyı alanları ilerleyen yıllar içerisinde artan doğal tehlikelere maruz kalacaktır. Bu tehlikeler; yükselen ortalama deniz seviyesinde toprağın sürekli su altında kalması, sık sık kıyı taşkınlarının yaşanması, artan kıyı erozyonu, kıyı ekosisteminin kaybı veya değişmesi, toprak ve yeraltı suyunun tuzlanması, drenaj engeli olarak sıralanabilmektedir. Türkiye'de yapılan çalışmalar, özellikle deniz seviyesinin altında olan delta ovaları gibi bazı kıyısız alanların deniz seviyesi yükselmesinden büyük ölçüde etkileneceğini göstermiştir (Simav, 2012).

Deniz seviyesi değişimi, farklı oranlarda, geniş zaman ölçeğinde ve konuma göre değişerek meydana gelmektedir. Son birkaç on yılda uydu verilerinden tahmin edilen küresel ortalama oran ± 3 mm/yıl olarak belirtilmiştir (Cazenave vd., 2014). Şekil 1'de, 1992 ve 2020 periyodunda uydu altimetreden elde edilen bölgesel deniz seviyesi trendleri gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere deniz seviyesinde farklı oranlarda artan yönde trendler mevcuttur. Fakat bu oranlar dünya genelinde farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, gelecekte deniz seviyesinde meydana gelecek olan değişimin kestirilmesi ve değişiminden etkilenecek olan bölgelerin tespiti ve alınacak önlemler önemli olmaktadır.



Şekil 1: Bölgesel deniz seviyesi trendleri. Bu harita TOPEX/Poseidon (T/P), Jason-1, Jason-2, and Jason-3 uydu misyonlarından elde edilen verilerin analizi sonucunda ortaya çıkmıştır. Bölgesel farkların -10 ile +10 mm arasında olduğu görülmektedir (URL-1).

Deniz seviyesi değişimi temelde mareograf ve uydu altimetre teknikleri kullanılarak belirlenmektedir. Genel olarak bakıldığında, lokal deniz seviyesi değişimlerini belirlemek için geleneksel olarak mareograf istasyonları kullanılmaktadır. Bu istasyonlarla deniz seviyesinin belirlenmesi, yer yüzeyi ile deniz yüzeyi arasındaki düşey mesafenin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Fakat geleneksel mareograf ölçümleri sadece deniz seviyesi gözlemlerini içermemektedir, aynı zamanda

düşey yüzey hareketlerinden de etkilenmektedir. Buzul İzostatik Ayarı (Glacial Isostatic Adjustment, GCI), kosmik ve postsismik deformasyonlar, arazi çökmesi gibi etkenler mareograflarla kesin deniz seviyesinin ölçülmesini zorlaştırmaktadır. Bunun sonucunda deniz seviyesi gözlemlerinde belirsizlikler meydana gelmektedir. Dolayısıyla, mareograf ölçümlerinin düşey yüzey hareketine karşı düzeltilmesi gerekmektedir. Günümüzde, bazı mareograf istasyonları bu duruma karşı GPS ile entegre olarak hizmet vermektedir. Fakat bu tarz istasyonların bulunması maalesef zordur. Diğer bir teknik olan uydu altimetre ise yer gravite merkezine göre deniz seviyesini ölçmektedir ve bu nedenle yer merkezli etkilerden etkilenmemektedir. Fakat literatürdeki çalışmalara bakıldığında, uydu altimetre tekniğinin kıyı alanlarında yeterli duyarlılıkta sonuçlar vermediği gözükmemektedir. Geniş ayak izine sahip olan uydu altimetrede geri dönen dalga boyu kıyılarına yaklaşırken şiddetli bir şekilde kirlenmektedir. Bu durum, gözlem doğruluğunun azalmasına neden olmaktadır (Chelton, Ries, Haines, Fu, & Callahan, 2001; Lee vd., 2019). Sonuç olarak, kıyı alanlarındaki deniz seviyesi değişimi doğruluğunu arttırmak için alternatif tekniklerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri Reflektometre (GNSS-R) yeni bir uydu tekniği olup yansıyan sinyali kullanarak başlıca deniz seviyesi (Larson, Löfgren, & Haas, 2013a; Larson, Ray, Nievinski, & Freymueller, 2013b; Larson, Ray, & Williams, 2017), kar kalınlığı (Larson & Nievinski, 2013), toprak nemi (Larson vd., 2008; Vey, Güntner, Wickert, Blume, & Ramatschi, 2016) değişimini belirleme çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu yöntem, mareograf ve uydu altimetreye göre daha yüksek konumsal ve zamansal çözünürlüğe sahiptir (Löfgren, Haas, & Johansson, 2010).

GNSS sinyal yansıma etkisi ölçülerin doğruluğunu etkileyen büyük hata kaynaklarından biridir. Hassas konum belirleme için istenmeyen bu hata kaynağının deniz seviyesi gözlemlerinde kullanılması, Martin-Neira (1993) tarafından GNSS elektromanyetik dalgalarındaki doğrudan ve dolaylı sinyal girişimlerinin yansıma yüzeylerinin özelliklerinin kestirilmesinde ortaya atılmıştır. GNSS tabanlı mareograf ise ilk olarak Larson vd. (2013a) tarafından rölatif deniz seviyesi değişikliğini Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio, SNR) gözlemlerini kullanarak ölçmek için sunulmuştur. Birçok araştırmacı tarafından SNR gözlemlerinden yararlanarak GNSS tabanlı deniz seviyesi gözlemlerinin hesaplandığı ve bu gözlemlerin mareograf kayıtları ile karşılaştırıldığı çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Larson vd., 2013a, 2013b, 2017; Santamaría-Gómez, Watson, Gravelle, King, & Wöppelmann, 2015). Löfgren, Haas ve Scherneck (2014) dünyanın farklı bölgelerinde bulunan beş adet GPS istasyonunda kaydedilen SNR verilerini kullanarak deniz seviyesi gözlemlerini hesaplamıştır. Çalışmada istasyonun bulunduğu bölgenin, alıcı anteni ile yansıtıcı yüzey arasındaki düşey mesafenin, uydu yükseklik açısı ve azimut aralıklarının GNSS tabanlı deniz seviyesinin belirlenmesi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Lee vd. (2019) yapmış olduğu çalışmada Tayvan'da bulunan üç adet GNSS istasyonuna ait GPS L1 frekansına ait SNR verilerini kullanarak gelgit değişiminin düşük olduğu bölgedeki istasyonlarda Lomb-Scargle periodogram (LSP) analizi, yüksek olduğu bölgedeki istasyonlarda ise harmonik analiz ile birlikte LSP analizi uygulamıştır. Sonuç olarak, harmonik analiz ve LSP analizinin bir arada kullanılması ile periodogramda doğru piklerin bulunma olasılığının yükseldiği görülmüştür. Tunalıoğlu, Doğan ve Durdağ (2019) Alaska'da bulunan AB33 istasyonuna ait SNR verilerini kullanarak kar kalınlığı değişimlerini incelemiştir. Elde edilen kar kalınlıklarını yerinden ölçüm verileri ile karşılaştırarak yüksek oranda bir korelasyon bulunmuştur. Selbesoğlu vd. (2019) GNSS meteorolojisi ve GNSS-R tekniklerini kullanarak Antarktika'da deniz seviyesi, kar/buzul ve su buharı değişimlerini gözlemlenmiştir. Türkiye denizlerinde GNSS-R tekniğini kullanarak deniz seviyesi belirlenmesine yönelik araştırma ilk kez bu çalışmada yapılmaktadır.

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde deniz seviyesinin doğru ve hassas bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, ülkemizde GNSS-R tekniği ile deniz seviyesi belirlenebilirliğinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bunun için Türkiye kıyılarına yakın sabit GNSS istasyonları çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Her bir istasyona ait SNR verileri analiz edilmiştir. Ardından, GNSS-R tabanlı deniz seviyesi gözlemleri LSP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Son olarak, GNSS

tabanlı elde edilen deniz seviyesi ile GNSS istasyonları yakınında bulunan mareograf gözlemleri karşılaştırılmıştır.

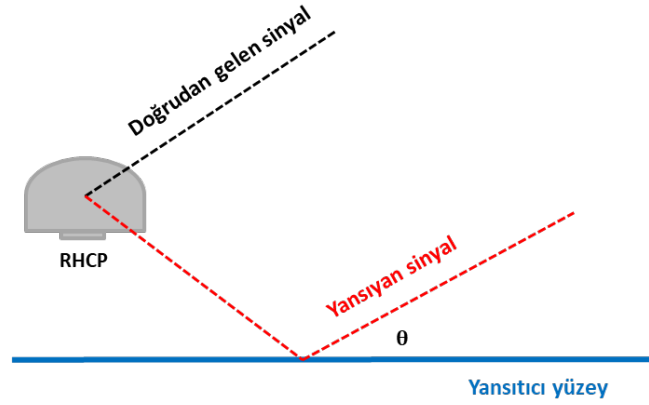
2. Yöntem

GNSS-R tekniği ile doğrudan gelen sinyal yerine yansıyan sinyal kullanılarak analizler yapılmaktadır. GNSS sinyal yansıma etkisi; faz, frekans ve genlik modülasyonları, yansıma yüzeyinin pürüzlülüğü, yansıma yüzeyinin geometrisi ve bileşeni gibi birçok faktörden kaynaklanmaktadır. Bu etkinin girişim desenleri kod, faz ve SNR ölçülerinde gözlemlenmektedir. Her bir GNSS alıcısı, yeryüzünden yansıyan çok sayıda GNSS sinyalini toplayabilmektedir. Bu bi-statik gözlem setleri farklı azimut ve yükseklik açılarında meydana gelmektedir (Li, 2018). Yansıyan sinyali en iyi şekilde almak için tasarlanan özel donanımlı GNSS aletlerini kullanan reflektometre çalışmalarının tersine jeodezik alıcılar doğrudan gelen ve yansıyan sinyallerin girişimlerini ölçmektedir (Larson vd., 2017). Literatürde, çift jeodezik alıcı (Right Hand Circularly Polarised (RHCP) ve Left Hand Circularly Polarised (LHCP), Şekil 2(a)) veya tek jeodezik alıcı (RHCP, Şekil 2(b)) kullanılarak yapılan GNSS-R çalışmaları mevcuttur (Larson vd., 2013a, 2013b, 2017; Lee vd., 2019; Löfgren vd., 2010; Santamaría-Gómez & Watson, 2017).



Şekil 2: GNSS-R jeodezik alıcıları. Soldaki (a) resim Onsala Uzay Gözlem Evine (GTGU) ait olup zenit (RHCP) ve nadir (LHCP) yönünde olmak üzere çift antene sahiptir. Sağdaki (b) resim ise Friday Liman GPS istasyonu (SC02) olup sadece zenit (RHCP) yönünde tek bir alıcıya sahiptir (Kaynak: (a) Johan Löfgren, Chalmers University of Technology, (b) UNAVCO (URL-2)).

Yer merkezli GNSS-R için iki yöntem mevcuttur. Bunlardan biri zenit yönlü RHCP anteni kullanılan SNR yöntemi, diğeri ise zenit yönlü RHCP ve nadir yönlü LHCP antenlerinin kullanıldığı faz gecikmesi yöntemidir. Faz gecikmesi yönteminde, doğrudan gelen ve yansıyan sinyal arasındaki faz farkını belirlemek için iki anten kullanılmaktadır. SNR yönteminde ise tek anten yeterli olmaktadır. GNSS antenine doğrudan ve dolaylı gelen sinyaller anten faz merkezinde birleşmekte olup aynı alıcıya kaydedilmektedir. Bu iki yöntem karşılaştırıldığında faz gecikmesi yönteminin SNR yönteminden daha doğru sonuçlar verdiği bilinmektedir. Fakat nadir yönlü LHCP anteninin donanımını sağlamak çoğunlukla zordur. Dünya genelinde, başta Onsala Uzay Gözlem Evi (GTGU) olmak üzere çok az sayıda istasyonda mevcuttur. Bu nedenle, kıyı alanlarındaki GNSS istasyonlarında büyük çoğunlukta SNR yöntemi kullanılmaktadır. Ayrıca, doğrudan gelen ve yansıyan sinyalin girişim desenlerinin en fazla SNR verilerinde gözlemlenmesi, SNR verilerinin rüzgar ve dalga şartlarına karşı hassasiyetinin faz gecikmesi yöntemine göre daha az olması, tek jeodezik anten kullanılmasından dolayı maliyetinin daha düşük olması vb. özellikler bu tekniğin avantajları arasında gösterilmektedir. Bu çalışmada, bölgesel deniz seviyesi değişimleri tek jeodezik GNSS alıcısından alınan GPS sinyalleri kullanılarak hesaplanacaktır (Şekil 3).



Şekil 3: Tek jeodezik alıcı ile GNSS-R şematik gösterim. θ ; uydu yükseklik açısını ifade etmektedir.

GNSS uydularının gökyüzünde hareketi sırasında yansıma geometrisi değişmektedir. Bu durumda, SNR gözlemlerinin genliği de değişmektedir (Löfgren, 2014). SNR, zamanın fonksiyonu olarak kaydedilmektedir. Aynı zamanda ufuk çizgisine göre uydu yükseklik açısının da fonksiyonudur. Birinci Fresnel bölgesi (First Fresnel Zone, FFZ) hesaplanarak elde edilen yansıma bölgeleri de uydu yükseklik açısı, dalga boyu ve reflektör yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Uydu yükseklik açısı arttıkça yansıma bölgeleri küçülmektedir ve antene yakın olmaktadır (Larson vd., 2017). Uydudan GNSS alıcısına doğrudan gelen ve yansıyan sinyaller arasındaki girişim ise düşük yükseklik açıları (0° - 25°) daha fazla olmaktadır. Uydu yükseklik açısı 25° 'nin üzerinde olduğunda sinyal yansıma etkisi küçülmekte olup yansıma bölgeleri çoğunlukla deniz alanlarının yanında karasal alanları da içermektedir (Larson vd., 2013b).

2.1 Sinyal Gürültü Oranının Belirlenmesi

GNSS alıcısına gelen sinyalin şiddetini ifade eden S1 ve S2 gözlemleri Alıcıdan Bağımsız Değişim Formatında (Receiver Independent Exchange Format, RINEX) arşivlenmektedir. S1, S2 değerleri taşıyıcı-gürültü yoğunluk oranına (carrier to noise density ratio, C/N_0) karşılık gelmektedir.

$$C/N_0 = \frac{\text{Sinyal Gücü}}{\text{Sinyal Gücü Spektral Yoğunluğu}} \quad (1)$$

SNR ise;

$$SNR = \frac{C/N_0}{B} \quad (2)$$

şeklinde elde edilir. Burada B , gürültü bant genişliğini ifade etmektedir (Joseph, 2010). Buradan elde edilen SNR logaritmik ölçekte desibel birimindedir. SNR ölçümleri logaritmik ölçekte kullanıldığında, alıcının gürültü bant genişliği ölçek faktörü olarak davranmaktadır ve bu nedenle SNR sınımlarının tahmin edilen frekansları üzerinde etkiye sahip olmamaktadır (Santamaría-Gómez & Watson, 2017). Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, SNR ölçümlerinin lineer ölçeğe dönüştürülerek kullanıldığı görülmektedir. Ölçümlerin lineer ölçeğe dönüşümü ile SNR verileri volts/volts veya watts/watts biriminde elde edilmektedir. Alıcıya gelen sinyalin SNR ile olan ilişkisi;

$$SNR^2 \approx A_c^2 = A_d^2 + A_r^2 + 2A_d A_r \cos \psi \quad (3)$$

olarak ifade edilir. Burada, A_c ; girişim yapan sinyalin genliği, A_d ; doğrudan gelen sinyalin genliği, A_r ; yansıyan sinyalin genliği, ψ ise iki sinyal arasındaki faz farkıdır (Larson vd., 2008).

Zenit yönlü RHCP antenin amacı, doğrudan gelen sinyali büyütmek ve yansıyan sinyali bastırmak olmasına rağmen yansıyan sinyalden gelen enerjiyi tamamen reddetmediği bilinmektedir (Larson vd., 2013a). GNSS antenine doğrudan ve dolaylı olarak gelen sinyaller anten faz merkezinde birleşmektedir ve aynı alıcıya kaydedilmektedir. Dolayısıyla, jeodezik GNSS alıcısından alınan yansıyan sinyalin içerisinde doğrudan gelen sinyalin etkisi de bulunmaktadır. Doğrudan gelen sinyalin etkisini kaldırarak doğrudan trendleri bulmak için tüm veriye düşük dereceli polinom veya yüksek geçirgenli filtre uygulanarak trend veri setinden çıkarılmaktadır. Böylece, doğrudan gelen sinyalin etkisinin kaldırıldığı trendden arındırılmış (detrend edilmiş- δSNR) SNR verileri elde edilmektedir. Elde edilen veri, sinyal yansıma etkisinin bileşenlerini içermektedir. Trendden arındırılmış SNR verisi için sinyal yansıma etkisi salınımları;

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

şeklinde. Burada, A ; genlik, h ; anten faz merkezi ile yansıma yüzeyi arasındaki düşey mesafe (reflektör yüksekliği), λ ; GNSS taşıyıcı dalga boyu, θ ; uydu yükseklik açısını ifade etmektedir (Larson vd., 2013a). Uydu yükseklik açısının sinüsüne karşılık gelen δSNR frekansı,

$$f_{\delta SNR \rightarrow \sin \theta} = \frac{d\delta SNR}{d \sin \theta} = \frac{f_{\psi \rightarrow \sin \theta}}{2\pi} = \frac{2h \tan \theta}{\lambda \theta} + \frac{2h}{\lambda} \quad (5)$$

şeklinde. Burada, h reflektör yüksekliği sabit alındığında ihmal edilebilir. Bu durumda,

$$f_{\delta SNR \rightarrow x} = \frac{2h}{\lambda} \quad (6)$$

şeklinde. Trendden arındırılmış SNR verilerinin frekansı reflektör yüksekliğine (h) bağlıdır. Burada, h bileşeni spektral analiz yöntemleri kullanılarak hesaplanmaktadır (Wan, Larson, Small, Chew & Braun, 2015).

2.2 GNSS Yansıma Etkisi Frekansının Belirlenmesi

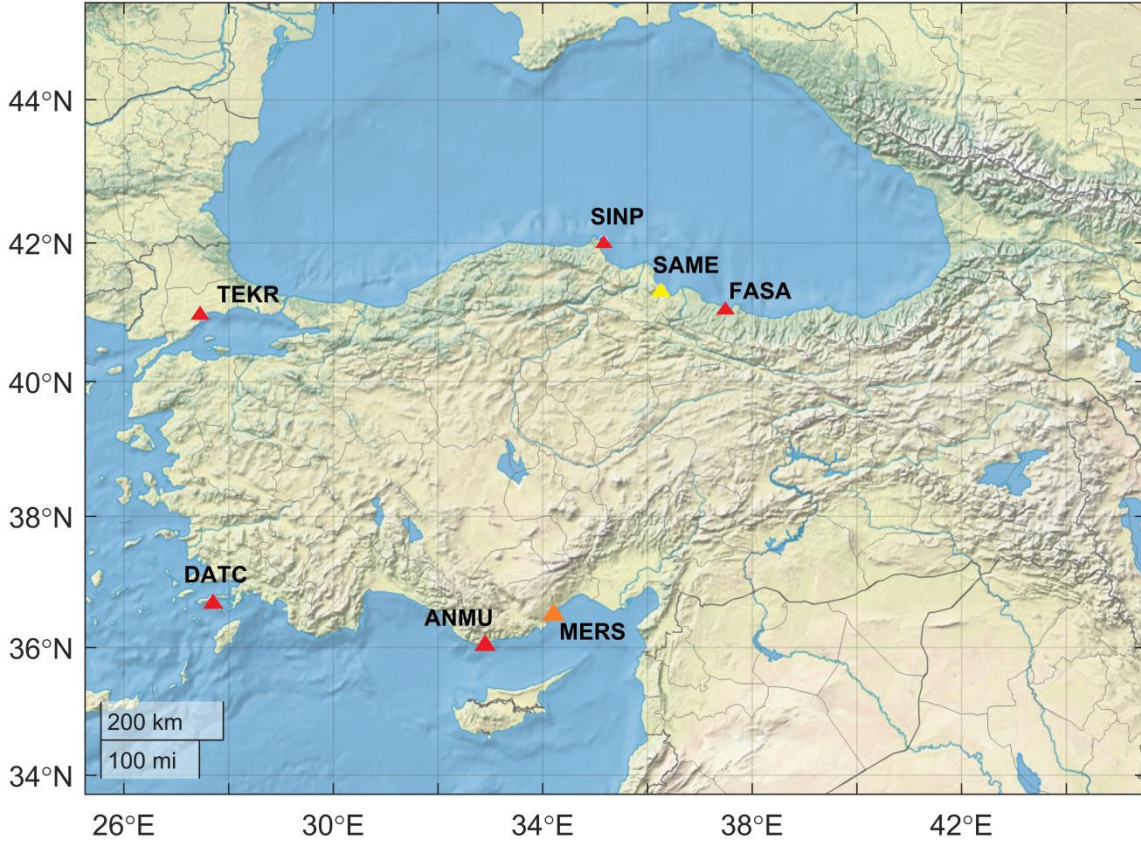
SNR salınımlarının frekansı, yansıma yüzeyine olan düşey mesafe ve uydu yüksekliğine bağlıdır. Yansıyan yüzey üzerinden daha yüksek anten yükseklikleri SNR serilerinde yüksek frekans salınımlarını belirtmektedir. h , reflektör yüksekliğini hesaplamak için trendden arındırılmış SNR salınımlarındaki dominant frekansın belirlenmesi gerekmektedir. Dominant frekansı çıkarmak için LSP, Hızlı Fourier Dönüşümü, Dalgacık Dönüşümü gibi çeşitli spektral analiz yöntemleri mevcuttur.

SNR verileri zaman içerisinde eşit olarak örneklenmektedir. Fakat δSNR uydu yükseklik açısının sinüs fonksiyonu olarak eşit şekilde örneklenmemektedir. Bu yüzden, düzenli olarak örneklenmemiş veri setinde spektral analiz yapmak zor olmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında en uygun yöntemin LSP olduğu görülmüştür. Bu yöntem düzensiz aralıklı veriyi işleyebilmektedir (Larson vd., 2013a). Aynı zamanda, En Küçük Kareler Spektral Analizi olarak da adlandırılmaktadır. LSP, sinüzoidal modele dayalı sinyalin her bir zamanının yerine her bir noktanın spektral gücünü tahmin etmektedir (Löfgren, 2014). Dominant frekans en yüksek spektral güce denk gelmektedir ve Eşitlik (6) kullanılarak reflektör yüksekliğine dönüştürülmektedir. Burada elde edilen büyük reflektör yüksekliğinde yani deniz yüzeyi ile anten arasındaki mesafe geniş olduğu durumda deniz seviyesi düşük olmaktadır.

3. Çalışma Alanı ve Veri

Çalışma kapsamında Türkiye'nin farklı denizlerinde kıyıya yakın GNSS istasyonlarının GNSS-R tekniği ile deniz seviyesi gözlemlerinin yapılmasına katkısının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı Aktif

(TUSAGA-Aktif) bünyesinde bulunan Akdeniz’de ANMU, Ege’de DATC, Marmara’da TEKR ve Karadeniz’de SINP, FASA istasyonları (URL-3), yine Akdeniz bölgesinde Uluslararası GNSS Servisine (International GNSS Service, IGS) ait MERS istasyonu (URL-2) ve Karadeniz bölgesinde 116Y186 TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında Samsun’da tesis edilen SAME istasyonu çalışmada kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Çalışmada kullanılan istasyonlar. Kırmızı renk ile gösterilen istasyonlar TUSAGA-Aktif, sarı renk 116Y186 no’lu TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında tesis edilen sabit GNSS istasyonu, turuncu renkle gösterilen istasyon IGS ağına bağlı istasyondur.

Çalışmada, her bir istasyona ait GPS L1 frekansı SNR verileri kullanılmıştır. ANMU, DATC, FASA, MERS, SINP ve TEKR istasyonları için zaman aralığı 1 Mayıs 2020 ve 31 Mayıs 2020 olup veri kayıt aralığı ise 30 saniyedir. SAME istasyonunda ise 1 Mart 2018 ve 30 Mart 2018 zaman aralığında 15 saniyelik veriler kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, elde edilen GNSS tabanlı deniz seviyesi verilerini karşılaştırıp doğrulama yapmak için istasyon yakınında bulunan Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Servisi’ne (TUDES) bağlı mareograf istasyon gözlemleri kullanılmıştır (URL-4). Çalışma kapsamında kullanılan sabit GNSS istasyonlarına ait bilgiler Tablo 1’de gösterilmektedir.

4. Veri Analizi

Çalışmada öncelikle, ANMU, DATC, FASA, MERS, SAME, SINP ve TEKR istasyonlarında ayrı ayrı azimut ve yükseklik açıları için maskeler uygulanmıştır. Azimut ve yükseklik açısı maskelerinin başlangıç ve bitiş değerlerine karar vermek için Roesler ve Larson (2018) tarafından sunulan FresnelMaps yazılımına benzer olarak istasyonlara ait Fresnel bölgeleri belirlenmiştir. Fresnel bölgelerinin büyük yarı eksenini (a) ve küçük yarı eksenini (b),

$$a = \frac{\sqrt{\lambda h \sin \theta}}{\sin^2 \theta} \quad (7)$$

$$b = \frac{\sqrt{\lambda h \sin \theta}}{\sin \theta} \quad (8)$$

şeklinde. Burada, λ ; GPS taşıyıcı dalga boyu, h ; alıcı anten yüksekliği ve θ ; uydu yükseklik açısını ifade etmektedir (Larson & Nievinski, 2013; Löfgren, 2014). Her bir istasyon için SNR salınımlarının net olarak görüldüğü 5°, 10°, 15°, 20° ve 25° uydu yükseklik açısına sahip uydu izleri için hesaplanan Fresnel bölgeleri Google Earth görüntüsü üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5). Azimut aralıkları ise, Fresnel bölgelerinde denizi kapsayan alanlara göre belirlenmiştir. Aynı şekilde her bir istasyon için belirlenen uydu yükseklik açısı aralıkları da denizi kapsayan uydu izlerini içerecek şekilde seçilmiştir. Buna göre ANMU, DATC, FASA, MERS, SAME, SINP ve TEKR istasyonlarında sırasıyla 12°, 15°, 10°, 20°, 20°, 10° ve 20°'den büyük uydu yükseklik açılarında Fresnel bölgelerinin karasal alanları içerdiği görülmüştür. Çalışmada kullanılan istasyonlara ait azimut ve yükseklik açısı maskeleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan istasyon bilgileri

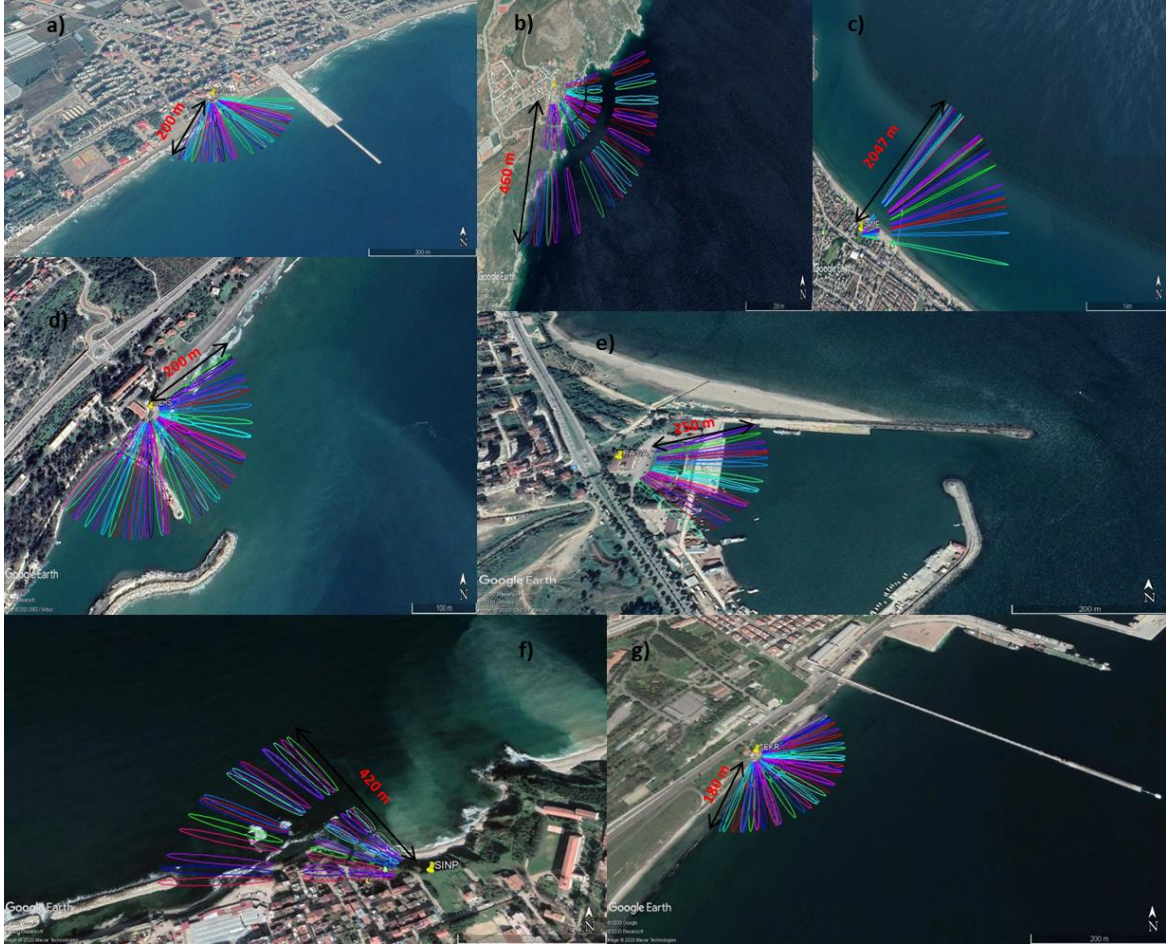
İstasyon Adı	Bölge	İstasyon Ağı	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Deniz Yüzeyinden Yükseklik	GPS frekansı	Veri Kayıt Aralığı	Periyot	Mareograf İstasyonu
ANMU	Akdeniz	TUSAGA-Aktif	36.0690	32.8651	12 m	L1	30 sn	01.05.2020-31.05.2020	Bozyazı
DATC	Ege	TUSAGA-Aktif	36.7085	27.6918	31 m	L1	30 sn	01.05.2020-31.05.2020	-
FASA	Karadeniz	TUSAGA-Aktif	41.0455	37.4847	15 m	L1	30 sn	01.05.2020-31.05.2020	-
MERS	Akdeniz	IGS	36.5663	34.2558	12 m	L1	30 sn	01.05.2020-31.05.2020	Erdemli
SAME	Karadeniz	116Y186	41.3438	36.2555	16 m	L1	15 sn	01.03.2018-30.03.2018	-
SINP	Karadeniz	TUSAGA-Aktif	42.0302	35.1539	28 m	L1	30 sn	01.05.2020-31.05.2020	Sinop
TEKR	Marmara	TUSAGA-Aktif	40.9583	27.4964	10 m	L1	30 sn	01.05.2020-31.05.2020	Marmara Ereğlisi

Uydu yükseklik açısı ve azimut aralıkları belirlendikten sonra her bir sabit GNSS istasyonuna ait Tablo 2'de belirtilen aralıklardaki uydu izlerinin SNR verileri kullanılmıştır. SNR salınımları doğrudan gelen ve yansıyan sinyalleri içermektedir. SNR salınımlarındaki doğrudan gelen sinyalin etkisinden kurtulmak için düşük dereceli polinom geçirilerek Eşitlik 4'te gösterildiği şekilde trendden arındırılmış SNR verileri elde edilmiştir. Veriye uygun polinomun derecesine karar vermeden önce parametre anlamlılık testi yapılmıştır. Yapılan anlamlılık testi sonucunda birinci dereceden polinom tüm istasyon verilerinde anlamlı sonuç vermiştir. Ardından reflektör yüksekliklerini hesaplamak için trendden arındırılmış SNR verilerine LSP analizi uygulanmıştır. Aynı zamanda, yapılan LSP analizi ile birlikte ilgili istasyonların GNSS-R ile deniz seviyesi belirlenmesine uygun olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Trendden arındırılmış SNR salınımlarından LSP analizi sonucunda, en yüksek spektral güce karşılık gelen dominant yansıma etkisi frekansı Eşitlik 6 kullanılarak reflektör yüksekliğine dönüştürülmüş olup deniz seviyesi elde edilmiştir. Burada periodogramın tek bir anlamlı pik içermesi önemlidir. LSP ile elde edilen pik değerlerinin anlamlı olup olmadığına karar vermek için Larson vd. (2013a) tarafından yapılan çalışmaya benzer şekilde pik-gürültü oranı testi uygulanmıştır. Buna göre en yüksek reflektör yüksekliği genliğinin gürültüye oranı 3'ten küçük olan yansımalar anlamsız olup analizde kullanılmamıştır. Eğer periodogramda birden çok pik elde ediliyorsa dominant frekans hesaplanamamıştır ve reflektör yüksekliğine dönüştürülemez. Bu durum veri kalitesinden veya istasyon yakınındaki başka yansıtıcı etkilerden kaynaklanabilmektedir (Lee vd., 2019). Sonuç olarak, zayıf yansıyan bu sinyallerden anlamlı reflektör yükseklikleri hesaplanamadığından ilgili istasyonun GNSS-R ile deniz seviyesi belirlenmesine elverişli olmadığına karar verilmiştir. Her bir istasyon için yukarıda belirtilen şartları sağlayan uydu izlerinden elde edilen reflektör yüksekliklerinin ortalaması alınarak günlük reflektör yükseklikleri hesaplanmıştır.

Son olarak, GNSS tabanlı deniz seviyesi gözlemleri, ilgili GNSS istasyonuna yakın mareograf kayıtları ile karşılaştırılmıştır. Her iki deniz seviyesi gözlem verileri arasındaki Pearson korelasyon katsayısı,

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)S_x S_y} \quad (9)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada n ; veri çiftlerini (x_i, y_i) , \bar{x} ve \bar{y} ; değişkenlerin ortalamalarını, S_x ve S_y ise değişkenlerin standart sapmalarını ifade etmektedir (Tüysüz & Yaylalı Abanuz, 2012).

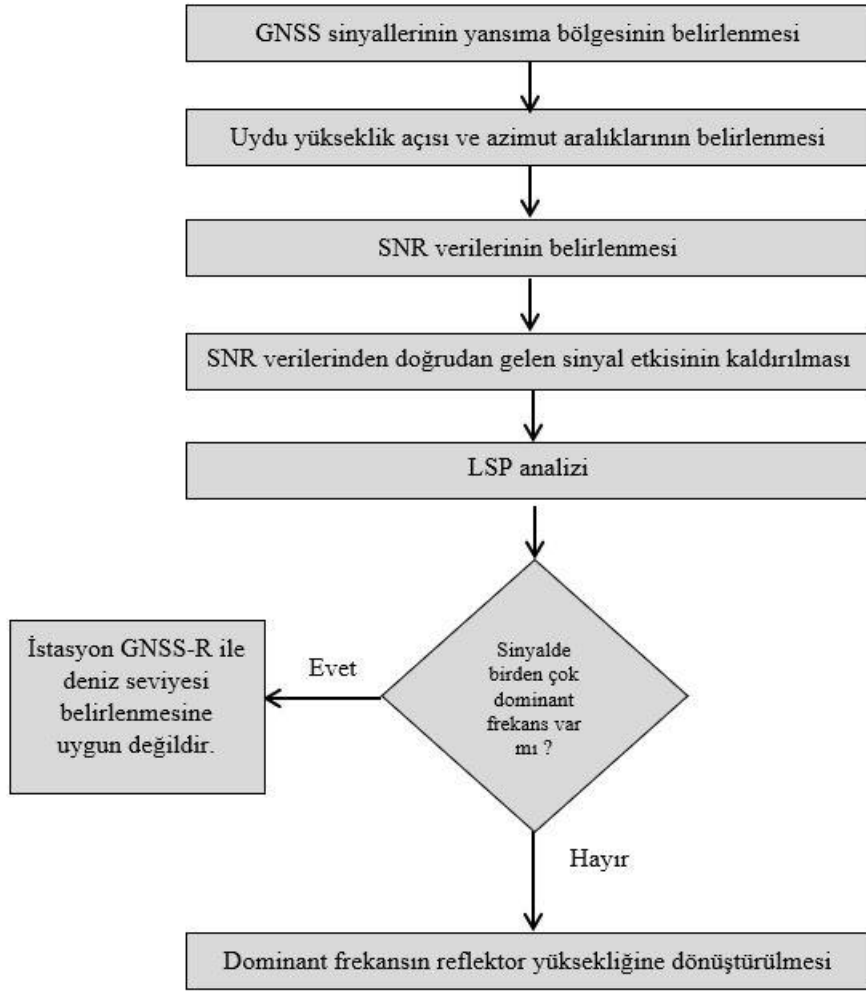


Şekil 5: Çalışmada kullanılan sabit GNSS istasyonları Fresnel bölge resimleri: ANMU (a); DATC (b); SAME (c); MERS (d); FASA (e); SINP (f); TEKR (g).

Tablo 2: Çalışmada kullanılan istasyon bilgileri

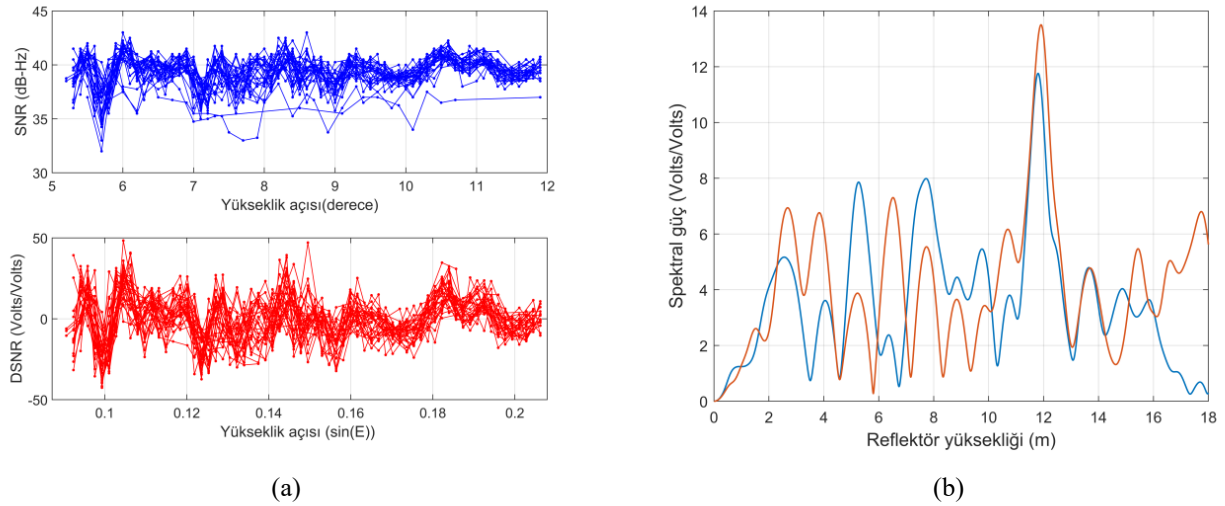
	ANMU	DATC	FASA	MERS	SAME	SINP	TEKR
Azimut (derece)	120°-200°	60°-150°	60°-100°	60°-160°	0°-90°	300°-330°	60°-180°
Uydu Yükseklik Açısı (derece)	5°-12°	5°-15°	5°-10°	5°-20°	1°-20°	5°-10°	5°-20°

GNSS tabanlı deniz seviyesi gözlemleri anten faz merkezine, mareograf kayıtları ise mareograf istasyonunun bulunduğu yere göre referanslıdır. Bu nedenle, iki gözlem değeri arasında datum farklılığı vardır. Bu farkı kaldırmak için, karşılaştırma yapmadan önce her iki yöntemle elde edilen deniz seviyesi zaman serilerinden ortalama değer çıkarılmıştır. Çalışmaya ilişkin iş akış şeması Şekil 6'da gösterilmiştir.



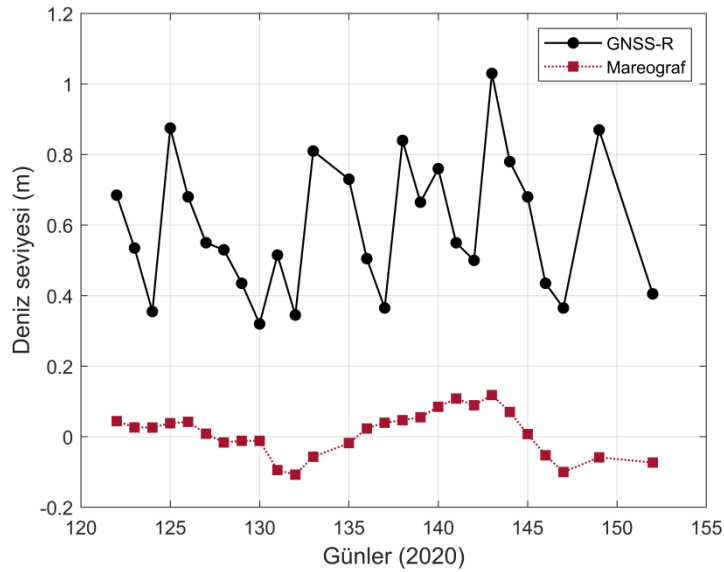
Şekil 6: GNSS-R ile deniz seviyesi belirlenmesi iş akış şeması

Akdeniz bölgesinde bulunan ANMU istasyonunda 5° - 12° uydu yükseklik açısı ve 120° - 200° azimut aralığındaki uydu izlerine ait SNR verileri kullanılmıştır. Şekil 7’de Pseudo Random Noise (PRN) 2 numaralı GPS uydu izine ait SNR salınımları ve LSP sonuçları gösterilmektedir. Uydu yükseklik açısı arttıkça sinyal yansıma etkisi ile beraber SNR verilerinin artan yönde eğilim göstermesi gerekirken ilgili istasyonda SNR salınımları aynı seviyede devam etmekte olup istenilen sıklıkta veri bulunmamaktadır (Şekil 7(a)). Uygulanan uydu yükseklik açısı ve azimut maskesi ile elde edilen SNR verilerinin yeterli düzeyde olmadığı görülmüştür. LSP analizi sonucuna bakıldığında ilgili istasyona ait trendden arındırılmış SNR verilerinin dominant frekansa sahip olduğu görülmektedir ve bu frekansa karşılık gelen reflektör yüksekliği hesaplanabilmektedir.



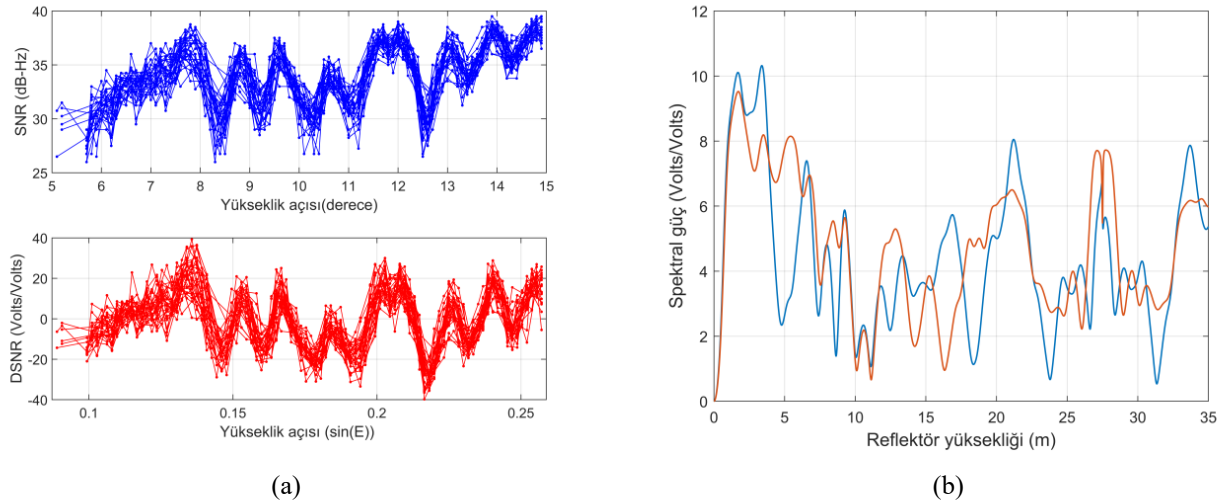
Şekil 7: (a) ANMU istasyonunda ait SNR salınımları. Mavi renk doğrudan gelen ve yansıyan sinyali içeren SNR, kırmızı renk ise doğrudan gelen sinyalin etkisinden arındırılmış DSNR salınımlarını göstermektedir. (b) ANMU istasyonuna ait doğrudan gelen sinyal etkisinin kaldırıldığı SNR verileri kullanılarak DOY 122 ve DOY 123 için hesaplanan LSP salınımları

Fakat GNSS-R ile hesaplanan deniz seviyesi verileri istasyona en yakın Bozyazı mareograf istasyonu gözlemleri ile karşılaştırıldığında her iki deniz seviyesi gözlemleri arasında korelasyon olmadığı görülmüştür (Şekil 8). ANMU istasyonunda belirlenen uydu yükseklik açısı aralığındaki yetersiz SNR verisi ve zayıf yansıma genlikleri sonuca etki eden faktörler olarak değerlendirilmiştir.



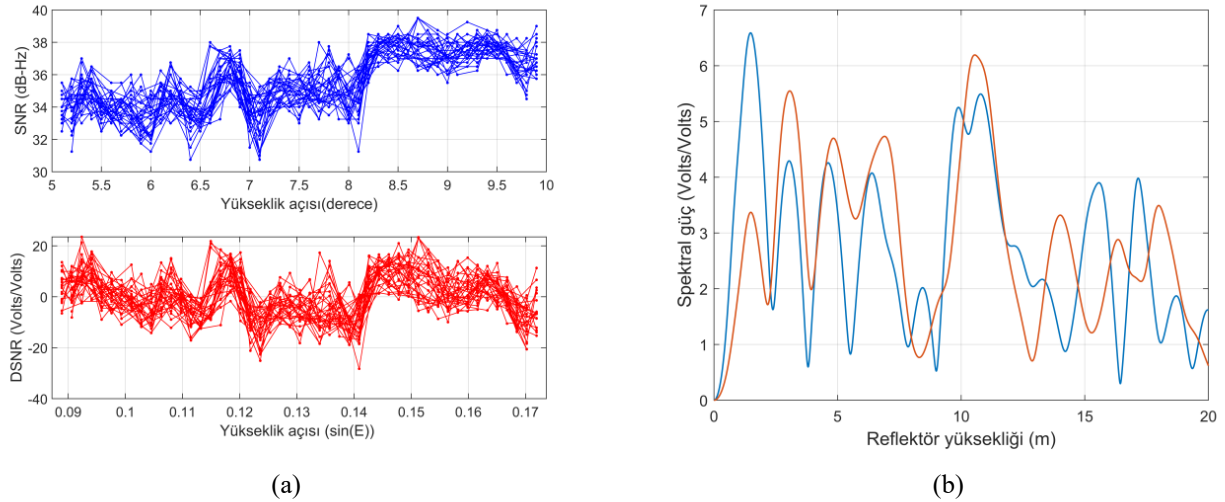
Şekil 8: ANMU istasyonu GNSS-R ile tahmin edilen deniz seviyesi ve Bozyazı mareograf istasyonu deniz seviyesi gözlemleri karşılaştırması

Ege bölgesinde bulunan DATC istasyonuna ait 5° - 15° uydu yükseklik açısı ve 60° - 150° azimut aralığındaki uydu izlerine ait SNR verileri kullanılmıştır. Şekil 9 (a)'da PRN 4 numaralı GPS uydu izine ait SNR salınımları ve Şekil 9 (b)'de LSP sonuçları gösterilmiştir. Burada, kullanılan uydu yükseklik açısı ve azimut aralığında yeterli sayıda SNR verisi olmaması nedeniyle DATC istasyonuna ait SNR salınımları düzenli bir şekilde artmamaktadır. Sonuç olarak LSP analizinde de birden çok pik elde edilmiş olup zayıf yansıma sinyalleri mevcuttur. Bu nedenle DATC istasyonunda dominant frekans ve anlamlı reflektör yükseklikleri elde edilememiştir (Şekil 9 (b)).



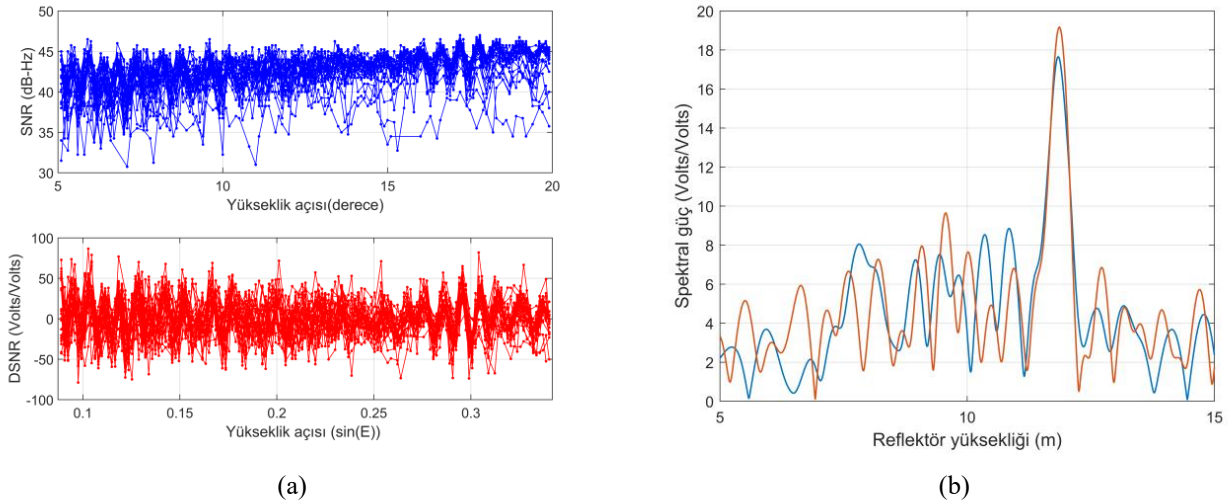
Şekil 9: (a) DATC istasyonunda ait SNR salınımları. Mavi renk doğrudan gelen ve yansıyan sinyali içeren SNR, kırmızı renk ise doğrudan gelen sinyalin etkisinden arındırılmış DSNR salınımlarını göstermektedir. (b) DATC istasyonuna ait doğrudan gelen sinyal etkisinin kaldırıldığı SNR verileri kullanılarak DOY 122 ve DOY 123 için hesaplanan LSP salınımları

Karadeniz bölgesinde bulunan FASA istasyonuna ait 5° - 10° uydu yükseklik açısı ve 60° - 100° azimut aralığındaki uydu izlerine ait SNR verileri kullanılmıştır. FASA istasyonunda denizi kapsayan uydu izlerinin dar bir azimut aralığında olduğu görülmüştür. Bölgedeki diğer istasyonlara göre denize yakın olmasına rağmen 5° 'den küçük uydu izlerinin olmaması nedeniyle denizi kapsayan çok az sayıda uydu izinin kullanılması ile SNR salınımlarının yeterli düzeyde olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak zayıf yansıma genlikleri elde edilmiş olup dominant frekans hesaplanamamıştır. Şekil 10 (a)'da PRN 20 numaralı GPS uydu izine ait SNR salınımları ve Şekil 10 (b)'de LSP sonuçları gösterilmiştir.



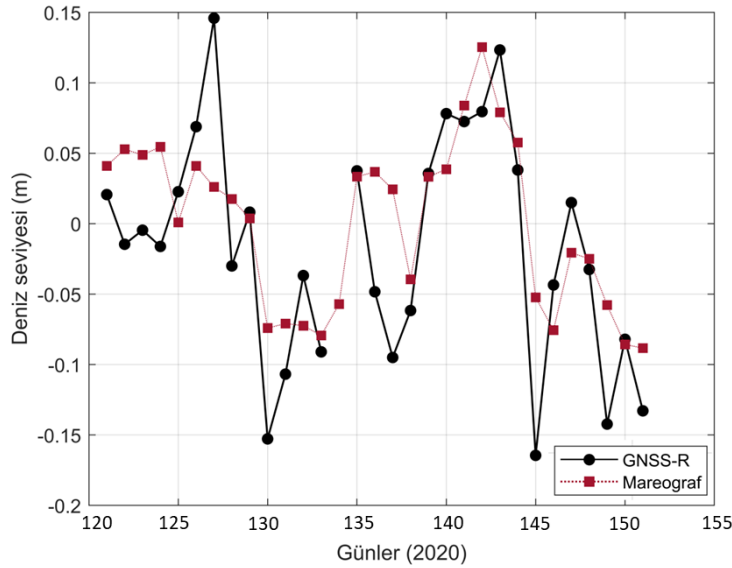
Şekil 10: (a) FASA istasyonunda ait SNR salınımları. Mavi renk doğrudan gelen ve yansıyan sinyali içeren SNR, kırmızı renk ise doğrudan gelen sinyalin etkisinden arındırılmış DSNR salınımlarını göstermektedir. (b) FASA istasyonuna ait doğrudan gelen sinyal etkisinin kaldırıldığı SNR verileri kullanılarak DOY 122 ve DOY 123 için hesaplanan LSP salınımları

Akdeniz bölgesinde bulunan MERS istasyonuna ait 5° - 20° uydu yükseklik açısı ve 60° - 160° azimut aralığındaki uydu izlerine ait SNR verileri kullanılmıştır. Şekil 11'de PRN 10 numaralı GPS uydu izine ait sonuçlar sunulmuştur. Şekil 11(a)'da SNR verilerinin ~ 45 dB-Hz seviyesine kadar düzgün olarak yükseldiği görülmüştür. LSP analizi sonucunda, Şekil 11(b)'de reflektör yüksekliklerinin aynı değer etrafında toplandığı görülmüştür.



Şekil 11: (a) MERS istasyonunda ait SNR salınımları. Mavi renk doğrudan gelen ve yansıyan sinyali içeren SNR, kırmızı renk ise doğrudan gelen sinyalin etkisinden arındırılmış DSNR salınımlarını göstermektedir. (b) MERS istasyonuna ait doğrudan gelen sinyal etkisinin kaldırıldığı SNR verileri kullanılarak DOY 136 ve DOY 144 için hesaplanan LSP salınımları

MERS sabit GNSS istasyonunda GNSS-R ile hesaplanan deniz seviyesi verileri ile istasyon yakınında bulunan Erdemli mareograf istasyonu deniz seviyesi gözlemleri karşılaştırılmıştır (Şekil 12). Her iki zaman serisi arasındaki Pearson korelasyon katsayısı 0.76 olarak hesaplanmıştır.

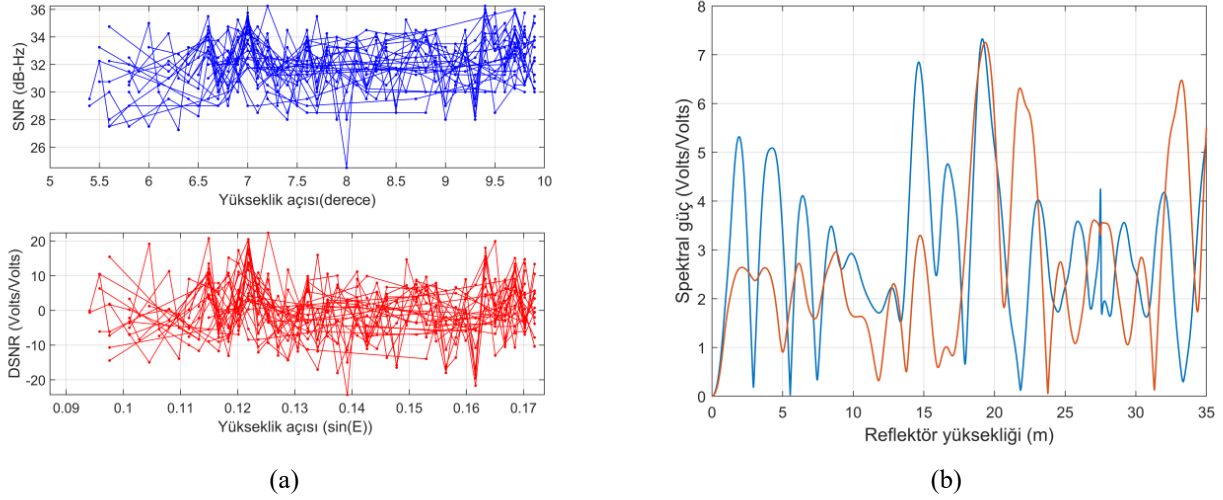


Şekil 12: MERS istasyonu GNSS-R ile tahmin edilen deniz seviyesi ve Erdemli mareograf istasyonu deniz seviyesi gözlemleri karşılaştırması

116Y186 nolu “Bölgesel GNSS Ağı ile Ekstrem Hava Olaylarının Tahmininin Güçlendirilmesi” başlıklı TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında Karadeniz bölgesinde kurulmuş olan SAME istasyonunda GNSS-R yöntemiyle deniz seviyesi belirlenmesi amacıyla, 1°-20° uydu yükseklik açısı ve 0°-90° azimut aralığındaki uydu izlerine ait SNR verileri kullanılmıştır. Denizi kapsayan alandaki uydu izlerine ulaşmak için uydu yükseklik açıları 1°'ye kadar inilmesi sonucu troposferik hatada artış meydana gelmiş olup düzgün SNR salınımları elde edilememiştir.

Karadeniz bölgesinde bulunan SİNP istasyonuna ait 5°-10° uydu yükseklik açısı ve 300°-330° azimut aralığındaki uydu izlerine ait SNR verileri kullanılmıştır. Bu istasyonda da denizi kapsayan uydu izlerinin dar bir azimut aralığında olduğu

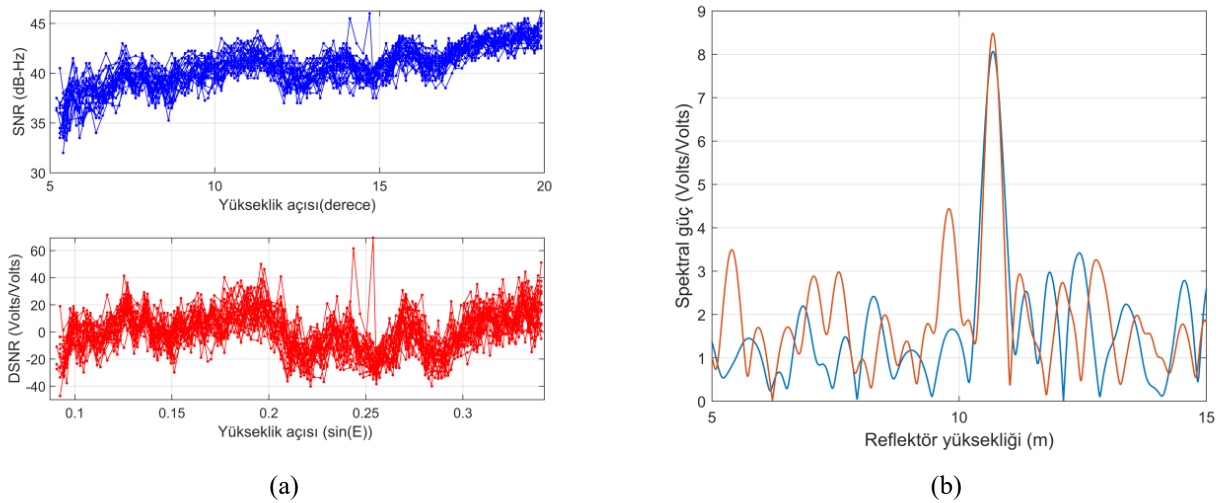
görülmüştür. Bu nedenle yeterli sayıda uydu izine ulaşamamış olup istenilen şekilde SNR salınımları elde edilememiştir. Şekil 13 (a)'da PRN 32 numaralı GPS uydu izine ait SNR salınımları ve Şekil 13 (b)'de LSP analizi sonuçları gösterilmiştir.



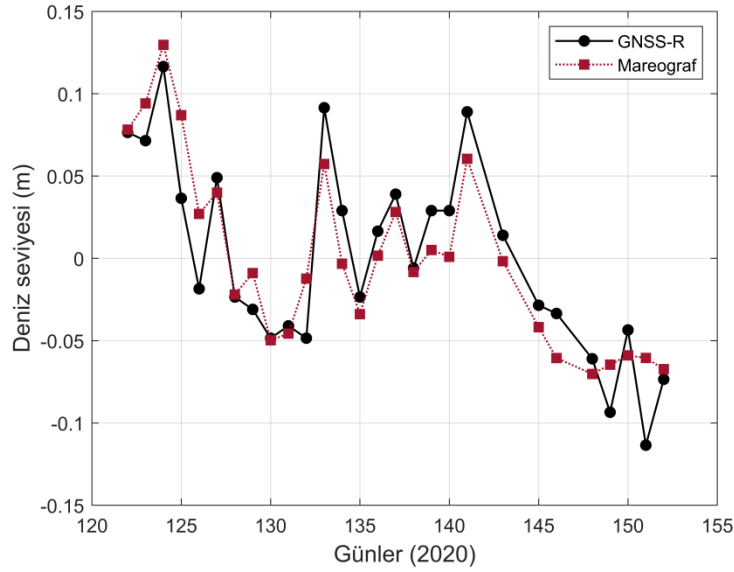
Şekil 13: (a) SINP istasyonunda ait SNR salınımları. Mavi renk doğrudan gelen ve yansıyan sinyali içeren SNR, kırmızı renk ise doğrudan gelen sinyalin etkisinden arındırılmış DSNR salınımlarını göstermektedir. (b) SINP istasyonuna ait doğrudan gelen sinyal etkisinin kaldırıldığı SNR verileri kullanılarak DOY 122 ve DOY 123 için hesaplanan LSP salınımları

Marmara bölgesinde bulunan TEKR istasyonunda SNR salınımlarının daha net görüldüğü 5°-20° arasındaki uydu yükseklik açısına sahip uydu izleri kullanılmıştır. Azimut aralığı olarak 60°-180° seçilmiştir. Şekil 14 (a)'da PRN 32 numaralı GPS uydu izine ait SNR salınımları ve Şekil 14 (b)'de LSP analizi sonuçları gösterilmiştir. SNR salınımlarının ~30-43 dB-Hz arasında değiştiği görülmüştür. Reflektör yüksekliklerini hesaplamak için yapılan LSP sonucunda her bir salınının aynı değer etrafında pik yaptığı görülmüştür.

TEKR sabit GNSS istasyonunda GNSS-R ile hesaplanan deniz seviyesi verileri ile istasyona en yakın Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu deniz seviyesi gözlemleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 15). Her iki zaman serisi arasındaki Pearson korelasyon katsayısı 0.91 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 14: (a) TEKR istasyonunda ait SNR salınımları. Mavi renk doğrudan gelen ve yansıyan sinyali içeren SNR, kırmızı renk ise doğrudan gelen sinyalin etkisinden arındırılmış DSNR salınımlarını göstermektedir. (b) TEKR istasyonuna ait doğrudan gelen sinyal etkisinin kaldırıldığı SNR verileri kullanılarak DOY 122 ve DOY 140 için hesaplanan LSP salınımları



Şekil 15: TEKR istasyonu GNSS-R ile tahmin edilen deniz seviyesi ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu deniz seviyesi gözlemleri karşılaştırması

5. Sonuçlar

İklim değişikliği senaryolarında önemli bir parametre olan deniz seviyesi değişiminin izlenmesinde hem bölgesel hem de küresel etkilerin bilinmesi ve bu etkilerin değerlendirilmesi önemlidir. GNSS-R uzaktan algılanabilir bir tekniktir ve ekonomik olarak avantajlıdır. Gelgit etkilerini mareograf istasyonlarına kıyasla daha doğru belirleyebilmektedir. Bir diğer avantajı ise Uluslararası Yersel Referans Ağı'na (ITRF) göre deniz seviyesinin ölçülmesine yani mutlak deniz seviyesi bilgisine olanak sağlamasıdır.

Çalışma kapsamında Türkiye kıyılarında bulunan MERS IGS istasyonu ve ANMU, DATC, FASA, SINP ve TEKR TUSAGA-Aktif istasyonu, 116Y186 kodlu TÜBİTAK projesi kapsamında Samsun'da kıyıya yakın bir alanda tesis edilmiş SAME GNSS istasyonlarında kaydedilmiş veriler kullanılarak, GNSS-R tekniği ile istasyonların bulunduğu kıyılarda deniz seviyesi belirlenmesi yapılmıştır. Aynı zamanda ülkemizin farklı kıyılarında IGS, TUSAGA-Aktif ve özel amaçlı tesis edilmiş sabit GNSS istasyonlarının GNSS-R yöntemi ile deniz seviyesi belirlenmesine uygun olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan toplam 7 istasyonun sadece 2'si GNSS-R tekniği ile deniz seviyesi belirlemeye elverişli durumda veri sağladığı tespit edilmiştir.

Akdeniz'de MERS ve Marmara denizinde TEKR istasyonları uygun istasyonlar olarak bulunmuştur. MERS sabit GNSS istasyonundan tahmin edilen GNSS tabanlı deniz seviyesi, istasyona yakın Erdemli mareograf gözlemleri ile karşılaştırılmıştır. İki gözlem verisi arasındaki Pearson korelasyonu 0.76 olarak hesaplanmıştır. TEKR sabit GNSS istasyonu ise yine istasyona yakın Marmara Ereğlisi mareograf gözlemleri ile karşılaştırıldığında, iki gözlem verisi arasındaki Pearson korelasyonu 0.91 olarak elde edilmiştir. Deniz seviyesinden yüksekliği düşük olan ANMU ve FASA istasyonlarında belirlenen azimut ve uydu yükseklik açılarında uygun uydu izleri olmaması nedeniyle deniz seviyesi belirlenememiştir. İstasyonun bulunduğu yerdeki bina, dağ ve kayalık gibi çevresel koşullarda bu sonucu etkileyen faktörler olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda ANMU, DATC, FASA ve SINP TUSAGA-Aktif istasyonlarında denizi kapsayan alanlardaki uydu izlerine ulaşmak için dar yükseklik açısı maskesi yapılmak zorunda kalınmış ve bu istasyonlarda sınırlı sayıda ve açık olmayan SNR salınımları elde edilmiştir. GNSS-R tekniğinin avantajlarının yanında tekniğin doğruluğunu arttırmak için daha fazla gelişmeye de ihtiyaç vardır. Çok düşük yükseklik açılarında SNR frekansındaki değişim çoğunlukla

GNSS radyo dalgalarındaki troposfer kaynaklı kırılma ile ilişkilendirilmektedir. Bu etki lokal atmosferik sıcaklık ve basınç gözlemleri kullanılarak büyük çoğunlukla düzeltilmektedir. Elde edilen sonuçların kalitesinin farklı kalite kontrollerinin de çalışmaya dahil edilmesi, istasyonlar için daha kısa veri kayıt aralıklarının sağlanması ile yükseltilmesi mümkündür.

GNSS istasyonlarının jeodezik amaçlı kullanımının yanı sıra jeodinamik aktivitelerin araştırılması ve meteorolojik tahminleri güçlendirilmesi amacıyla ürünler sağladığı hem ülkemizde hem de dünyada yapılan çeşitli araştırmalarda bilinmektedir. Son dönemlerde dünyada yapılan çeşitli çalışmalarda GNSS-R tekniği ile GNSS istasyonlarının deniz seviyesi değişimlerinin araştırılmasına da önemli katkılar sağladığı görülmektedir. Bu anlamda GNSS-R tekniğinin ülkemizde deniz seviyesi izlemede önemli bir potansiyel olabileceği gerçeği ile kıyılarda mevcut GNSS istasyonlarımızın GNSS-R tekniği ile deniz seviyesi belirlemeye uygun özellikle veri temin edebilmesi ve hatta uygun alanlara yeni GNSS istasyonlarının tesis edilmesi konusunda çalışmaların teşvik edilmesinin önemli olduğu düşünölmektedir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif GNSS verilerini (<https://www.tusaga-aktif.gov.tr/>) linki üzerinden sağlayan Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ile Harita Genel Müdürlüğüne, TUDES verilerini (<https://tudes.harita.gov.tr/>) linki üzerinden sağlayan Harita Genel Müdürlüğüne ve IGS istasyon verilerini (<https://www.unavco.org/>) linki üzerinden UNAVCO'a teşekkür ederiz.

Yazar Katkısı



Cansu Beşel: Fikir, Tasarım, Literatür Taraması, Veri Toplama ve İşleme, Analiz ve Yorumlama, Yazım. **Emine Tanır Kayıkcı:** Fikir, Yazım, Denetleme, Makale değerlendirme.

Kaynaklar

- Cazenave, A., Dieng, H. B., Meyssignac, B., von Schuckmann, K., Decharme, B., & Berthier, E. (2014). The rate of sea-level rise. *Nature Climate Change*, 4(5), 358-361.
- Chelton, D., Ries, J., Haines, B., Fu, L., & Callahan, P. (2001). Satellite Altimetry, *Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook for Techniques and Applications*, L.L. Fu ve A. Cazenave.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, İsviçre.
- IPCC (2013). *Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Birleşik Krallık ve New York.
- Joseph, A. (2010). What is the difference between SNR and C/N0. *InsideGNSS*, 5(8), 20-25.
- Larson, K. M., Small, E. E., Gutmann, E., Bilich, A., Axelrad, P., & Braun, J. (2008). Using GPS multipath to measure soil moisture fluctuations: initial results. *GPS solutions*, 12(3), 173-177.
- Larson, K. M., Löfgren, J. S., & Haas, R. (2013a). Coastal sea level measurements using a single geodetic GPS receiver. *Advances in Space Research*, 51(8), 1301-1310.
- Larson, K. M., Ray, R. D., Nievinski, F. G., & Freymueller, J. T. (2013b). The accidental tide gauge: a GPS reflection case study from Kachemak Bay, Alaska. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10(5), 1200-1204.
- Larson, K. M., & Nievinski, F. G. (2013). GPS snow sensing: results from the EarthScope Plate Boundary Observatory. *GPS solutions*, 17(1), 41-52.

- Larson, K.M., Ray, R.D. & Williams, S.D.P. (2017). A 10-year comparison of water levels measured with a geodetic GPS receiver versus a conventional tide gauge. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 34: 295-307.
- Lee, C. M., Kuo, C. Y., Sun, J., Tseng, T. P., Chen, K. H., Lan, W. H., Shum, C. K., Ali, T., Ching, K. E., Chu, P. & Jia, Y. (2019). Evaluation and improvement of coastal GNSS reflectometry sea level variations from existing GNSS stations in Taiwan. *Advances in Space Research*, 63(3), 1280-1288.
- Li, F. (2018). *Sea Surface Altimetry using GNSS-R* (Lisans tezi). Universität Stuttgart, Geodäsie und Geoinformatik, Stuttgart, Almanya.
- Löfgren, J. S., Haas, R., & Johansson, J. M. (2010). High-rate local sea level monitoring with a GNSS-based tide gauge. *2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3616-3619.
- Löfgren, J. S., Haas, R., & Scherneck, H. G. (2011). Sea-Level analysis using 100 days of reflected GNSS signals. *Proceedings of the 3rd International Colloquium-Scientific and Fundamental Aspects of the Galileo Programme, Copenhagen, Denmark* (No. WPP 326).
- Löfgren J. S. (2014). *Local sea level observations using reflected GNSS signals* (Doktora Tezi). Chalmers University of Technology, Department of Earth and Space Sciences, Gothenburg, İsveç.
- Löfgren, J. S., Haas, R., & Scherneck, H. G. (2014). Sea level time series and ocean tide analysis from multipath signals at five GPS sites in different parts of the world. *Journal of Geodynamics*, 80, 66-80.
- Martin-Neira, M. (1993). A passive reflectometry and interferometry system (PARIS): Application to ocean altimetry. *ESA journal*, 17(4), 331-355.
- Roesler, C., & Larson, K. M. (2018). Software tools for GNSS interferometric reflectometry (GNSS-IR). *GPS Solutions*, 22(3), 80.
- Santamaría-Gómez, A., Watson, C., Gravelle, M., King, M., & Wöppelmann, G. (2015). Levelling co-located GNSS and tide gauge stations using GNSS reflectometry. *Journal of Geodesy*, 89(3), 241-258.
- Santamaría-Gómez, A., & Watson, C. (2017). Remote leveling of tide gauges using GNSS reflectometry: case study at Spring Bay, Australia. *GPS solutions*, 21(2), 451-459.
- Selbesoğlu, M. O., Yavaşoğlu, H. H., Karabulut, M. F., Güllal, V. E., Karaman, H., & Kamaşak, M. E. (2019). Monitoring the water vapor, snow/ice and sea level changes in the Antarctica with GNSS Meteorology and GNSS Reflectometry Techniques. *XXIX International Symposium On: "Modern Technologies, Education And Professional Practice In Geodesy And Related Fields"*, 21.
- Simav, M. (2012). *Uydu ve model verilerine dayalı Akdeniz su kütlesi değişimleri* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tunalıoğlu, N., Doğan, A. H., & Durdağ, U. M. (2019). GPS sinyal gürlüğü oranı verileri ile kar kalınlığının belirlenmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 6(1),1-9.
- Tüysüz, N. & Yaylalı Abanuz, G. (2012). *Jeostatistik: Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar*, s. 171, KTÜ Matbaası, Trabzon, Türkiye.
- Vey, S., Güntner, A., Wickert, J., Blume, T., & Ramatschi, M. (2016). Long-term soil moisture dynamics derived from GNSS interferometric reflectometry: a case study for Sutherland, South Africa. *GPS solutions*, 20(4), 641-654.
- Wan, W., Larson, K. M., Small, E. E., Chew, C. C., & Braun, J. J. (2015). Using geodetic GPS receivers to measure vegetation water content. *GPS Solutions*, 19(2), 237-248.
- URL-1: <https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lsa/SeaLevelRise>, (Erişim Tarihi : 31 Ağustos 2020).
- URL-2: <https://www.unavco.org/data/gps-gnss/data-access-methods/dai2/app/dai2.html>, (Erişim Tarihi : 14 Şubat 2020).
- URL-3: <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/>, (Erişim Tarihi : 8 Haziran 2020).
- URL-4: <https://tudes.harita.gov.tr/>, (Erişim Tarihi : 8 Haziran 2020).

Hava Lidar verilerinin denetimsiz yapay sinir ağları kullanılarak filtrelenmesi

Alper Şen^{1*} , Burcu Bayaslı¹ 

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

Öz: Hava Lidar (Light Detection and Ranging) sistemleri ile üretilen mekânsal veriler, yüksek doğruluklu, hızlı ve az maliyetli olarak elde edilmektedir. Ancak verilerin nesne çıkarımı amacıyla elle işlenmesi, zaman alan ve emek yoğun bir işlemdir. Bu süreci otomatik bir hale dönüştürmek amacıyla, denetimli/denetimsiz sınıflandırma yöntemleri kullanılabilir. Lidar verilerinin, zemine ait ve zemine ait olmayan veriler olarak ayrılmasına filtreleme denir. Lidar verileri kullanılarak Sayısal Yükseklik Modeli oluşturulmasında filtreleme işlemi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Harita Genel Müdürlüğü'nün başkanlığında 2014 yılında üretilen, Riegl LMS-Q1560 Lidar sistemiyle Bergama ilçesinde 1200 metre yükseklikte gerçekleştirilen uçuş verilerinden elde edilen ayrık-dönüşlü Lidar test verisi kullanılmıştır. Lidar nokta bulutu, denetimsiz bir yapay sinir ağı yöntemi olan Kendini Düzenleyen Haritalar (KDH) yöntemi ile analiz edilerek kümelere ayrılmıştır. Kümeler, uydu görüntüleri ile karşılaştırılarak nesne sınıfları belirlenmiştir. Bu yöntem ile elde edilen nesne sınıflarının doğruluğu, görsel olarak sınıfları belirlenen tüm noktalar incelenerek hesaplanmıştır. Sinir ağına ait en az nöron sayısı, denetimli olarak hata değerlerine göre belirlenmiştir. Lidar nokta bulutunun KDH yöntemiyle filtrelenmesi sonucu, Tip-1 hatası %11.54, Tip-2 hatası %19.43 ve toplam hata %16.41 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, hava Lidar verilerinin filtrelenmesinde KDH sinir ağlarının belirlenen nöron sayısı ile etkin olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Lidar, Yapay sinir ağları, Kendini düzenleyen haritalar, Filtreleme

Filtering of airborne Lidar data by using unsupervised artificial neural networks

Abstract: Spatial data produced with airborne Lidar(Light Detection and Ranging) systems are obtained with high accuracy, fast and low cost. However, manual processing of the data for object extraction is time consuming and labor intensive. Supervised/unsupervised classification methods can be used to make this process automatic. Classification of Lidar data as ground and non-ground data is called filtering. Filtering is very important in creating a Digital Elevation Model using Lidar data. In this study, the discrete-return Lidar test data obtained from the flight at 1200 meters altitude in Bergama district with the Riegl LMS-Q1560 Lidar system produced in 2014 under the chairmanship of the General Directorate of Mapping was used. The Lidar point cloud was grouped into clusters by analyzing it with the Self Organizing Maps (SOM), which is an unsupervised artificial neural network method. Feature classes were determined by comparing clusters with satellite images. The accuracy of the feature classes obtained by this method was calculated by examining all points of the classes which were visually determined. The minimum number of neurons of neural network was determined according to the error values. As a result of filtering the Lidar point cloud with SOM method, Type-1 error was found as 11.54%, Type-2 error was 19.43% and total error was 16.41%. In accordance with the results obtained, it was seen that SOM neural networks with the number of neurons determined could be used effectively in filtering the airborne Lidar data.

Keywords: Lidar, Artificial neural networks, Self organizing maps, Filtering

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5344

Geliş Tarihi/Received: 06.07.2020
Kabul Tarihi/Accepted: 14.10.2020



0000-0002-7236-6701, alpersen@yildiz.edu.tr (Şen A.)*
0000-0002-1264-3658, f5017022@std.yildiz.edu.tr (Bayaslı B.)

1. Giriş

Günümüzde hava Lidar (Light Detection and Ranging) sistemleri 3 boyutlu (3B) kent modellemeleri, kıyı çizgisi tespiti, peyzaj, demiryolu güzergâhları, enerji nakil hatları belirlenmesi, çevre kirliliği modellemeleri, orman alanlarının saptanması ve hatta ağaç türlerinin belirlenmesi gibi pek çok çalışmada kullanılmaktadır. Lidar teknolojisi ile veri üretimi yüksek doğruluk, hız ve zaman açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Buna karşın, mekânsal bilgilerin çıkarımı amacıyla Lidar verilerinin elle ve/veya otomatik olmayan yöntemlerle işlenmesi kapsamlı, maliyetli ve zaman alıcıdır. Verilerden nesne çıkarımı sürecini otomatik bir hale dönüştürmek amacıyla, denetimli/denetimsiz sınıflandırma yöntemleri kullanılabilmektedir.

Lidar sistemlerinin dönüş sinyali, kayıt tekniklerine göre ayrık dönüşlü sistemler ve tam dalga boyu formulu sistemler olarak kategorize edilir. Nokta tabanlı sınıflandırma, genellikle ayrık-dönüşlü sistemler için kullanılır. Yakalanan yükseklik özelliğine ek olarak, her gidiş ve dönüş sinyali, sinyallerin sayısı ve yoğunluğu gibi diğer nitelikleri de yakalar. Bu ek nitelikler, Lidar verilerinin analizinde kullanılabilir. Tam dalga boyu formuna dayalı sınıflandırma, bir dönüş sinyalinin tam profilini sabit zaman aralıklarında örnekleyerek kullanır. Tam dalga boyu forma sahip sistemler, orman alanlarının araştırılması gibi yoğun bitki örtüsüne sahip 3B harita üretiminde yaygın olarak kullanılır. Ancak tam dalga boyu formulu Lidar verilerinin, geleneksel ayrık-dönüşlü nokta bulutu verisine kıyasla hacmi çok büyüktür. Veri kaynağı türlerine göre mevcut sınıflandırma yöntemlerine veri füzyonu tabanlı sınıflandırma da eklenebilir. Nokta tabanlı sınıflandırma teknikleri genellikle dalga formu işleme ve/veya görüntü işleme ile veri füzyonu tabanlı yöntemlere göre hızlı veri işleme sağlamaktadır (Zhang, Lin, & Ning, 2013).

Lidar verilerinin, zemine ait ve zemine ait olmayan veriler olarak ayrılmasına filtreleme denir. Lidar verileri kullanılarak, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmasında filtreleme işlemi önem arz etmektedir (Briese 2010; Kang, Liu, & Lin, 2014). Briese (2010) filtreleme algoritmalarını dört farklı kategoride gruplandırmıştır. Bunlar; yüzey tabanlı filtreleme, morfolojik filtreleme, segmentasyon tabanlı filtreleme ve aşamalı yoğunlaştırmadır.

Filtreleme algoritmalarının kendine has avantajları ve dezavantajları vardır. Genellikle yüzey tabanlı filtreleme algoritmaları kullanılmaktadır ve çoğu arazi koşulunda tatmin edici sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, bu tür filtreleme algoritmaları arazi detaylarını korumakta ve bazen küçük nesnelere sınıflandırmakta zorluk çekmektedir (Mongus & Žalik, 2014). Yüzey tabanlı filtreleme algoritmasının aksine, morfoloji tabanlı filtreleme algoritmaları arazinin morfolojik ayrıntılarını korur. Segmentasyon tabanlı algoritmalar, farklı boyut ve şekillerdeki nesnelere algılamak için farklı özellikler kullanmaktadır. Bu nedenle, bu algoritmalar kentsel alanlar için uygundur. Bununla birlikte, bu algoritmalar günlük lazer darbeleri nedeniyle yoğun ormanlık alanlarda zorluk çekmektedir (Chen, Gao, & Devereux, 2017). Aşamalı düzensiz üçgen ağı yoğunlaştırma algoritması, ortalama doğruluk açısından genel filtreleme yöntemlerinde en iyi sonucu elde eder (Sithole & Vosselman, 2004). Bununla birlikte, bu algoritma keskin sırtlar gibi süresiz arazileri tespit etmekte zorlanmaktadır (Chen, Wang, Zhang, Sun, & Liu, 2016).

ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) çalışma grubu tarafından farklı filtreleme algoritmalarının performansları değişik topografya özelliklerine sahip test verilerinden yararlanılarak test edilmiştir. Örneğin, 11 numaralı test verisi bitki örtüsü ve dik yamaçlarda binalar içermektedir. Çalışmada kullanılan filtreleme yöntemlerinde çoğu nesne iyi filtrelenmiştir. Merkezdeki yol, Roggero filtresi tarafından filtrelenebilmiştir. Sohn ve Sithole filtresi tarafından çok dik eğimler filtrelenebilmiştir. Teraslar, Elmqvist, Pfeifer, Roggero ve Sithole filtresi tarafından filtrelenebilmiştir. Kullanılan filtreleme yöntemlerinde Tip-1 hatası %15.96 ile %62 arasında değişirken; Tip-2 hatası %2.41

ile %12.17 arasında değişmiştir. Toplam hata ise %10.76 ile %36.96 arasında değişmiştir (Sithole & Vosselman, 2003).

Biyolojik sinir ağlarından esinlenerek makine ve bilgisayarlara öğrenebilme, tahmin edebilme ve karar verebilme yetileri sağlayan yapay zekâ ise günümüzde pek çok karmaşık problemi çözebilmektedir. Morris vd. (2005), Lidar yükseklik verisini, multispektral görüntüyü ve yapay sinir ağlarını entegre ederek Güney Carolina'da bataklık karakterizasyonunu araştırmıştır. Salah, Trinder ve Shaker (2009), multispektral hava görüntüleri ve Lidar verisinin entegrasyonundan Kendini Düzenleyen Haritalar (KDH) yöntemiyle otomatik nesne çıkarmış ve karakteristiği farklı iki bölgede test etmiştir. Elde edilen sonuçlar, KDH yöntemiyle Lidar verisinin, yalnızca hava görüntülerinin kullanılmasına kıyasla nesne algılama doğruluğunu %38 oranında geliştirdiğini göstermiştir. Zaletnyik, Laky ve Toth (2010), KDH yöntemini kullanarak Lidar verisinin dalga formunu sınıflandırmış ve bunun için geri yansıyan dalga formunun parametrelerine dayanarak kütle merkezinden hesaplanan uzaklıklar ile bitki örtüsüz yüzeyi kaldırım ve çatı kategorilerine ayırmak için kullanmışlardır. Grebby, Naden, Cunningham ve Tansey (2011) yine hava Lidar ve multispektral görüntüyü entegre etmiş ve bitki örtüsü olan alandaki litolojik sınıflandırma için KDH yöntemini kullanmıştır. Giampouras, Charou ve Kesidis (2013), yapay sinir ağları metoduna başvurarak hiperspektral özelliklerle entegre edilmiş Lidar verisi ile arazi örtüsünün sınıflandırılmasını gerçekleştirmişlerdir. Kwon, Jung, Baek ve Kim (2017), ortofoto ve Lidar verilerinden çok katmanlı (denetimli) yapay sinir ağlarını kullanarak orman alanlarını çıkartmış ve saha ölçümleri ile karşılaştırıldığında %70 oranında bir başarı sağlamıştır. Şen, Süleymanoğlu ve Soycan (2020), iki farklı bölge için KDH yöntemini kullanarak ayırık-dönüştürme hava Lidar verilerini 3B koordinat ve yoğunluk özneliğini kullanarak sınıflandırmıştır.

Bu çalışmada, Harita Genel Müdürlüğü'nün başkanlığında üretilen Bergama ilçesine ait ayırık dönüştürme Lidar test verisi kullanılmıştır. Lidar nokta bulutu KDH yöntemi ile analiz edilerek kümelere ayrılmıştır. Kümeler, uydu görüntüleri ile karşılaştırılarak nesne sınıfları belirlenmiştir. Bu yöntem ile elde edilen nesne sınıflarının doğruluğu, görsel olarak sınıfları belirlenen tüm noktalar incelenerek hesaplanmıştır. Sinir ağına ait en az nöron sayısı, denetimli olarak hata değerlerine göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hava Lidar verilerinin filtrelenmesinde KDH sinir ağlarının belirlenen nöron sayısı ile etkin olarak kullanılabildiği görülmüştür.

2. Metodoloji

2.1 Kendini Düzenleyen Haritalar

Kohonen haritası olarak da bilinen KDH ilk defa Kohonen (1990) tarafından sunulmuştur. KDH kümeleme yöntemi veri izdüşümü ve nicelleştirmenin bir kombinasyonu olarak düşünülebilir. Yarışmacı sinir ağları olarak, çok boyutlu öznelik uzayında benzemezlilikleri ölçer. Gizli katmanı olmayan, girdi ve çıktı katmanlarından oluşan denetimsiz yapay sinir ağlarını içerir. Her nöron, girdi verisi ile aynı boyutlu referans vektörü diye adlandırılan bir vektör ile ilişkilidir.

n boyutlu vektörleri içeren x giriş verisi:

$$x = [\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n]^T \in R^n \quad (1)$$

Burada; ε_i , x giriş vektörüne ait öznelik değeridir.

Her nöron bir m_i referans vektörünü içermektedir.

$$m_i = [\mu_1, \dots, \mu_n]^T \in R^n \quad (2)$$

Burada; μ_i , m_i referans vektörüne ait rastgele öznitelik değeridir.

Öğrenme esnasında nöronlar birbirleri ile rekabet içindedir. Giriş vektörleri, Eşitlik 3'te görüldüğü gibi bir mesafe kriterine göre her bir referans vektörü ile karşılaştırılır. En küçük mesafe yani en büyük benzerliğe sahip nöron rekabeti kazanır. Rekabeti kazanan nöron ve komşuları her bir giriş vektörünü öğrenerek, referans vektörlerini günceller. Sonuç olarak, birbirine en çok benzer olan giriş vektörleri kendilerine en benzer nöronlara yerleşerek, hipotetik bir elastikiyete sahip harita ağı biçimindeki nöron ağını kararlı bir yapıya dönüştürür. Topolojik öğrenme biçimi sayesinde, geleneksel yöntemlere üstünlük sağlar (Kohonen, 2001; Yan & Thill, 2008).

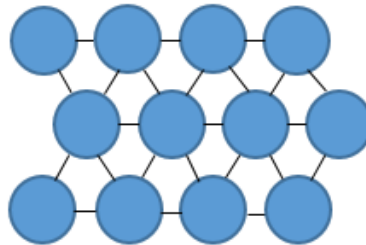
$$\|x - m_c\| = \min_i\{\|x - m_i\|\} \quad (3)$$

Burada; m_c , minimum mesafe veya maksimum benzerlik şartını sağlayan referans vektörüdür.

KDH sürecinde ilk adım ağı boyutunu (ağın x ve y yönünde kullanılan nöron sayısı) ve topolojisini belirlemektir. Nöron ağı, kare veya altıgen topolojiye sahip olabilir (Şekil 1). Öğrenme başlamadan, n-boyutlu referans vektörleri nöronlara genellikle rastgele olarak atanır. Eğitimi etkileyen temel parametrelerden biri; referans vektörlerini güncellemek için bir mesafe-ağırlıklı model olan komşuluk fonksiyonudur. Doğrusal ve Gauss modelleri en popüler fonksiyonlardır. Rekabeti kazanan nöron (en iyi eşleşen birim) ve komşuları Eşitlik 4 ile güncellenir.

$$m_i(t + 1) = m_i(t) + h_{ci}(t)[x(t) - m_i(t)] \quad (4)$$

Burada; t , iterasyon zamanını ve h_{ci} , komşuluk fonksiyonunu göstermektedir.



Şekil 1: Altıgen topolojiye sahip x-y yönlerinde nöron ağı

Gauss modeli:

$$h_{ci}(t) = \alpha(t) \exp(-d_{ci}^2 / 2\sigma_i^2(t)) \quad (5)$$

Burada; d_{ci} , iyi eşleşen birim ile ilişkili komşu nöron arasındaki mesafeyi; $\alpha(t)$, t zamanda öğrenme katsayısını ve $\sigma(t)$, t zamanda kernel genişliğini göstermektedir.

Gauss modelinde, komşuluk büyüklüğü kernel genişliği (σ) ile belirlenir ve sabit bir parametre değildir. Benzer biçimde, başlangıç öğrenme katsayısı (α_0) t zamanda yavaş yavaş azalan bir giriş parametresidir. KDH, tanımlanan iterasyon sayısı tamamlandığında kümeleme işlemine son verir (Skupin & Agarwal, 2008).

2.2 Hava Lidar Noktalarının Sınıflandırılması

Bu çalışmada, ayrık-dönüşlü Lidar noktaları, nokta tabanlı bir yaklaşımla sınıflara ayrılmıştır. KDH ağının giriş parametreleri, noktaya ait x-y-z koordinatları ve yoğunluk (intensity) bilgisidir. Yoğunluk bilgisi olarak üretilen raster

görüntünün gri değerleri kullanılmıştır. Değişkenlere ait ortalama ve varyans değerleri birbirinden anlamlı derecede farklı olduğunda değişkenlerin 0-1 aralığına normalize edilmesi KDH'nin performansını arttırmaktadır. Giriş parametreleri Eşitlik 6 ile verilen, minimum-maksimum yöntemi ile normalize edildikten sonra KDH ile kümeleme işlemine geçilmiştir.

$$X'_i = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (6)$$

Burada; X'_i , normalizasyon değerini; X_i , öznelik değerini; X_{min} , en küçük öznelik değerini ve X_{max} , en büyük öznelik değerini ifade etmektedir.

Normalize edilen veriler kullanılarak denetimsiz bir yapay sinir ağı yöntemi olan KDH yöntemiyle hava Lidar noktalarının sınıflandırılması aşağıdaki adımlar kullanılarak sağlanmıştır. İş akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.

- 1) Sistemik bir şekilde az sayıda küme oluşturularak en etkili nokta sınıflandırılmasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, başlangıç nöron sayısı iki olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, küme sayısını veren ağın boyutuna kümeleme performansı göz önünde bulundurularak karar verilmiştir.
- 2) Kümelere ayrılan noktalar, uydu görüntüleri ile görsel olarak karşılaştırılarak etiketlenmiştir. Bu aşamada aynı nesne sınıfına ait nokta kümeleri birleştirilerek nokta sınıfları belirlenmiştir.
- 3) Tüm noktaların görsel olarak sınıflandırıldığı test verisi ile KDH yapay sinir ağı kullanılarak belirlenen nokta sınıfları karşılaştırılarak, zemine ait noktaların ve zemine ait olmayan noktaların sınıflandırılması, bir başka deyişle filtrelenmesi ile ilgili Tip-1, Tip-2 ve toplam hataları belirlenmiştir (Sithole & Vosselman, 2003).

$$\text{Tip 1 hatası} = b / (a + b) \quad (7)$$

$$\text{Tip 2 hatası} = c / (c + d) \quad (8)$$

$$\text{Toplam hata} = (b + c) / e \quad (9)$$

Burada; a , doğru sınıflandırılmış zemine ait noktaları; b , zemine ait olmayan nokta olarak yanlış sınıflandırılmış zemine ait noktaları; c , zemine ait nokta olarak yanlış sınıflandırılmış zemine ait olmayan noktaları; d , doğru sınıflandırılmış zemine ait olmayan noktaları; e , toplam test nokta sayısını göstermektedir.

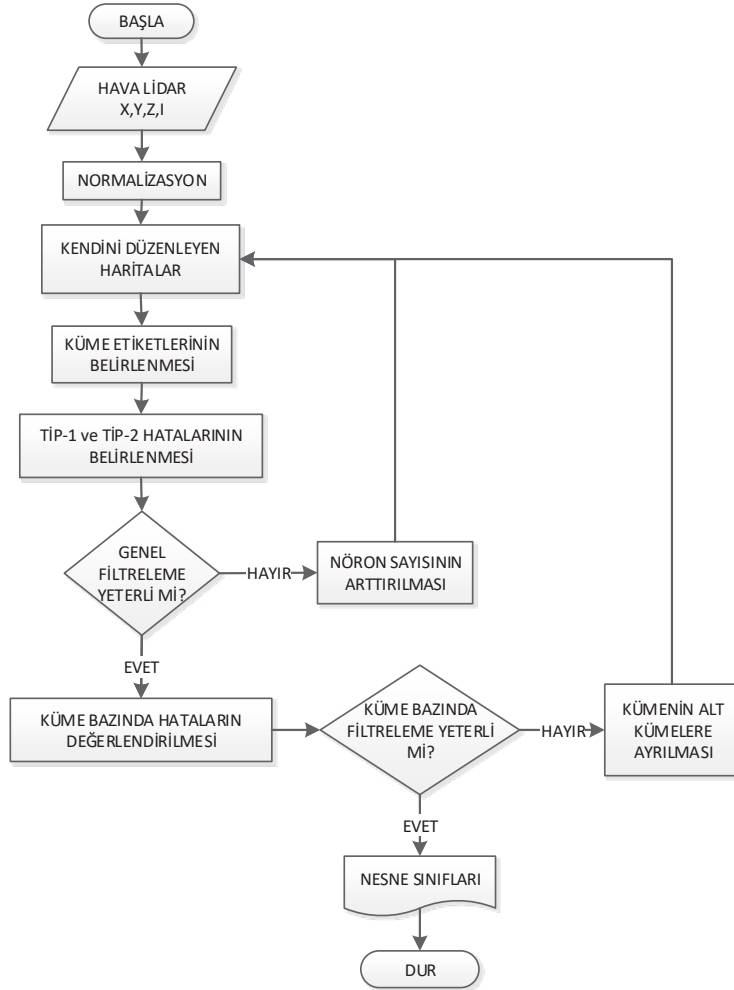
4) Noktaların tümünde genel anlamda filtrelemenin yeterli olması için toplam filtreleme hatasının tolerans değerini geçmemesi gerekmektedir. Yeterli doğruluğa ulaşılamaması durumunda ağ topolojisindeki nöron sayısı sırasıyla x ve y yönünde bir arttırılır.

5) Noktaların tümünde istenilen filtreleme doğruluğuna erişildikten sonra, küme bazında toplam filtreleme hatasının tolerans değerini geçmemesi gerekmektedir. Yeterli doğruluğa ulaşılamaması durumunda küme, alt kümelere ayrılmak amacıyla KDH yöntemi tekrar uygulanır.

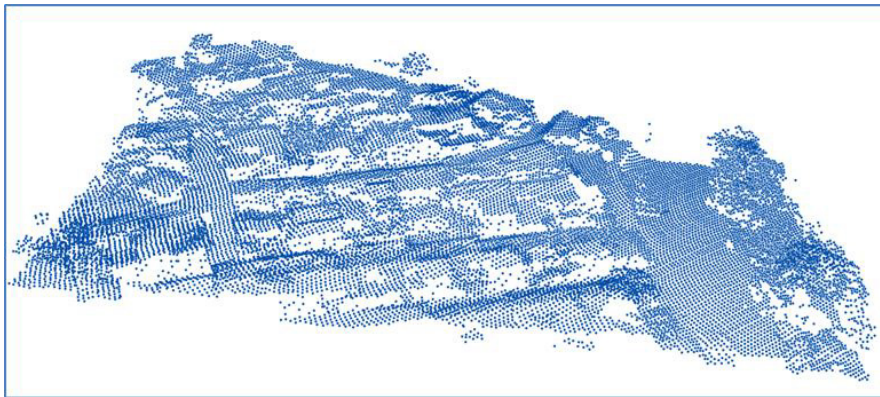
3. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, Harita Genel Müdürlüğü'nün başkanlığında 2014 yılında üretilen, Riegl LMS-Q1560 Lidar sistemiyle İzmir iline bağlı Bergama ilçesinde 1200 metre yükseklikte gerçekleştirilen uçuş verilerinden elde edilen ayırık dönüşlü Lidar test verisi kullanılmıştır. Nokta doğruluğu 250 metrede 2 cm'dir. Nokta yoğunluğu 8 nokta/m²'dir (Kayı, Erdoğan, & Eker, 2015).

Seçilen çalışma alanı ilçe merkezinin dışında kırsal kesimde yer almakta ve pek çok düzensiz binayı, bitki örtüsünü ve geniş bir yolu içermektedir. Arazi eğimlidir ve binalar bu eğim üzerinde sıralanmıştır. İç içe yapılar arasında bulunan çatılardan uzanan saçaklar, farklı yükseklikteki yapı ve bahçe duvarları çalışma alanını filtreleme açısından karmaşık bir hale getirmektedir. Çalışma alanı 62 m x 120 m genişliğindedir. Toplam 46 438 noktadan oluşmaktadır. Çalışma alanına ait Lidar nokta bulutunun 3B görünümü Şekil 3'te, alanın Google Earth uydu görüntüsü ve eğimi (76 m ile 95 m yükseklik değerleri arasında) Şekil 4'te ve Lidar verisinde sınıflandırma ve filtreleme performansını etkileyen hata kaynaklarından biri olan yapılara ait saçakların gösterildiği örnek görüntüler Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 2: İş akış diyagramı



Şekil 3: Çalışma alanına ait Lidar nokta bulutunun 3B görünümü



Şekil 4: Çalışma alanına ait Google Earth uydu görüntüsü ve eğimi



Şekil 5: Çalışma alanına ait yapı saçaklarını gösteren Google Map örnek sokak görüntüleri

4. Hava Lidar Verisinin Kendini Düzenleyen Haritalar Yöntemiyle Filtrelenmesi

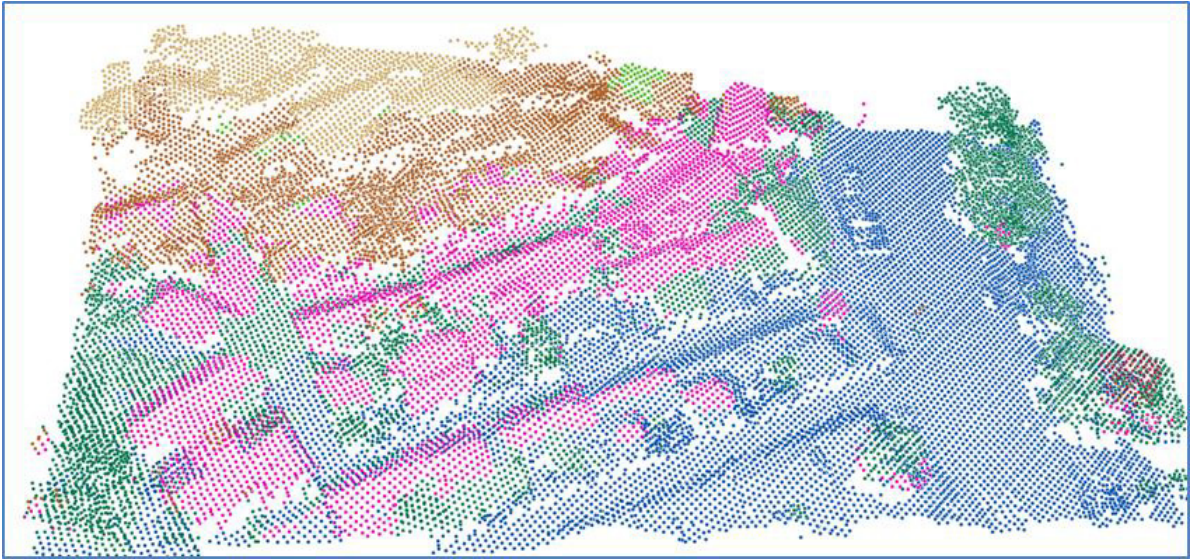
Lidar veri setine ait noktaların x-y-z ve yoğunluk öznitelikleri ArcGIS 10.6 yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. KDH fonksiyonu ile x-y-z ve yoğunluk değişkenlerine göre kümeleme işlemi, hata hesabı ve nöron sayısı değişimini de içerecek biçimde, Matlab R2020a yazılımında bir kod yazılarak otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. KDH ile oluşturulan küme etiketleri, ArcGIS 10.6 yazılımına aktarılmış, burada uydu görüntüleri ile karşılaştırılarak nesne sınıflarına karar verilmiştir. Böylece kullanılan KDH ağına performansı belirlenmiştir.

Noktaların genel olarak filtrelenmesi aşamasında en iyi performans, KDH topolojisi altıgen, boyutu ise 4x5 olarak sağlanmıştır. Ağı boyutu 4x5 olduğundan en fazla 20 nöron veya küme oluşabilmektedir. Ağı eğitimi sonrasında, örneklem toplam yirmi adet kümeye yerleşmiştir. İki bitki örtüsü kümesi görsel olarak birleştirilmiştir. Ayrıca yoğunluk ve yükseklik değerlerine ait ağırlıklar, x ve y değerlerine göre 10 kat fazla alınmıştır. Şekil 6'da KDH ile genel anlamda kümeleme sonuçları gösterilmiştir.

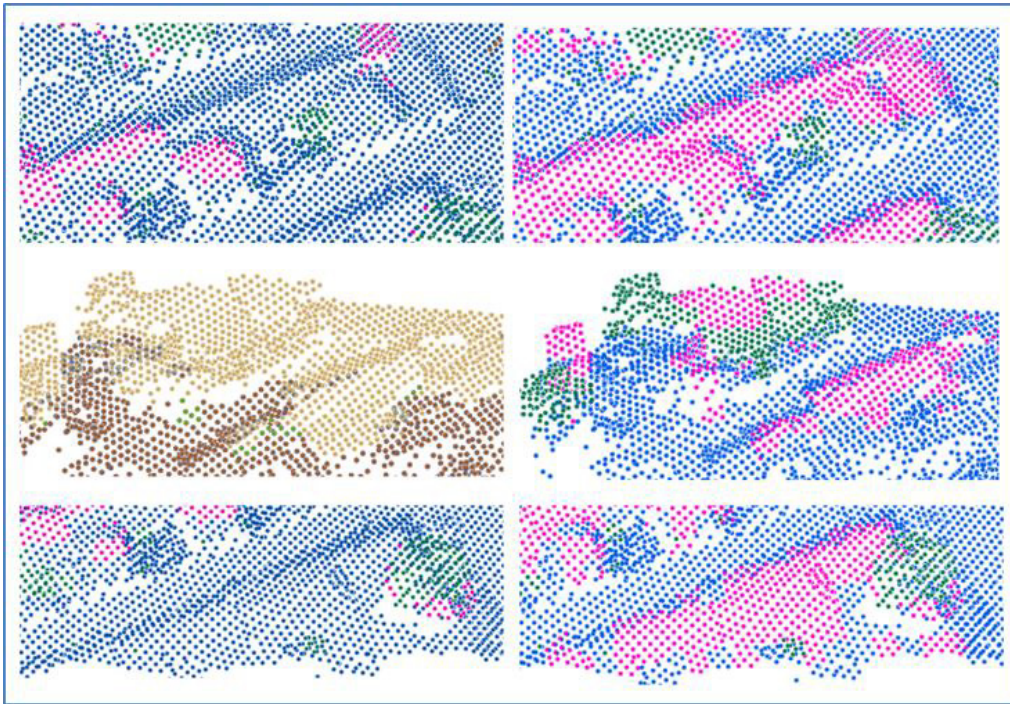
Genel anlamda en iyi performansı sağlayan kümelemede, pek çok bina noktasının zemin noktasından ayrıldığı görülmüştür. Ancak bina noktaları ile ortalama aynı yüksekliğe sahip bitki örtüsü noktalarının karıştığı, ayrıca bazı bina noktalarının zemin

sınıflarında yer aldığı tespit edilmiştir. Şekil 6’da mavi renkte görülen zemin sınıfına ait noktalar ile bina noktalarını daha iyi ayırtmak ve şeklin sol üst köşesinde kahverengi renkte görülen eğimin arttığı yerde daha belirgin bir kümelenme oluşturmak için, söz konusu noktaları içeren altı küme, KDH ile üçer alt kümeye ayrılmıştır. Bu aşamada 3x1 boyutlu nöron ağı yeterli olmuştur. İkinci aşama sonucunda bina olarak sınıflandırılmayan pek çok nokta, Şekil 7’de görüldüğü gibi zemin ve bitki örtüsü noktalarından ayrılmıştır. Sınıfların kararlı aşamaya ulaşması için 200 iterasyonun yeterli olduğu görülmüştür.

Sistemik bir şekilde az sayıda küme oluşturularak en etkili nokta sınıflandırmasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle en yüksek sınıflandırma doğruluna en az sayıda küme ile ulaşmak istendiğinden, hata tolerans değeri %20 ile sınırlı tutulmuştur. Daha düşük tolerans değerleri, nöron veya küme sayısını arttırmış ve görsel olarak yapılan kümelerin birleştirilmesi işlemini karmaşık hale getirmiştir.



Şekil 6: KDH ile genel anlamda kümeleme sonuçları



Şekil 7: KDH ile oluşturulan iki kümenin üçer alt kümeye ayrılması: (sol) öncesi (sağ) sonrası

5. Bulgular ve Tartışma

Kümelere, aynı nesne türünü içerecek biçimde birleştirilerek sınıflandırılmıştır. Böylece bina, bitki örtüsü ve zemin sınıfları elde edilmiştir. Çalışma bölgesinde tüm noktaların sınıf doğruluğu uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmiştir. Toplam 46 438 noktanın 17 821'i bina, 10 865'i bitki örtüsü, 17 752'si zemine ait noktalardır. Tablo 1'de bina, bitki örtüsü ve zemin olmak üzere üç sınıfa ait sınıflandırma doğruluk yüzdeleri gösterilmiştir. Tablo 2'de ise, noktaların filtrelenmesi ile ilgili Tip-1, Tip-2 ve toplam hata oranı gösterilmiştir.

Tablo 1: Sınıflandırma matrisi

	Filtreleme	Bina	Bitki Örtüsü	Zemin	Doğruluk
Referans	Bina	13 068	1123	3630	%73.33
	Bitki Örtüsü	82	8840	1943	%81.36
	Zemin	1631	418	15 703	%88.46

Tablo 1'de diyagonal elemanlar doğru sınıflandırılan noktaları gösterirken, sütundaki diğer elemanlar hatalı sınıflandırılmış noktaları göstermektedir. Toplamda 46 438 noktanın 37 611'i doğru sınıflandırılmıştır. KDH yöntemi ile sınıflandırmanın genel başarısı %80.99'dur. Buna göre, toplam 17 821 adet bina noktasının 13 068'i doğru sınıflandırılırken, 1123'ü bitki örtüsü, 3630'u zemin olarak yanlış sınıflandırılmıştır. Bina noktalarının çıkarımı %73.33 başarılıdır. Sonuçlar, bir bina çıkarımı yöntemi olarak da yöntemin geliştirilebileceğini göstermiştir. Bitki örtüsüne ait toplam 10 865 adet noktanın 8840'ı doğru sınıflandırılırken, 82'si bina, 1943'ü zemin olarak yanlış sınıflandırılmıştır. Bitki örtüsünün çıkarımı %81.36 başarılıdır. Günümüzde bitki örtüsüne ait noktaların analizinde tam dalga boyu formülü sistemler kullanılmaktadır. Ayrık dönlü sistemler, bitki örtüsüne ait noktaların çıkarımında tam dalga boyu formülü sistemlere göre daha zayıf kalsa da bu çalışmadaki performansı iyidir.

Tablo 2: Filtreleme ile ilgili hata oranları

		Filtreleme			
		Zemine Ait Noktalar	Zemine Ait Olmayan Noktalar		
Referans Test Noktaları	Zemine Ait Noktalar	15 703 (a)	2049 (b)	Tip-1 Hatası	$2049/(15\ 703+2049) =$ %11.54
	Zemine Ait Olmayan Noktalar	5573 (c)	23 113 (d)	Tip-2 Hatası	$5573/(5573+23\ 113) =$ %19.43
				Toplam Hata	$(2049+5573)/46\ 438 =$ %16.41

Tablo 1'de, toplam 17 752 adet zemin noktasının 15 703'ü doğru sınıflandırılırken, 1631'i bina, 418'i bitki örtüsü olarak yanlış sınıflandırılmıştır. Zemin noktalarının çıkarımı %88.46'dır. Uygulanan yöntemin filtreleme performansı iyi düzeydedir.

Tablo 2'de, Lidar nokta bulutunun denetimsiz bir yapay sinir ağı olan KDH yöntemiyle filtrelenmesi sonucu, zemine ait olmayan nokta olarak yanlış sınıflandırılmış zemine ait noktalardaki hatayı gösteren Tip-1 hatası %11.54'tür. Bu oran ile Tablo 1'de görülen zemine ait noktaların çıkarımı oranının toplamı 100'e eşittir. Zemine ait nokta olarak yanlış sınıflandırılmış zemine ait olmayan noktalardaki hatayı gösteren Tip-2 hatası %19.43'tür. Toplam filtreleme hatası ise %16.41 olarak bulunmuştur.

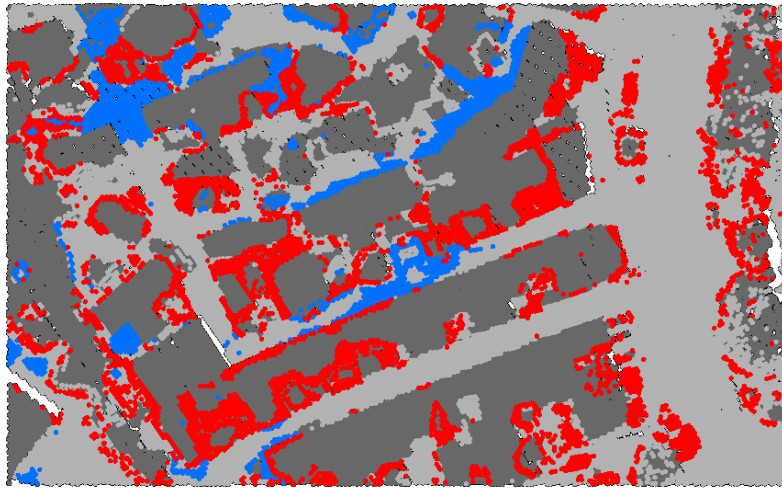
Hata tolerans değerinin %20 eşik değerden yüksek olduğu kümelere alt kümeler oluşturmak amacıyla ikinci kez KDH uygulanmış ve tüm kümelere istenilen doğruluk değerlerine ulaşılmıştır. Sonuçlar görsel olarak değerlendirildiğinde Şekil

8’de A kutucuğunda yer alan küme üç alt kümeye ayrılarak zemine karışan bina noktaları doğru sınıflandırılmıştır. B kutucuklarında yer alan kümeler üçer alt kümeye ayrılarak zemine karışan bitki örtüsü doğru sınıflandırılmıştır. C kutucuğunda yer alan küme üç alt kümeye ayrılarak bitki örtüsüne karışan zemin noktaları doğru sınıflandırılmıştır. Ancak D kutucuğunda yer alan bitki örtüsüne karışan bina noktalarının sınıflandırılabilmesi için daha fazla sayıda alt küme oluşturulması gerektiği gözlemlenmiştir.



Şekil 8: KDH yöntemiyle sınıflandırılan zemin (gri), bina (kırmızı) ve bitki örtüsü (yeşil) noktaları

Şekil 9’da doğru sınıflandırılan zemin noktaları açık gri renk ile, doğru sınıflandırılan zemine ait olmayan noktalar koyu gri renk ile, Tip-1 hatası mavi renk ile ve Tip-2 hatası kırmızı renk ile gösterilmiştir. Genellikle hatalar eğimin arttığı yerde, binalar arasında bulunan bahçe duvarlarından ve çatılardan uzanan saçaklardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 9: . Doğru sınıflandırılan zemin noktaları (açık gri), doğru sınıflandırılan zemine ait olmayan noktalar (koyu gri), Tip-1 hatası (mavi) ve Tip-2 hatası (kırmızı)

6. Sonuç ve Öneriler

Mekansal bilgilerin Lidar verilerinden elle işlenen yöntemlerle, görsel olarak çıkarılması işlemi kapsamlı, maliyetli ve zaman alıcıdır. Denetimsiz bir yapay sinir ağı yöntemi olan KDH yönteminin avantajı, doğrusal olmayan ve büyük boyutlu girdi vektörlerini, daha az boyutlu bir uzaya (çıktı katmanına) izdüşürme yeteneğine sahip olmasıdır. KDH'nin bu avantajı kullanılarak, genellikle doğrusal olmayan bir problem olarak değerlendirilebilecek Lidar veri setinin filtrelenmesi, Tip-1 hatası %11.54, Tip-2 hatası %19.43 ve toplam hata %16.41 bulunarak yüksek doğrulukla gerçekleştirilmiştir.

[Sithole ve Vosselman \(2003\)](#)'e ait benzer bir çalışma alanında kullanılan çeşitli filtreleme yöntemlerinde, Tip-1 hatası %15.96 ile %62 arasında değişirken; Tip-2 hatası %2.41 ile %12.17 arasında değişmiştir. Toplam hata ise %10.76 ile %36.96 arasında değişmiştir. KDH yöntemi ile elde edilen filtreleme sonuçları, %11.54 Tip-1 hatasının ve %16.41 toplam hatanın günümüzde kullanılan başarılı filtreleme yöntemlerinin performansını yakaladığını göstermiştir.

Hata tolerans değeri tanımlanarak sağlanan denetimli deney sonuçlarına göre pek çok zemin ve bina noktası doğru sınıflandırılmış olsa da, özellikle arazi eğiminden ve iç içe yapılar arasında bulunan bahçe duvarları ve çatılardan uzanan saçaklardan kaynaklı bazı bina noktalarının zemin noktalarından ayıramadığı tespit edilmiştir. Ayrıca aynı yüksekliğe sahip bazı bina noktaları bitki örtüsü sınıfında yer almıştır. KDH'nin çok boyutlu veri girişi sayesinde, üç boyutlu koordinatların yanında dördüncü bir boyut olan yoğunluk değerlerinin kullanılabilmesi ile özellikle eğim farkının olduğu alanlarda sınıflandırma doğruluğu olumlu yönde etkilenmiştir.

Yöntemin dezavantajı ise, tüm kümeleme yöntemlerinde olduğu gibi oluşan kümelerin birleştirilmesi ve etiketlenmesi işlemidir. Çok sayıda küme oluştuğunda, birleştirme işlemi karmaşık bir hale dönüşmektedir. Bu yüzden en az sayıda küme oluşturularak, en etkili nokta sınıflandırılmasının belirlenmesi amaçlanmış ve buna göre hata tolerans değeri %20 olarak belirlenmiştir. Genel kümeleme işleminde 4x5 (20 nöron) nöron ağı, alt kümelemede ise 3x1 (3 nöron) nöron ağı yeterli olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda, kümelerin otomatik birleştirilmesine yönelik çalışmalar geliştirilerek yöntemin performansı artırılabilir.

Sonuç olarak, SYM üretimi için ihtiyaç duyulan hava Lidar verilerinin otomatik olarak filtrelenmesi ile zemin noktalarının çıkarımında denetimsiz bir yapay sinir ağı olan KDH yönteminin belirlenen nöron sayısı ile etkin olarak kullanılabildiği görülmüştür.

Teşekkür

Bergama ilçesine ait Lidar test uçuş verilerini sağlayan Harita Genel Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç biliriz.

Yazar Katkısı

Alper Şen: Fikir, Tasarım, Literatür Taraması, Denetleme, Yazım, Makale değerlendirme. **Burcu Bayaşı:** Veri toplama ve işleme, Analiz ve yorumlama.

Kaynaklar

Briese, C. (2010). *Extraction of digital terrain models*. Vosselman, G., & Maas, H.-G.(ed) *Airborne and terrestrial laser scanning* (s.135–

- 167). Dunbeath, UK: Whittles Publishing.
- Chen, Q., Wang, H., Zhang, H., Sun, M., & Liu, X. (2016). A point cloud filtering approach to generating DTMs for steep mountainous areas and adjacent residential areas. *Remote sensing*, 8(1), 71.
- Chen, Z., Gao, B., & Devereux, B. (2017). State-of-the-art: DTM generation using airborne LIDAR data. *Sensors*, 17(1), 150.
- Giampouras, P., Charou, E., & Kesidis, A. (2013). *Artificial Neural Network Approach for Land Cover Classification of Fused Hyperspectral and Lidar Data*. Papadopoulos, H., Andreou, A.S., Iliadis, L., & Maglogiannis, I.(ed) *IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations* (s. 255-261). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Grebby, S., Naden, J., Cunningham, D., & Tansey, K. (2011). Integrating airborne multispectral imagery and airborne LiDAR data for enhanced lithological mapping in vegetated terrain. *Remote Sensing of Environment*, 115(1), 214-226.
- Kang, X., Liu, J., & Lin, X. (2014). Streaming progressive TIN densification filter for airborne LiDAR point clouds using multi-core architectures. *Remote sensing*, 6(8), 7212-7232.
- Kayı, A., Erdoğan, M., & Eker, O. (2015). OPTECH HA-500 ve RIEGL LMS-Q1560 ile gerçekleştirilen LİDAR test sonuçları. *Harita Dergisi*, 153(2), 42-46.
- Kohonen, T. (1990). The Self-Organizing Map. *Proceedings of the IEEE*, 78, 1464-1480.
- Kohonen, T. (2001). *Self-organizing maps*. Berlin, Almany: Springer.
- Kwon, S. K., Jung, H. S., Baek, W. K., & Kim, D. (2017). Classification of forest vertical structure in south Korea from aerial orthophoto and lidar data using an artificial neural network. *Applied Sciences*, 7(10), 1046.
- Mongus, D., & Žalik, B. (2014). Computationally efficient method for the generation of a digital terrain model from airborne LiDAR data using connected operators. *IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 7(1), 340-351.
- Morris, J. T., Porter, D., Neet, M., Noble, P. A., Schmidt, L., Lapine, L. A., & Jensen, J. R. (2005). Integrating LIDAR elevation data, multi-spectral imagery and neural network modelling for marsh characterization. *International Journal of Remote Sensing*, 26(23), 5221-5234.
- Salah, M., Trinder, J., & Shaker, A. (2009). Evaluation of the self-organizing map classifier for building detection from lidar data and multispectral aerial images. *Journal of Spatial Science*, 54(2), 15-34.
- Şen, A., Süleymanoğlu, B., & Soycan, M. (2020). Unsupervised extraction of urban features from airborne lidar data by using self-organizing maps. *Survey Review*, 52(371), 150-158.
- Sithole, G., & Vosselman, G. (2003). *Report: ISPRS Comparison of Filters*. Commission III, Working Group 3. <https://www.itc.nl/isprs/wgIII-3/filtertest/report05082003.pdf>.
- Sithole, G., & Vosselman, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 59(1-2), 85-101.
- Skupin, A., & Agarwal, P. (2008). *Introduction: What is a Self-Organizing Map?* Agarwal, P., & Skupin, A.(ed) *Self-organising maps: Applications in geographic information science* (s. 1-20). Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Yan, J., & Thill, J.-C. (2008). Visual exploration of spatial interaction data with self-organizing maps. Agarwal, P., & Skupin, A.(ed) *Self-organising maps: Applications in geographic information science* (s. 67-85). Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Zaletnyik, P., Laky, S., & Toth, C. (2010). LiDAR waveform classification using self-organizing map. *ASPRS*, 28-30.
- Zhang, J., Lin, X., & Ning, X. (2013). SVM-based classification of segmented airborne LiDAR point clouds in urban areas. *Remote Sensing*, 5(8), 3749-3775.

Çoklu-GNSS çözümlerinin performansının internet tabanlı Trimble RTX servisi ile incelenmesi

Gizem Sezer¹ , Ali Hasan Doğan¹ , Bahattin Erdoğan^{1*} 

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

Öz: Günümüzde jeodezik amaçlı yapılan çalışmaların birçoğunda Küresel Konumlama ve Uydu Sistemleri'ne (Global Navigation Satellite System, GNSS) ait veriler kullanılmaktadır. GNSS yapısında, GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydu sistemleri beraber değerlendirilerek konum bilgisi elde edilebilmektedir. Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) bu amaç doğrultusunda farklı sinyal ve uydu sistem verilerinin toplanması, izlenmesi ve analiz edilmesi için Multi-GNSS Experiment (MGEX) adında bir proje başlatmıştır. Çoklu-GNSS çözümlerinin kullanılmaya başlamasından dolayı, bu çözümlerden elde edilen konum doğruluğunun belirlenmesi kullanıcılar açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada; 10 noktaya ait GNSS verileri; GPS, GPS/GLONASS, GPS/GLONASS/Galileo ve GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou olmak üzere 4 farklı senaryo ile değerlendirilmiş ve doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. GNSS verilerinin değerlendirilmesi bir internet tabanlı yazılım olan ve Çoklu-GNSS hassas mutlak nokta konumlama (Precise Point Positioning, PPP) çözüm kapasitesine sahip Trimble RTX servisi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sadece GPS çözümleri yerine farklı uydu kombinasyonlarını birlikte kullanarak daha yüksek doğrulukla konum bilgisi elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, Çoklu-GNSS çözüm doğruluklarının gözlem süresi ve enlem bilgisine bağlı olup olmadığı da incelenmiştir. Sonuçlara göre Çoklu-GNSS çözüm doğruluklarının sadece gözlem süresine bağlı olarak değiştiği vurgulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Çoklu-GNSS, Doğruluk, Hassas mutlak nokta konum belirleme, Trimble RTX servisi

Investigation of the performance of the Multi-GNSS analysis with web based Trimble RTX service

Abstract: Nowadays, Global Navigation Satellite Systems (GNSS) data are used in most of the geodetic studies. Positioning information can be obtained by using GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou in the structure of the GNSS. International GNSS Service (IGS) has initiated a project, called Multi-GNSS Experiment (MGEX), to collect, track and analyze different signals and satellite system data. Since, the Multi-GNSS solutions have started to use, positioning accuracy obtained from Multi-GNSS solutions is very important for users. Therefore, in this study, GNSS data of 10 stations were analyzed in 4 different scenarios as GPS, GPS/GLONASS, GPS/GLONASS/Galileo and GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou. The GNSS data were processed using Trimble RTX service which is a web based precise point positioning (PPP) software that is capable of processing Multi-GNSS data. Results have demonstrated that, it has been shown that the higher positioning accuracy can be obtained using different satellite systems together, instead of using GPS-Only. Moreover, accuracy of Multi-GNSS solutions was investigated whether it depends on session duration and latitude or not. According to the results, it was emphasized that accuracy of Multi-GNSS solutions only depends on session duration.

Keywords: Multi-GNSS, Accuracy, Precise point positioning, Trimble RTX service

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5291

Geliş Tarihi/Received: 06.07.2020
Kabul Tarihi/Accepted: 15.10.2020



0000-0002-4190-5776, sezergezem1306@gmail.com (Sezer G.)
0000-0002-8490-890X, alihasan@yildiz.edu.tr (Doğan A.H.)
0000-0002-8060-9208, berdogan@yildiz.edu.tr (Erdoğan B.)*

1. Giriş

Küresel Konumlama ve Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite System, GNSS); mühendislik, navigasyon, meteorolojik çalışmalar gibi birçok alanda tercih edilmektedir. GNSS yönteminin klasik yöntemlere göre tercih edilme sebepleri; noktaların birbirlerini görme zorunluluğunun olmaması, günün her saatinde ve her türlü hava koşulunda çalışabilir olması şeklinde sıralanabilir. Her ne kadar GNSS yöntemi ile geçmişte yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edilebilmesi için en az iki GNSS alıcısı (bağıl konum belirleme) ihtiyacı olsa da; son yıllarda geliştirilen hassas mutlak nokta konumlama (Precise Point Positioning, PPP) tekniği ile tek alıcı ile cm mertebesinde konum bilgisi elde edilebilmektedir (Gao & Shen, 2001; Kouba & Héroux, 2001; Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins, & Webb, 1997).

PPP tekniği ilk olarak Zumberge vd. (1997) tarafından öne sürülmüş, daha sonra Kouba ve Héroux (2001) ve Gao ve Shen (2001) tarafından geliştirilmiştir. PPP tekniği her ne kadar mühendislik uygulamalarında maliyeti düşürse de, cm mertebesinde doğruluğa ulaşabilmesi için uzun yakınsama süresi gerektirmektedir (Geng, Teferle, Meng, & Dodson, 2011). GNSS ile konum belirlemede genelde GPS uydu verileri tercih edilmektedir. Ancak, GPS uydularına farklı uydu sistemlerinin (GLONASS, Galileo, BeiDou) eklenmesi ile yakınsama süresi kısalabilmektedir (Bisnath & Gao 2009; Rizos, Janssen, Roberts, & Grinter, 2012; Toluc, 2016).

Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) farklı sinyal ve uydu sistem verilerinin toplanması, izlenmesi ve analiz edilmesi için Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesini başlatmıştır. Bu projenin amaçlarından biri de farklı uydu sistemlerinin bir arada (Çoklu-GNSS) tüm özellikleri ile kullanılabilmesi olarak ifade edilmektedir (Montenbruck vd., 2017; URL-1). Bu bağlamda bilim dünyasında birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Li vd. (2015) Çoklu-GNSS çözümleri ile yakınsama süresinin %70 kısaldığını, konum belirleme doğruluğunun ise %25 arttığını vurgulamıştır. Xia vd. (2019) Galileo sisteminin diğer uydu sistemlerine olan katkısını incelemiştir. Çalışmada, Galileo kullanımının sadece GPS çözümlerine göre yakınsama süresini %30.45, GPS/GLONASS kombinasyon süresini ise %7.80 azalttığı gösterilmiştir. Ayrıca; Galileo'nun kinematik çözümlerde sadece GPS çözümlerinden elde edilen konum doğruluğunu %20-30 oranında arttırdığı ifade edilmiştir. Wang vd. (2019) ise Çoklu-GNSS çözümlerinin yoğunlaşabilir su buharı miktar doğruluğunu %10 arttırdığını göstermiştir. Ögütçü (2019)'da, 6 IGS istasyonunun farklı gözlem sürelerine ait Çoklu-GNSS verileri GipsyX yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Farklı uydu sistemlerinin özellikle kısa süreli gözlemlere büyük oranda katkı yaptığı belirtilmiştir. Ögütçü (2020) ise Galileo sisteminin yakınsama süresini statik çözümlerde düşey bileşende %45, yatay bileşende %50; kinematik çözümlerde düşey bileşende %62, yatay bileşende %89 oranında kısalttığını ifade etmiştir.

GNSS verileri akademik, ticari ve internet tabanlı yazılımlar kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Öcalan, Erdoğan ve Tunalioğlu (2013) internet tabanlı yazılımlar ile mm mertebesinde yatay konum doğruluğu elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, Albayrak, Erdoğan ve Erkaya (2020) ise internet tabanlı yazılımların jeodezik çalışmalarda kullanılabilir olduğunu ve gelecekte daha verimli olacağını vurgulamıştır. Literatür incelendiğinde ise uzun süreli gerçekleştirilen gözlemler dikkate alınarak hesaplanan güvenilir kestirim değerlerine göre GNSS çözüm doğruluklarının karesel ortalama hataları (Root Mean Square, RMS) ile incelendiği görülebilmektedir (Eckl, Snay, Soler, Cline, & Mader, 2001; Soler, Michalak, Weston, Snay, & Foote, 2006; Soycan & Öcalan, 2011; Tut, Şanlı, Erdoğan, & Hekimoğlu, 2013). Bu çalışmada, Çoklu-GNSS çözüm doğruluklarının internet tabanlı bir servis kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, 10 adet noktaya ait 2, 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik Çoklu-GNSS verileri internet tabanlı Trimble RTX servisi kullanılarak analiz edilmiştir. Konum doğrulukları GPS (G), GPS/GLONASS (GR), GPS/GLONASS/Galileo (GRE) ve GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou (GREC) olmak üzere dört farklı senaryo üzerinden incelenmiştir. Ayrıca, hem gözlem süresinin hem de nokta enlem bilgisinin Çoklu-GNSS çözüm doğruluğuna etkisini irdelemek amacıyla doğruluk fonksiyonları belirlenmiştir.

2. Hassas Mutlak Nokta Konumlama

PPP tekniği, tek bir GNSS alıcısı ile cm mertebesinde konum doğruluğu elde edilmesini sağlamaktadır. PPP tekniğinde, kod ve faz ölçülerinin iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonları birlikte kullanılarak yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edilmesi sağlanır (Gao & Shen, 2001; Kouba & Héroux, 2001). Bu sayede GNSS'in en büyük hata kaynaklarından biri olan iyonosfer hatası büyük oranda elimine edilmiş olur (Öcalan, 2015). Ancak, PPP tekniğinde mutlak konumlama ile tek alıcı kullanarak konum bilgisi elde edildiğinden, bağıl konum belirlemede olduğu gibi fark alma teknikleri ile diğer hata kaynakları giderilememektedir. Bu hata kaynaklarının farklı kurum ve kuruluşlar tarafından üretilen ürünler yardımıyla veya modellenerek giderilmesi gerekmektedir. PPP tekniğinin hata kaynakları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: PPP hata kaynakları (Rizos vd., 2012)

Hata Kaynakları ve Modelleri	Düzeltilme Türü
<i>Uydu Kaynaklı Hatalar</i>	Hassas uydu saat düzeltmeleri
	Uydu anteni faz merkezi offset değerleri
	Uydu anteni faz merkezi kayıklıkları
	Hassas uydu yörüngeleri
	Diferansiyel grup gecikmeleri
	Görelilik koşulu
<i>Alıcı Kaynaklı Hatalar</i>	Uydu anteni faz dönmesi
	Alıcı anteni faz merkezi offset değerleri
	Alıcı anteni faz merkezi kayıklıkları
<i>Jeofiziksel Modeller</i>	Alıcı anteni faz dönmesi
	Katı yeryuvarı gelgiti
	Okyanus yüklemesi
	Kutup gelgiti
<i>Atmosferik Modelleme</i>	Plaka tektonik hareketleri
	Troposferik gecikme
	İyonosferik gecikme

Bu çalışmada veri analizleri internet tabanlı Çoklu-GNSS PPP servisi olan Trimble RTX kullanılarak gerçekleştirilmiştir (URL-2). Trimble RTX Eşitlik 1 ve 2'yi temel alarak çözümleri gerçekleştirmektedir (Doucet vd., 2012).

$$P_{i,k}^j = \rho_i^j + c\Delta t_i - c\Delta t^j + T_1^j + I_{P,i,k}^j + b_{P,i,k} - b_{P,k}^j + m_{P,i,k}^j + \epsilon_{P,i,k}^j \quad (1)$$

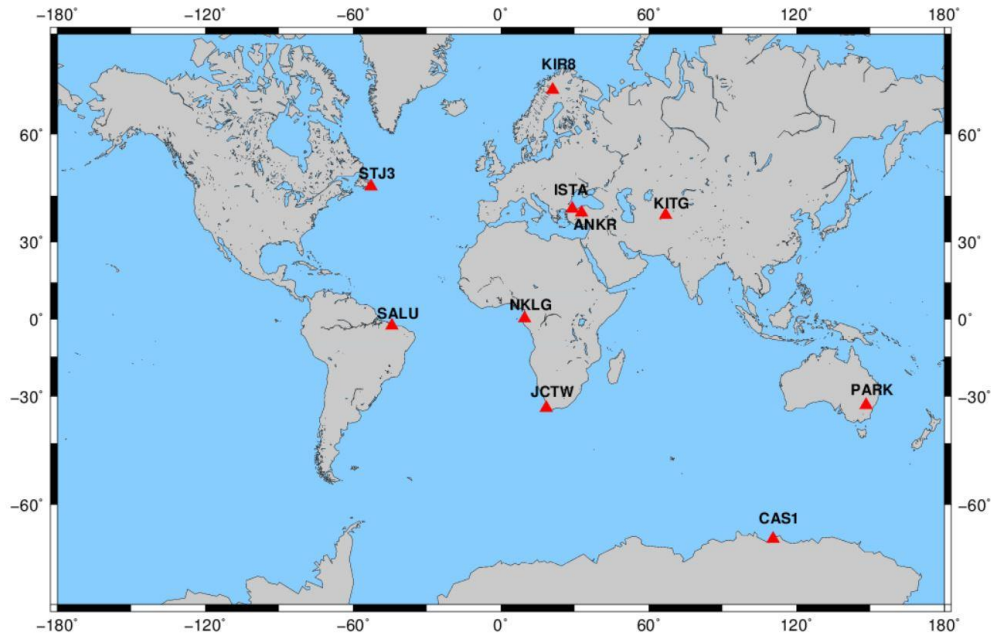
$$\phi_{i,k}^j = \rho_i^j + c\Delta t_i - c\Delta t^j + T_1^j + I_{\phi,i,k}^j + b_{\phi,i,k} - b_{\phi,k}^j + \lambda_k N_{i,k}^j + m_{\phi,i,k}^j + \epsilon_{\phi,i,k}^j \quad (2)$$

Burada; $P_{i,k}^j$ ve $\phi_{i,k}^j$ kod ve faz ölçülerini, ρ_i^j uydu ve alıcı arasındaki geometrik uzaklığı, c ışık hızını Δt_i ve Δt^j sırasıyla alıcı ve uydu saat hatalarını, T_1^j troposferik gecikmeyi, $I_{P,i,k}^j$ ve $I_{\phi,i,k}^j (= -I_{P,i,k}^j)$ kod ve faz ölçüleri için iyonosferik gecikmeyi, $b_{P,i,k}$ ve $b_{\phi,i,k}$ alıcı kod ve alıcı faz hatalarını, $b_{P,k}^j$ ve $b_{\phi,k}^j$ uydu kod ve uydu faz hatalarını, λ_k k frekansı için taşıyıcı dalga boyunu, $N_{i,k}^j$ başlangıç tamsayı faz belirsizliğini, $m_{P,i,k}^j$ ve $m_{\phi,i,k}^j$ kod ve faz ölçüleri için çok yolluluk etkisini, $\epsilon_{P,i,k}^j$ ve $\epsilon_{\phi,i,k}^j$ kod ve faz ölçüleri için gürültüleri ifade etmektedir.

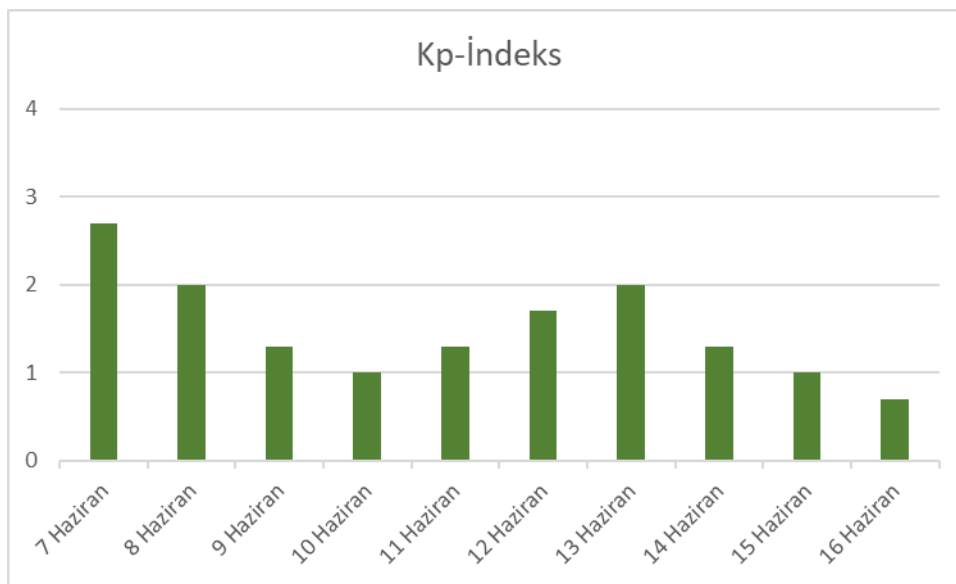
Analizlerde Trimble-RTX tarafından üretilen hassas yörünge ve saat bilgileri kullanılmaktadır. Bu ürünlerin 1 saniyelik zamansal çözünürlüğe sahip olduğu belirtilmektedir. Yakınsama süresi yaklaşık 15 dakika olan Trimble RTX servisi ile statik çözümlerde mm mertebesinde doğrulukla konum bilgisi elde edilebilmektedir (Doucet vd., 2012). İyonosferik etki, iyonosferden bağımsız sinyal kombinasyonları ile giderilmektedir. Alıcı saat hataları, troposferin ıslak bileşeni ve gradyentler bilinmeyen olarak kestirilmektedir. Ayrıca, Tablo 1'de yer alan hata kaynakları Trimble RTX servisi ile çözümlerde göz önünde bulundurulmaktadır.

3. Veri Analizi

Bu çalışmada IGS ağına ait 10 noktanın, 7-16 Haziran 2018 günlerine ait 10 günlük verisi değerlendirilmiştir (Şekil-1). Hesaplamalarda bu tarih aralıkları seçilirken; iyonosferik etkilerin ve manyetik fırtınaların etkisini en aza indirmek için Kp-indeks değerleri de göz önüne alınmıştır (Şekil-2). Kp-indeks değeri küresel ölçekte jeomanyetik etkiyi ifade etmektedir ve 3 saatlik gözlemler sonucunda elde edilmektedir. Bu değer 0 ile 9 arasında değişmektedir. Bu çalışmada sınır değeri “4” olarak belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar, 4’ün üzerindeki değerlerin şiddetli jeomanyetik etkiyi ifade ettiğini belirtmiştir (Yapıcı, 2007; URL-3). Ayrıca, noktalar seçilirken Çoklu-GNSS çözümlerinin farklı enlemlerdeki etkileri de incelenmek istendiğinden nokta enlem bilgileri de dikkate alınmıştır. Tablo 2, yaklaşık nokta konum bilgilerini ve noktaların hangi günlerde hangi uydu sistemi verilerini içerdiğini göstermektedir.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan noktalar



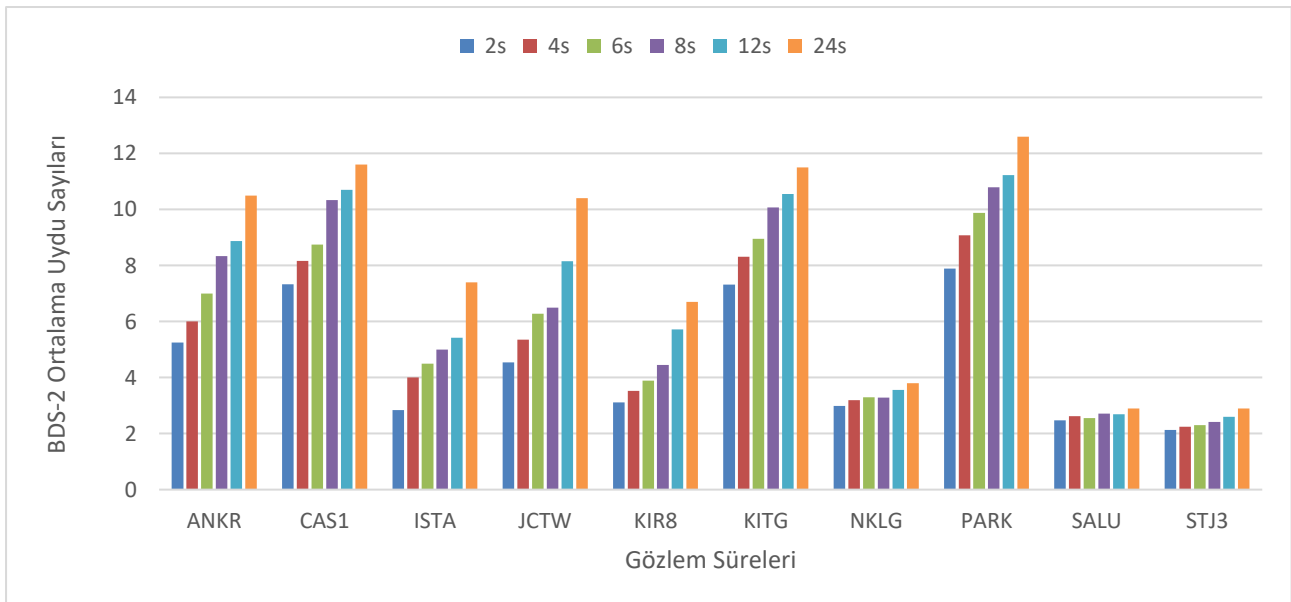
Şekil 2: Seçilen günlere ait Kp-İndeks değerleri (URL-3)

Tablo 2: Çalışmada kullanılan nokta bilgileri (WGS84 elipsoidine göre)

Nokta	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)	DOY	Uydu Sistemi
ANKR	39.88737	32.75847	976.008	160-167	G-R-E-C
CAS1	-66.28336	110.51971	22.478	158-167	G-R-E-C
ISTA	41.10445	29.01934	147.240	158-167	G-R-E-C
JCTW	-33.95143	18.46855	83.601	158-167	G-R-E-C
KIR8	67.87755	21.06019	498.162	158-167	G-R-E-C
KITG	39.13339	66.88674	620.654	158-167	G-R-E-C
NKLG	0.35391	9.67213	31.498	158-167	G-R-E-C
PARK	-32.99876	148.26461	397.374	158-167	G-R-E-C
SALU	-2.59346	-44.21248	18.977	158-167	G-R-E-C
STJ3	47.59544	-52.67831	154.516	158-167	G-R-E-C

DOY: Yılın günü (Day of Year), G: GPS, R: GLONASS, E: Galileo, C: BeiDou

Çoklu-GNSS çözümlerinden elde edilen konum doğrulukları GPS (G), GPS/GLONASS (GR), GPS/GLONASS/Galileo (GRE) ve GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou (GREC) olmak üzere dört farklı senaryo üzerinden incelenmiştir. BeiDou uydu sisteminde küresel boyutta bazı bölgelerde uydu görünürlüklerinde BDS-2 uyduları kullanıldığında sorun yaşanmaktadır. Bu çalışmada da sadece BDS-2 uyduları kullanıldığından farklı gözlem süreleri için noktalarda görülen ortalama BDS-2 uydu sayılarını gösteren grafik Şekil 3'te verilmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde konum doğruluklarının ve güvenilirliklerinin tekrarlılıklardan elde edilen RMS değerleri ile ilişkilendirildiği görülebilmektedir (Eckl vd., 2001; Erdoğan, Kayacık, & Doğan, 2019; Erdoğan & Doğan, 2019; Soler vd., 2006; Soyacan & Ocalan, 2011; Tut vd., 2013). Ayrıca GPS ile elde edilen konum doğruluklarının gözlem süresine bağlı olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir (Eckl vd., 2001; Erdoğan & Doğan, 2019; Şanlı & Engin, 2009; Tut vd., 2013). Bu nedenle Çoklu-GNSS çözümlerinin gözlem süresine bağlı olup olmadığını belirlemek için veriler 2, 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik gözlem sürelerine bölünmüştür.



Şekil 3: Noktalardaki gözlem sürelerine göre ortalama BDS-2 uydu sayıları

Trimble RTX servisi kullanıcıya farklı datumlarda çözüm yapma imkânı tanımaktadır. Bu çalışmada çözümler ITRF2014 datumunda gerçekleştirilmiştir. Yazılım sonuç ürünü, ölçü epogunda yer merkezci Kartezyen koordinat sistemi koordinatlarını ve koordinatların varyans kovaryans bilgilerini içermektedir. Ancak bu çalışmada konum doğrulukları doğu

(d), kuzey (k) ve yukarı (y) bileşenleri şeklinde incelenmek istendiğinden; yer merkezci koordinatlar toposentrik koordinatlara Eşitlik 3 yardımıyla dönüştürülmüştür.

$$\mathbf{R} = \begin{vmatrix} -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 \\ -\sin(\varphi)\cos(\lambda) & \sin(\varphi)\sin(\lambda) & \cos(\varphi) \\ \cos(\varphi)\cos(\lambda) & \cos(\varphi)\sin(\lambda) & \sin(\varphi) \end{vmatrix} \quad (3a)$$

$$\begin{vmatrix} d \\ k \\ y \end{vmatrix} = \mathbf{R} \times \begin{vmatrix} X - X_R \\ Y - Y_R \\ Z - Z_R \end{vmatrix} \quad (3b)$$

Burada; \mathbf{R} , dönüşüm matrisini, X , Y ve Z yer merkezci Kartezyen koordinatları, X_R , Y_R ve Z_R referans yer merkezci Kartezyen koordinatları ve d , k ve y toposentrik koordinatları ifade edilmektedir. Referans koordinatlar her bir senaryo için 24 saatlik çözümlerin ortalaması olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada Çoklu-GNSS çözümlerinden elde edilen konum doğrulukları; literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi RMS değerleri ile ilişkilendirilmiştir. RMS değerleri hesaplanmadan önce koordinat serilerindeki uyumsuz ölçüler; %50 kırılma noktasıyla en güvenilir Robust yöntemlerden biri olan Medyan yöntemiyle analizlerden çıkarılmıştır (Hampel, Ronchetti, Rousseeuw, & Stahel, 2011; Hekimoğlu, 2005). Medyan yöntemi Eşitlik 4 ile ifade edilir.

$$mad = \begin{cases} 1.2533 \times \frac{1}{n} \times \Sigma |\mathbf{X} - medyan(\mathbf{X})|, & medyan(\mathbf{X} - medyan(\mathbf{X})) = 0 \\ 1.4826 \times medyan(\mathbf{X} - medyan(\mathbf{X})), & medyan(\mathbf{X} - medyan(\mathbf{X})) \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Burada; \mathbf{X} ; kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri için koordinat serilerini, n ölçü sayısını ifade etmektedir. Bu yöntemde $|\mathbf{X} - medyan(\mathbf{X})|$ düzeltme değerleri $3 \times mad$ sınır değeri ile karşılaştırılır. Sınır değerden büyük olan düzeltmeye ilişkin koordinat değeri, koordinat serisinden çıkarılır. Uyumsuz ölçü analizinden sonra RMS değerinin hesabında Eşitlik 5 kullanılmıştır.

$$RMS = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^n (X_i - X_R)^2}{n}} \quad (5)$$

Burada; X_i i. koordinat değerini, X_R referans koordinatı, n ölçü sayısını ifade etmektedir.

Tablo 3'te tüm gözlem süreleri ve tüm senaryolar için Medyan yöntemi sonrası hesaplanmış RMS değerleri gösterilmektedir. RMS değerleri incelendiğinde, literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi gözlem süresi arttıkça doğruluğunun arttığı görülmektedir. Tablo 3 senaryolar özelinde incelendiğinde, 24 saatlik çözümlerin dışındaki tüm çözümlerde Galileo ve BeiDou sistemlerinin GPS ve GLONASS sistemlerine katkı sağladığı açıkça görülmektedir. Özellikle kısa süreli gözlemlerde Çoklu-GNSS çözümleri nokta konum doğruluğunu olumlu etkilemektedir. 24 saatlik çözümlerde GPS çözümleri ile Çoklu-GNSS çözümleri benzerlik göstermektedir.

Koordinat bileşenleri ayrı ayrı incelendiğinde yine benzer sonuçların elde edildiği görülebilmektedir. Doğu bileşeninde; 8 saatten daha kısa gözlem süresine sahip çözümlerde en yüksek doğruluk GREC kombinasyonu ile elde edilirken, 8 ve 12 saatlik gözlem sürelerinde GRE kombinasyonu en yüksek doğruluğu sağlamıştır. 24 saatlik çözümlerde ise sadece GPS çözümleri daha yüksek doğruluğa ulaşmıştır. Kuzey bileşeninde; 12 saatten daha kısa olan gözlem sürelerinde GRE ve GREC kombinasyonları ile daha yüksek doğruluk elde edilmişken; 12 ve 24 saatlik gözlem sürelerinde G ve GR kombinasyonları daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Yukarı bileşeni incelendiğinde kısa süreli gözlemlerde Galileo ve BeiDou sistemlerinin

GPS ve GLONASS sistemlerine büyük katkı yaptığı görülmektedir. Bu sonuçlar Ögütçü (2019) ile de benzerlik göstermektedir.

Tablo 3.1: G ve GR senaryolarına ait farklı gözlem süreleri için RMS değerleri (mm)

Senaryo		G						GR					
Nokta	Bileşen	Gözlem Süresi (sa)						Gözlem Süresi (sa)					
		2	4	6	8	12	24	2	4	6	8	12	24
ANKR	d	16.75	6.68	5.75	4.31	4.37	1.60	10.10	5.62	4.38	4.24	3.00	2.86
	k	6.23	3.24	3.40	2.03	2.21	1.08	4.63	2.44	2.32	1.84	1.68	0.88
	y	19.21	11.57	11.29	8.34	4.78	4.90	13.34	10.13	7.68	7.04	4.81	1.43
CASI	d	6.90	5.45	5.71	5.00	3.43	1.30	6.57	5.79	5.67	4.94	5.12	2.02
	k	6.69	4.27	4.02	2.86	2.75	1.32	6.23	4.29	4.82	2.92	3.16	1.89
	y	17.18	7.98	7.31	6.34	5.11	3.46	16.42	6.94	7.45	6.52	5.13	4.00
ISTA	d	19.08	7.60	5.36	3.44	2.49	1.44	8.68	6.31	4.19	3.44	3.59	1.97
	k	7.15	4.49	2.55	2.29	2.05	1.68	5.27	3.63	1.85	2.02	1.63	1.49
	y	20.85	12.04	11.68	8.02	5.26	4.71	13.71	10.79	9.07	7.02	5.83	4.68
JCTW	d	6.49	5.90	5.04	3.99	4.21	1.74	6.09	5.49	4.47	3.70	4.05	2.27
	k	4.18	3.67	3.45	3.18	2.44	2.28	4.39	3.34	2.90	2.87	1.90	2.15
	y	17.04	14.08	15.04	13.92	11.65	6.79	16.46	11.66	12.16	11.45	9.05	6.67
KIR8	d	2.42	1.91	1.93	1.64	1.25	0.88	2.01	1.59	1.25	1.49	0.84	0.58
	k	2.74	2.31	2.18	1.87	1.46	0.89	2.23	1.77	1.79	1.21	0.96	1.15
	y	10.72	7.58	6.41	5.45	4.04	2.35	8.51	5.65	5.02	4.91	3.08	3.15
KITG	d	3.09	2.43	2.33	1.57	2.08	1.81	3.01	2.34	2.44	2.03	2.30	0.93
	k	3.00	2.88	2.47	1.84	2.14	1.86	2.91	2.70	2.16	1.94	1.85	2.05
	y	12.98	10.99	9.20	8.12	6.00	2.86	12.03	9.79	7.63	7.91	7.55	6.95
NKLK	d	3.21	2.63	1.97	2.07	1.93	2.17	3.34	2.57	2.03	1.62	1.69	1.15
	k	3.69	2.16	2.17	1.88	1.83	1.02	3.48	2.58	2.33	1.54	1.45	0.20
	y	11.79	10.24	6.14	5.25	7.00	3.26	11.65	9.33	7.53	6.86	5.44	4.06
PARK	d	3.01	3.16	2.77	2.29	2.48	1.31	2.76	2.49	2.29	1.93	1.53	0.94
	k	3.80	2.65	2.16	2.23	1.95	1.82	3.36	2.65	2.38	2.15	2.19	1.78
	y	8.01	6.62	5.44	5.10	4.64	3.36	6.57	5.38	5.04	4.52	4.23	4.04
SALU	d	4.13	3.54	2.31	2.55	1.46	1.46	3.86	2.96	2.32	2.37	1.27	0.99
	k	4.56	4.31	4.07	3.52	2.96	0.98	3.98	3.20	3.25	2.53	2.14	0.75
	y	18.34	12.48	10.12	8.01	7.46	3.43	16.14	10.87	10.19	8.16	5.82	4.36
STJ3	d	12.55	6.48	3.72	2.52	1.47	0.86	9.98	6.12	4.21	2.69	2.10	1.52
	k	8.29	5.96	2.45	1.56	0.94	0.49	6.10	5.09	2.64	2.24	1.48	0.93
	y	14.37	11.61	5.98	4.99	2.82	1.49	11.55	10.21	6.01	5.92	3.29	1.76

Tablo 3.2: GRE ve GREC senaryolarına ait farklı gözlem süreleri için RMS değerleri (mm)

Senaryo		GRE						GREC					
Nokta	Bileşen	Gözlem Süresi (sa)						Gözlem Süresi (sa)					
		2	4	6	8	12	24	2	4	6	8	12	24
ANKR	d	9.35	5.66	4.73	3.87	2.63	1.98	9.42	5.43	4.08	4.12	2.29	1.60
	k	4.61	2.32	2.35	1.59	1.79	1.06	4.50	2.23	2.29	1.70	1.80	1.26
	y	12.69	9.34	8.25	5.66	4.95	3.00	12.15	9.75	7.71	5.75	4.34	3.50
CASI	d	5.90	5.37	4.55	4.72	4.71	1.88	5.83	5.37	4.26	4.83	4.53	1.74
	k	5.71	4.18	4.35	3.15	2.80	2.10	5.51	4.04	4.38	3.27	2.95	2.63
	y	13.76	7.62	7.62	6.94	5.96	3.86	14.13	8.29	7.70	7.61	6.26	2.91
ISTA	d	8.57	5.36	4.26	3.09	1.48	1.92	7.70	5.21	4.15	3.13	3.43	2.12
	k	5.55	3.41	1.96	1.98	1.81	1.48	5.77	3.44	1.78	2.02	1.91	1.46
	y	12.94	9.76	9.05	6.69	3.83	4.74	13.27	8.58	7.14	6.26	5.51	3.97
JCTW	d	6.44	5.86	4.40	3.66	3.85	2.80	6.47	5.70	4.54	4.18	3.87	2.83
	k	3.94	3.27	2.72	2.42	2.85	2.21	3.97	3.18	2.96	2.72	2.78	2.14
	y	15.61	11.41	11.47	9.32	9.35	7.16	15.93	11.73	10.66	10.24	9.37	7.44
KIR8	d	1.76	1.38	1.30	1.27	0.87	0.68	1.72	1.35	1.28	1.29	0.77	0.64
	k	2.53	1.84	1.43	1.27	0.73	1.19	2.57	1.86	1.46	1.27	1.33	1.06
	y	8.22	5.90	5.04	4.60	3.83	2.65	8.74	5.76	5.13	4.65	3.36	2.47
KITG	d	2.81	2.19	2.01	1.99	1.87	1.54	3.19	2.57	2.50	2.08	2.24	1.09
	k	3.09	2.77	2.12	2.29	1.87	1.02	3.24	2.99	2.15	1.79	2.03	1.58
	y	11.28	9.39	7.03	7.55	6.64	5.35	13.01	11.54	8.12	7.97	6.48	4.95
NKLK	d	3.14	2.43	1.77	1.50	1.56	0.72	3.10	2.42	1.86	1.85	1.75	1.26
	k	3.22	2.49	1.99	1.60	1.42	0.93	2.86	2.63	2.38	1.75	1.51	0.67
	y	10.58	8.26	5.58	5.22	4.96	2.49	10.58	8.54	5.39	5.39	4.23	2.51
PARK	d	2.93	2.77	2.23	1.73	1.50	0.73	2.83	2.45	2.06	1.78	1.43	0.76
	k	3.42	3.06	2.59	2.43	2.09	1.66	3.59	2.51	2.76	2.47	2.15	1.76
	y	9.10	6.80	4.11	4.25	4.13	2.81	9.76	5.23	5.36	4.89	3.79	4.70
SALU	d	3.25	2.86	2.17	2.24	1.24	0.96	3.08	2.66	2.11	1.50	1.54	1.09
	k	3.89	3.21	3.06	2.56	1.95	0.86	4.27	3.17	2.95	2.36	1.90	0.83
	y	16.07	12.72	10.34	8.22	6.44	5.50	18.42	13.62	11.32	10.50	8.02	5.65
STJ3	d	9.63	5.99	4.22	2.95	2.19	1.35	9.61	5.33	3.91	1.97	2.07	1.20
	k	5.25	3.74	2.40	2.05	1.35	0.77	6.23	4.58	2.02	1.55	1.24	0.77
	y	11.34	8.04	5.63	5.10	3.77	2.33	11.11	8.81	5.17	5.11	3.56	2.40

Trimble RTX servisi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde; yatay bileşende, ANKR, ISTA ve STJ3 noktaları hariç tüm

noktalarda bütün senaryolarla 2 saatlik gözlemlerle bile mm mertebesinde doğruluk değerlerinin elde edilebildiği görülmektedir. ANKR, ISTA ve STJ3 noktalarında ise farklı uydu kombinasyonu çözümleri ile 2 saatlik gözlem süresinde mm mertebesinde doğruluğa ulaşılabilmektedir. Düşey bileşende ise; sadece GPS çözümlerinde mm mertebesinde doğruluk çoğunlukla 6-8 saatlik gözlemler ile sağlanabilmektedir. Ancak, bu doğruluk değeri GR senaryosunda 4-6; GRE ve GREC senaryolarında 4 saatlik gözlem süreleriyle elde edilmiştir.

Çalışmada ayrıca, GNSS gözlem süresi ve nokta enlemlerinin Çoklu-GNSS çözümlerine olan etkisini incelemek amacıyla Eşitlik 6'daki doğruluk fonksiyonları belirlenmiştir (Eckl vd., 2001; Saraçoğlu ve Şanlı, 2020; Şanlı & Tekic, 2010).

$$S_i(\varphi, T) = \sqrt{\frac{a_i}{T} + \frac{b_i\varphi^2}{T} + c_i + d_i\varphi^2} \quad (6)$$

Burada; i indisi koordinat bileşenini (k, d, y), S ilgili koordinat bileşenine ait RMS değerini, a_i, b_i, c_i ve d_i fonksiyon parametrelerini, T saat biriminde gözlem süresini ve φ derece biriminde enlem bilgisini ifade etmektedir. Bu eşitlikte a_i parametresi sadece gözlem süresine, b_i parametresi hem gözlem süresine hem de istasyon enlem bilgisine ve d_i parametresi istasyon enlem bilgisine göre değişmektedir. c_i parametresi ise gözlem süresi ve enlem bilgisi dışındaki olası değişkenler ile ilişkilendirilmiştir.

Her bir senaryoya ait fonksiyon parametreleri En Küçük Kareler (EKK) yöntemiyle belirlenmiş ve Tablo 4'te gösterilmiştir (Koch, 2013). Ayrıca bu parametrelerin anlamlılığı Student T-testi ile incelenmiştir. Tablo 4 incelendiğinde tüm fonksiyonlarda sadece gözlem süresine bağlı parametrenin (a_i parametresinin) anlamlı; yani test değerinin sınır değerden büyük olduğu (2.003), diğer parametrelerin ise anlamsız olduğu görülmektedir.

Tablo 4: Doğruluk fonksiyonlarının parametre değerleri

Parametre	G			GR			GRE			GREC		
	Değer	Standart Sapması	Test Değeri	Değer	Standart Sapması	Test Değeri	Değer	Standart Sapması	Test Değeri	Değer	Standart Sapması	Test Değeri
a_D (mm ² .sa)	203.572	72.122	2.823	76.071	23.660	3.215	73.057	21.630	3.378	67.690	20.755	3.261
b_D (mm ² .sa /der ²)	-0.001	0.031	0.018	0.003	0.010	0.257	0.001	0.009	0.132	0.002	0.009	0.219
c_D (mm ²)	-14.945	17.778	0.841	-2.204	5.832	0.378	-2.240	5.332	0.420	-1.430	5.116	0.280
d_D (1/der ²)	0.001	0.008	0.098	0.001	0.002	0.472	0.001	0.002	0.417	0.001	0.002	0.311
a_K (mm ² .sa)	45.807	12.662	3.618	31.482	7.994	3.938	29.237	6.293	4.646	33.366	7.393	4.513
b_K (mm ² .sa /der ²)	0.007	0.005	1.292	0.004	0.003	1.180	0.003	0.003	1.155	0.002	0.003	0.732
c_K (mm ²)	1.082	3.121	0.347	0.582	1.970	0.296	0.813	1.551	0.524	0.313	1.822	0.172
d_K (1/der ²)	-0.001	0.001	0.727	0.000	0.001	0.018	0.000	0.001	0.051	0.000	0.001	0.224
a_Y (mm ² .sa)	496.579	83.784	5.927	329.729	54.622	6.037	339.709	45.701	7.433	386.198	54.714	7.058
b_Y (mm ² .sa /der ²)	-0.006	0.035	0.164	-0.003	0.023	0.145	-0.024	0.019	1.259	-0.033	0.023	1.414
c_Y (mm ²)	12.871	20.653	0.623	20.200	13.464	1.500	12.610	11.265	1.119	13.190	13.487	0.978
d_Y (1/der ²)	-0.008	0.009	0.865	-0.007	0.006	1.152	-0.003	0.005	0.565	-0.003	0.006	0.598

$$t_{f,1-\alpha/2} = 2.003, \alpha = 0.05$$

Fonksiyonda sadece gözlem süresine bağlı parametrenin anlamlı olarak ortaya çıktığı belirlendikten sonra fonksiyon Eşitlik 7'deki şekliyle yeniden düzenlenmiştir. Her bir koordinat bileşeni için k katsayı değerleri EKK yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur.

$$S_i(T) = \frac{k_i}{\sqrt{T}} \quad (7)$$

Burada k_i , fonksiyon parametresini ifade etmektedir.

Tablo 5: Senaryolara ait gözlem süresine bağlı parametre değerleri

	k_D	k_K	k_Y
G	12.61	7.51	21.97
GR	8.97	6.38	18.70
GRE	8.58	6.11	17.88
GREC	8.40	6.29	18.67

Tablo 5 incelendiğinde en küçük fonksiyon parametresi değerinin doğu bileşeni için GREC ile; kuzey ve yukarı bileşenleri için ise GRE senaryosu ile elde edildiği görülebilmektedir. Bu sonuca dayanarak da uydu kombinasyonları ile elde edilen çözümlerin daha yüksek doğruluğa sahip olduğu söylenebilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada internet tabanlı bir servis olan Trimble RTX ile gerçekleştirilen Çoklu-GNSS çözümlerinin doğruluğu araştırılmıştır. Seçilen 10 adet noktanın 10'ar günlük verileri 6 farklı gözlem süresinde değerlendirilmiştir. RMS değerleri incelendiğinde doğruluğun gözlem süresine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Analizlerde en uzun süre olarak 24 saat seçilmiştir. Bu gözlem süresine ilişkin sonuçlarda tüm sistemlerin en yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. Analizlerde kullanılan ürünlerin doğrulukları ve Trimble RTX servisinin analizlerde standart bir çözüm kullandığı düşünüldüğünde elde edilebilecek maksimum doğruluğa 24 saatlik gözlemlerde ulaşılabilir. Çalışmada kullanılan farklı uydu kombinasyonlarının 24 saatlik gözlem verisi ile elde edilen doğruluk değerlerinin, sadece GPS verisi kullanılarak elde edilen doğruluğa yakınsadığı görülmüştür. Ancak, bu durum farklı uydu kombinasyonlarının çözümlere herhangi bir katkısı olmadığı anlamına gelmemektedir. Gözlem süresi kısaldıkça bu etki ortaya çıkmaktadır. Sadece GPS çözümü ile 6-8 saatlik gözlem süresinde elde edilen doğruluğa GRE kombinasyonu ile 4 saatte ulaşılabilirdiği gösterilmiştir. Ayrıca, Çoklu-GNSS çözüm doğruluklarının gözlem süresi ve enleme bağlı olup olmadığını incelemek için doğruluk fonksiyonu belirlenmiştir. Fonksiyonda a_i parametresi sadece gözlem süresine, b_i parametresi hem gözlem süresine hem de istasyon enlem bilgisine ve d_i parametresi istasyon enlem bilgisine bağlılığı ifade etmektedir. c_i parametresi ise gözlem süresi ve enlem bilgisi dışındaki olası değişkenler ile olan ilişkiyi ortaya koymaktadır. Tüm senaryolarda ve koordinat bileşenlerinde, doğruluk fonksiyonunun sadece gözlem süresine bağlı parametreleri (a_i parametresi) anlamlı çıkmış diğer enlem ve olası tüm değişkenlere ait parametreler (b_i , c_i ve d_i parametreleri) anlamsız çıkmıştır. Eğer sadece d_i parametresi anlamlı çıksaydı bu durum çözümlerden elde edilen doğruluğun sadece enleme bağlı olduğu; sadece a_i , b_i ve d_i parametreleri anlamlı olsaydı bu durumda ise çözümlerin doğruluğunun hem noktanın enlemine hem de gözlem süresine bağlı olduğu ortaya çıkacaktı. Sadece a_i parametresinin anlamlı çıkması, Çoklu-GNSS çözümlerinin enleme veya ek bir parametreye bağlı olmadığını, sadece gözlem süresine bağlı olduğunu göstermektedir. Tüm sonuçlar incelendiğinde Galileo ve BeiDou sistemlerinin GPS ve GLONASS sistemlerine konum doğruluğu açısından katkı sağladığı söylenebilir. Özellikle kısa süreli gözlemlerde sadece GPS ölçülerini kullanmak yerine doğruluğu arttırmak için farklı uydu kombinasyonları tercih edilebilir. Bununla birlikte Trimble RTX servisi ile mm mertebesinde doğruluk elde edilebildiğinden; yüksek doğruluk gerektiren mühendislik ölçmeleri çalışmalarında bu servis kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışmada IGS-MGEX ağına ait noktalar kullanılmıştır. Verileri sağladığı için IGS kurumuna ve verilerin değerlendirildiği Trimble RTX servisini geliştiren araştırmacılara teşekkür ederiz. Şekil 1 Generic Mapping Tools (GMT)

kullanılarak çizilmiştir (Wessel & Smith, 1998).

Yazar Katkısı

Gizem Sezer: Tasarım, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Yazım, Veri toplama ve işleme. **Ali Hasan Doğan:** Denetleme, Yazım, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Veri toplama ve işleme. **Bahattin Erdoğan:** Fikir, Tasarım, Analiz ve yorumlama, Denetleme, Yazım.

Kaynaklar

- Albayrak, M., Erdoğan, B., & Erkaya, H. (2020). Performance analysis of web-based relative and precise point positioning techniques with different satellite visibility conditions. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 26(1).
- Bisnath, S., & Gao, Y. (2009). Current state of precise point positioning and future prospects and limitations. *Observing our changing earth*, s. 615-623. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Doucet, K., Herwig, M., Kipka, A., Kreikenbohm, P., Landau, H., Leandro, R., Moessmer, M., & Pagels, C. (2012). Introducing ambiguity resolution in webhosted global multi-GNSS precise positioning with Trimble RTX-PP. *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation*, 17, 1115-1125.
- Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W., & Mader, G. L. (2001). Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration. *Journal of geodesy*, 75(12), 633-640.
- Erdoğan, B., Kayacık, O., & Doğan, A.H. (2019). Hassas mutlak nokta konumlamada GIPSY-OASIS II v6.4 yazılımı ile elde edilen varyans kovaryans matrisinin güvenilirliğinin araştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 6(2), 75-86.
- Erdoğan, B., & Doğan, A.H. (2019). Scaling of the variance covariance matrix obtained from Bernese software. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 54(2), 197-211.
- Gao, Y., & Shen, X. (2001). Improving ambiguity convergence in carrier phase-based precise point positioning. *Proceedings of the 14th international technical meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, 1532-1539.
- Geng, J., Teferle, F. N., Meng, X., & Dodson, A. H. (2011). Towards PPP-RTK: Ambiguity resolution in real-time precise point positioning. *Advances in space research*, 47(10), 1664-1673.
- Hampel, F. R., Ronchetti, E. M., Rousseeuw, P. J., & Stahel, W. A. (2011). *Robust statistics: the approach based on influence functions*. John Wiley & Sons.
- Hekimoğlu, Ş. (2005). Do Robust Methods Identify Outliers More Reliably Than Conventional Tests for Outliers?. *ZfV magazine for geodesy, geoinformation and land management*, 3, 174-180.
- Koch, K.-R. (2013). *Parameter estimation and hypothesis testing in linear models*, Springer Science & Business Media.
- Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS solutions*, 5(2), 12-28.
- Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., & Schuh, H. (2015). Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo. *Journal of Geodesy*, 89(6), 607-635.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Prange, L., Deng, Z., Zhao, Q., Perosanz, F., Romero, I., Noll, C., Stürze, A., & Weber, G. (2017). The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS)—achievements, prospects and challenges. *Advances in Space Research*, 59(7), 1671-1697.
- Öcalan, T., Erdoğan, B., & Tunalioglu, N. (2013). Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques. *Boletim de ciencias geodesicas*, 19(2), 191-207.
- Öcalan T. (2015). *GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımli Çözümler* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Öğütçü, S. (2019). The contribution of Multi-GNSS Experiment (MGEX) to precise point positioning over Turkey: Consideration of observation time and satellite geometry. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(3), 642-658.
- Öğütçü, S. (2020). Assessing the contribution of Galileo to GPS+ GLONASS PPP: Towards full operational capability. *Measurement*, 151,

107143.

- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., & Grinter, T. (2012), Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End? *FIG Working Week 2012*, Roma, İtalya.
- Saraçoğlu, A., & Şanlı, D. U. (2020). Effect of meteorological seasons on the accuracy of GPS positioning. *Measurement*, 152, 107301.
- Soler, T., Michalak, P., Weston, N. D., Snay, R. A., & Foote, R. H. (2006). Accuracy of OPUS solutions for 1-to 4-h observing sessions. *GPS solutions*, 10(1), 45-55.
- Soycan, M., & Öcalan, T. (2011). A regression study on relative GPS accuracy for different variables. *Survey Review*, 43(320), 137-149.
- Şanlı, D. U., & Engin, C. (2009). Accuracy of GPS positioning over regional scales. *Survey Review*, 41(312), 192-200.
- Şanlı, D. U., & Tekiç, S. (2010). *Accuracy of GPS precise point positioning: A tool for GPS accuracy prediction*. Lambert Acad. Publ.
- Toluc, A. B. (2016). *Multi-GNSS Precise Point Positioning Using GPS, GLONASS and Galileo* (Yüksek Lisans Tezi). The Ohio State University, Graduate School of The Ohio State University, Ohio, Amerika Birleşik Devletleri.
- Tut, İ., Şanlı, D. U., Erdoğan, B., & Hekimoğlu, Ş. (2013). Efficiency of BERNESE single baseline rapid static positioning solutions with search strategy. *Survey review*, 45(331), 296-304.
- Wang, J., Wu, Z., Semmling, M., Zus, F., Gerland, S., Ramatschi, M., Ge, M., Wickert, J., & Schuh, H. (2019). Retrieving Precipitable Water Vapor From Shipborne Multi-GNSS Observations. *Geophysical Research Letters*, 46(9), 5000-5008.
- Wessel, P., & Smith, W. H. (1998). New, improved version of Generic Mapping Tools released. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 79(47), 579-579.
- Xia, F., Ye, S., Xia, P., Zhao, L., Jiang, N., Chen, D., & Hu, G. (2019). Assessing the latest performance of Galileo-only PPP and the contribution of Galileo to Multi-GNSS PPP. *Advances in space research*, 63(9), 2784-2795.
- Yapıcı, T. (2007). Influences of interplanetary magnetic field on the variability of aerospace media (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., & Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of geophysical research: solid earth*, 102(B3), 5005-5017.
- URL-1: International GNSS Service, <http://mgex.igs.org/>, (Erişim Tarihi:1 Nisan 2020).
- URL-2: Web Based Trimble RTX Service, <https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>, (Erişim Tarihi:1 Nisan 2020).
- URL-3: Space Weather Archive, <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive>, (Erişim Tarihi:3 Nisan 2020).

Web tabanlı CSRS-PPP uygulamasının farklı uydu sistemleri üzerindeki performansı

Tuna Erol^{1*} 

¹Balıkesir Üniversitesi, Çaçış Yerleşkesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Altteylül, Balıkesir, Türkiye.

Öz: Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri'nden (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) elde edilen veriler değerlendirilirken bilimsel/akademik, ticari yazılımlar ve kullanımı gittikçe artan web tabanlı uygulamalar kullanılmaktadır. GNSS veri değerlendirme stratejisi mutlak ve bağıl olarak temelde ikiye ayrılmaktadır. Kullanımı artan web tabanlı servisler temelde mutlak yöntemi kullanan ya da bağıl yöntemi kullananlar olarak ayrılmaktadır. Hassas mutlak nokta konumlama (Precise Point Positioning, PPP) yöntemi tek bir alıcı ile cm mertebesinde konum belirlemeyi mümkün kılmakta ve kullanıcılar açısından oldukça pratik olarak konum belirleme imkânı sunmaktadır. PPP yönteminin gerçek zamanlı uygulamaları da gittikçe yaygınlaşmakta, bu durum kullanıcılar açısından hem zaman hem de maliyet tasarrufu imkânları sunmaktadır. Konum belirleme tarafında bu gelişmeler yaşanırken, ilk ortaya çıktığı günden bu yana askeri amacının yanında insanoğlunun hayatına her alanda giren Küresel Konumlama Sistemi (GPS), diğer sistemlerin de (GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS vb.) devreye alınması ile oldukça yaygınlaşmıştır. Bugün artık GNSS olarak hayatımızın içinde daha fazla var olmaya devam etmektedir. Çeşitli ülkeler tarafından geliştirilen ve kullanılan uydu sistemlerinin dünya üzerine yayılmış bulunan Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) istasyonlarında veri toplanarak, konum belirleme sürecine dahil edilmesi ile The Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesi geliştirilmiş ve belirlenen istasyonlarda, tüm uydu sistemlerinden veri toplanmasına başlanılmıştır. Bu çalışmada, web tabanlı CSRS-PPP uygulaması ile dünya üzerinde dağılmış 5 MGEX istasyonunda toplanan 10 günlük GNSS gözlem verileri değerlendirilmiştir. MGEX projesi kapsamında istasyonlardan gözlem verileri 1 saniyeden 30 saniyeye kadar gözlem aralığında ve çoklu uydu sistemlerinden (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, NAVIC, BeiDou, SBAS) veri toplama imkânı bulunmaktadır. CSRS-PPP uygulamasının değerlendirme stratejisinde kullandığı GPS ve GLONASS (GPS, GLONASS ve GPS+GLONASS) uydu sistemleri ile 1 ile 30 saniye aralıklı toplanmış gözlem verilerinin en az 15 dakikadan 24 saate kadar gözlem aralığında ve farklı iyonosferik koşullardaki performansı değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Küresel navigasyon uydu sistemleri, Hassas mutlak nokta konumlama, CSRS-PPP, Web tabanlı servis, MGEX

Performance of Web Based CSRS-PPP Service in Different Satellite Systems

Abstract: In evaluating the data provided by Global Navigation Satellite Systems (GNSS), scientific/academic, commercial software, and web-based applications, which are used increasingly, are implemented. The strategy of GNSS data processing is basically divided into two as absolute and relative. The web-based services increasing in use are mainly divided into either using the absolute method or the relative method. Precise Point Positioning (PPP) method makes possible to obtain cm level positioning by using a single receiver and offers possibility of a quite practical positioning for users. Real-time applications of the PPP method are also becoming more and more widespread, which offer both time and cost savings for users. While developments on positioning continue, GPS introduced to the life of human beings in every field besides its military purpose since its first appearance, has become quite common with the introduction of other systems (GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS etc.). Today, as GNSS, it continues to exist more in our lives. The Multi-GNSS Experiment (MGEX) project has been developed by collecting data at International GNSS Service (IGS) stations spread worldwide, received signals from the satellite systems developed by several countries and by including them to the processing stage and then data collection at the specified stations from all of the satellite systems has been started. In this study, the GNSS observation data collected at 5 MGEX stations scattered around the world for a duration of 10-day were evaluated with a web-based service, namely CSRS-PPP. In the concept of MGEX Project, it is possible to collect data from the stations with an observation duration ranging from 1 to 30 seconds and from multiple satellite systems (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, NAVIC, BeiDou, SBAS). In the evaluation stage of CSRS-PPP application, the evaluation performance was examined and concluded in terms of satellite systems used as GPS and GNSS (GPS, GLONASS, and GPS+GLONASS), data record interval ranging as 1 and 30 seconds, and observation duration from 15 minutes to 24 hours.

Keywords: Global navigation satellite systems, Precise point positioning, CSRS-PPP, Web-based service, MGEX

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 266 612 1425

Geliş Tarihi/Received: 21.06.2020
Kabul Tarihi/Accepted: 23.10.2020

1. Giriş

İlk ortaya çıktığı günden bu yana askeri amacının yanında insanoğlunun hayatına her alanda giren GPS, diğer sistemlerin de (GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS vb.) devreye alınması ile bugün artık Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) olarak hayatımızın içinde daha fazla var olmaktadır. Uydularla konum belirleme yöntemi, temelde uzay geriden kestirme yöntemine dayalı olarak geliştirilmiş olup, elde edilen gözlemler ile konum belirleme mutlak ve bağıl yöntemlerle yapılmaktadır.

Yıllar içerisinde sistemdeki yenilemeler, diğer sistemlerin devreye alınmaları, farklı hesap yöntemlerinin ortaya çıkması ile temelde mutlak ve bağıl olan konum belirleme mantığı değişmemiş olsa da, her bir yaklaşım altında yeni yöntemler hayatımıza girmiştir. İstenilen amaca, doğruluğa, konum bilgisini elde etme süresine, sahip olunan teknik imkânlarla bağıl olarak birçok yöntem bugün hayatımızda bulunmaktadır. Kullanıcılar açısından seçilen her yöntemin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Jeodezik amaçlı çalışmalar için bağıl ve mutlak konum belirleme yöntemleri, uydulara dayalı konum belirleme sistemlerinin ilk ortaya çıkmasından günümüze kadar ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bağıl değerlendirme yöntemi ve temelde bu yöntemi kullanan alternatif yöntemler yıllar içerisinde geliştirilmiş ve bu yöntemler üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Betti, Biagi, Crespi, & Riguzzi, 1999; Dong & Bock, 1989; Eckl, Snay, Soler, Cline, & Mader, 2001; Feigl vd.,1993; Firuzabadi & King, 2011; Häkli & Koivula, 2008; Larson & Agnew, 1991; Soler, Michalak, Weston, Snay, & Foote, 2006; Tiryakioğlu, Dereli, Erdoğan, & Güllal, 2010). Hassas mutlak nokta konumlama (Precise Point Positioning, PPP) yönteminin geliştirilmesi ve tek bir alıcı ile küresel ölçekte yüksek konum doğruluğu elde edilmesi konusunda araştırmalar yapılmaktadır. PPP yöntemi ilk olarak 1997 yılında ortaya konulmuştur (Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins, & Webb, 1997). Kod ve faz ölçülerinin lineer kombinasyonları ve Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) tarafından sağlanan hassas saat ve yörünge ürünleri kullanılarak PPP'nin matematiksel modeli 2001 yılında geliştirilmiştir (Kouba & Héroux, 2001). PPP yöntemi ile gerçekleştirilen 24 saatlik oturum sürelerinde yatayda 2-3 mm, düşeyde ise 5 mm hassasiyetinde konum bilgisine ulaşılabilmektedir (Wang, 2013).

Her yöntemde olduğu gibi standart PPP yönteminde de faz belirsizliklerinin tam sayı olarak belirlenememesi nedeniyle, faz belirsizliklerinin yakınsaması ve dolayısıyla yüksek konum doğruluğuna erişilebilmesi için ölçüme başlanıldığında bağıl yöntemden daha fazla gözlem süresine ihtiyaç duyulur. Yakınsama süresi olarak adlandırılan bu süre PPP yönteminin dezavantajı olarak söylenebilir (Choy, Bisnath & Rizos, 2017). Tamsayı belirsizliği çözümünde uzun yakınsama süresi PPP yönteminin dezavantajı olarak ifade edilse de PPP ile elde edilen konum doğruluğunun, bağıl konum belirlemeye alternatif olabileceği ifade edilmektedir (Tekiç, 2009; Öcalan, 2015).

PPP ile geliştirilen modelde hem taşıyıcı faz hem de kod gözlemlerinin birlikte kullanılması, yüksek doğrulukla konum bilgisinin elde edilmesi için önemlidir. PPP yönteminde de iyonosfer kaynaklı hataların etkisini azaltmak için çift frekanslı GPS gözlem modelleri kullanılmaktadır. Taşıyıcı faz ve kod gözlemleri sırasıyla L3 ve P3 iyonosfer-bağımsız yapıya dönüştürülmekte, bu sayede GNSS sinyalinin iyonosfer tabakasında uğradığı kayıklıklar (bias, refraksiyon) büyük oranda giderilebilmektedir (Öcalan, 2015).

PPP yöntemi ortaya çıktığından bu yana hem ölçü sonrası (post-process) hem de gerçek zamanlı (real-time) uygulamalardan elde edilen doğruluklar üzerine çeşitli araştırmalar yapılmış olup, sistemdeki yenilikler ve gelişmeler ile birlikte bu çalışmalar devam etmektedir (Bahadur & Nohutcu, 2018; Bahadur & Nohutcu, 2019; Choy. vd., 2017; Doğan, Tunalıoğlu, Erdoğan, & Öcalan, 2018; El-Mowafy, 2011; Erdoğan, Kayacık, & Doğan, 2019; Erol, 2019; Geng, Meng, Teferle, & Dodson, 2010;

Isioye, Moses, & Abdulmumin, 2019; Jha, Singh, Upadhyay, & Khare, 2016; Öcalan, 2015; Rapiński & Cellmer, 2011; Şanlı & Engin, 2009; Şanlı ve Kurumahmut, 2011; Tariq, Hadi, & Hafedh, 2017; Yiğit & Gürlek, 2017).

GNSS'den elde edilen veriler değerlendirilirken bilimsel/akademik, ticari yazılımlar ve kullanımı gittikçe artan web tabanlı uygulamalar kullanılmaktadır. Özellikle PPP yönteminin yaygınlaşması ile web tabanlı değerlendirme servisleri de oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. PPP yöntemi de web tabanlı servisler tarafından tercih edilmektedir. Bu uygulamada kullanılan CSRS-PPP servisinin yanında APPS (URL-1), Magic-GNSS (URL-2), GAPS (URL-3) gibi web tabanlı servisler de PPP yöntemiyle konum belirlemektedir.

GPS ile başlayan ve yıllar içerisinde farklı uydu sistemlerinin (GPS, GLONASS, QZSS, Galileo) devreye alınması ile gelişen IGS The Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesi 2016 yılında hayata geçirilmiştir. Dünya üzerine yayılmış belirli sayıda istasyonda mevcut tüm uydu sistemlerinden verilerin toplanması (hem 30 saniye aralıklı hem de yüksek çözünürlüklü 1 saniye aralıklı), IGS'in uydu yörünge, saat bilgileri vb. ürünlerini de kullanıcılara açık olarak sunması, PPP yöntemi ile elde edilen doğruluklar üzerinde olumlu katkı sağlamaktadır.

Tüm olumlu gelişmeler yanında uydulara dayalı yöntemlerle konum bilgisinin elde edilmesinde bağıl ya da PPP çözüm tekniklerinin yanı sıra sistemi etkileyen birçok hata kaynağı ve etki de (uydu kaynaklı, alıcı kaynaklı, atmosferik etkiler, jeofiziksel etkiler, kullanıcı hataları) doğruluğu etkilemektedir. Arzu ettikleri doğruluklara ulaşmak isteyen kullanıcıların hata kaynaklarını, gözlem öncesi planlama sürecinde, gözlem anında ve değerlendirme aşamasında göz önünde bulundurması ve dikkate alması gerekmektedir.

Bu çalışmada, web tabanlı CSRS-PPP uygulaması ile dünya üzerinde dağılmış 5 MGEX istasyonundan toplanan 10 günlük GNSS gözlem verileri değerlendirilmiştir. MGEX projesi kapsamında istasyonlardan 1 saniyeden 30 saniyeye kadar gözlem aralığında ve çoklu uydu sistemleri ile (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, NAVIC, BeiDou, SBAS) veri toplama imkânı bulunmaktadır. CSRS-PPP uygulamasının değerlendirme stratejisinde kullandığı GPS ve GLONASS (GPS, GLONASS ve GPS+GLONASS) uydu sistemleri ile 1 saniye ile 30 saniye aralıklı toplanmış gözlem verilerinin en az 15 dakikadan 24 saate kadar gözlem süresinde ve farklı iyonosferik koşullardaki performansı değerlendirilmiştir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar, 26 Haziran 2018 tarihli ve 30460 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren, ülkemizdeki tescile esas olarak üretilen harita ve harita bilgileri açısından referans olarak kabul edilen "Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY)" tarafından istenilen doğruluklar açısından da yorumlanmıştır.

2. GNSS Verilerinin Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi

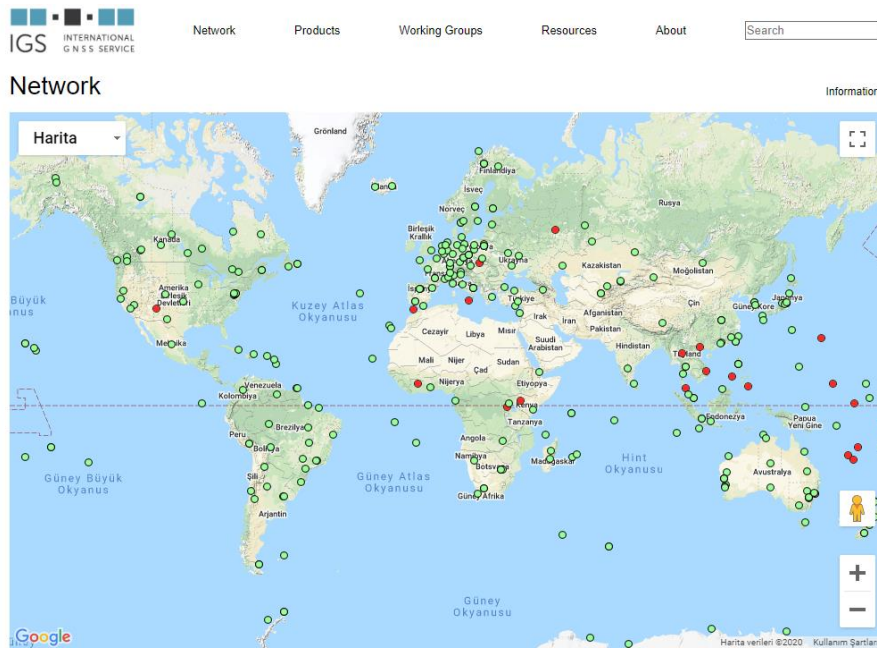
2.1 IGS MGEX Projesi

GNSS'de bilimsel kurumlar; sistemin herkes tarafından çok daha kolay kullanılan dünya genelinde çok yönlü bir izleme sistemi haline getirilmesinde, bilimsel, eğitsel ve ticari uygulamalar için yüksek doğruluklu küresel referans çerçevesinin oluşturulmasında, halkın hizmet aldığı birçok uygulamaya altlık hizmetinin sunulmasında, bilimsel birçok çalışmaya katkı sağlanmasında ve GNSS verilerinin uluslararası standartlarda toplanıp değerlendirilmesinde çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu kuruluşlardan birisi de IGS'dir. Galileo gibi, diğer uydu sistemlerinin de gündeme gelmesiyle adı Uluslararası GPS Servisi'nden, "Uluslararası GNSS Servisi" olarak değiştirilmiştir (URL-4).

MGEX projesi mevcut tüm GNSS sinyallerini izlemek, bir araya getirmek ve analiz etmek için IGS tarafından oluşturulmuştur (URL-4). MGEX projesi BeiDou, Galileo, QZSS ve NAVIC sistemlerinin yanı sıra GPS ve GLONASS

uyduları ile uydu destekli sistemlere ait (SBAS) sinyallerini de içermektedir. Analiz merkezleri yeni uyduları ve sinyalleri analiz etmekte, farklı kurulum ve ekipmanların performanslarını karşılaştırmakta ve birden fazla GNSS gözlem verisini işleyebilecek veri değerlendirme yazılımı geliştirmektedir. IGS böylelikle GPS ile başladığı yüksek doğruluklu veri setleri ve veri değerlendirme sürecinden tüm uydu sistemlerini kapsayacak şekilde yüksek doğruluklu parametreler ile kapsamını genişletmektedir.

Dört yıllık bir süre boyunca, küresel çoklu GNSS istasyon ağı kurulmuş ve mevcut GPS/GLONASS referans istasyon ağı ile bütünleştirilmiştir. Buna paralel olarak diğer sistemler için de yörünge ve saat bilgilerini, rutin olarak üretebilecek noktaya gelinmiştir. 2016 yılının başında MGEX'in deneme aşamasının sonlandırılması ve bir pilot proje olarak IGS çoklu GNSS faaliyetlerini sürdürmesi kararlaştırılmıştır (URL-4).



Şekil 1: IGS MGEX projesi kapsamındaki istasyonlar (URL-4)

Şekil 1’de sunulan görselde dünya üzerine dağılmış MGEX istasyonlarından yeşil renkte olanlar aktif, kırmızı renkte olan istasyonlar ise pasif durumda bulunan istasyonları göstermektedir.

IGS çoklu GNSS istasyonlarının son gözlem verileri, RINEX3 formatında ve IGS’nin dünya çapındaki veri merkezlerinden temin edilebilmektedir. Bu merkezler;

- Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS)
- Institut Géographique National (IGN)
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) altında ftp hizmeti sunmaktadır (URL-5).

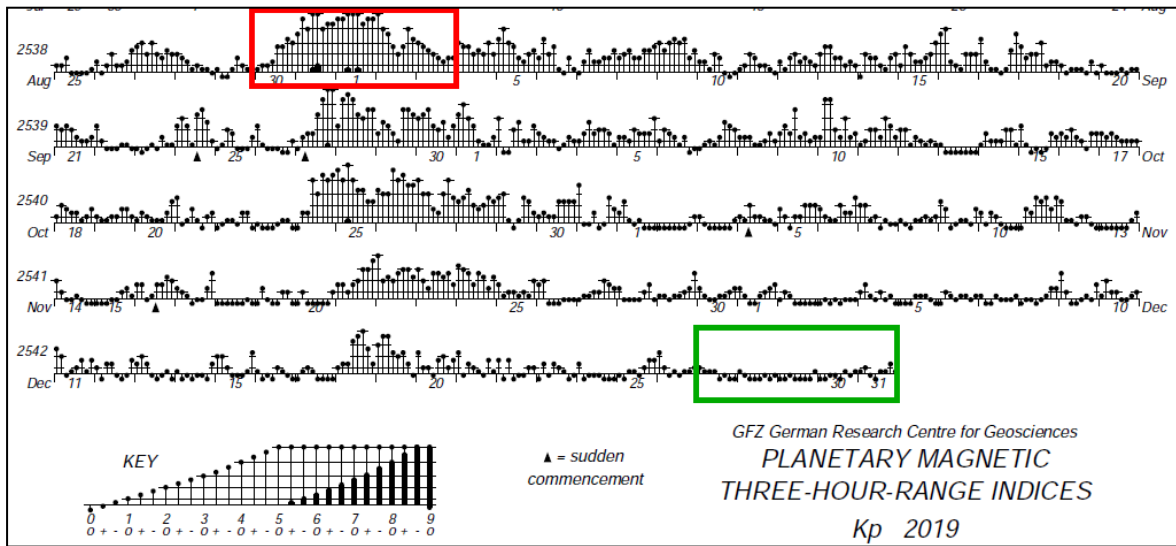
MGEX projesi kapsamında yürütülen çalışmalar neticesinde analiz merkezleri tarafından elde edilen deneysel ve resmi ürünler dört ana grupta toplanmaktadır. Bunlar, hassas yörünge ve saat ürünleri, yayın efemerisleri, diferansiyel kod sinyal kayıklığı ve gerçek zamanlı ürünlerden oluşmaktadır.

MGEX projesinin gerçek zamanlı ürünlerin sunumu amacıyla RTS (Real-time service) projesi ile entegrasyonu

bulunmaktadır. IGS MGEX istasyonlarından sağlanan gözlemler ile IGS-IP (Ntrip Broadcaster) ağında; veri temin merkezi (URL-6) üzerinden gerçek zamanlı olarak yayın efemerisi akışı da (RTCM3EPH) sağlanmaktadır. Bu yayın efemerisi kombine edilmiş GPS, GLONASS ve Galileo gözlemlerinden elde edilmektedir (URL-5).

2.2 Veri Temini

Farklı iyonosferik koşullarda da test yapmak amacıyla Alman Yerbilimleri Araştırma Merkezi'nin "www.gfz-potsdam.de" (URL-7) internet adresinden güneş aktivitesine ait aylık ve günlük veriler temin edilmiştir. Bu verilerden 5 günlük minimum iyonosferik koşul için 2019 yılının 361-365. günleri (Aralık, 27-31) ile daha kötü 5 günlük iyonosferik koşul için 2019 yılının 242-246. günleri (Ağustos, 30-31, Eylül, 1-3) uygulama kapsamında dikkate alınmıştır (Şekil 2). Uygulamada belirlenen 5 adet istasyon IGS'in MGEX projesi kapsamında dünya üzerine dağılmış istasyonlarından seçilmiştir. İstasyonların kuzey-güney kutup enlemleri ile doğu-batı boylamları arasında dağılmış olması ile geneli temsil etmesi sağlanmıştır (Şekil 3). Kullanılan istasyonların MGEX veri toplama başlangıç tarihi, anten tipi, fotoğrafı ile yaklaşık enlem, boylam ve elipsoidal yükseklikleri Tablo 1'de sunulmuştur. İstasyonlara ait 30 saniye aralıklı ve 1 saniye aralıklı toplanan gözlem dosyaları IGS'in veri temin merkezinden (URL-5) indirilmiştir.



Şekil 2: 2019 yılı Kp indeks grafiği ve belirlenen günler (URL-7)






3. CSRS-PPP Web Tabanlı Servis

CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning), NRCan (Natural Resources Canada) kuruluşunun sağladığı internet tabanlı GNSS değerlendirme servisidir. Diğer web tabanlı değerlendirme servislerinde olduğu gibi basit bir arayüz ile kullanıcılara hizmet sunmaktadır (Şekil 4).

Sistem, statik ve kinematik olarak toplanan verilerin çözümlerinin, NAD83 ya da ITRF datumunda ve kullanıcının tercih ettiği düşey datumda elde edilmesine olanak vermektedir. Ek bir seçenek olarak kullanıcılara kendi ölçüm yaptıkları istasyona ait okyanus yükleme dosyalarını (sistem tarafından uygun formatta) tanımlama imkânı vermektedir. CSRS-PPP kullanıcılara web tabanlı değerlendirme hizmeti verirken arka planda NRCan-PPP yazılımını kullanmaktadır. Servis tek veya çift frekanslı alıcılardan toplanmış statik ya da kinematik gözlem verilerini, RINEX formatında olmak üzere (gzip, zip, unix compression tekli ya da çoklu dosyaları) farklı uydu sistemlerinden elde edilen GNSS verisini (GPS, GLONASS) değerlendirebilme özelliğine sahiptir. CSRS-PPP uygulaması Final, Rapid ya da UltraRapid uydu efemeris bilgilerinden en uygununu kullanmaktadır (Final (± 2 cm): 13-15 günde, Rapid (± 5 cm): ertesi gün, UltraRapid (± 15 cm): her 90 dakikada bir).

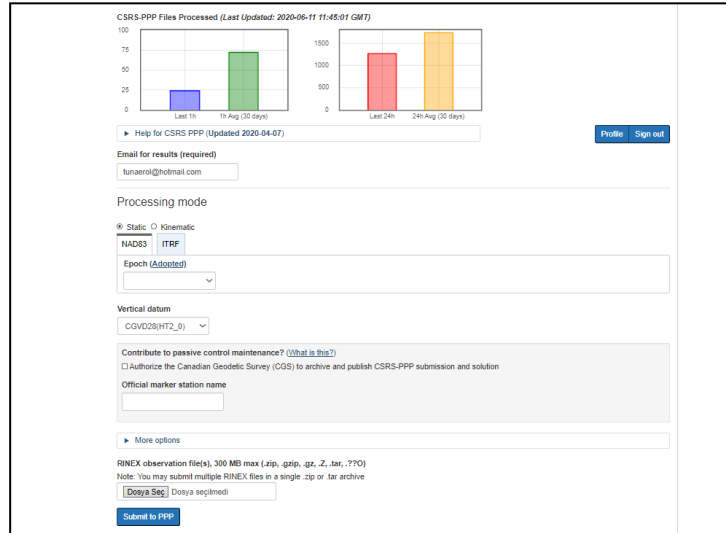
Sistem, en erken değerlendirmeyi ölçüm yapılan saatten yaklaşık 90 dakika sonra yapabilmektedir. Ancak GPS+GLONASS verisi birlikte kullanılacak ise bu süre 3 saate çıkmaktadır. Sistem tarafından kullanıcılara 4 farklı dosya formatında (*.csv, *.pdf, *.pos, *.sum) çözüm linki gönderilmektedir. 48 saat içerisinde indirilmeyen sonuç dosyaları sistem tarafından otomatik olarak silinmektedir (URL-8).

Tablo 1: Uygulamada kullanılan istasyonların bilgileri ve yaklaşık enlem, boylam ve elipsoidal değerleri (WGS-84)

İstasyon Kodu	Enlem (°/'/'')	Boylam (°/'/'')	Elipsoidal Yükseklik (m)	MGEX Data Başlangıcı	Anten Tipi	İstasyona ait Fotoğraf
ISTA	+41°06'16'''	+29°01'09"	147.20	2016-05-09	LEIAR25.R4 LEIT	
JPLM	+34°12'17"	-118°10'23"	423.98	2018-12-05	AOAD/M_T NONE	
KIRO	+67°52'39"	+21°03'36"	498.00	2019-02-20	JNSCR_C146- 22-1 OSOD	
NNOR	-31°02'55"	+116°11'33"	234.984	2012-10-02	SEPT POLARX5TR	
RGDG	-53°47'09"	-67°45'05"	32.364	2013-06-20	TRIMBLE ALLOY	



Şekil 3: Uygulamada kullanılan istasyonların dağılımı



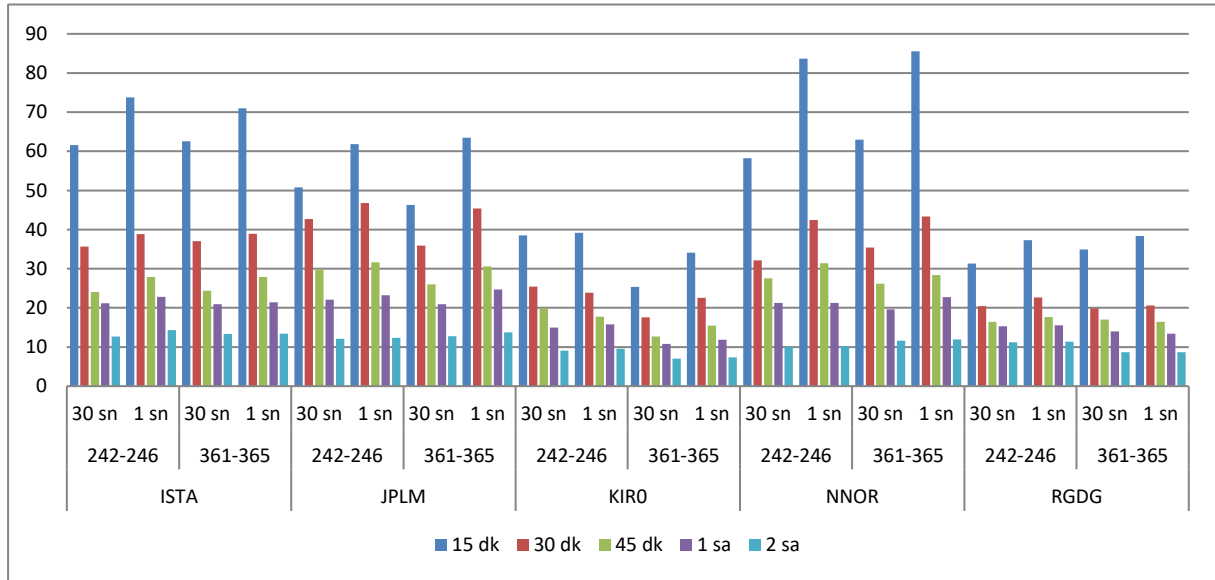
Şekil 4: CSRS-PPP kullanıcı ara yüzü (URL-8)

4. Değerlendirme ve Analiz

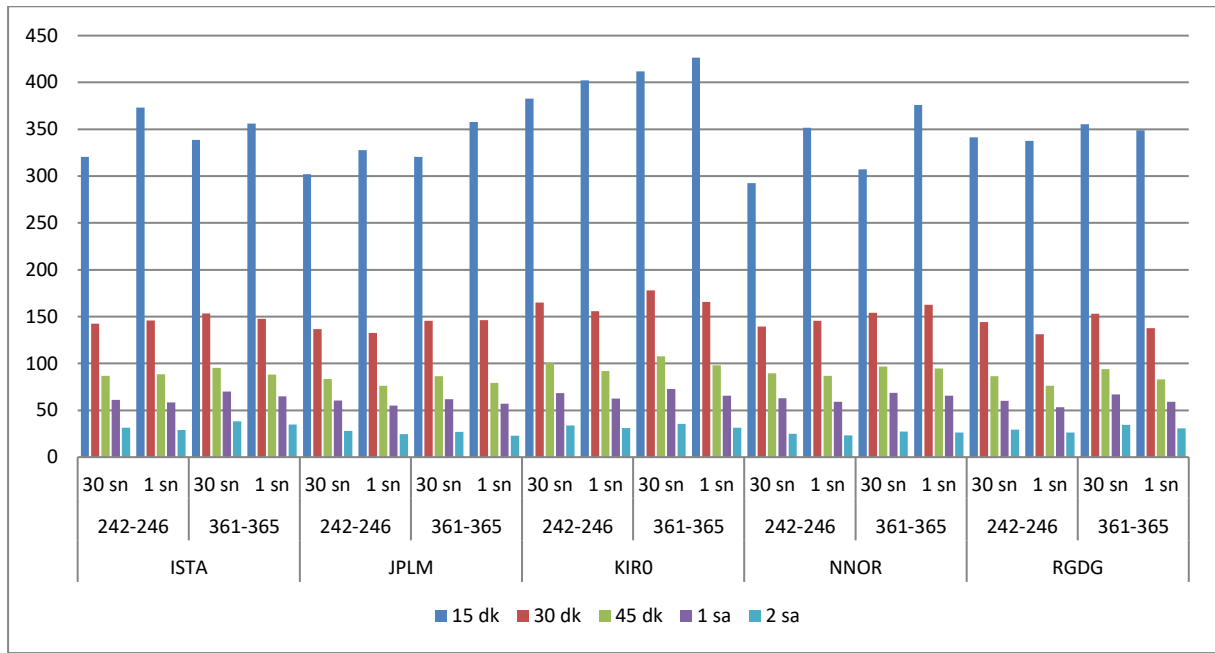
Uygulamada tüm alt gözlemler için (15 dakikadan 24 saate kadar) her bir istasyonun 24 saatlik gözlemlerinden elde edilen konumları değişmez kabul edilerek koordinat farkları hesaplanmıştır. Uygulamada kullanılan CSRS-PPP servisinin yanında diğer web tabanlı servislerden olan OPUS (Online Positioning User Service) (URL-9) ve Trimble RTX (URL-10)'den de tüm istasyonların koordinatları 24 saatlik gözlemleri kullanılarak ITRF 2014 datumunda elde edilmiştir. Belirlenen 5'er günlük dönemler (2019 yılının 361-365. günleri, Aralık, 27-31, 2019 yılının 242-246. günleri, Ağustos, 30-31, Eylül 1-3) için 24 saatlik gözlemler değerlendirilerek elde edilen konum bilgilerinin ortalaması kullanılmıştır. Sadece CSRS-PPP uygulamasından elde edilen 24 saatlik gözlemlerin 5'er günlük ortalamalarını kullanmak yerine, diğer uygulamalardan da elde edilen konum bilgileri ile hem CSRS-PPP uygulamasının kontrolü sağlanmış hem de dış bir doğruluk ilave edilerek, sonuçların yorumlanmasında daha tutarlı olmaya çalışılmıştır. Burada, CSRS-PPP uygulamasının yanında diğer 2 GNSS değerlendirme servisinin de dâhil edilmesi bir dış doğruluk sağlamasına rağmen elde edilen sonuçları başka bir gözlem

teknîği (elektronik mesafe ölçme teknolojisi, VLBI; Very Long Baseline Interferometry, SLR; Satellite Laser Ranging) ile karşılaştırma imkânı olmadığından GNSS çözümleri içindeki tekrarlanabilecek etkilerin standart hataların içinde kaldığı söylenebilir.

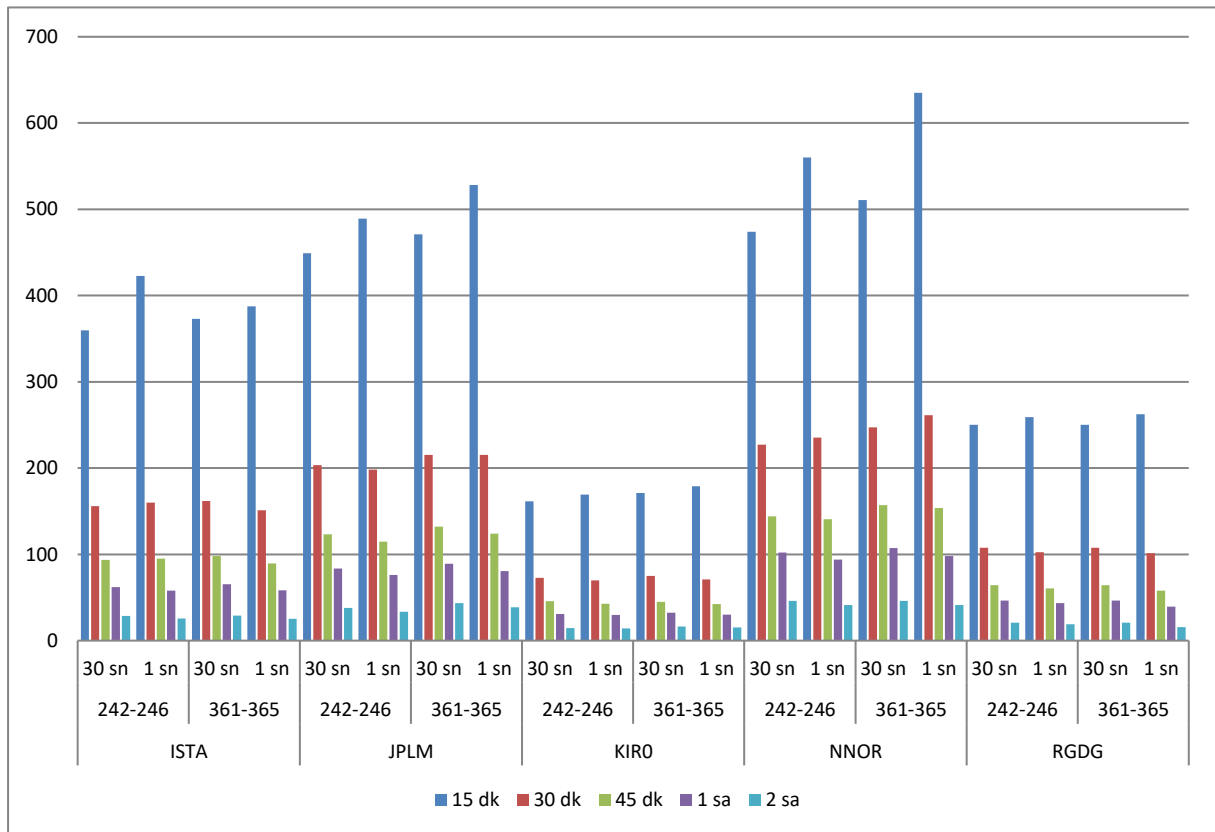
Her bir istasyon için 24 saatlik gözlem dosyalarından elde edilen kesin değerlerden, her istasyon için oluşturulan 30 saniye aralıklı gözlem dosyalarının (15 dk, 30 dk, 45 dk, 1 sa, 2 sa, 3 sa, 4 sa, 6 sa, 8 sa, 12 sa ve 24 sa), 1 saniye aralıklı gözlem dosyalarının (15 dk, 30 dk, 45 dk, 1 sa, 2 sa) farklı uydu sistemleri ile sadece GPS gözlem verisi (GPS-Only), sadece GLONASS gözlem verisi (GLONASS-Only) ve GPS+GLONASS gözlem verilerinin kullanılması durumunda elde edilen çözümlerin farkları hesaplanmıştır. Elde edilen farklar üç koordinat bileşeni için (kuzey-güney;north, doğu-batı;east , yükseklik; up) ayrı ayrı hesaplanmıştır. 24 saatlik gözlem verilerinden sadece GPS gözlemlerinin değerlendirildiği ve sadece GLONASS gözlemlerinin değerlendirildiği gözlem dosyaları TEQC yazılımı (URL-11) ile düzenlenerek sisteme yüklenmiştir. Uygulama kapsamında toplam 46 000 değerlendirme planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar BÖHHBÜY açısından da irdelenmiştir. CSRS-PPP uygulamasında 30 saniye ve 1 saniye aralıklı veri kullanımı durumunda (GPS+GLONASS) tüm istasyonların üç koordinat bileşeni (kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik) için referans olarak kabul edilen koordinatlardan farkları Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 5: Kuzey-güney koordinat bileşeni: 242-246. ve 361-365. günleri ile 30 dk ve 1 sa aralıklı gözlemler için sonuçlar

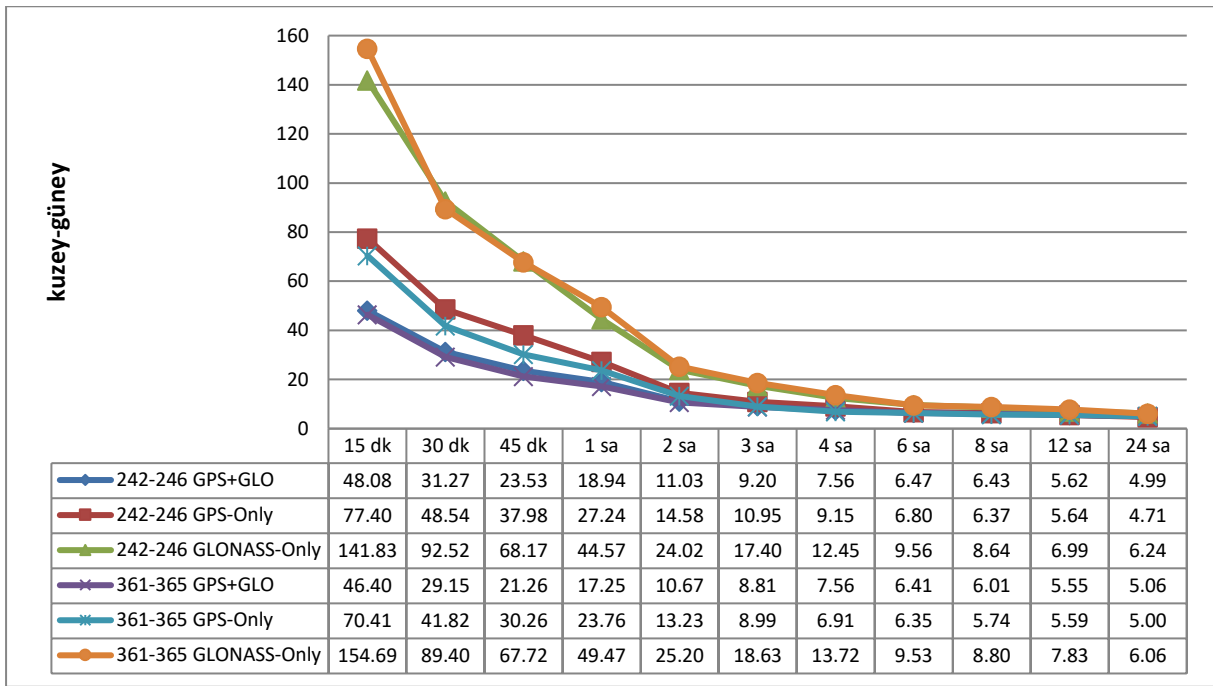


Şekil 6: Doğu-batı koordinat bileşeni 242-246 ve 361-365 günleri ile 30 dk ve 1 sa aralıklı gözlemler için sonuçlar

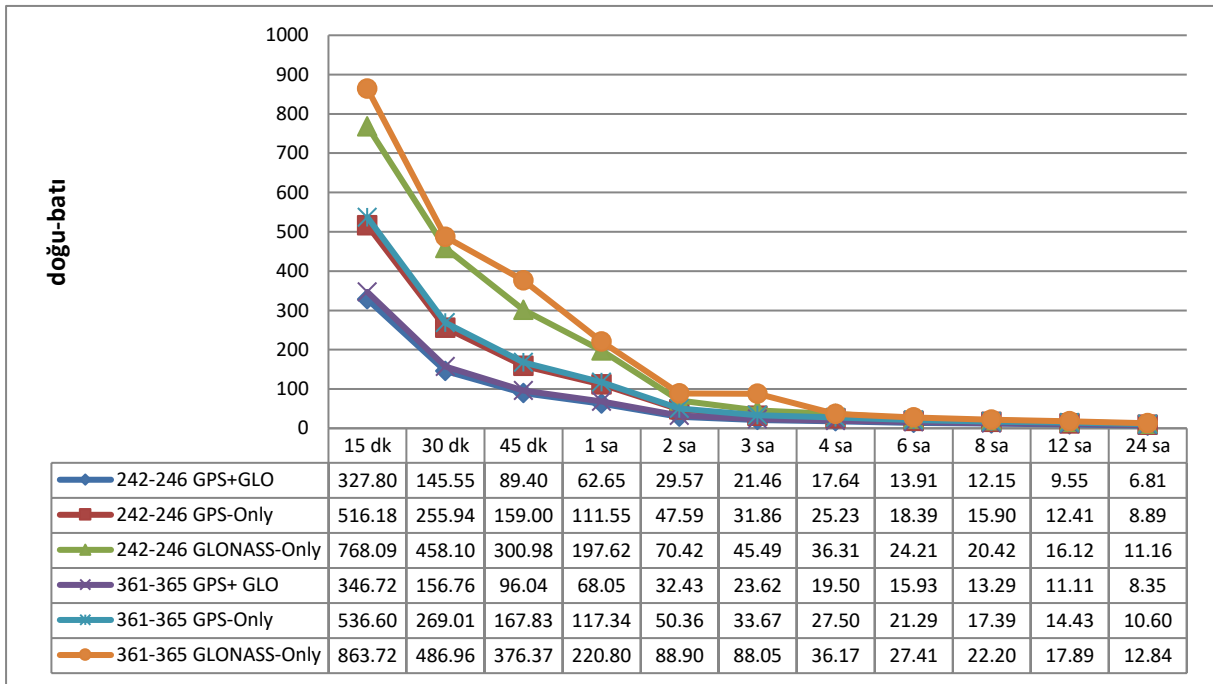


Şekil 7: Yükseklik koordinat bileşeni 242-246 ve 361-365 günleri ile 30 dk ve 1 sa aralıklı gözlemler için sonuçlar

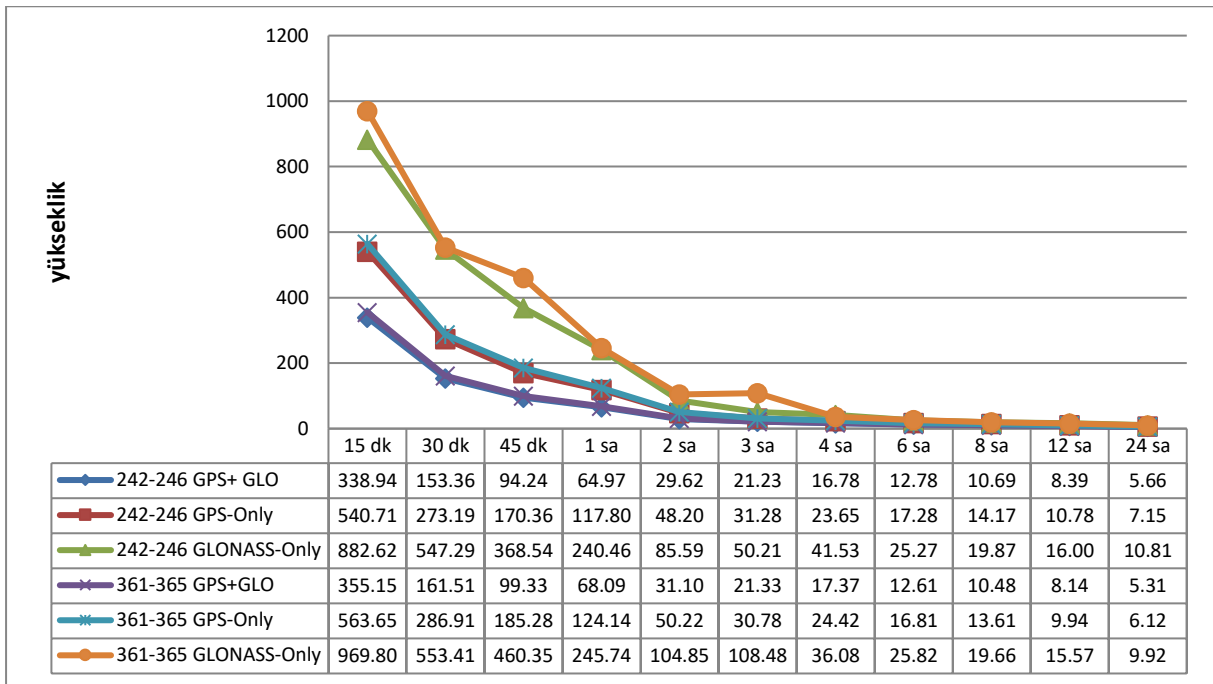
Farklı uydu sistemleri tek tek (GPS-Only ve GLONASS-Only) ve birlikte değerlendirme (GPS+GLONASS) sürecine dâhil edildiğinde her üç koordinat bileşeni (kuzey-güney, doğu-batı, yükseklik) için elde edilen koordinat farklarına ait grafikler Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da sunulmuştur. Grafikler altındaki tablolarda verilen değerler milimetre (mm) birimindedir.



Şekil 8: Kuzey-güney koordinat bileşeninde tüm istasyonların GPS-Only, GLONASS-Only ve GPS+GLONASS 30 sn aralıklı gözlem dosyaları için ortalama sonuçlar

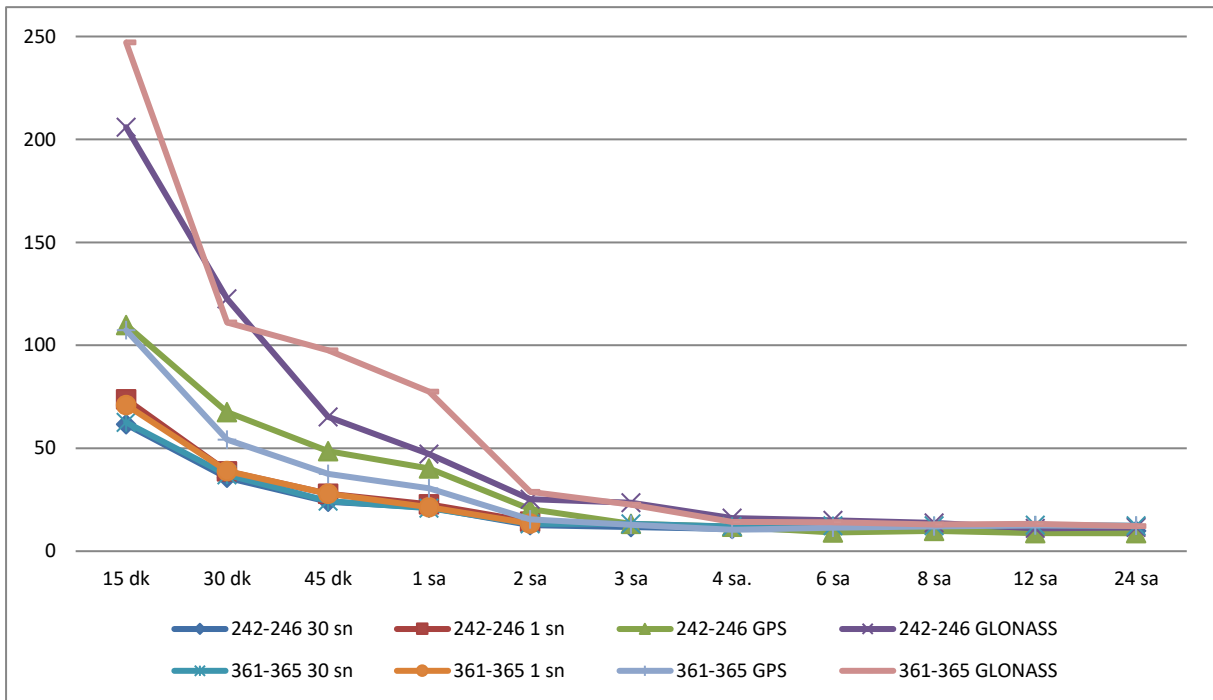


Şekil 9: Doğu-batı koordinat bileşeninde tüm istasyonların GPS-Only, GLONASS-Only ve GPS+GLONASS 30 sn aralıklı gözlem dosyaları için ortalama sonuçlar

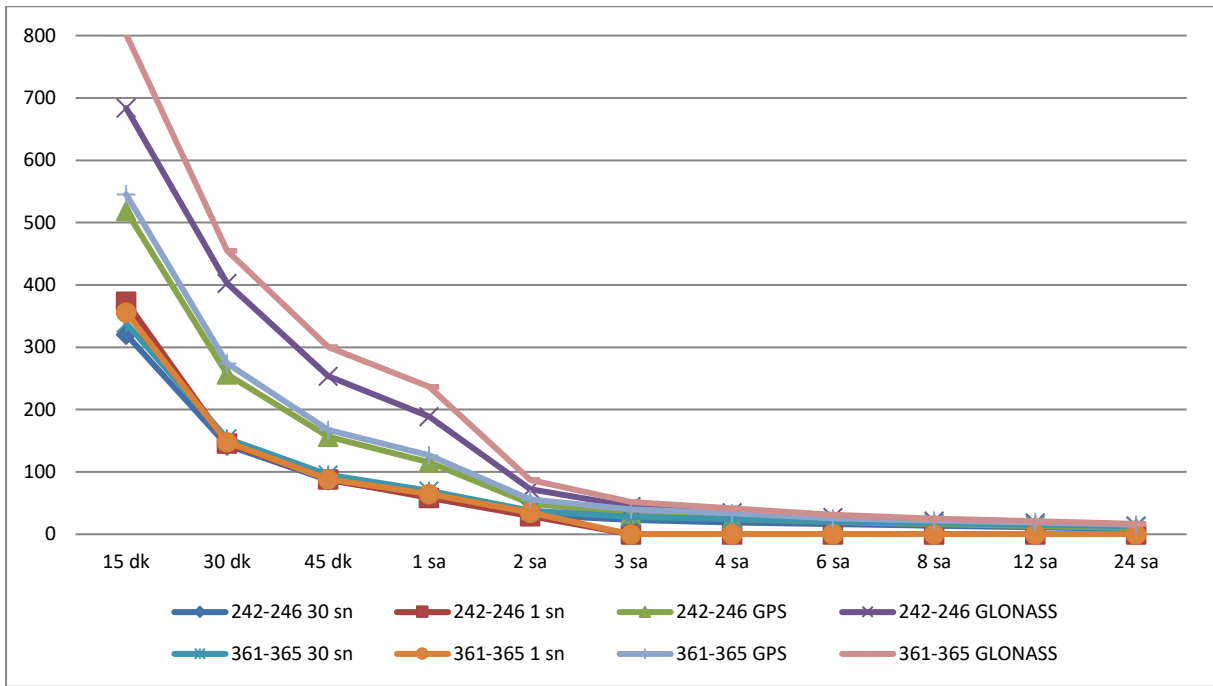


Şekil 10: Yükseklik koordinat bileşeninde tüm istasyonların GPS-Only, GLONASS-Only ve GPS+GLONASS 30 sn aralıklı gözlem dosyaları için ortalama sonuçlar

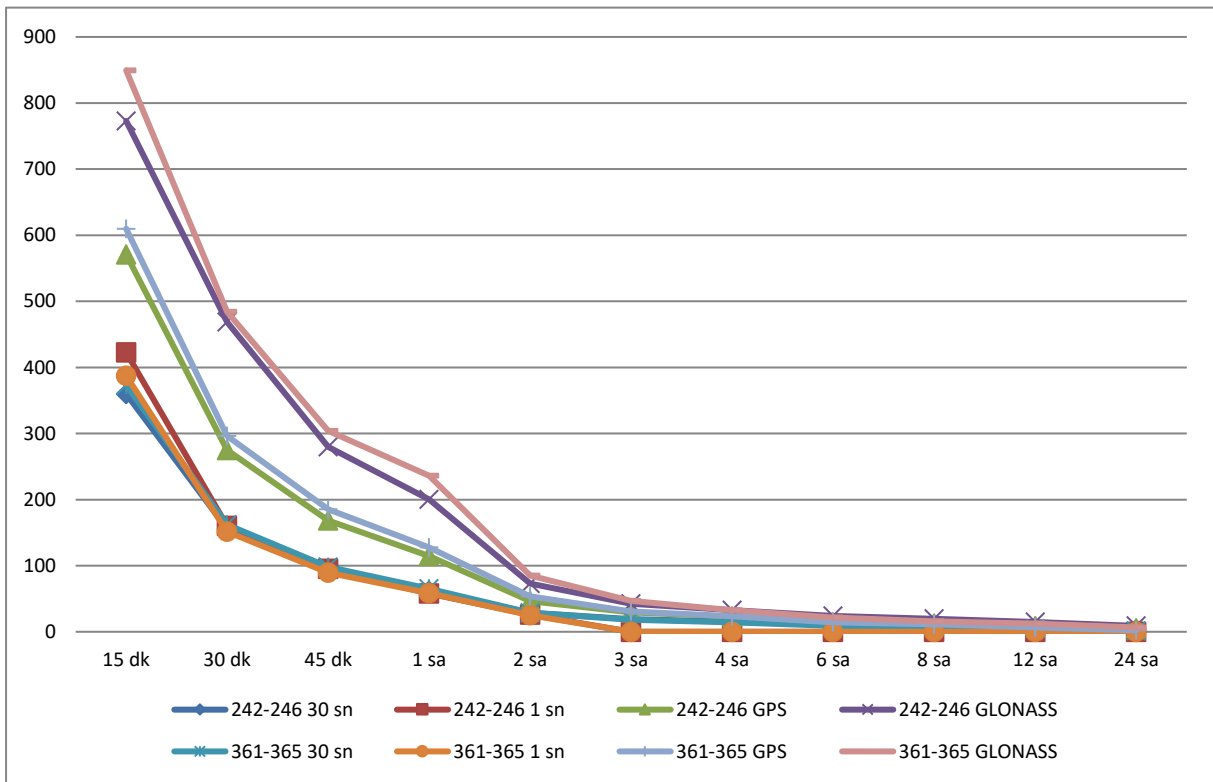
ISTA istasyonu için 2019 yılı 242 ila 246. günleri arasındaki ve 361 ila 365. günleri arasındaki 5'er günlük periyotlardaki her üç koordinat bileşeni için elde edilen koordinat farklarına ait grafikler Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te sunulmuştur.



Şekil 11: ISTA istasyonuna ait kuzey-güney koordinat bileşeni sonuçları



Şekil 12: İSTA istasyonuna ait doğu-batı koordinat bileşeni sonuçları



Şekil 13: İSTA istasyonuna ait yükseklik koordinat bileşeni sonuçları

5. Sonuç ve Öneriler

Üç koordinat bileşeni kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik için Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7’de sunulan sonuçlar irdelendiğinde, uygulama kapsamında belirlenen kötü iyonosferik koşulları (Şekil 2) temsil eden 2019 yılı 242 ila 246. günlerine (30-31 Ağustos, 1-3 Eylül 2019) ait değerlendirme sonuçları, uygun iyonosferik koşullar (Şekil 2) için belirlenen 2019 yılı 361 ila

365. günlerine (27-31 Aralık 2019) ait sonuçlar ile kıyaslandığında her iki veri grubunda da özellikle kısa süreli gözlemlerde (15 dk, 30 dk ve 45 dk) PPP yönteminin yakınsama süresindeki dezavantajının doğruluk üzerindeki olumsuz etkisi daha fazla görülmektedir. Bu durumun temel sebepleri; PPP çözümünde kullanılan modeller için yeterince verinin toplanmamış olması, başlangıç tamsayı belirsizliği için geçen süre, uyduların kısa süreli gözlem anındaki geometrik konumu olarak düşünülmektedir.

Uygulamada belirlenen 5'er günlük iki farklı zaman diliminde farklı iyonosferik koşullar (Şekil 2) test edilmiştir. İyonosferin GNSS sinyallerine etkisi iyonosferdeki elektron yoğunluğuna bağlı olduğu ve bu durumun da güneş ışınımı ile ilgili olduğu bilinmektedir. GNSS sinyalleri zayıf yapılı sinyallerdir ve elektronik olarak sinyal girişimine maruz kalabilirler. Belirlenen günler arasında her ne kadar Şekil 2'de görüldüğü gibi iyonosferik aktivitede farklılık bulunsada, verileri kullanılan istasyonlar için sinyallerde kesintiye sebep olmamıştır. Bunun yanında yüksek seviyede iyonosferik aktivitelerde GNSS sinyallerinde kesintiler meydana gelebilmektedir. Bu durumda özellikle kısa süreli gözlem yapıldığında başlangıç tam sayı belirsizliğinin çözümünde yeniden hesap yapılması için belli bir süre geçmesi gerekmekte ve bu durum doğruluk kayıplarına sebep olabilmektedir. Bağlı yöntemden daha fazla gözlem süresine ihtiyaç duyan PPP yönteminde gözlemlerin kesintiye uğramaması daha önemlidir.

MGEX kapsamındaki kullanılan istasyonlarda bulunan GNSS antenleri çift frekanslı özelliğe sahiptir. PPP yönteminde de iyonosfer kaynaklı hataların etkisini azaltmak için çift frekanslı GPS gözlem modelleri kullanılmaktadır. Taşıyıcı faz ve kod gözlemleri sırasıyla L3 ve P3 iyonosfer-bağımsız yapıya dönüştürülmekte, bu sayede GNSS sinyalinin iyonosfer tabakasında uğradığı kayıklıklar (bias, refraksiyon) büyük oranda giderilebilmektedir. Uygulamada belirlenen günler ve istasyonlar açısından Şekil 5-12'deki sonuçlar incelendiğinden farklı iyonosferik koşulları temsil eden günler (2019 yılı 242 ila 246. günleri ile 2019 yılı 361 ila 365. günleri) arasında anlamlı bir fark görülmemiş olup iyonosferik etkinin büyük oranda giderildiği düşünülmektedir.

Uygulamada kullanılan istasyonlarda her iki frekansta (L1/L2) GNSS verisi toplanmış olup, istasyonlar yüksek kalitede ve uzun yıllardır gözlem yapan istasyonlardır. Kullanıcılar için kullanıcı hataları, çevresel etkiler ve kullandıkları alıcıların teknik özellikleri elde edecekleri doğruluklar açısından önemlidir. Kullanıcıların gözlem yapmayı planladıkları tarihi ve gözlem gününde ölçü yapacakları saati de dikkate alarak, yerel ya da uluslararası kaynaklardan hava olaylarını takip etmeleri elde edecekleri doğruluk açısından önemlidir.

30 saniye ve 1 saniye aralıklı toplanan gözlem verilerinin değerlendirme sonuçları incelendiğinde, 1 saatlik gözlem süresinden sonra sonuçların birbirine oldukça yakınsadığı tespit edilmiştir. Daha kısa süreli gözlemlerde (15 dk, 30 dk ve 45 dk) 1 saniye aralıklı toplanan gözlem verisinin, 30 saniye aralıklı toplanan gözlem dosyalarından üretilen çözümlerin ortalamasına göre daha kötü sonuç verdiği görülmüştür. Bu durumda oturum süresi boyunca daha fazla veri toplamaktan ziyade, uyduların konum değişimlerinin (uyduların geometrisinin) daha önemli olduğu düşünülmektedir. IGS'nin veri servislerinden yayınladığı uydu yörünge ve saat bilgilerini içeren dosyalar (*.sp3) en az 5 dakika aralıklı, uydu ve alıcı saat bilgilerine ait (*.clk) dosyası ise 30 saniye aralıklı olarak 5'er dakikalık periyotlar halindedir. CSRS-PPP web uygulamasının çözüm dosyasında IGS'nin sunduğu yüksek kalitedeki bu dosyalar kullanılmaktadır. 30 saniye aralıklı toplanan gözlem verisinin, IGS'nin sunduğu yüksek kalitedeki veri setleri ile daha uyumlu olduğu, bu durumun kısa süreli gözlemlerde olumlu katkı yaptığı düşünülmektedir. PPP yöntemi için yakınsama süresinden (~60 dakika) sonra her iki veri grubundan (30 sn & 1 sn) elde edilen doğrulukların birbirine yakınsadığı tespit edilmiştir.

CSRS-PPP uygulamasının değerlendirme stratejisinde GPS ve GLONASS verileri birlikte değerlendirilebilmektedir. Uygulamada her bir uydu sisteminin tek başına ve birlikte değerlendirildiği 15 dakikadan 24 saate kadar olan oturum

sürelerinde, GPS sisteminin tek başına (GPS-only), GLONASS sisteminden (GLONASS-Only) her üç bileşende de daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durumun, farklı sistemlerden daha fazla gözlem verisi toplanmasından ziyade, temel mantığı uzay geriden kestirme olan uydularla konum belirleme yönteminde, farklı ve birden çok uydu sistemi kullanıldığında alıcı-uydu arasındaki 3 boyutlu geometrik dağılımın çeşitlenmesinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Uydu sistemlerinin birlikte değerlendirildiği (GPS+GLONASS) çözümlerin özellikle kısa süreli gözlemlerde (15 dk,30 dk ve 45 dk) önemli hale geldiği, gözlem süresinin 2 saat üzerine çıktığında ise çözüm doğruluklarının birbirine yakınsamaya başladığı tespit edilmiştir. PPP yönteminin bahsedilen dezavantajı olan yakınsama süresi dikkate alındığında özellikle kısa süreli gözlemlerde (<1 saat) çoklu GNSS sistemlerinden (uygulama açısından GPS ve GLONASS) veri toplamanın elde edilecek doğruluklar açısından önemli olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizdeki tescile esas olarak üretilen harita ve harita bilgileri açısından referans olarak kabul edilen BÖHHBÜY 26 Haziran 2018 tarihli ve 30460 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bahsi geçen yönetmeliğe göre GNSS tekniği ile ülkemizde yürütülmekte olan jeodezik çalışmalarda statik yöntem için bağıl konum belirleme tekniklerinin uygulamaları esas alınmakta ve uygulanmaktadır.

Yönetmelikte temel jeodezik noktalar için teknik sınırlamalar ve beklenen doğruluklar, bağıl değerlendirme yapılması şartı ile C1 derece noktalar (AGA; Ana GPS Ağı) için en az 2 saat oturum yapılması şartıyla yatayda ± 3.0 cm, düşeyde ± 5.0 cm, (Yönetmelik Madde 14-15), C2 derece noktalar (SGA; Sıklaştırma GPS Ağı) için en az 1 saatlik oturum süresi ile yatayda ± 4.0 cm, düşeyde ± 5.0 cm (Yönetmelik Madde 19-20), C3 derece noktalar (ASN; Alım için Sıklaştırma Noktaları) en az 20 dakikalık oturum yapılması koşuluyla yatayda ± 5.0 cm düşeyde ± 6.0 cm (Yönetmelik Madde 22), C4 poligon noktalarında en az 10 dakikalık oturum ile yatayda ve düşeyde en az ± 8 cm doğrulukla (Yönetmelik Madde 27), detay noktalarında ise ± 7 cm doğruluklar (Yönetmelik Madde 46) istenilmektedir (BÖHHBÜY, 2018).

CSRS-PPP web tabanlı uygulamadan elde edilen sonuçlara göre, çift frekanslı bir alıcı ve 30 saniye veri aralığıyla uydulara gözlem yapıldığında, PPP yöntemiyle BÖHHBÜY’de C1, C2 ve C3 derece noktalar için istenilen doğruluğa 2 saatlik, C4 derece noktalar ile detay noktaları için istenilen doğruluğa ise 1 saatlik oturum süresi ile ulaşılmıştır. PPP tekniğinden elde edilen nokta konum doğrulukları göstermektedir ki, yeni mevzuat oluşturma süreçlerinde statik yöntem dikkate alındığında bağıl konum belirleme tekniklerinin yanında, PPP tekniğinin kullanımı da etkin bir potansiyel taşımaktadır.

Uygulamada kullanılan istasyonların yüksek standartlarda olması, çevresel etkilerin (multipath, sinyal kesici engellerin olmaması, vs.) ve kullanıcı hatalarının (anten kurulumunda, anten yüksekliğinin ölçümünde hatalar, vb.) gözlem sonuçları üzerindeki olumsuz etkilerinin oldukça düşük hatta yok denecek seviyede olduğunu göstermiştir. Bu durum dikkate alındığında temel jeodezik (jeodezik nokta tesisi, nokta sıklaştırması ve ölçümü, halihazır, şeritvari harita yapımı vb.) ve mühendislik ölçme (karayolu ölçmesi, inşaat proje aplikasyonu, altyapı ölçmeleri vb.) uygulamaları yapan kullanıcıların elde edecekleri doğrulukların farklı olabileceği söylenebilir.

Teşekkür

İstasyonlara ait verileri hiçbir uğraşı içinde olmadan, her yerden erişme imkânı sunan IGS’ye, CSRS-PPP uygulaması Natural Resources Canada çalışanlarına, iyonosferik aktivite verilerini arşivleyen ve sunan GZF, Alman Yerbilimleri Araştırma Merkezine, uygulamadaki istasyon haritalarının hazırlanmasında kullanılan açık kaynak kodlu QGIS programına ve altlık harita için OpenStreetMaps yetkililerine teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Bahadur, B., & Nohutcu, M. (2018). PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis. *GPS solutions*, 22(4), 113.
- Bahadur, B., & Nohutcu, M. (2019). Galileo Temelli Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Performans Değerlendirmesi: Türkiye Örneği. *Harita Dergisi*, 162, 1-11.
- Betti, B., Biagi, L., Crespi, M., & Riguzzi, F. (1999). GPS sensitivity analysis applied to non-permanent deformation control networks. *Journal of Geodesy*, 73(3), 158-167.
- BÖHHBÜY (2018). Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği.
- Choy, S., Bisnath, S., & Rizos, C. (2017). Uncovering common misconceptions in GNSS Precise Point Positioning and its future prospect. *GPS solutions*, 21(1), 13-22.
- Doğan, A. H., Tunahioğlu, N., Erdoğan, B., & Öcalan, T. (2018). Evaluation of the GPS Precise Point Positioning technique during the 21 July 2017 Kos-Bodrum (East Aegean Sea) Mw 6.6 earthquake. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(24), 775.
- Dong, D. N., & Bock, Y. (1989). Global Positioning System network analysis with phase ambiguity resolution applied to crustal deformation studies in California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B4), 3949-3966.
- Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W., & Mader, G. L. (2001). Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration. *Journal of geodesy*, 75(12), 633-640.
- El-Mowafy, A. (2011). Analysis of web-based GNSS post-processing services for static and kinematic positioning using short data spans. *Survey review*, 43(323), 535-549.
- Erdoğan, B., Kayacık, O., & Doğan, A. H. (2019). Hassas mutlak nokta konumlamada GIPSY-OASIS II v6. 4 yazılımı ile elde edilen varyans kovaryans matrisinin güvenilirliğinin araştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 6(2) 75-86.
- Erol, T. (2019). *Ticari Yazılımlar ile Üretilen GNSS Çözümlerinin Doğruluğu* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Feigl, K. L., Agnew, D. C., Bock, Y., Dong, D., Donnellan, A., Hager, B. H., Herring, T. A., Jackson, D. D., Jordan, T. H., King, R. W., Larsen, S., Larson, K. M., Murray, M. H., Shen, Z., & Larsen, S. (1993). Space geodetic measurement of crustal deformation in central and southern California, 1984–1992. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 98(B12), 21677-21712.
- Firuzabadi, D., & King, R. W. (2012). GPS precision as a function of session duration and reference frame using multi-point software. *GPS solutions*, 16(2), 191-196.
- Geng, J., Meng, X., Teferle, F. N., & Dodson, A. H. (2010). Performance of precise point positioning with ambiguity resolution for 1-to 4-hour observation periods. *Survey Review*, 42(316), 155-165.
- Häkli, P., & Koivula, H. (2008). *Assessment of practical 3-D geodetic accuracy for static GPS surveying*. FIG Working Week, Stockholm, İsveç.
- Isioye, O. A., Moses, M., & Abdulmumin, L. (2019). *Comparative Study of Some Online GNSS Post-Processing Services at Selected Permanent GNSS Sites in Nigeria*. Şanlı, D. U. (ed) *Accuracy of GNSS Methods*, (s. 89-106).
- Jha, M. K., Singh, S., Upadhyay, N., & Khare, N. (2016). Comparative Study of Online GPS Post Processing Services and Effects on DGPS Data Processing. *IRSMST*, 7(1), 2348-9367.
- Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS solutions*, 5(2), 12-28.
- Larson, K. M., & Agnew, D. C. (1991). Application of the Global Positioning System to crustal deformation measurement: 1. Precision and accuracy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 96(B10), 16547-16565.
- Öcalan, T. (2015). *GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımli Çözümler* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Rapiński, J., & Cellmer, S. (2011). Tests of selected automatic positioning systems in post-processing mode. *Technical Sciences/University of Warmia and Mazury in Olsztyn*, 14(1), 45-56.
- Soler, T., Michalak, P., Weston, N. D., Snay, R. A., & Foote, R. H. (2006). Accuracy of OPUS solutions for 1-to 4-h observing sessions. *GPS solutions*, 10(1), 45-55.
- Şanlı, D. U., & Engin, C. (2009). Accuracy of GPS positioning over regional scales. *Survey Review*, 41(312), 192-200.
- Şanlı, D. U., & Kurumahmut, F. (2011). Accuracy of GPS positioning in the presence of large height differences. *Survey Review*, 43(320),

162-176.

- Tariq, M., Hadi, A., & Hafedh, H. (2017). Accuracy Assessment of Different GNSS Processing Software. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3(10), 469-478.
- Tekiç, S. (2009). *Accuracy Of GPS Precise Point Positioning (PPP)* (Yüksek Lisans Tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Erdoğan, S., & Güllal, E. (2010). Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçü Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Sürelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 32-38.
- Wang, G. Q. (2013). Millimeter-accuracy GPS landslide monitoring using Precise Point Positioning with Single Receiver Phase Ambiguity (PPP-SRPA) resolution: a case study in Puerto Rico. *Journal of geodetic science*, 3(1), 22-31.
- Yiğit, C. Ö., & Gürlek, E. (2017). Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures. *Geomatics, natural hazards and risk*, 8(2), 893-904.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., & Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of geophysical research: solid earth*, 102(B3), 5005-5017.
- URL-1: https://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php, (Erişim Tarihi: 14 Nisan 2020).
- URL-2: <http://magicgnss.gmv.com/ppp/>, (Erişim Tarihi: 14 Nisan 2020).
- URL-3: <http://gaps.gge.unb.ca>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020)
- URL-4: <http://www.igs.org/mgex>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-5: <ftp://ftp.cddis.eosdis.nasa.gov/pub/gnss/data/daily>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-6: <http://www.igs-ip.net/home>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-7: <https://www.gfz-potsdam.de>, (Erişim Tarihi 9 Nisan 2020).
- URL-8: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2020).
- URL-9: <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-10: <https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-11: <https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>, (Erişim Tarihi: 20 Nisan 2020).

The performance analyses of support vector machine classifiers for examination of the temporal change of land-use/cover in the Beyşehir Basin in Turkey (1984-2018)

Munever Gizem Gumus^{1*} , Suleyman Savas Durduran² 

¹Niğde Ömer Halis Demir University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Niğde, Turkey.

²Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Konya, Turkey.

Abstract: This study aimed to investigate the temporal change in land-use/cover in the Beyşehir-Kaşaklı Subbasin, which is one of the nine subbasins of the Konya Closed Basin and known as the largest closed basin in Turkey, using Remote Sensing and Geographic Information Systems techniques. For this purpose, in the study, Landsat Thematic Mapper, Enhanced Thematic Mapper, and Operational Land Imager digital satellite images obtained in the years 1984, 1990, 1996, 2000, 2006, 2012, and 2018 were used. The Support Vector Machines (SVM) method was applied as the classification method. In order to apply the SVM method, firstly, the kernel function and parameter set, giving the highest accuracy in the classification, were selected. In the study, four different kernel functions and different parameter sets were experienced as different from each other. Seventy-two different models in total were applied using different combinations of parameters. As a result of the trials of seventy-two different parameters, it was concluded that the method and algorithm giving the most accurate result with 83.81% classification accuracy and 0.7949 Kappa statistics were the polynomial function of SVMs. As a result of the classification process examined the period between 1984 and 2018 using the determined algorithm and parameters, it was detected that artificial surfaces increased by 418%, arable agricultural lands and pastures decreased by 14%, forests and semi-natural areas increased by 4%, and coastal wetlands on the coasts increased by 6%. On the other hand, the surface area of the water bodies in the region, which demonstrated a decreasing trend until the year 2003, was determined to increase by 3% with the establishment of Suğla Storage in 2003.

Keywords: Beyşehir lake, Geographic information systems, Landsat, Support vector machines, Sustainable land management, Remote sensing

Türkiye'deki Beyşehir havzasında arazi kullanım/örtüsündeki zamansal değişimin incelenmesi için destek vektör makine sınıflandırıcılarının performans analizleri (1984-2018)

Öz: Bu çalışmada, Türkiye'nin en büyük kapalı havzası olarak bilinen Konya Kapalı Havzası'nın dokuz alt havzasından biri olan Beyşehir-Kaşaklı Alt Havzası'nda meydana gelen arazi kullanımındaki/örtüsündeki zamansal değişikliklerin Uzaktan Algılama teknikleriyle incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada 1984, 1990, 1996, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarında elde edilen Landsat Thematic Mapper, Enhanced Thematic Mapper ve Operational Land Imager dijital uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada piksel tabanlı sınıflandırmalar arasında Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemi uygulanmıştır. DVM yönteminin uygulanması için öncelikle sınıflandırmada en yüksek doğruluğu veren kernel fonksiyon ve parametre seti seçimi yapılmıştır. Çalışmada birbirinden farklı olarak 4 farklı kernel fonksiyon ve farklı parametre setleri denenmiştir. Farklı parametre kombinasyonları kullanılarak toplamda 72 farklı model uygulanmıştır. Belirlenen modeller ile algoritma, kernel fonksiyon ve bu kernele ait parametre seçiminin sınıflandırma doğruluğuna etkisi irdelenmiştir. 72 ayrı parametrenin denemesi sonucunda %83.81 sınıflandırma doğruluğu, 0.7949 Kappa istatistiği ile en doğru sonucu veren yöntem ve algoritmanın DVM' lere ait polinomal fonksiyon olduğu sonucuna varılmıştır. Belirlenen algoritma ve parametreler kullanılarak 1984 ve 2018 yılları arası irdelenen sınıflandırma işleminin sonucunda yapay yüzeylerin %418 arttığı, ekilebilir tarım alanlarının ve meraların %14 azaldığı, orman ve yarı doğal alanların %4 arttığı, kıyılarda bulunan kıyasal sulak alanların %6 oranında arttığı ve bölgedeki su yapısının ise 2003 yılına kadar azalan bir trend gösterirken 2003 yılında kurulan Suğla Depolaması ile birlikte su yapısının yüzey alanının %3 arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Beyşehir gölü, Coğrafi bilgi sistemleri, Landsat, Destek vektör makineleri, Sürdürülebilir arazi yönetimi, Uzaktan algılama

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 388 225 4643

Geliş Tarihi/Received: 13.07.2020
Kabul Tarihi/Accepted: 26.10.2020



0000-0003-4606-2277, gizemkisaaga@ohu.edu.tr (Gumus M.G.)*
0000-0003-0509-4037, ssdurduran@erbakan.edu.tr (Durduran S.S.)

1. Introduction

The earth has a dynamic structure due to natural changes such as volcanic activities and unnatural changes such as human activities. The wrong and unconscious use of limited natural resources on the earth causes severe deformations in land cover (Kara & Karatepe, 2012; Rozenstein & Karnieli, 2011). If these deformations exceed the self-renewal balance of nature, irreversible ecological deteriorations occur. Nowadays, the efficient use of rural and urban lands in line with their potential is of global importance in terms of sustainable land management. The destruction experienced in the natural environment due to the increasing population growth and technological advances in our country is the result of unplanned urbanization and wrongly implemented policies. The efficient use of limited natural resources, design and planning sustainably by taking into account the social needs are quite important. In order to preserve the existence of limited natural resources in sustainable land management, it is necessary to record them, examine their temporal changes, determine their potential, and guide decision-makers by continually updating this information (Dengiz & Turan, 2014; Gulersoy, 2008). Remote Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS), which are used frequently in recent years, are used in examining these changes in land-use/land-cover (LULC) (Acheampong, Yu, Enomah, Anchang, & Eduful, 2018; Banerjee & Srivastava, 2013; Dewan & Yamaguchi, 2009; Dodiya, Goswami, Chauhan, Bhuva, & Parekh, 2019; Geymen & Baz, 2008; Koylu & Geymen, 2016; Kumar, Radhakrishnan, & Mathew, 2019; Mansour, Al-Belushi, & Al-Awadhi, 2020; Zhang & Zhu, 2011). RS technology is one proven strategy to better, faster and more accurate decisions, document, analysis and quantify in LULC (Punia, Joshi, & Porwal, 2011; Wentz, Nelson, Rahman, Stefanov, & Roy, 2008).

In general, the detection of the temporal change in LULC is possible through assigning the reflection and radiation values of the pixels of satellite images to the specified number of classes using the RS techniques (Huang, Davis, & Townshend, 2002; Ustuner, Sanli, & Dixon, 2015). The selection of the number of classes to be used should be assigned in different numbers and features depending on the aim of the study to be conducted and the spatial resolution of the used satellite images. Furthermore, data standards should be provided in terms of the comparison of the determined classes with each other and the protection of their sustainability (Donmez, 2015). For this purpose, classification databases of LULC on different scales were designed in different countries. In the process of determining the number of classes, the Coordination of Information on the Environment (CORINE) project, which is used in the European Union (EU) countries and of which use has accelerated in our country in recent years, is frequently used. The CORINE project is "the management of the same basic data and the formation of a standard database, in line with the criteria and classification system set by the European Environment Agency (EEA), in order to determine environmental changes in the land, manage natural resources rationally, and establish environmental policies in all EEA countries" (CORINE, 2020). The most important aspect of the CORINE project is the use of GIS and RS techniques during application. The classification in the CORINE project is mainly separated into five land-use types at the first level, fifteen land-use types at the second level, and forty-four land-use types at the third level, and they are mapped on a scale of 1/100 000. In this study, the existing CORINE data for the years dedicated were examined, and the classification process was carried out by determining five classes at the first level and ten classes at the second level in the study area.

There are different classification methods used nowadays to examine the temporal change of LULC. In the classification process, low spatial resolutions, the used classification methods, and the assignment of a large number of classes result in pixel complexities and reducing the classification accuracy in large application areas (Ustuner et al., 2015). Among these classification methods, Maximum Likelihood Classification, Neural Network Analysis, Support Vector Machine (SVM) algorithms, and object-based classifications are the most well-known and most practiced supervised classifications in the literature (Otukey & Blaschke, 2010; Srivastava, Han, Rico-Ramirez, Bray, & Islam, 2012; Topaloglu, Sertel, & Musaoglu,

2016; Yu, Lan, Zeng, & Zou, 2019). In the study, in order to determine the kernel function and parameter set giving the highest classification accuracy, four different kernel functions (Radial, Linear, Polynomial, and Sigmoid) and different parameter sets (polynomial degree, error parameter, bias, and Gamma value) were experienced within the SVM method as different from each other, and seventy-two different models in total were applied using different combinations of parameters. As a result of the determined models, the effects of the kernel function and the selection of the parameters belonging to this kernel on the classification accuracy percentage were examined, and the algorithm and parameter set that gave the highest classification accuracy were determined.

This study aimed to investigate temporal changes in LULC occurring in the Beyşehir-Kaşaklı Subbasin over the 35 years between 1984 and 2018 with RS and GIS techniques using the determined algorithm and parameters. When the literature studies were examined, it was determined that the change in LULC was not studied comprehensively using GIS and RS techniques in the previous years in this region. For this reason, it has created the need to prepare a study that will enable the development of sustainable land management in the region. It was intended that this study would be a base inventory study for the purpose of reviewing the local government's existing policies for the protection and management of the existing and limited land resources in the study area and carrying out a more comprehensive planning activity in this sense.

2. Materials and Methods

2.1 Study Area

The Beyşehir-Kaşaklı Subbasin is one of the nine subbasins of the Konya Closed Basin (KCB), which is known as Turkey's largest closed basin, and it is located in the west of the region. It spreads over a wide area of approximately 7.3 km², which includes the non-residential areas of Konya, Isparta, and Antalya. The Beyşehir Lake Basin is located between 38° 03' - 37° 26' North latitudes and 31° 46' - 31° 15' East longitudes (Figure 1). There are the Anamas Mountains, Dedegül Mountain, and Kartoz Mountain extending to the east of the Hoyran-Eğirdir runnel in the west of the basin, the Sultan Mountains, Erenkilit Mountain, and Alaca Mountain separating the Lakes section from Central Anatolia in the east, the Şarkikaraağaç Plain located between the Anamas and Sultan Mountains in the north, and the Seyran and Seydişehir Mountains extending in the south east-north west direction in the south.

Lake Beyşehir, which is the third-largest lake in Turkey following Van and Tuz lakes, is located in the "Lakes District" and it is the source of water intended for human consumption and irrigation in Central Anatolia. The area was declared as a National Park under two different names, Lake Beyşehir and Kızıldağ National Park, in 1993 by the Ministry of Agriculture and Forestry. Lake Beyşehir and its surroundings, which are under protection as a first, second, and third-degree natural protected area, represent a quite important region in terms of cultural and historical heritage. In addition to these, the Konya Closed Basin constitutes 14% of our country's land potential in terms of agricultural production (Orhan, 2014). However, due to wild irrigation activities applied in agriculture, the number of arid lands prone to desertification increases as a result of overloading to underground and existing water resources.

The main reasons for choosing this region as the study area could be listed as follows: increased agricultural irrigation activities and unconscious groundwater use; sudden changes in precipitation and temperatures and an increase in aridness as a consequence of this; the drying up of a large part of 27 brooks and streams feeding the lake; the climatic and human-induced changes such as irregular change activities along the shore, and also the absence of a comprehensive study on the Beyşehir-Kaşaklı Subbasin; and the region's inventory data deficiencies to be used as a base.

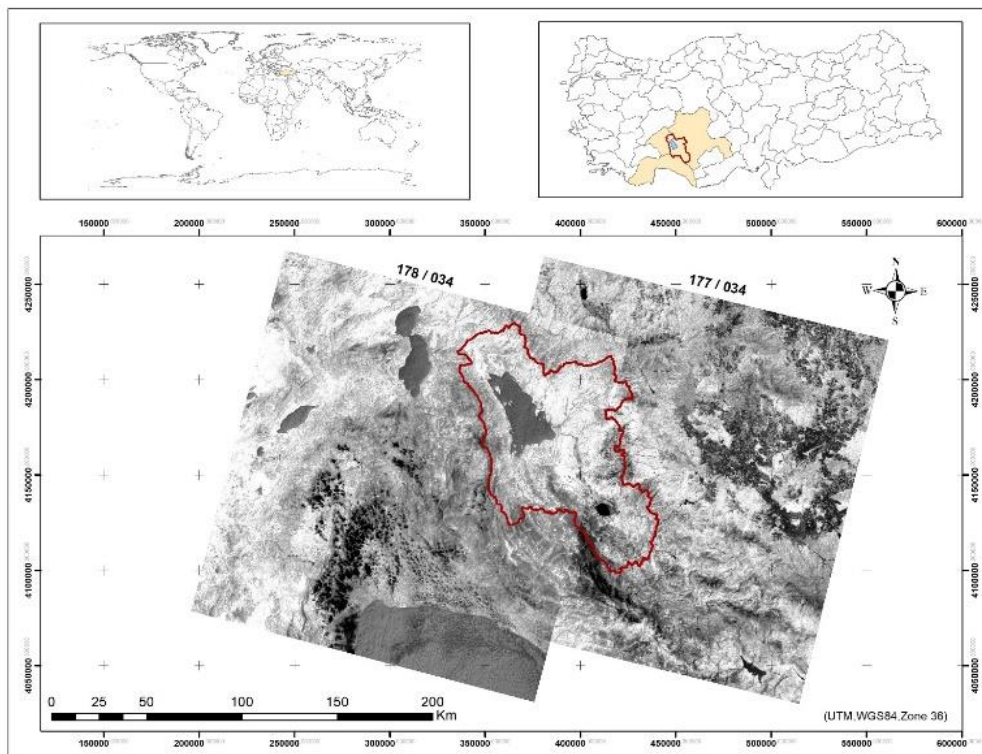


Figure 1: The study area (Beyşehir-Kaşaklı subbasin boundaries)

2.2 The Used Data

In this study, Landsat Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper (ETM), and Operational Land Imager (OLI) digital satellite images obtained in 1984, 1990, 1996, 2000, 2006, 2012, and 2018 were used. Landsat satellite images were used in this study since they have a medium spatial resolution, are often preferred for the detection of environmental changes, provide the sufficient information in a wide range of applications, and are available free of charge. Landsat satellite images were procured from the United States Geological Research Institute (USGS) website (USGS, 2020).

Landsat 5 TM, 7 ETM, and 8 OLI satellites provide images in the visible, near-infrared (infra-red) (VNIR), shortwave infrared (SWIR), and thermal infrared (TIR) ranges and have a medium spatial resolution between 15 to 100 m depending on the spectral range. Swath widths are 183 km for Landsat 5 185 km for Landsat 7-8, and their temporal resolution is 16 days. Spatial resolution of spectral bands is 30 m, their radiometric resolution is 8 bits, and they orbit at an altitude of 705 km. Different from Landsat 5, Landsat 7 has a developed thematic mapper scanner. In addition to the standard seven bands, the panchromatic band (0.50-0.90 μm) with 15 m resolution was added. In addition to these, the resolution of the thermal band was reduced from 120 m to 60 m. Landsat 8, which joined the trajectory of Landsat 7 in 2013, provides scientific data. Besides the common bands, Landsat 8 OLI carries the deep blue band for coastal/aerosol studies, as well as the short wave infrared band for the detection of cirrus clouds. OLI collects data as nine spectral bands (Coastal/Aerosol+VNIR+SWIR+PAN+CIRRUS). Seven of these nine bands have the ranges found in the previous LANDSAT 5 TM and 7 ETM sensors; thus, compatibility with prior Landsat data was ensured. The technical characteristics of the Landsat images used in the study are presented in Table 1.

The CORINE project was utilized in the selection of the class to be used in the classification process. In order to minimize the margin of error in the creation of some education data that cannot be clearly determined from the satellite image in the classification process, the required databases, such as high-resolution Google Earth images, and high-resolution satellite data from the Atlas Globe application, which is open to public access and belongs to the Ministry of Environment and

Urbanization-GIS General Directorate, and high-resolution orthophoto images were procured (Atlas, 2020). The ENVI 5.3 software was used in the digital processing and analysis (classification) stages of satellite data, and the ArcGIS 10.5 software was used in all visualization and mapping stages.

Table 1: Satellite images and technical characteristics used in the study

No	Spacecraft_Id	Sensor	Cloud Cover	(177/34) Date Acquired	(178/34) Date Acquired	Type
1	Landsat 5	TM	0	1984-08-10	1984-07-16	GeoTiff
2	Landsat 5	TM	0	1990-07-26	1990-08-02	GeoTiff
3	Landsat 5	TM	0	1996-07-26	1996-08-02	GeoTiff
4	Landsat 7	ETM	0	2000-08-14	2000-08-05	GeoTiff
5	Landsat 5	TM	0	2006-08-23	2006-08-30	GeoTiff
6	Landsat 5	TM	0	2011-08.21	2011-08-28	GeoTiff
7	Landsat 8	OLI	0	2018-08-24	2018-08-15	GeoTiff

2.3 Method

2.3.1 Image Preprocessing

Satellite images contain systematic or non-systematic errors in their structure. Therefore, corrections (image preprocessing) must be made before using these images. In the study, firstly, fourteen Landsat images consisting of two full frames belonging to seven years were rectified by performing their atmospheric correction. The FLAASH atmospheric correction module of the ENVI 5.3 software was used for radiometric correction. This module is a very comprehensive atmospheric correction application with the input parameters used. The input parameters used in the system consist of scan center coordinates (center latitude, center longitude), sensor type, sensor height (km), highest point height (km), pixel size (m), flight date, flight time, aerosol model, and multispectral special settings.

2.3.2 Image Mosaicing and Extraction of the Related Boundary

Radiometrically corrected satellite images were mosaiced using the "seamless mosaic module" of ENVI 5.3 software. At this stage, mosaic satellite images belonging to 7 different years were obtained by using two full frames (Path/row: 177/3-178/34) of Landsat TM, ETM, OLI satellite images for each year and then, the arranged satellite images of the study area were obtained by extracting the related boundary.

2.3.3 Investigation of Change in LULC

In the classification process that would be applied in determining the temporal change in LULC, the CORINE project, which is frequently used nowadays in the selection of the number of classes, was used. This project, which is implemented in the EU countries, has also begun to be used actively in Turkey since 1990. The advantage of the CORINE project is that it utilizes RS and GIS (Sari & Ozsahin, 2016). The classification in the CORINE project is mainly separated into five land-use types at the first level, fifteen land-use types at the second level, and forty-four land-use types at the third level (Table 2) (ETC/LC, 1995).

Changes in CORINE LULC cover the years of 1990, 1996, 2000, 2006, 2012, 2018. In the study, the satellite image of 2006 was taken as a reference in order to determine classes belonging to the CORINE project and to compare the results. In CORINE 2006 project, the existing classes were determined and classified separately at the first and second levels. The third level of land type could not be studied. The reason for this is that providing detailed information at the third level is not possible since the spatial resolution of the Landsat satellite image is medium (30 m). The determined classes and levels processed as Region of Interest (ROI) using ENVI 5.3. software are given in Table 3 below.

Table 2: CORINE Land Class and Codes (ETC/LC, 1995)

CORINE Land Class and Codes			
1 st Level	2 nd Level	3 rd Level	
1. Artificial surfaces	1.1. Urban fabric	1.1.1. Continuous urban fabric	
		1.1.2. Discontinuous urban fabric	
	1.2. Industrial, commercial and transport units	1.2.1. Industrial or commercial units	
		1.2.2. Road and rail networks and associated land	
		1.2.3. Port areas	
		1.2.4. Airports	
	1.3. Mine, dump and construction sites	1.3.1. Mineral extraction sites	
		1.3.2. Dump sites	
		1.3.3. Construction sites	
	1.4. Artificial, non-agricultural vegetated areas	1.4.1. Green urban areas	
		1.4.2. Sport and leisure facilities	
	2. Agricultural areas	2.1. Arable land	2.1.1. Non-irrigated arable land
			2.1.2. Permanently irrigated land
2.1.3. Rice fields			
2.2. Permanent crops		2.2.1. Vineyards	
		2.2.2. Fruit trees and berry plantations	
		2.2.3. Olive groves	
2.3. Pastures		2.3.1. Pastures	
		2.4.2. Complex cultivation patterns	
2.4. Heterogeneous agricultural areas		2.4.3. Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	
		3.1.1. Broad-leaved forests	
3. Forests and semi natural areas	3.1. Forests	3.1.2. Coniferous forests	
		3.1.3. Mixed forests	
		3.2.1. Natural grasslands	
	3.2. Scrub and/or herbaceous vegetation associations	3.2.3. Sclerophyllous vegetation	
		3.2.4. Transitional woodland-shrubs	
	3.3. Open spaces with little or no vegetation	3.3.1. Beaches, dunes, sands	
		3.3.3. Sparsely vegetated areas	
4. Wetlands	4.1. Inland wetlands	4.1.1. Inland marshes	
5. Water bodies	5.1. Inland waters	5.1.2. Water bodies	

Table 3: The first and second-level classes determined according to the CORINE project

1. Artificial Surfaces (#ROI-1)
1.1. Urban fabric (#ROI-11)
1.3. Mine, dump, and construction sites (#ROI-13)
2. Agricultural Areas (#ROI-2)
2.1. Arable land (#ROI-21)
2.3. Pastures (#ROI-23)
2.4. Heterogeneous agricultural areas (#ROI-24)
3. Forests and Semi Natural Areas (#ROI-3)
3.1. Forests (#ROI-31)
3.2. Scrub and/or herbaceous vegetation associations (#ROI-32)
3.3. Open spaces with little or no vegetation (#ROI-33)
4. Wetlands (#ROI-4)
4.1. Inland wetlands (#ROI-41)
5. Water Bodies (#ROI-5)
5.1. Inland waters (#ROI-51)

2.3.4 Kernel Function and Parameter Set Selection with Support Vector Machines

In the literature, quite different methods and algorithms have been developed for determining change due to the location, spectral reflection, and temporal differences of satellite images used in the detection of temporal changes in LULC (Ustuner et al., 2015). In the study, SVM algorithms, which are widely used in the literature among pixel-based classifications and

give very high classification accuracy with a small amount of education data, were tried. SVM is a method, which has been started to be used frequently in recent years, has been developed for binary classifications, and provides very high accuracy with a smaller amount of education data (Cortes & Vapnik, 1995). SVM is a nonparametric supervised classification algorithm based on the statistical learning theory, in other words, on the Vapnik-Chervonenkis (VC) theory (Li et al., 2009). The algorithm in question is a distribution-independent learning algorithm since it does not need any combined distribution function information related to the data (Ayhan & Erdogmus, 2014; Soman, Loganathan, & Ajay, 2011). The general network structure of the method is given in the Figure 4. The main aim of SVM algorithms is to form two classes that can be precisely separated via a linear boundary line (Sunar, 2017). If a linear line is considered as $ax+cy+b=0$ in 2-dimensional space and if it is expressed as $w=[a \ c]$ coefficients and $x=[x \ y]^T$ feature vector, the linear boundary ($w.x+b=0$) that will be drawn, should be located at the farthest distance from the features of both classes. Here, the support vectors belong to both classes are expressed as the feature that will define the optimal linear line, and satisfy the condition of $w.x_i+b=\pm 1$ (Sunar, 2017). The method was initially designed for the classification of two-class linear data, later developed for the classification of multi-class and nonlinear data.

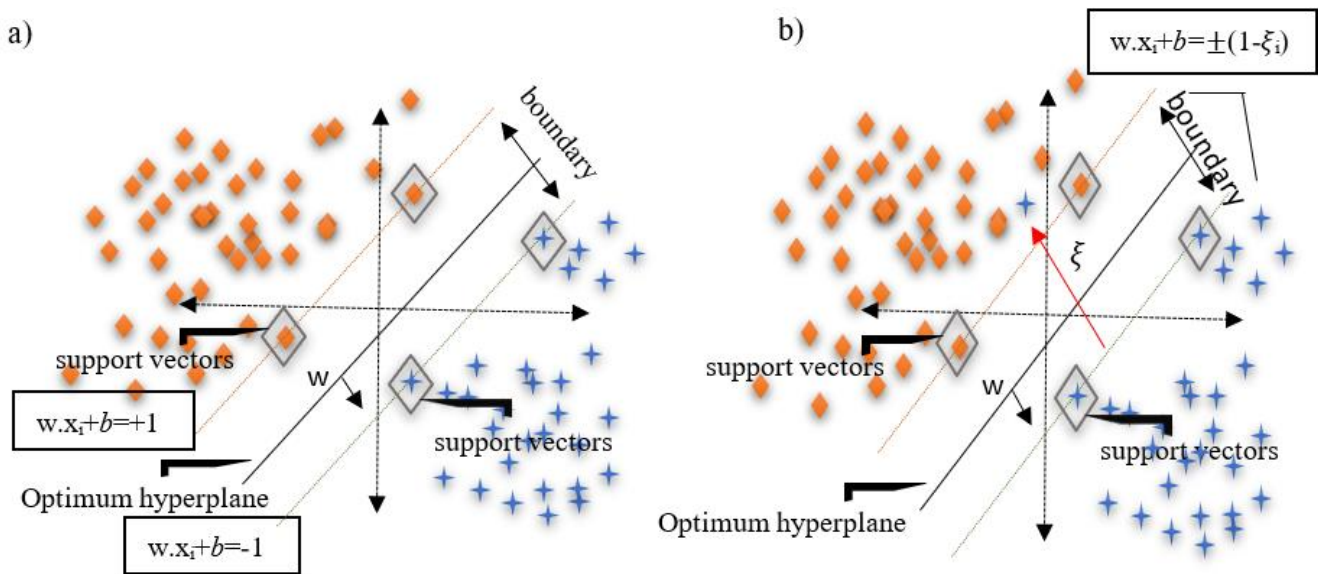


Figure 2: Linearly separated (a) and non-separated (b) two-dimensional SVM and optimum hyperplane (x_i : point on the hyperplane, w : normal of the hyperplane, b : distance of the hyperplane from the origin (Bias), and ξ : distance to the decision limit to which it belongs (slack variable))

Fundamentally, it is based on the principle of determination of the hyperplane that can separate the two classes from each other (Vapnik, 1995). The results obtained from this method depend on the characteristics of the kernel function and parameters selected (Kavzoglu & Colkesen, 2009). Since SVM can provide high accuracy in classification operations, model complex decision boundaries, work with a large number of independent data, and be applied to both linear and nonlinear data, a large number of studies have been conducted on SVM in the literature (Chen et al., 2019; Dixon & Candade, 2008; Foody & Mathur, 2004).

2.3.5 Accuracy Assessment

Accuracy analysis is a control method, which takes pixel values in regions outside the education areas selected in the classification process as a reference, is based on the principle of statistical comparison with a source that enables achieving precise information about the land (Aslan, 2012). The errors occur due to the fact that pixels cannot be classified correctly. Apart from this, different types of errors, such as the presence of a large number of unclassified pixels, also affect the classification accuracy.

In the accuracy assessment of the classification process, maps that refer to pixel values or ground truth data are used. The accuracies in the classification processes are expressed in Kappa statistics (K). Cohen's Kappa coefficient is a statistical method that measures the reliability of the comparative agreement between two values (Campbell, 1996; Cohen, 1960). The Kappa value is usually between 0-1. The closer the K value is to 1, the closer the classification accuracy is to the actual value. In the Kappa statistical evaluation, results that are better than 0.75 are considered as valid and successful.

3. Results and Discussion

For SVM algorithms, which are nonparametric controlled classification techniques, it is crucial to determine the most appropriate kernel function and parameter set for the study area. In the study, four different kernel functions (Radial, Linear, Polynomial, and Sigmoid) and different parameter sets (polynomial degree, error parameter, bias, and Gamma value) were implemented as different from each other, and seventy-two different models in total were applied. As a result of the determined models, the effects of the kernel function and the selection of the parameters belonging to this kernel on the classification accuracy percentage were examined, and the algorithm and parameter set that gave the highest accuracy was determined (Table 4.1 and Table 4.2).

Table 4.1: Selection of the most appropriate classification parameter set and comparison of the accuracies

No	Class Number	Kernel Function	Polynomial Degree	Bias Parameter	Gamma Parameter	Error Parameter	Overall Kappa Index	Overall Accuracy
1	10	Radial	NA	NA	0.167	0	0.669	74.05%
2			NA	NA	0.167	100	0.7613	81.22%
3			NA	NA	0.167	200	0.7679	81.74%
4			NA	NA	0.167	300	0.7706	81.93%
5			NA	NA	0.167	400	0.7703	81.90%
6			NA	NA	0.167	500	0.7708	81.93%
7			NA	NA	0.167	600	0.7724	82.05%
8			NA	NA	0.167	700	0.772	82.02%
9			NA	NA	0.167	800	0.7734	82.12%
10			NA	NA	0.167	900	0.7751	82.26%
11			NA	NA	0.167	1000	0.7752	82.27%
12	10	Linear	NA	NA	0.167	0	0.6646	73.72%
13			NA	NA	0.167	100	0.7357	79.34%
14			NA	NA	0.167	200	0.7375	79.49%
15			NA	NA	0.167	300	0.7381	79.53%
16			NA	NA	0.167	400	0.7387	79.58%
17			NA	NA	0.167	500	0.7389	79.59%
18			NA	NA	0.167	600	0.7396	79.65%
19			NA	NA	0.167	700	0.74	79.68%
20			NA	NA	0.167	800	0.7396	79.65%
21			NA	NA	0.167	900	0.7419	79.84%
22			NA	NA	0.167	1000	0.7426	79.87%

In the model construction stage, since the Gamma value was taken as the inverse of the band number (B-1), error parameter values between 0 and 1000 were tried, and by taking the polynomial degree and bias trend value as between 1 and 6, all probabilities were examined. In the modeling process, the SVM algorithm classification process in Sigmoid functions with seven parameter sets failed, and the related classification process was not realized. Other than these parameters, classification operations were performed in sixty five parameters, and classification accuracy percentages were determined. The algorithm that gave the highest classification accuracy was determined as the Polynomial function of SVM algorithms, and the related parameters, namely Gamma was detected as 0.167, error parameter as 800, the polynomial degree as 6, and the bias value as 5.

Table 4.2: Selection of the most appropriate classification parameter set and comparison of the accuracies

No	Class Number	Kernel Function	Polynomial Degree	Bias Parameter	Gamma Parameter	Error Parameter	Overall Kappa Index	Overall Accuracy		
23	10	Polynomial	2	1	0.167	0	0.6676	73.97%		
24			2	1	0.167	100	0.7578	80.98%		
25			2	1	0.167	200	0.7607	81.19%		
26			2	1	0.167	300	0.7645	81.47%		
27			2	1	0.167	400	0.7669	81.66%		
28			2	1	0.167	500	0.7674	81.69%		
29			2	1	0.167	600	0.7686	81.78%		
30			2	1	0.167	700	0.7687	81.77%		
31			2	1	0.167	800	0.7687	81.77%		
32			2	1	0.167	900	0.7695	81.85%		
33			2	1	0.167	1000	0.7716	82.00%		
34			1	1	0.167	100	0.7306	78.92%		
35			3	1	0.167	100	0.7669	81.67%		
36			4	1	0.167	100	0.7695	81.85%		
37			5	1	0.167	100	0.7718	82.01%		
38			6	1	0.167	100	0.7771	82.45%		
39			2	0	0.167	100	0.7446	79.94%		
40			2	2	0.167	100	0.7627	81.36%		
41			2	3	0.167	100	0.763	81.38%		
42			2	4	0.167	100	0.7578	80.97%		
43			2	5	0.167	100	0.7571	80.91%		
44			2	6	0.167	100	0.758	80.99%		
45			6	5	0.167	0	0.7581	80.99%		
46			6	5	0.167	100	0.7892	83.34%		
47			6	5	0.167	200	0.7896	83.37%		
48			6	5	0.167	300	0.7895	83.38%		
49			6	5	0.167	400	0.7922	83.58%		
50			6	5	0.167	500	0.7912	83.53%		
51			6	5	0.167	600	0.7889	83.33%		
52			6	5	0.167	700	0.7927	83.63%		
53			6	5	0.167	800	0.7949	83.81%		
54			6	5	0.167	900	0.7906	83.46%		
55			6	5	0.167	1000	0.7888	83.31%		
56					NA	1	0.167	0	No valid result.	
57					NA	1	0.167	100	0.5715	67.01%
58			NA	1	0.167	200	0.5622	66.40%		
59			NA	1	0.167	300	0.5604	66.29%		
60			NA	1	0.167	400	0.5771	67.88%		
61			NA	1	0.167	500	No valid result.			
62			NA	1	0.167	600	0.5582	66.14%		
63			NA	1	0.167	700	0.5723	67.51%		
64	10	Sigmoid	NA	1	0.167	800	0.5841	68.05%		
65			NA	1	0.167	900	0.5824	67.92%		
66			NA	1	0.167	1000	0.5906	68.81%		
67			NA	0	0.167	800	No valid result.			
68			NA	2	0.167	800	No valid result.			
69			NA	3	0.167	800	No valid result.			
70			NA	4	0.167	800	No valid result.			
71			NA	5	0.167	100	0.637	71.79%		
72			NA	6	0.167	800	No valid result.			

The classification process was carried out by applying the algorithm and parameters, which were determined as a result of

the modeling in the study and gave the highest classification accuracy, for the years of 1984, 1990, 1996, 2000, 2006, 2012, and 2018 (at approximately five-year intervals) during the 35 years that elapsed between 1985 and 2018. The classification process was carried out in 5 classes at the first level (Figure 3) and in 10 classes at the second level (Figure 4). As a result of the process, the image enrichment and classification techniques were applied to the satellite images, and changes in LULC for each satellite image were determined, and accuracy analyses were performed for seven years for which the classification process was carried out.

A classification accuracy assessment based on 290 random points, defined and placed using a random method with the ENVI 5.3 software in order to represent the classes of different LULC of the basin, was performed in the study. In order to perform the accuracy assessment giving the most successful result, the total of random points produced must be 250 or more. Two hundred ninety points, field control points (ground truth data), Google Earth images, SPOT 5 satellite images, and topographic maps used in our study were used as reference data. The reference data and classification results were compared using error matrices and analyzed statistically.

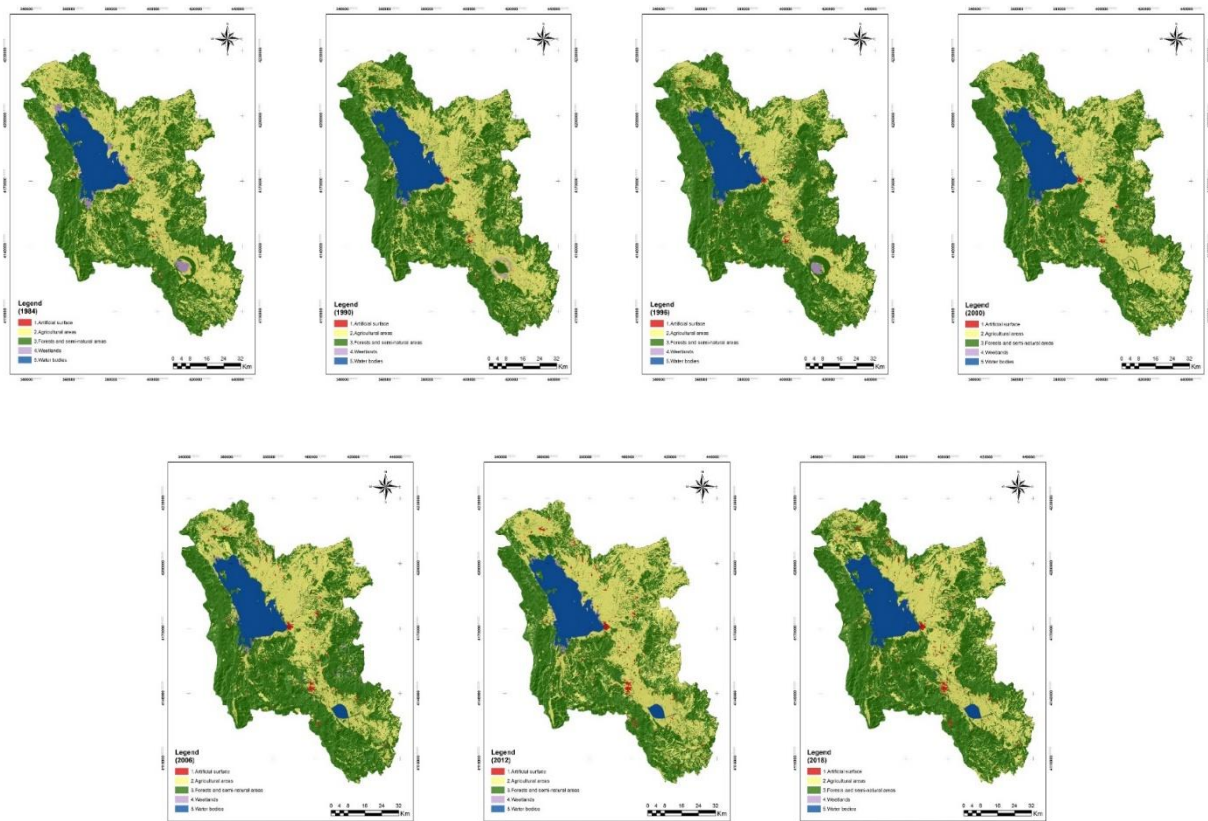


Figure 3: First level DVM classification image for 1984-2018

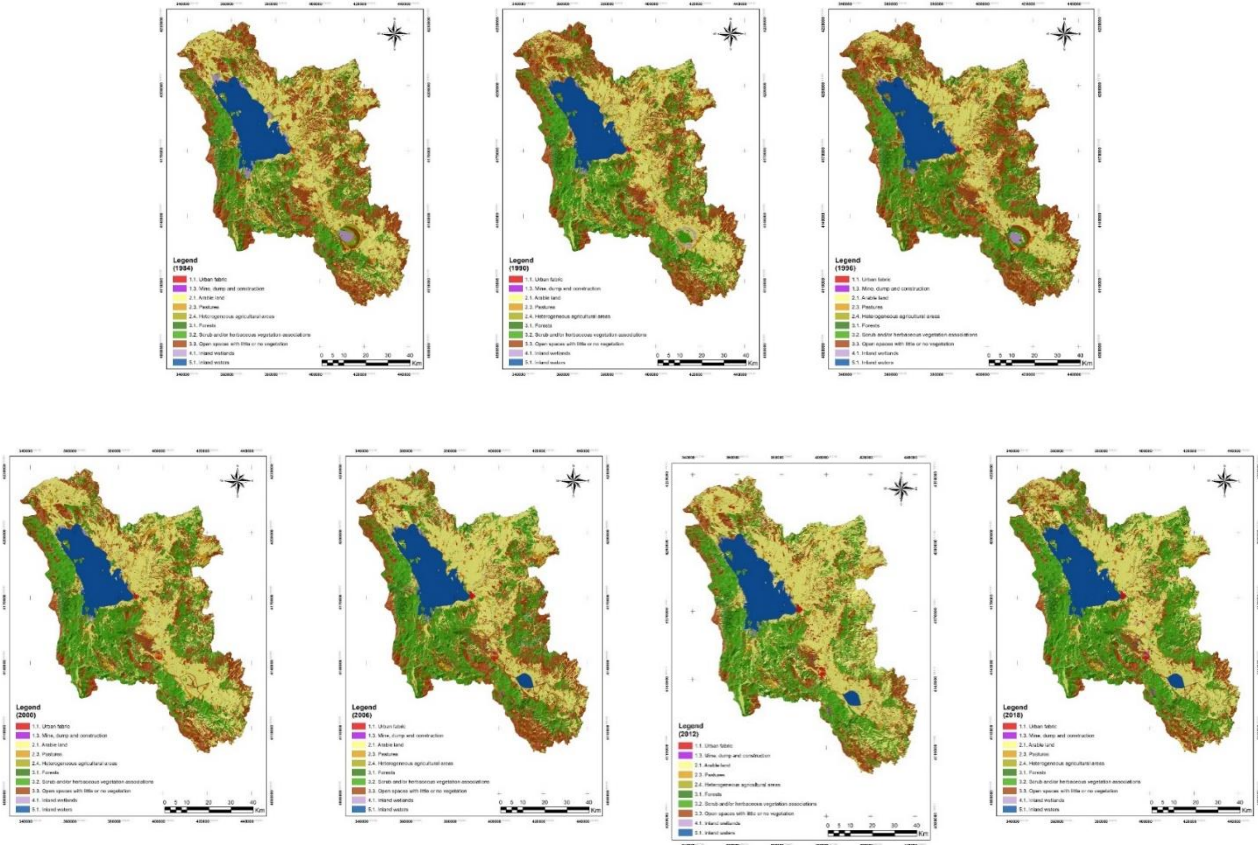


Figure 4: Second level DVM classification image for 1984-2018

The overall accuracy percentage in the study was determined to be 91% at the first level and 89% at the second level. Kappa statistics were determined as 0.89 on average at the first level and 0.88 at the second level. The relevant values are presented in Table 5.

Table 5: The first and second-level classification accuracy analyses

No	Sensor	Years	First-Level Classification Statistics		Second-Level Classification Statistics	
			Overall Accuracy	Kappa Coefficient	Overall Accuracy	Kappa Coefficient
1	TM	1984	91.29%	0.8873	89.65%	0.8843
2	TM	1990	91.29%	0.8874	88.99%	0.8770
3	TM	1996	92.43%	0.9018	90.04%	0.8887
4	ETM	2000	92.47%	0.9017	89.88%	0.8871
5	TM	2006	92.39%	0.9012	90.10%	0.8893
6	TM	2011	92.20%	0.8989	90.29%	0.8913
7	OLI	2018	91.59%	0.8911	89.81%	0.8861

Furthermore, in the study, the first and second-level classification accuracies were also examined, and the results were compared in percentage (Table 6). In addition to high overall accuracy percentages for each class, the highest first and second-level accuracies were in the water resource class. The accuracy average is 99.97% for both levels. The lowest overall accuracy as percentage was determined as artificial surfaces at the first level (86.81%) and urban structure (83.46%), mines, discharge, and construction areas (75.01%) at the second level. The relevant values are given in Table 6.

Table 6: First and second-level classification accuracy percentages

Years	First-Level (%)					Second-Level (%)									
	1	2	3	4	5	1.1	1.2	2.1	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1	5.1
1984	85.3	88.9	92.9	91.4	100	83.0	74.8	89.5	88.3	87.7	90.4	90.4	92.1	91.4	100
1990	85.7	89.1	93.5	88.4	100	79.1	75.4	88.3	89.4	84.4	93.5	90.0	91.3	88.4	100
1996	88.7	90.8	93.0	90.7	100	80.8	79.7	90.3	91.1	88.5	91.3	93.3	89.1	90.7	100
2000	85.2	91.5	94.2	92.2	99.8	79.9	73.2	90.4	93.7	86.0	91.1	89.7	92.0	92.2	99.8
2006	88.0	90.8	93.9	88.1	100	89.7	67.3	92.4	89.0	80.4	91.3	90.7	82.9	87.9	100
2011	88.3	89.6	93.2	91.4	100	88.8	75.4	86.8	92.0	84.4	88.5	91.8	92.6	91.4	100
2018	86.5	91.2	92.2	87.6	100	83.0	79.2	90.3	92.6	88.6	86.7	91.8	90.6	87.6	100

The change statistics and matrix and temporal analysis of LULC are essential to understand the reasons for this rapid change process. The first and second-level spatial changes for the study area are presented in Table 7-8.

Table 7: First-level spatial change

Years	Areas (km ²)				
	#ROI-1	#ROI-2	#ROI-3	#ROI-4	#ROI-5
	Artificial Surface	Agricultural Areas	Forest and Semi Natural Areas	Wetlands	Water Bodies
1984	0.158	26.204	39.594	0.873	6.506
1990	0.290	24.383	41.613	0.551	6.434
1996	0.383	24.423	41.510	0.580	6.376
2000	0.426	25.399	40.182	0.443	6.319
2006	0.601	24.348	41.090	0.720	6.621
2011	0.637	23.487	40.721	0.584	6.720
2018	0.817	22.530	41.169	0.927	6.729

Table 8: Second-level spatial change

Years	Areas (km ²)									
	#ROI-11	#ROI-13	#ROI-21	#ROI-23	#ROI-24	#ROI-31	#ROI-32	#ROI-33	#ROI-41	#ROI-51
1984	0.134	0.023	22.628	2.238	1.337	3.533	13.222	22.839	0.873	6.506
1990	0.224	0.066	21.233	2.348	0.802	3.501	16.739	21.373	0.551	6.434
1996	0.341	0.041	21.759	2.127	0.536	3.662	17.121	20.726	0.580	6.376
2000	0.382	0.043	22.852	2.093	0.449	3.539	19.332	17.311	0.443	6.319
2006	0.511	0.090	22.210	1.665	0.472	3.544	18.969	18.576	0.720	6.621
2011	0.515	0.122	20.994	1.742	0.750	3.198	19.882	17.640	0.584	6.720
2018	0.539	0.278	20.187	1.569	0.773	2.941	20.669	17.559	0.927	6.729

When the first and second-level spatial changes that occurred in the last 35 years and determined as a result of the classification were examined (Table 7), it was determined that artificial surfaces, forest, and semi-natural areas, wet areas involving swamps in excess, and water resources increased and that losses were experienced in arable agricultural lands, mixed agricultural lands, and pastures. The Seydişehir-Suğla Storage Project, which is of great importance in terms of aquaculture and irrigation in the region, is an important project that came into operation in June 2003 in order to provide water for Lake Beyşehir and Apa Dam regulators and Konya-Çumra projects. Upon examining the spatial change graph in the study, while an increasing reduction was experienced in the water resources in the region year by year until the year 2003, an increase in the surface area was experienced with the formation of the Suğla Storage and with the construction of other dams. While increases were also experienced in agricultural areas during the years between 2000 and 2006, in the following years, losses were experienced again in agricultural areas.

Due to sudden changes experienced in LULC in the region, change detection was performed after classification by using the ENVI 5.3 software in this study, and the results of the analysis are presented in Table 9 below.

Table 9: 1984-2018 percentage change detection analysis

Change (%)		1984					Row Total	Class Total
1984-2018	#ROI-1	#ROI-2	#ROI-3	#ROI-4	#ROI-5			
2018	#ROI-1	64.587	0.593	0.578	0.396	0.029	99.996	100
	#ROI-2	14.545	65.438	17.36	31.301	0.919	99.987	100
	#ROI-3	20.628	33.07	80.996	26.215	1.183	99.982	100
	#ROI-4	0.18	0.428	0.844	14.992	1.196	99.449	100
	#ROI-5	0.06	0.459	0.201	27.059	96.545	99.972	100
	Class Total	100	100	100	100	100		
	Class Change	35.413	34.562	19.004	85.008	3.455		
	Image Difference	418.2939	-14.0211	3.9765	6.1140	3.4259		

As a result of the analysis, it was determined that 14% of the artificial surface texture was obtained from fertile agricultural areas and 20% from the forest and semi-natural areas in 2018. When all analyses were examined in general, it was detected that in the 35 years covering the period between 1984 and 2018, artificial surfaces increased by 418%, arable agricultural lands and pastures decreased by 14%, forests and semi-natural areas (including bare land) increased by 4%, coastal wetlands on the coasts increased by 6%. On the other hand, the surface area of the water structure in the region, which demonstrated a decreasing statistic until the year 2003, was determined to increase by 3% with the establishment of the Suğla Dam in 2003. In addition to the reason for the 3% increase in the water structure, the regression in the south and east regions that occurred in the coastal change also caused an increase in the surface area of water.

4. Conclusion

Nowadays, the efficient use of rural and urban lands in line with their potential is of global importance in terms of sustainable land management. In Turkey, although there are regulations and zoning plans in urban areas for LULC, planning in line with the potential cannot be realized due to data deficiencies in the planning process and, adequate and comprehensive base inventory deficiencies for sustainable land management (Yakar, 2013).

Thanks to the GIS and RS technologies, it has become quite easy to access reliable information about changes in LULC in recent years and to make comments by conducting analyses on this information. In this study, the temporal change in the LULC of the Beyşehir-Kaşaklı Subbasin, which occurred in the 35 years that elapsed between 1984-2018, was investigated by using the GIS and RS techniques.

In order to observe the actual change in water structure, the volumetric change of water should be examined. Based on the statistics, while urbanization is increasing rapidly, the decrease in lands suitable for agricultural activities adversely affects the ecosystem. Apart from this, it was observed that developing a concrete mechanism for LULC with the Suğla Storage area established for wetlands and agricultural activities had positive results in terms of sustainability in the basin. It was intended that this study would be a base inventory study to review the local government's existing policies for the protection and management of the existing and limited land resources in the study area and carry out a more comprehensive planning activity in this sense.

Acknowledgements

This study is derived from the ongoing thesis titled "Investigation of Sustainable Land Management in Beyşehir-Kaşaklı Sub-Basin Using Geographic Information Systems and Remote Sensing Techniques". This work was supported by Necmettin Erbakan University Scientific Research Projects Unit with the Project Code 191419002.

Author Contribution

Munevver Gizem Gumus: Literature review, Analysis and interpretation, Data collection, Writing. **Suleyman Savas Durduran:** Conception, Design, Review of article, Supervision.

References

- Acheampong, M., Yu, Q., Enomah, L. D., Anchang, J., & Eduful, M. (2018). Land use/cover change in Ghana's oil city: Assessing the impact of neoliberal economic policies and implications for sustainable development goal number one—A remote sensing and GIS approach. *Land Use Policy*, 73, 373-384.
- Aslan, A. (2012). *Hazine arazilerindeki işgallerin belirlenmesinde ve satışa esas hazine arazilerinin kıymetlendirilmesinde bilgi teknolojilerinin kullanımı* (Master Thesis), Selçuk University, The Graduate School of Natural and Applied Science, Konya, Turkey (in Turkish).
- Atlas 2019 application (2020). Ministry of Environment and Urbanization. Directorate General of Geographic Information Systems. https://basic.atlas.gov.tr/?_appToken=&metadataId= (Accessed: 4 February 2020).
- Ayhan, S., & Erdogmus, S. (2014). Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 9(1), 175-201.
- Banerjee, R., & Srivastava, P. K. (2013). Reconstruction of contested landscape: Detecting land cover transformation hosting cultural heritage sites from Central India using remote sensing. *Land Use Policy*, 34, 193-203.
- Campbell, J.B. (1996). *Introduction to Remote Sensing*. New York: Guilford Press.
- Chen, S., Li, S., Ma, W., Ji, W., Xu, D., Shi, Z., & Zhang, G. (2019). Rapid determination of soil classes in soil profiles using vis-NIR spectroscopy and multiple objectives mixed support vector classification. *European Journal of Soil Science*, 70(1), 42-53.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, 20(1), 37-46.
- CORINE Project (2020). Ministry of Agriculture and Forestry. <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/> (Accessed: 13 January 2020).
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- Dengiz, O., & Turan, I. D. (2014). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistem Teknikleri Kullanılarak Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı Zamansal Değişimin Belirlenmesi: Samsun Merkez İlçesi Örneği (1984-2011). *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1(1), 78-90.
- Dewan, A. M., & Yamaguchi, Y. (2009). Using remote sensing and GIS to detect and monitor land use and land cover change in Dhaka Metropolitan of Bangladesh during 1960–2005. *Environmental monitoring and assessment*, 150(1-4), 237.
- Dixon, B., & Candade, N. (2008). Multispectral landuse classification using neural networks and support vector machines: one or the other, or both?. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1185-1206.
- Dodiya, D., Goswami, S., Chauhan, D., Bhuva, M., & Parekh, R. (2019). Land use & land cover change detection using GIS & Remote Sensing. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(4), 3001-3005.
- Donmez, S. O. (2015). *Obje tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile 3. seviye ulusal arazi örtüsü/kullanımının belirlenmesi* (Master Thesis), Istanbul Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Science, Istanbul, Turkey (in Turkish).
- European Topic Centre/Land Cover (ETC/LC). CORINE land cover. (1995), <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover> (Accessed: 24 December 2019).
- Foody, G. M., & Mathur, A. (2004). A relative evaluation of multiclass image classification by support vector machines. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 42(6), 1335-1343.
- Geymen, A., & Baz, I. (2008). Monitoring urban growth and detecting land-cover changes on the Istanbul metropolitan area. *Environmental monitoring and assessment*, 136(1-3), 449-459.
- Gulersoy, A. E. (2008). *Bakırçay Havzası'nda doğal ortam koşulları ile arazi kullanımı arasındaki ilişkiler* (Doctoral Dissertation), Dokuz Eylül University, Institute of Educational Sciences, Izmir, Turkey (in Turkish).
- Huang, C., Davis, L. S., & Townshend, J. R. G. (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of remote sensing*, 23(4), 725-749.
- Kara, F., & Karatepe, A. (2012). Uzaktan Algılama teknolojileri ile Beykoz ilçesi (1986-2011) Arazi Kullanımı Değişim Analizi. *Marmara*

- Coğrafya Dergisi, (25), 378-389.
- Kavzoglu, T., & Colkesen, I. (2009). A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), 352-359.
- Koylu, Ü., & Geymen, A. (2016). GIS and remote sensing techniques for the assessment of the impact of land use change on runoff. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(7), 484.
- Kumar, S., Radhakrishnan, N., & Mathew, S. (2019). Land Use Land Cover Change Detection and Forecasting for Tiruchirappalli City Using Remote Sensing and GIS. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 3(1-3), 96-107.
- Li, S., Li, H., Li, M., Shyr, Y., Xie, L., & Li, Y. (2009). Improved prediction of lysine acetylation by support vector machines. *Protein and peptide letters*, 16(8), 977-983.
- Mansour, S., Al-Belushi, M., & Al-Awadhi, T. (2020). Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. *Land Use Policy*, 91, 104414.
- Orhan, O. (2014). *Konya Kapalı Havzası'nda Uzaktan Algılama ve CBS teknolojileri ile iklim değişikliği ve kuraklık analizi* (Master Thesis), Aksaray University, Graduate School of Natural and Applied Science, Aksaray, Turkey (in Turkish).
- Otukei, J. R., & Blaschke, T. (2010). Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S27-S31.
- Punia, M., Joshi, P. K., & Porwal, M. C. (2011). Decision tree classification of land use land cover for Delhi, India using IRS-P6 AWiFS data. *Expert systems with Applications*, 38(5), 5577-5583.
- Rozenstein, O., & Karnieli, A. (2011). Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. *Applied Geography*, 31(2), 533-544.
- Sari, H., & Ozsahin, E. (2016). Spatiotemporal change in the LULC (Landuse/Landcover) characteristics of Tekirdag Province based on the CORINE (Thrace, Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(11), 4694-4707.
- Soman, K. P., Loganathan, R., & Ajay, V. (2009). *Machine learning with SVM and other kernel methods*. PHI Learning Pvt. Ltd..
- Srivastava, P. K., Han, D., Rico-Ramirez, M. A., Bray, M., & Islam, T. (2012). Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation. *Advances in Space Research*, 50(9), 1250-1265.
- Sunar, F. (2017). *Dijital Görüntü İşleme*, Eskişehir, Turkey: T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını.
- Topaloglu, R. H., Sertel, E., & Musaoğlu, N. (2016). Assessment of classification accuracies of sentinel-2 and landsat-8 data for land cover/use mapping. *International archives of the photogrammetry, remote sensing & spatial Information Sciences*, 41.
- United States Geological Research Institute (USGS). (2020). <https://Earthexplorer.Usgs.Gov/> (Accessed: 01 January 2020).
- Ustuner, M., Sanli, F. B., & Dixon, B. (2015). Application of support vector machines for landuse classification using high-resolution rapideye images: A sensitivity analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 48(1), 403-422.
- Vapnik, V.N. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. New York: Springer-Verlag.
- Wentz, E. A., Nelson, D., Rahman, A., Stefanov, W. L., & Roy, S. S. (2008). Expert system classification of urban land use/cover for Delhi, India. *International Journal of Remote Sensing*, 29(15), 4405-4427.
- Yakar, A. (2013). *Kentsel Gelişme Alanlarında Arazi Kullanımı Ve Değişiminin Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Açısından İncelenmesi: Trabzon İli Örneği* (Master Thesis), Karadeniz Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Science, Trabzon, Turkey (in Turkish).
- Yu, L., Lan, J., Zeng, Y., & Zou, J. (2019). Comparison of Land Cover Types Classification Methods Using Tiangong-2 Multispectral Image. In *Proceedings of the Tiangong-2 Remote Sensing Application Conference*, 241-253.
- Zhang, R., & Zhu, D. (2011). Study of land cover classification based on knowledge rules using high-resolution remote sensing images. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3647-3652.

Effect of altitude and distance on zenith tropospheric delay and integrated water vapour estimations in a local GNSS CORS network

Omer Gokdas^{1*} , Mustafa Tevfik Ozludemir² 

¹Istanbul Water and Sewerage Administration, Surveying Department, Istanbul, Turkey.

²Istanbul Technical University, Campus of Ayazaga, Faculty of Civil Engineering, Department of Geomatics Engineering, Sariyer, Istanbul, Turkey.

Abstract: In this paper, to investigate the usability of Continuously Operating Reference Stations managed by the Istanbul Water and Sewerage Administration (ISKI CORS) for weather prediction studies, the effects of altitude and distance on Zenith Tropospheric Delay (ZTD) and Integrated Water Vapour (IWW) estimations were analysed. Within the scope of this study, the authors determined accuracies of ZTD and IWW values - based on the selected reference stations and analysed them for altitude and distance factors. GnSmart software is used for ZTD estimation as this software broadcasts CORS correction and GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS) is used for IWW estimation. In this study, a single reference station was used to test the accuracy of ZTD and IWW values obtained from local ISKI CORS network stations (TUZL station for ZTD values and radiosonde station numbered 17064 for IWW values). The determined RMSE values could not reach the ZTD and IWW precision standards of the World Meteorology Organization (WMO). One reason for this is that a single station is selected as a reference. In short, the authors express that the ZTD and IWW values of ISKI CORS stations are not similar, but there is a significant difference between them. It was also understood that a single radiosonde station is not sufficient to determine the IWW values of the stations in the local ISKI CORS network, and the GNSS IWW values obtained from the stations can be meaningful.

Keywords: GNSS, ISKI CORS, Tropospheric delay, Integrated water vapour

Lokal bir GNSS CORS ağına yükseklik ve mesafenin zenit troposferik gecikme ve entegre su buharı kestirimleri üzerine etkisi

Öz: Bu makalede, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin yönettiği Uydulardan Konum Belirleme Sistemi'nin (İSKİ UKBS) hava tahmin çalışmalarında kullanılabilirliğini araştırmak için yükseklik ve mesafenin Zenit Troposferik Gecikme (Zenith Tropospheric Delay, ZTD) ve Entegre Su Buharı (Integrated Water Vapour, IWW) kestirimleri üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, yazarlar seçilen referans istasyonlara göre ZTD ve IWW değerlerinin doğruluğunu belirleyip mesafe ve yükseklik faktörlerine göre analiz etmişlerdir. ZTD kestirimi için CORS düzeltme yayını yapan GnSmart yazılımı, IWW kestirimi için ise GNSS Analiz ve Konum Belirleme Servisi (GAPS) kullanılmıştır. Bu çalışmada, yerel İSKİ UKBS ağı istasyonlarından elde edilen ZTD ve IWW değerlerinin doğruluğunu test etmek için tek bir referans istasyon kullanılmıştır (ZTD değerleri için TUZL istasyonu ve IWW değerleri için 17064 numaralı radyosonda istasyonu). Belirlenen RMSE değerleri Dünya Meteoroloji Örgütü'nün ZTD ve IWW presizyon standartlarına ulaşamamıştır. Bunun bir nedeni, referans olarak tek bir istasyonun seçilmesidir. Özet olarak yazarlar, İSKİ UKBS istasyonlarının ZTD ve IWW değerlerinin benzer olmadığını ancak aralarında anlamlı bir fark olduğunu ifade etmektedirler. Yerel İSKİ UKBS ağındaki istasyonların IWW değerlerinin belirlenmesi için tek bir radyosonda istasyonunun yeterli olmadığı, istasyonlardan elde edilen GNSS IWW değerlerinin anlamlı olabileceği de anlaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: GNSS, İSKİ UKBS, Troposferik gecikme, Entegre su buharı

1. Introduction

There is a constant lack of humidity observations in the meteorological monitoring system, and in recent years, ground-based GNSS data (Zenith Tropospheric Delay, ZTD) has been used to address this problem (URL-1). The first ZTD estimation and Integrated Water Vapour (IWV) transformation studies with GNSS observations were carried out by Duan et al. (1996) and Rocken, van Hove & Ware (1997). When previous studies are considered, it can be seen that impacts of weather prediction by using calculated IWV values in Numerical Weather Prediction (NWP) are analysed, and systematic developments are achieved (Bock et al., 2007; Vedel & Huang, 2004). ZTD estimation, ZTD cycle characteristic analysis and IWV calculation are completed by using more than 100 IGS stations at a global scale (Jin, Luo & Gleason, 2009; Wang & Zhang, 2008, 2009). Various tropospheric correction models are developed to increase the accuracy of ZTD estimations at the global scale (Li W., Yuan, Ou, Li H., & Li Z., 2012; Zhang, Yuan, Li W., Li Y., & Chai, 2016). Effects of different tropospheric models with 20-day data on IWV estimation are investigated, and it is seen that the Vienna Mapping Function (VMF) (Boehm, Werl, & Schuh, 2006) showed the best performance (Tunali & Ozludemir, 2019). Contribution of different GNSS satellite systems on ZTD and IWV estimations are analysed. Importance of using GLONASS, Galileo and BeiDou satellite systems with GPS is emphasised (Li et al., 2015; Lu et al., 2015, 2016; Xu et al., 2013). Studies were conducted on the ZTD estimation performances of different software and GNSS online services. In these services, the usability of APPS, CSRS-PPP and MAGIC GNSS Online Services on ZTD and IWV estimations are showed (Ahmed et al., 2016; Astudillo, Lau, Tang, & Moore, 2018).

As seen in the literature review, in the last decade, there were various global scale studies to use GNSS observations for meteorological purposes. In the last few years, these studies were carried out at the local scale with the use of GNSS data in ZTD and IWV estimations (Deniz, Mekik, & Gurbuz, 2015; Deniz & Mekik, 2017). The studies investigated the performance of different software and GNSS services on IWV estimation at a local scale (Abdellaoui, Zaourar, & Kahlouche, 2019; Acheampong, Fosu, Amekudzi, & Kaas, 2017).

In this paper, the authors investigated the usability of local ISKI CORS Network in the NWP. In meteorology and climate monitoring, the usability of ZTD and IWV data obtained with GNSS was analysed. There is only one radiosonde station in Istanbul, and it only gets atmospheric data twice a day (Radiosonde no: 17064) (URL-2). On the contrary, there is a local ISKI CORS Network with eight stations and providing data per second. This increases the importance of using ISKI CORS Network data in NWP. For this purpose, ZTD and IWV estimations were made at local ISKI CORS Network in Istanbul. Change of ZTD and IWV for altitude and distance for ISKI CORS Network was analysed. For this purpose, two different studies with ISKI CORS Network stations were conducted. Within the scope of the first study, 4-year ZTD data obtained between 2012 and 2015 with GnsSmart software that broadcasts NRTK correction were analysed. ZTD change and seasonal cycle differences were investigated for interstation altitude and distance differences. Secondly, GAPS, a software package using the PPP method, was used in IWV estimation (Leandro, Santos & Langley, 2007). IWV transformation was conducted by using ZWD values obtained with GAPS and surface temperature values. 17064 no. radiosonde station was selected as a reference, RMSE values were obtained and similarly, change for altitude and distance was analysed. Usability of GAPS in ZWD and IWV estimation was investigated (URL-3).

2. Data and Methods

Physically, tropospheric path delay occurs due to a change in the integrated refractivity through a neutral atmosphere along a vertical line.

$$\text{tropospheric path delay} = 10^{-6} \int_s^{\infty} N(s) ds \quad (1)$$

Here, s is altitude, N is a neutral atmospheric refractivity (Bevis et al., 1992). Tropospheric path delay can be mapped to the zenith direction, yielding the ZTD using a mapping function depending on elevation angle. ZTD is also expressed as the total of Zenith Hydrostatic Delay (ZHD) and Zenith Wet Delay (ZWD) (Davis, Herring, Shapiro, Rogers, & Elgered, 1985).

$$\text{ZTD} = \text{ZWD} + \text{ZHD} \quad (2)$$

ZHD can be calculated with surface pressure data by using tropospheric models. One of the models used in obtaining the ZHD is Saastamoinen (1972) model.

$$\text{ZHD} = \frac{0.0022768 \times P}{1 - 0.00266 \times \cos(2\varphi) - 0.00000028 \times h} \quad (3)$$

Where φ is the geodetic latitude of the station, h is the orthometric height of the station (in meters), P is the surface pressure (in mbar). ZTD and ZHD variables are used for calculating ZWD. Transformation of ZWD to IWV can be calculated with a weighted mean temperature of the atmosphere, liquid water, water vapour and atmospheric refractivity constants (Bevis et al., 1992). The main parameter in this formulation is the weighted mean temperature (T_m) value of the troposphere in the zenith direction of the station. This parameter can be calculated by analysis of long-term radiosonde observations (Mekik & Deniz, 2017). The derivation of the T_m value is given by Equation 4.

$$T_m = \frac{\int_{H_S}^H \frac{e}{T} dh}{\int_{H_S}^H \frac{e}{T^2} dh} \quad (4)$$

Where H_S is the initial height of the radiosonde observation, H is the final height of the radiosonde observation, e is the partial water vapour pressure in mb, T is the temperature in K, and dh is the height element (Bevis et al., 1992).

Istanbul with ISKI CORS Network and one radiosonde station was chosen as the study area. Figure 1 shows the geometric distribution of ISKI CORS Network stations and radiosonde station. Latitude, longitude and altitude values are shown in Table 1 (URL-4).

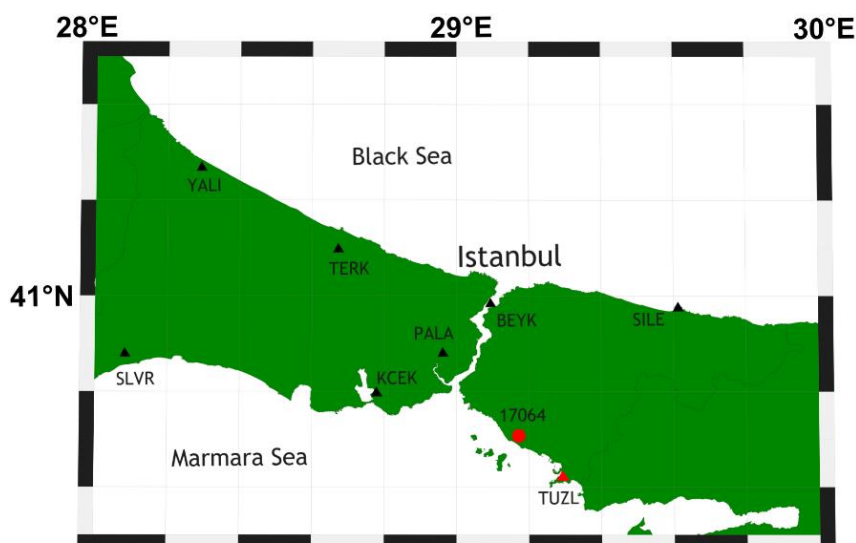


Figure 1: 8 stations linked to ISKI CORS Network and 17064 no. radiosonde station

Table 1: Latitude, longitude and altitude (in GRS 80 ellipsoid) of 8 stations linked to ISKI CORS Network and 17064 no. radiosonde station

Stations	Latitude	Longitude	Ellipsoidal Height (m)
BEYK	41° 10' 36.1935"	29° 05' 36.6750"	101.27
KCEK	41° 00' 09.8993"	28° 46' 47.1039"	122.92
SLVR	41° 04' 48.7763"	28° 05' 00.2443"	138.25
TERK	41° 18' 11.0522"	28° 40' 24.8789"	48.01
TUZL	40° 49' 35.3863"	29° 17' 32.8188"	55.28
SILE	41° 10' 44.3883"	29° 36' 47.9453"	79.64
PALA	41° 05' 10.7655"	28° 57' 47.5242"	170.56
YALI	41° 28' 24.0517"	28° 17' 35.5072"	86.71
17064	40° 54' 40.0000"	29° 09' 21.0000"	53.53

4-year ZTD period between 2012-2015 from 8 stations of ISKI CORS network in Istanbul was generated with 10-s periods on Gnsmart software. Precise Point Positioning (PPP) method was used in the ZTD estimations. 10-s logging rate RINEX data were used. UNB3 tropospheric model and Niell mapping function were used in the analysis (Leandro, Santos & Langley, 2006; Niell, 1996). IGS precise data were used for orbit and clock products. ZTD time series were screened to detect and remove the outliers in the GNSS ZTD data, and Moving Mean Filter (MMF) method was applied for smoothing (Smith, 2003). It was analysed whether there is a significant difference in ZTD values between ISKI CORS stations or not. For that, TUZL station with relatively low altitude value and at the outer section of the network was selected as a reference. RMSE was used as a statistical indicator. Equation 5 was used for ZTD RMSE calculation, and correlations for altitude and distance difference were investigated.

$$RMSE_{ZTD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ZTD_{estimate} - ZTD_{TUZL})^2}{n}} \quad (5)$$

Secondly, ZTD, ZWD, ZHD values for 19 days in June 2018 from 6 stations linked to ISKI CORS network were obtained with 30-s periods with GAPS GNSS online process. Since the temperature values of the two stations were not available, the study was conducted with 6 stations. For this purpose, the 30-s logging rate RINEX data, VMF1 predecessor tropospheric model for GAPS analysis and IGS final orbit and clock products were used. The output of ZWD values in GAPS is given by subtracting the ZHD values obtained with the model from the ZTD values. Obtained ZWD values were analysed with time series, and smoothed with the MMF method. IWV transformation was applied with weighted mean atmospheric temperature function $\Pi(T_m)$ and ZWD values as given in Equation 6.

$$\Pi(T_m) = \frac{10^6}{p_w R_v \left(\frac{k_3}{T_m} + k'_2 \right)}, \quad IWV = \Pi(T_m) \cdot ZWD \quad (6)$$

Here, $T_m \approx 70.2 + 0.72 T_s$, T_s is surface temperature. The unit of T_m and T_s is K. $\Pi(T_m)$ changes as the function of the weighted mean atmospheric temperature, p_w represents liquid water density (999.97 kgm^{-3}), R_v represents water vapour gas constant ($461.51 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$), k_3 ve k'_2 represent atmospheric refractivity constants ($k_3 = 377600 \mp 400 \text{ K}^2\text{hpa}^{-1}$ and $k'_2 = 22.1 \mp 2.2 \text{ Khpa}^{-1}$) (Bevis et al., 1992).

IWV values of 17064 radiosonde station were accepted as true values and IWV RMSE values of 6 stations in ISKI CORS Network were calculated with Equation 7 (URL-2). Additionally, correlation coefficients of IWV values estimated with six stations were calculated. These values were examined for altitude and distance.

$$RMSE_{IWV} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (IWV_{estimate} - IWV_{radiosonde})^2}{n}} \tag{7}$$

3. Results and Discussion

3.1 Zenith Tropospheric Delay

As explained in the previous section, ZTD change for stations in ISKI CORS Network was investigated. The effects of altitude and distance were analysed. 4-year ZTD value between 2012 and 2015 was obtained with GnSmart for 8 ISKI CORS Network stations. Obtained ZTD values were smoothed with MMF method. Figure 2 shows ZTD values, smooth ZTD values and the absolute value of residual values for the referenced TUZL station. Figure 3 shows ZTD values for all stations.

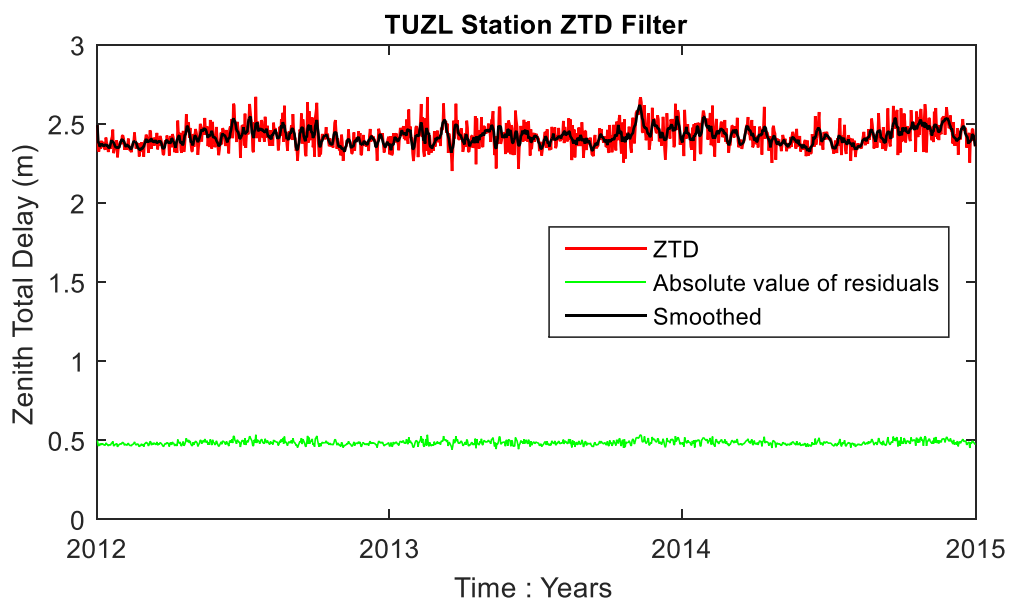


Figure 2: TUZL station ZTD Filter graphic

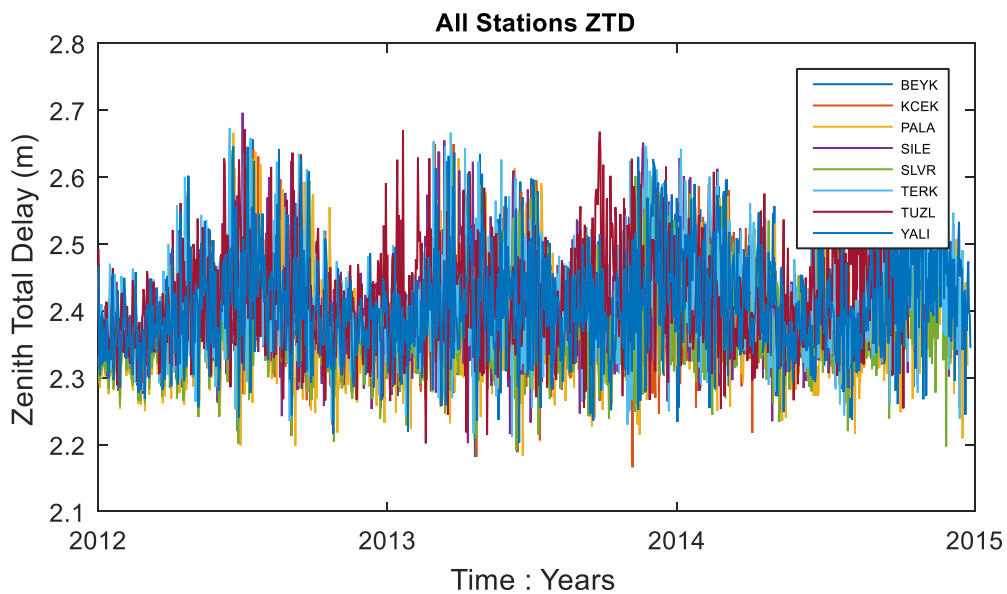


Figure 3: 4-year (2012-2015) ZTD change graphic for 8 stations

Values in Table 2 were calculated by selecting TUZL station with relatively low altitude and at the outer part of the network as reference. Distance, altitude difference, ZTD RMSE and mean bias values of 7 stations in ISKI CORS Network are shown.

Table 2: Altitude difference, distance difference, ZTD RMSE and mean ZTD bias values

Station	Δ Distance (km)	Δ Height (m)	RMSE (cm)	Mean Bias (cm)
PALA	40.0	115.3	± 3.92	3.75
KCEK	47.0	67.6	± 2.61	2.28
TERK	75.0	7.3	± 1.67	-0.22
BEYK	42.4	46.0	± 2.03	1.46
SILE	47.0	24.4	± 1.37	0.91
SLVR	105.0	83.0	± 3.40	2.85
YALI	111.0	31.4	± 2.27	0.97

When the values in Table 2 were investigated, it can be seen that ZTD values change for stations with different altitude and distance. By using the values in Table 2, ZTD - altitude difference correlation coefficient was calculated as 0.95 and ZTD - distance difference correlation coefficient was calculated as 0.07. It was seen that ZTD differences for ISKI CORS Network as a local network were significant for altitude.

4-year mean ZTD values were calculated for each station, and seasonal changes were investigated. ZTD model was formed by applying the 4th order polynomial function on ZTD change graphic (Figure 4).

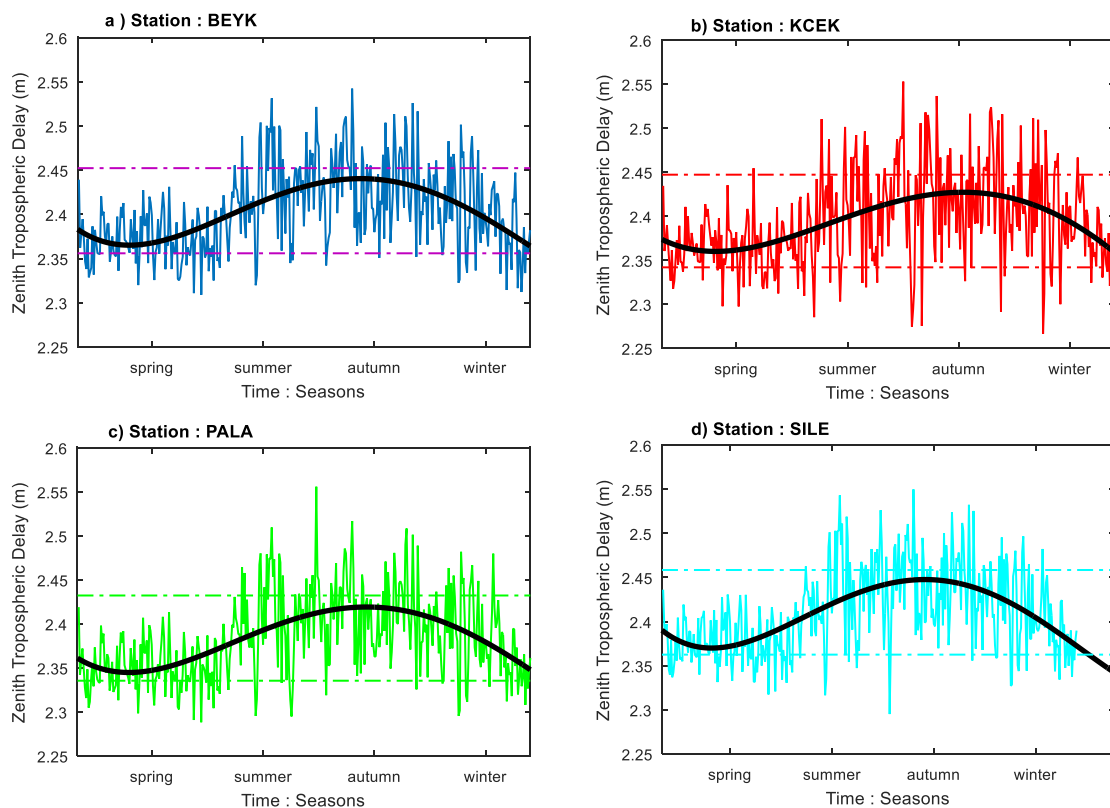


Figure 4.1: Seasonal change of 8 stations linked in ISKI CORS Network (Black line shows the polynomial function of ZTD; two horizontal lines show 1σ range of ZTD)

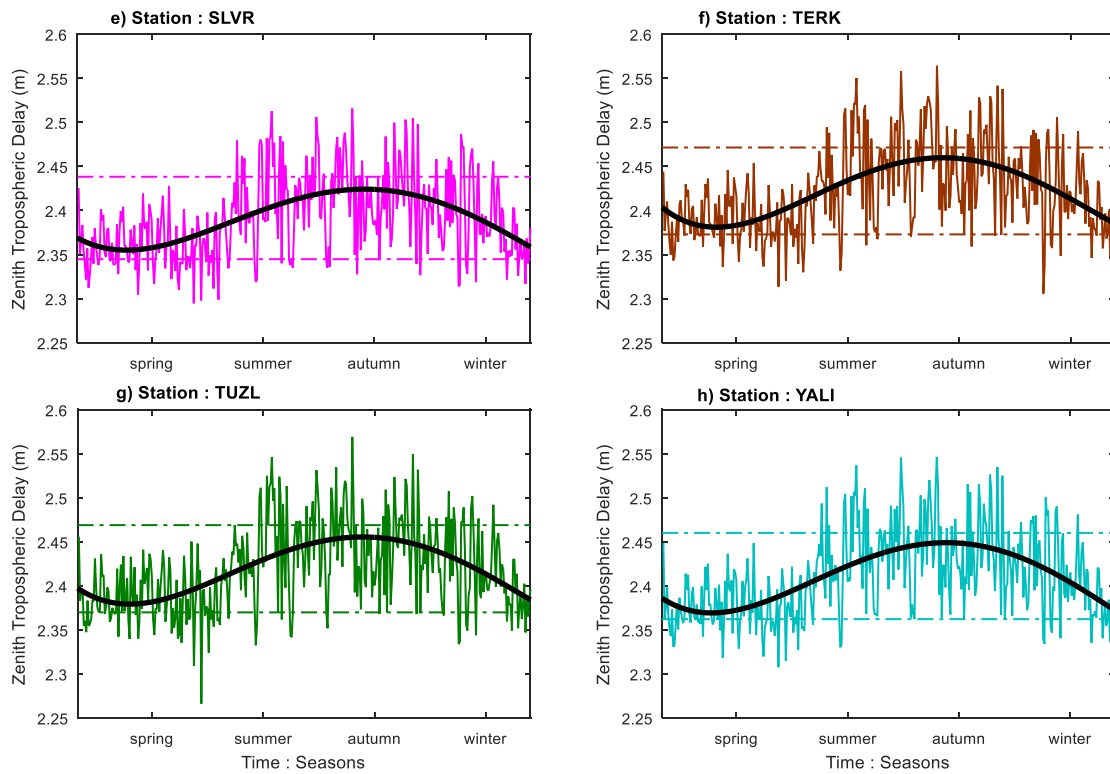


Figure 4.2: Seasonal change of 8 stations linked in ISKI CORS Network (Black line shows the polynomial function of ZTD; two horizontal lines show 1σ range of ZTD)

As seen in Table 3, the mean ZTD values in a year range between 2.384 m and 2.422 m (PALA, TERK). Standard deviation values are between ±4.7 cm and ±5.3 cm (SLVR, KCEK).

Table 3: Annual mean, maximum ZTD, minimum ZTD and std. values for 8 stations

Stations	Mean ZTD (m)	Max. ZTD (m)	Min. ZTD (m)	Std. (cm)
BEYK	2.404	2.542	2.309	±4.8
KCEK	2.395	2.553	2.266	±5.3
SLVR	2.392	2.516	2.295	±4.7
TERK	2.422	2.564	2.306	±4.9
TUZL	2.419	2.561	2.266	±5.0
SILE	2.411	2.551	2.295	±4.8
YALI	2.411	2.547	2.308	±4.9
PALA	2.384	2.586	2.288	±4.8

Seasonal ZTD values for eight stations were investigated, and the mean seasonal change was calculated. Polynomial function model was formed (Figure 5a). Model residual values are shown in Figure 5b.

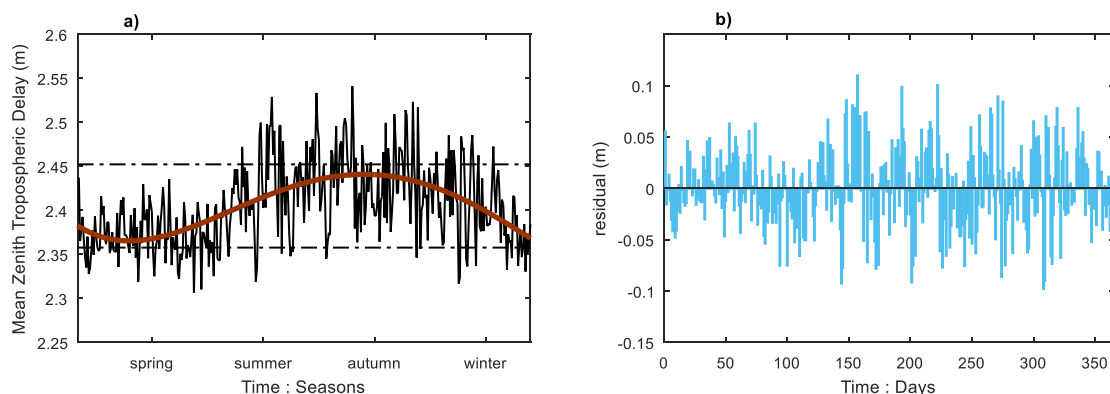


Figure 5: Mean seasonal change of 8 stations (Figure 5a has the polynomial model, Figure 5b has the residual values of the model)

Mean ZTD, maximum ZTD, minimum ZTD and standard deviation values for Figure 5a are shown in Table 4. Accordingly, autumn and summer ZTD values (Mean ZTD: 2.423 m, 2.437 m, respectively) for ISKI CORS Network stations were higher than spring and winter (Mean ZTD: 2.383 m, 2.378 m, respectively). As stated in the Introduction section, ZTD consists of two components. Although 90% of the ZTD is the ZHD component, there is a correlation between ZTD and ZWD. ZWD is 90% positive correlated with temperature and 10% with relative humidity. Accordingly, the high mean temperatures of summer and autumn seasons for Istanbul increased the ZTD mean values (Jin, Park J.U., Cho, & Park P.H., 2007). As it can be seen from Table 4, changes in ZTD were at the lowest level for winter (Std. ± 2.9 cm).

Table 4: Seasonal mean, maximum-minimum ZTD values and ZTD std. values for all stations

Seasons	Mean ZTD (m)	Max. ZTD (m)	Min. ZTD (m)	Std. (cm)
Spring	2.383	2.500	2.307	± 3.9
Summer	2.437	2.541	2.345	± 4.6
Autumn	2.423	2.523	2.317	± 4.6
Winter	2.378	2.472	2.319	± 2.9

3.2 Integrated Water Vapour

Effects of the altitude – distance difference of ISKI CORS Network stations on IWV were analysed to investigate the usability of local ISKI CORS Network for IWV estimation. For that purpose, GAPS was used on six stations and ZTD, ZWD and ZHD values were obtained for a 30-s period. ZWD values were analysed with time series and smoothed with MMF method. Figure 6 shows ZWD filter graphics for each station.

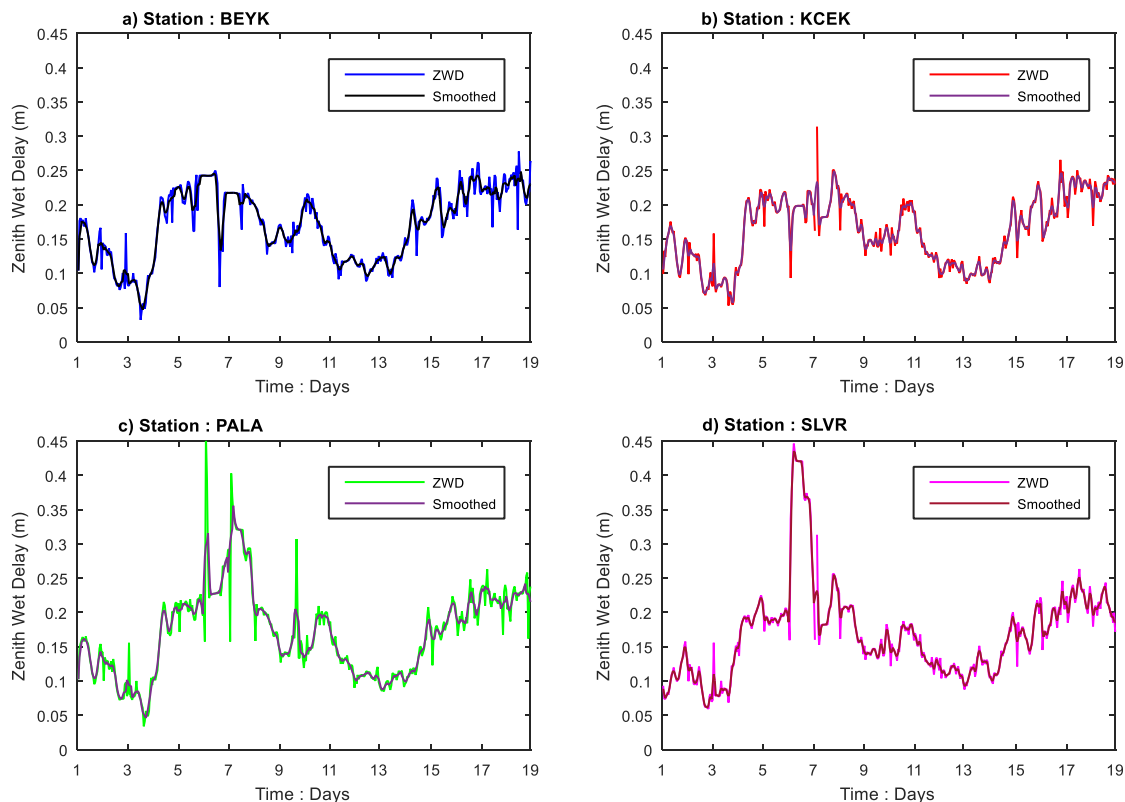


Figure 6.1: ZWD Filter change graph for 6 stations

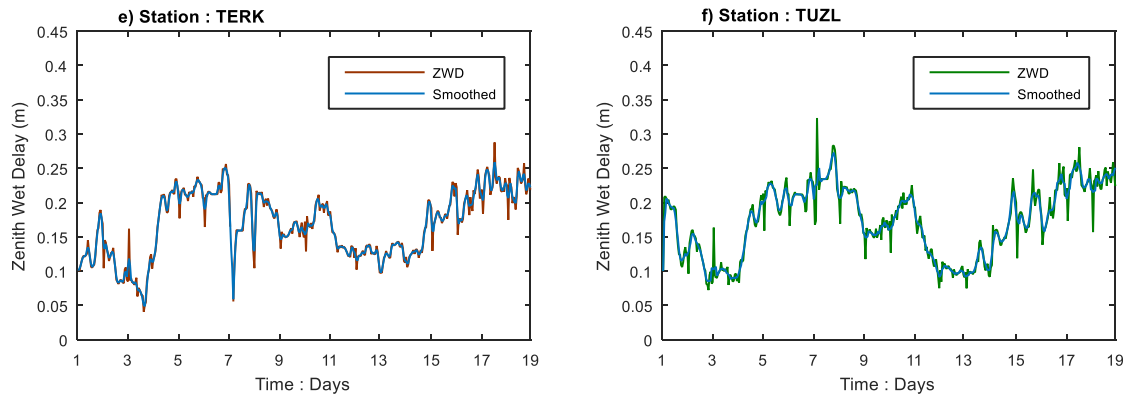


Figure 6.2: ZWD Filter change graph for 6 stations

IWV transformation was calculated using the ZWD values, mean temperature T_m value and constants in Equation 6. Obtained GNSS IWV values were compared with IWV values in radiosonde station (no: 17064) as repeated twice a day (Figure 7).

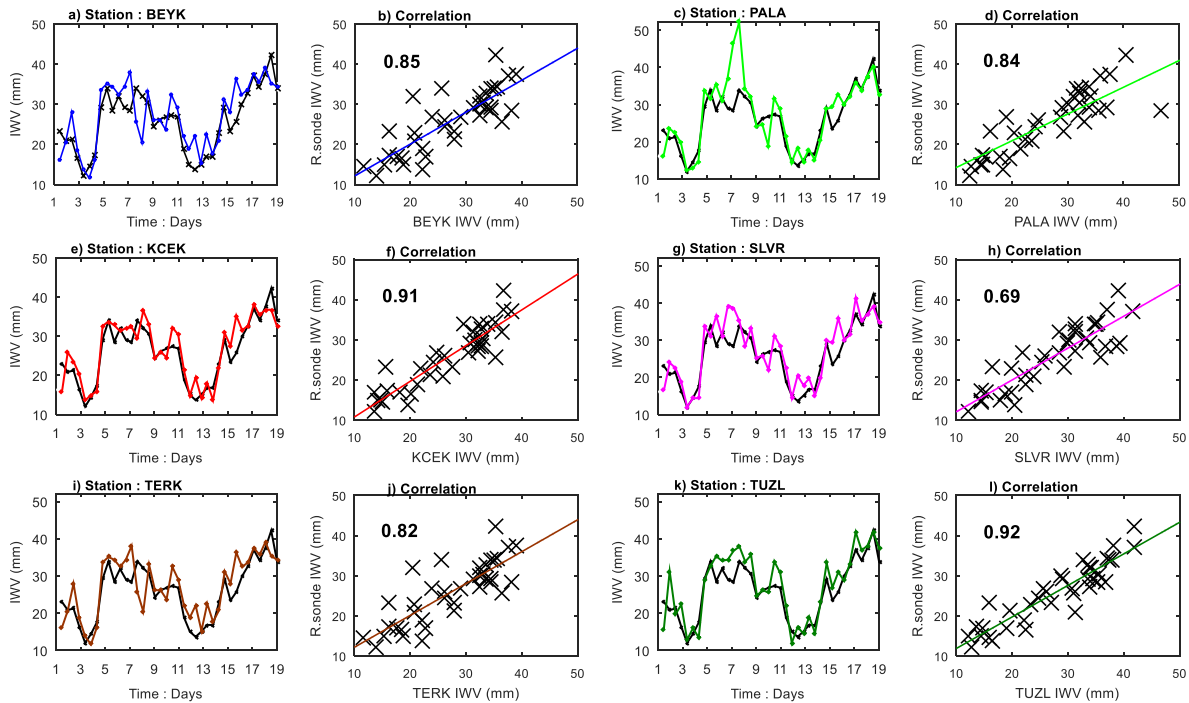


Figure 7: GNSS - Radiosonde IWV values and correlations for 6 stations (Blackline shows IWV values, others show GNSS IWV values)

Altitude and distance differences between radiosonde station and GNSS stations, IWV RMSE, mean bias values and correlation coefficients are shown in Table 5. IWV RMSE values obtained with GAPS range between ± 3.4 mm and ± 7.6 mm. When compared with the RMSE values between 2.22 mm and 5.53 mm obtained in the study performed with 6 stations by Abdellaoui et al. (2019), it is seen that similar results were obtained (except for SLVR station) (Table 5).

Correlation coefficients range between 0.69 and 0.92. Similarly, when compared with 0.73 and 0.87 correlation coefficients in a single station local study conducted by Acheampong et al. (2017) with APPS and CSRS-PPP online service, it was seen that correlation coefficient of SLVR station was low, and BEYK, KCEK and TUZL stations had high compliance. The PALA and TERK stations gave similar correlation result in IWV values (Table 5). According to Table 5, correlation coefficients of RMSE values with distance and altitude differences are 0.81 and 0.42. Accordingly, it could be said that the distance difference for GNSS IWV values has a higher effect than altitude differences, and there are significant differences between IWV values of ISKI CORS stations.

Table 5: Distance and altitude difference, IWV RMSE and mean IWV bias values for 6 stations

Station	Δ Distance (km)	Δ Height (m)	RMSE (mm)	Mean Bias (mm)	Radiosonde Corr.
PALA	26.1	117.0	± 5.4	1.6	0.84
BEYK	31.0	47.7	± 4.3	1.5	0.88
KCEK	33.5	69.4	± 3.4	1.1	0.91
TERK	60.0	-5.5	± 4.8	1.4	0.82
TUZL	14.4	1.8	± 4.0	2.0	0.92
SLVR	92.0	84.7	± 7.6	1.7	0.69

According to the standards of the World Meteorology Organization (WMO), it is stated that IWV should have a precision of approximately ± 1 mm / ± 1.3 mm. It is understood that the ZTD value must have a precision of ± 7 mm or better to achieve an IWV precision of ± 1 mm (Mekik & Deniz, 2017). ZTD RMSE and IWV RMSE values in Tables 2 and Table 5 did not reach the specified accuracy value. One reason for this is that only one reference station (TUZL station for ZTD values, radiosonde station 17064 for IWV values) was selected. These results show that the ZTD and IWV values of ISKI CORS stations are not similar, there is a significant difference between them. Also, the effect of height and distance on IWV values was examined in the study. In this way, it has been understood that a single radiosonde station is not sufficient for stations in the local network, and the GNSS IWV values obtained from the stations may be significant.

4. Conclusion

In this study, the authors investigated the usability of ISKI CORS Network on ZTD and IWV estimations to contribute to weather prediction studies. Additionally, GAPS online service performance is tested for IWV estimations. In this study to analyse the altitude and distance changes of ZTD and IWV in a local network, ISKI CORS Network stations designed for Istanbul and shown in Figure 1 were used. Geometrically, the highest altitude difference is between PALA and TERK stations (128.55 m). The shortest distance between the stations is between BEYK and PALA (14.0 km), and the longest distance is between SILE and YALI stations (115.0 km). Two different studies were conducted for ZTD and IWV analysis. ZTD analysis was conducted with 4-year data of 8 stations between 2012 and 2015. GnSmart software where correction broadcast data were calculated for CORS network users was adopted. 4-year ZTD values were obtained with 10-s period (Figure 3). UNB3 tropospheric model and Niell mapping function were used in the analysis. IGS precise data were used for orbit and clock products. ZTD values were analysed with time series and smoothed with MMF method. TUZL station with relatively low altitude value and at the outer part of the network was selected as the reference, and ZTD RMSE values were calculated. ZTD RMSEs were calculated between ± 1.4 cm and ± 3.9 cm, and the mean biases were calculated between -0.2 cm and 3.7 cm. It was seen that there were significant differences for ZTD values for ISKI CORS station distances and altitudes. ZTD - altitude difference correlation was calculated as 0.95 and ZTD - distance correlation was calculated as 0.07. Additionally, seasonal change of ZTD values obtained from ISKI CORS Network stations was analysed. Accordingly, there was no difference between the stations for ZTD seasonal movements (Table 3). On the other hand, it was seen that ZTD and std. values during winter and spring (ZTD: 2.38 m, std: ± 2.9 cm / ± 3.9 cm) were lower than summer and autumn (mean ZTD: 2.43 m, std: ± 4.6 cm) (Table 4). For IWV analysis as the second study, 19-day ZWD values in June 2018 from 6 stations linked to ISKI CORS Network were obtained with GAPS with 30-s periods. VMF1 tropospheric model and IGS final data were used. ZWD values were smoothed with the same method as ZTD (Figure 6), and ZWD-IWV transformation was calculated with Equation 6. These values were compared with radiosonde IWV values. IWV RMSE values and correlation coefficients were calculated for six stations (Table 5). Accordingly, IWV RMSE values were calculated as ± 3.4 mm / ± 7.6 mm, and correlation coefficients were calculated in 0.69 - 0.92 range. The results obtained are consistent with similar studies (Abdellaoui et al., 2019; Acheampong et al., 2017).

As a result, the authors state that there is a significant difference between the ZTD and IWV values of ISKI CORS stations. It has been understood that a single radiosonde station is not sufficient to determine the IWV values of the stations in the local ISKI CORS network. It was emphasized that the GNSS IWV values obtained from the stations could be significant.

Acknowledgements

The authors thank Istanbul Water and Sewerage Administration's Survey Department, which allowed to access to CORS software and data. The authors thank the Disaster Coordination Centre, which shared the surface meteorological data. The authors would like to acknowledge GAPS GNSS Analysis Centre's contribution to their research.

Author Contribution

Omer Gokdas: Conception, Design, Literature review, Data collection, Analysis and interpretation, Writing (original draft).

Mustafa Tevfik Ozludemir: Design, Analysis and interpretation, Supervision, Writing (review and editing).

References

- Abdellaoui, H., Zaourar, N., & Kahlouche, S. (2019). Contribution of permanent stations GPS data to estimate the water vapor content over Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 81.
- Acheampong, A. A., Fosu, C., Amekudzi, L. K., & Kaas, E. (2017). Precipitable water comparisons over Ghana using PPP Techniques and reanalysis data. *South African Journal of Geomatics*, 6(3), 449-460.
- Ahmed, F., Vaclavovic, P., Teferle, F. N., Douša, J., Bingley, R., & Laurichesse, D. (2016). Comparative analysis of real-time precise point positioning zenith total delay estimates. *GPS Solutions*, 20(2), 187-199.
- Astudillo, J.M., Lau, L., Tang, Y. T., & Moore, T. (2018). Analysing the zenith tropospheric delay estimates in on-line precise point positioning (PPP) services and PPP software packages. *Sensors*, 18(2), 580.
- Bevis, M., Businger, S., Herring, T. A., Rocken, C., Anthes, R. A., & Ware, R. H. (1992). GPS Meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using or estimation of the wet delay. *J. Geophys. Res*, 97, 15787-15801.
- Bock, O., Bouin, M. N., Walpersdorf, A., Lafore, J. P., Janicot, S., Guichard, F., & Agusti-Panareda, A. (2007). Comparison of ground-based GPS precipitable water vapour to independent observations and NWP model reanalyses over Africa. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 133(629), 2011-2027.
- Boehm, J., Werl, B., & Schuh, H. (2006). Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data. *Journal of geophysical research: solid earth*, 111(B2).
- Davis, J. L., Herring, T. A., Shapiro, I. I., Rogers, A. E. E., & Elgered, G. (1985). Geodesy by radio interferometry: Effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length. *Radio science*, 20(6), 1593-1607.
- Deniz, I., Mekik, C., & Gurbuz, G. (2015). Türkiye için Islak Zenit Gecikmesi Su Buharı Dönüşüm Faktörünün Modellenmesi. *UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers. 15. Turkey Scientific and Technical Conference*, Ankara, Turkey.
- Deniz, I., & Mekik, C. (2017). TUSAGA-Aktif'in GNSS Meteorolojisi Ağı Olarak Kullanılması. *UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers. 16. Turkey Scientific and Technical Conference*, Ankara, Turkey.
- Duan, J., Bevis, M., Fang, P., Bock, Y., Chiswell, S., Businger, S., Rocken, C., Solheim, F., van Hove, T., Ware, R., McClusky, S., Herring, T.A., & King, R.W. (1996). GPS meteorology: Direct estimation of the absolute value of precipitable water. *Journal of applied meteorology*, 35(6), 830-838.
- Jin, S., Park, J. U., Cho, J. H., & Park, P. H. (2007). Seasonal variability of GPS-derived zenith tropospheric delay (1994–2006) and climate implications. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 112(D9).

- Jin, S., Luo, O. F., & Gleason, S. (2009). Characterization of diurnal cycles in ZTD from a decade of global GPS observations. *Journal of Geodesy*, 83(6), 537-545.
- Leandro, R. F., Santos, M. C., & Langley, R. B. (2006). UNB neutral atmosphere models: development and performance. *Proceedings of ION NTM*, 564-573.
- Leandro, R. F., Santos, M. C., & Langley, R. B. (2007). GAPS: The GPS analysis and positioning software-A brief overview. In *Proceedings of the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2007)*, 1807-1811.
- Li, W., Yuan, Y., Ou, J., Li, H., & Li, Z. (2012). A New Global, Zenith Tropospheric Delay IGGtrop for GNSS Applications. *Chin. Sci. Bull.*, 57, 2132 - 2139.
- Li, X., Dick, G., Lu, C., Ge, M., Nilsson, T., Ning, T., Wickert, J., & Schuh, H. (2015). Multi-GNSS meteorology: real-time retrieving of atmospheric water vapor from BeiDou, Galileo, GLONASS, and GPS observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(12), 6385-6393.
- Lu, C., Li, X., Nilsson, T., Ning, T., Heinkelmann, R., Ge, M., Glaser, S., & Schuh, H. (2015). Real-time retrieval of precipitable water vapor from GPS and BeiDou observations. *Journal of Geodesy*, 89(9), 843-856.
- Lu, C., Li, X., Ge, M., Heinkelmann, R., Nilsson, T., Soja, B., Dick, G., & Schuh, H. (2016). Estimation and evaluation of real-time precipitable water vapor from GLONASS and GPS. *GPS solutions*, 20(4), 703-713.
- Mekik, C., & Deniz, I. (2017). Modelling and validation of the weighted mean temperature for Turkey. *Meteorological Applications*, 24(1), 92-100.
- Niell, A. E. (1996). Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101(B2), 3227-3246.
- Rocken, C., van Hove, T., & Ware, R. (1997). Near real-time GPS sensing of atmospheric water vapor. *Geophysical research letters*, 24(24), 3221-3224.
- Saastamoinen, J. (1972). Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging satellites. *The use of artificial satellites for geodesy*, 15, 247-251.
- Smith, S. W. (2003). *Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists*. Burlington, USA: Newnes.
- Tunali, E., & Ozludemir, M. T. (2019). GNSS PPP with different troposphere models during severe weather conditions. *GPS Solutions*, 23(3), 82.
- Vedel, H., & Huang, X. Y. (2004). Impact of ground based GPS data on numerical weather prediction. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 82(1B), 459-472.
- Wang, J., & Zhang, L. (2008). Systematic errors in global radiosonde precipitable water data from comparisons with ground-based GPS measurements. *Journal of Climate*, 21(10), 2218-2238.
- Wang, J., & Zhang, L. (2009). Climate applications of a global, 2-hourly atmospheric precipitable water dataset derived from IGS tropospheric products. *Journal of Geodesy*, 83(3-4), 209-217.
- Xu, A., Xu, Z., Ge, M., Xu, X., Zhu, H., & Sui, X. (2013). Estimating zenith tropospheric delays from BeiDou navigation satellite system observations. *Sensors*, 13(4), 4514-4526.
- Zhang, H., Yuan, Y., Li, W., Li, Y., & Chai, Y. (2016). Assessment of three tropospheric delay models (IGGtrop, EGNOS and UNB3m) based on precise point positioning in the Chinese region. *Sensors*, 16(1), 122.
- URL-1: WMO. <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/global-observing-system> (Accessed: 14 August 2020).
- URL-2: Radiosonde. University of Wyoming, Department of Atmospheric Science. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (Accessed: 1 July 2018).
- URL-3: GAPS. GNSS Analysis and Positioning Service. <http://gaps.gge.unb.ca> (Accessed: 30 June 2018).
- URL-4: ISKI CORS. <http://ukbs.iski.gov.tr> (Accessed: 1 May 2018).

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi

Journal of Geodesy and Geoinformation

İÇİNDEKİLER - CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Türkiye denizlerinde GNSS reflektometre tekniği ile deniz seviyesi değişiminin araştırılması
Investigation of sea level variations in Turkish coasts using GNSS reflectometry 1-17
Cansu BEŞEL, Emine TANIR KAYIKÇI
- Hava Lidar verilerinin denetimsiz yapay sinir ağları kullanılarak filtrelenmesi
Filtering of airborne Lidar data by using unsupervised artificial neural Network 18-29
Alper ŞEN, Burcu BAYASLI
- Çoklu-GNSS çözümlerinin performansının internet tabanlı Trimble RTX servisi ile incelenmesi
Investigation of the performance of the Multi-GNSS analysis with web based Trimble RTX service 30-40
Gizem SEZER, Ali Hasan DOĞAN, Bahattin ERDOĞAN
- Web tabanlı CSRS-PPP uygulamasının farklı uydu sistemleri üzerindeki performansı
Performance of Web Based CSRS-PPP Service in Different Satellite Systems 41-56
Tuna EROL
- The performance analyses of support vector machine classifiers for examination of the temporal change of land-use/cover in the Beyşehir Basin in Turkey (1984-2018)
Türkiye'deki Beyşehir havzasında arazi kullanım/örtüsündeki zamansal değişimin incelenmesi için destek vektör makine sınıflandırıcılarının performans analizleri (1984-2018) 57-71
Münevver Gizem GÜMÜŞ, Süleyman Savaş DURDURAN
- Effect of altitude and distance on zenith tropospheric delay and integrated water vapour estimations in a local GNSS CORS network
Lokal bir GNSS CORS ağında yükseklik ve mesafenin zenit troposferik gecikme ve entegre su buharı kestirimleri üzerine etkisi... 72-83
Ömer GÖKDAŞ, Mustafa Tefrik ÖZLÜDEMİR

