

Harita Dergisi



Temmuz 2022
Sayı:168

ISSN 1300-5790
E-ISSN 2667-4084

Beşel, C., Tanır Kayıkçı, E.: **Karadeniz Kıyısında TUDES Ortak Yerleşkeli GNSS İstasyonu Deniz Seviyesi Gözlemlerinden GNSS-IR Tekniği ile Gelgit Bileşenlerinin Belirlenmesi** (Determination of Tidal Constituents from Sea Level Observations at the TUDES Co-Located GNSS Stations in the Black Sea Coast Using GNSS-IR Technique)

Aytekin, G., Topan, H.: **Üçlü Bindirmeli Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Zonguldak Test Alanında Algılayıcıya Bağımlı Yöneltilme Modeli ile Belirlenmesi** (Determination of Georeferencing Accuracy of Göktürk-1 Tri-Stereo Satellite Images by Sensor Dependent Orientation Model in Zonguldak Test Site)

Yağmur, N., Musaoğlu, N.: **Havalimanlarında Yapısal Değişimlerin PSInSAR Tekniği ile Belirlenmesi: İstanbul Havalimanı Örneği** (Detection of Structural Movements with PSInSAR Technique at Airports: A Case Study of Istanbul Airport)

Simav, M., Akdoğan, Y.A.: **Accurate Lever Arm Determination via 3D Triangulation for Aided Inertial Navigation Systems** (Destekli Ataletsel Navigasyon Sistemlerinde 3B Üçgenleme Yöntemi ile Kol Kaçıklığının Hassas Olarak Belirlenmesi)

Birgören, M., Yıldız, F.: **Kamu Kurum ve Kuruluşlarının Coğrafi İhtiyaçlarını Karşılatabilecek Taşınmaz Coğrafi Varlıkların Modellenmesi** (Modelling of Immovable Geographic Entities That Can Meet the Geo-Requirements of Public Institutions and Establishments)

HARİTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, ANKARA

www.harita.gov.tr/harita-dergisi



HARİTA DERGİSİ

Temmuz 2022

Yıl: 88 Sayı: 168

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

Sahibi

Harita Genel Müdürlüğü Adına
Tuğgeneral Hurşit AĞIRCAN

Sorumlu Müdür

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

Editör

Yük.Müh.Alb. Selçuk CEYLAN

Editör Yardımcıları

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

Yönetim Kurulu

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

Yönetim Yeri Adresi

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

Tel: (312) 595 21 21-20

Faks: (312) 320 14 95

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

e-posta: haritadergisi@harita.gov.tr

Basım Yeri

Harita Genel Müdürlüğü Matbaası
ANKARA

ISSN 1300 – 5790

E-ISSN 2667 – 4084

Bu dergide yayımlanan makaleler,
yazarlarının özel fikirlerini yansıtır.

TÜBİTAK-ULAKBİM Mühendislik ve
Temel Bilimler Veri Tabanında
(TÜBİTAK MTBVT) taranmaktadır.

İ Ç İ N D E K İ L E R

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

Karadeniz Kıyısında TUDES Ortak Yerleşkeli GNSS İstasyonu Deniz Seviyesi Gözlemlerinden GNSS-IR Tekniği ile Gelgit Bileşenlerinin Belirlenmesi (Determination of Tidal Constituents from Sea Level Observations at the TUDES Co-Located GNSS Stations in the Black Sea Coast Using GNSS-IR Technique)

Cansu BEŞEL, Emine TANIR KAYIKÇI

1 – 12

Üçlü Bindirmeli Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Zonguldak Test Alanında Algılayıcıya Bağımlı Yöneltilme Modeli ile Belirlenmesi (Determination of Georeferencing Accuracy of Göktürk-1 Tri-Stereo Satellite Images by Sensor Dependent Orientation Model in Zonguldak Test Site)

Gürsu AYTEKİN, Hüseyin TOPAN

13 – 27

Havalimanlarında Yapısal Değişimlerin PSInSAR Tekniği ile Belirlenmesi: İstanbul Havalimanı Örneği (Detection of Structural Movements with PSInSAR Technique at Airports: A Case Study of Istanbul Airport)

Nur YAĞMUR, Nebiye MUSAOĞLU

28 – 37

Accurate Lever Arm Determination via 3D Triangulation for Aided Inertial Navigation Systems (Destekli Ataletsel Navigasyon Sistemlerinde 3B Üçgenleme Yöntemi ile Kol Kaçıklığının Hassas Olarak Belirlenmesi)

Mehmet SİMAV, Yunus Aytaç AKDOĞAN

38 – 44

Kamu Kurum ve Kuruluşlarının Coğrafi İhtiyaçlarını Karşılatabilecek Taşınmaz Coğrafi Varlıkların Modellenmesi (Modelling of Immovable Geographic Entities That Can Meet the Geo-Requirements of Public Institutions and Establishments)

Muharrem BİRGÖREN, Ferruh YILDIZ

45 – 62

Bilim Kurulu

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

**Harita Dergisi'nin 168. Sayısında Makalelerin
Değerlendirilmesinde Hakemlik Yapan
Akademisyenler**

Prof.Dr. Halil AKINCI (AÇÜ)
Prof.Dr. Bahadır AKTUĞ (AÜ)
Prof.Dr. Cüneyt AYDIN (YTÜ)
Prof.Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU (GTÜ)
Prof.Dr. Ziyadin ÇAKIR (İTÜ)
Prof.Dr. Süleyman Savaş DURDURAN (NEÜ)
Prof.Dr. Ali Özgün OK (HÜ)
Prof.Dr. Nursu TUNALIOĞLU ÖCALAN (YTÜ)
Prof.Dr. Doğan Uğur ŞANLI (YTÜ)
Doç.Dr. Saygın ABDİKAN (HÜ)
Doç.Dr. Hakan AKÇIN (BEÜ)
Doç.Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU (İTÜ)
Dr.Öğr.Üyesi Murat DURMAZ (HÜ)
Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin KEMALDERE (BEÜ)
Dr.Müh.Alb. Veyssel Okan ATAK (HGM)
Dr.Müh.Alb. Yavuz Selim ŞENGÜN (HGM)

Karadeniz Kıyısında TUDES Ortak Yerleşkeli GNSS İstasyonu Deniz Seviyesi Gözlemlerinden GNSS-IR Tekniği ile Gelgit Bileşenlerinin Belirlenmesi (Determination of Tidal Constituents from Sea Level Observations at the TUDES Co-Located GNSS Stations in the Black Sea Coast Using GNSS-IR Technique)

Cansu BEŞEL¹ , Emine TANIR KAYIKÇI¹ 

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

*Sorumlu yazar : cansubesel@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 14.02.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 27.07.2022

ÖZ

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri İnterferometrik Reflektometri (GNSS-IR), yansıyan sinyalleri kullanarak deniz seviyesinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, geleneksel mareograf ölçümlerine alternatif bir teknik olarak düşünülmektedir. Bu çalışmada; GNSS-IR tekniğinin gelgit bileşenlerinin belirlenmesine katkısı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi'ne (TUDES) bağlı mareograf istasyonu ile ortak yerleşkeli TRBZ sabit GNSS istasyonuna ait Sinyal Gürültü Oranı verileri kullanılmıştır. SNR verilerine dayalı olarak GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi gözlemleri hesaplanmıştır. Ardından, GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemleri ve mareograf kayıtları için yarı-günlük (M2, S2) ve günlük (K1, O1, P1) gelgitlerin genlikleri tahmin edilmiştir. Elde edilen genlikler karşılaştırıldığında, maksimum ve minimum fark sırasıyla 4.16 cm ve 0.09 cm olarak bulunmuştur. Son olarak, mareograf kayıtlarından ve GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemlerinden hesaplanan gelgit bileşenleri EOT20 küresel okyanus gelgit modeli ile karşılaştırılmıştır. GNSS-IR ve EOT20 küresel okyanus gelgit modeli arasındaki maksimum ve minimum genlik farkları sırasıyla 4.65 cm ve 0.35 cm olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda, yapılacak iyileştirmelerle beraber ülkemizde GNSS-IR tekniğinin de gelgit bileşenlerinin belirlenmesinde bir potansiyel olabileceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deniz Seviyesi, GNSS İnterferometrik Reflektometri, Gelgit Bileşenleri, Küresel Okyanus Modelleri

ABSTRACT

Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry (GNSS-IR) enables to retrieve sea surface heights using the reflected signal. Moreover, GNSS-IR is considered a promising alternative to conventional tide gauges. This study investigates the contribution of the GNSS-IR technique to the determination of tidal constituents. Within the scope of the study, we used Signal-to-Noise Ratio data from the TRBZ co-located GNSS station operated by the Turkish National Sea Level Monitoring System (TUDES). Moreover, sea level variations were calculated using GNSS-IR SNR data to examine the tidal variability and to investigate the contribution of the GNSS-IR technique to the determination of tidal constituents. Then, semi-diurnal (M2, S2) and diurnal

(K1, O1, P1) amplitudes of tidal constituents were computed from GNSS-IR-based sea level observations and tide gauge records. The comparison of amplitudes demonstrated that the maximum and minimum differences were 4.16 cm and 0.09 cm, respectively. Finally, estimated the tidal constituents from tide gauge records and GNSS-IR-based sea level observations were compared with global ocean tide models such as EOT20. The maximum and minimum differences in amplitude obtained from GNSS-IR and the EOT20 model were 4.65 cm and 0.35 cm, respectively. As a result of the study, it is considered that the improving GNSS-IR technique may also have the potential in estimating the tidal constituents.

Keywords: Sea Level, GNSS Interferometric Reflectometry, Tidal Constituents, Global Ocean Models

1. GİRİŞ

Artan deniz seviyesinin özellikle kıyı alanlarında çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, deniz seviyesinde zaman içerisinde meydana gelen değişimin etkili ve doğru bir şekilde gözlemlenmesi ve değişime neden olan faktörlerin belirlenmesi özellikle kıyı alanları için önemlidir. Deniz seviyesi, iklim değişikliği çalışmalarının yanı sıra sosyal, ekonomik ve çevresel alanda birçok uygulamaya katkı sağlayan bir bilim dalı olan jeodezi için de önemlidir. Geleneksel jeodezik yaklaşımda uzun dönemli ortalama deniz seviyesinin değişmediği kabul edilmiş ve düşey kontrol ağlarının datumu olarak kullanılmıştır. Ancak zaman içerisinde global deniz ve okyanus seviyesindeki gözlenen yüksek artış hızları, deniz seviyesinin beklenildiği gibi değişmeyen bir yüzey olmadığını ortaya çıkarmıştır. Bu anlamda deniz seviyesi değişimlerinin izlenmesi ve yorumlanması jeodezik düşey datum tanımlanması ve jeoidin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) gözlemleri konum belirleme çalışmalarının yanında jeodinamik aktiviteler, iklim değişikliği ve meteoroloji gibi çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır. GNSS İnterferometrik Reflektometri (GNSS-IR), GNSS sinyal yansıma

etkisinden yararlanarak pek çok alanda kullanılabilen yenilikçi bir tekniktir. Sinyal yansıma etkisi, konum belirleme amaçlı kullanılan GNSS gözlemleri için istenmeyen hata kaynaklarından biridir. Ancak zaman içerisinde yapılan çeşitli çalışmalarla yansıyan sinyalin farklı çalışmalarda kullanılabilir olduğu görülmüştür. GNSS-IR tekniği; başlıca deniz seviyesi (Geremia-Nievinski ve diğerleri, 2020; Larson, Löfgren ve Haas, 2013; Larson, Ray, Nievinski ve Freymueller, 2013; Larson, Ray ve Williams, 2017; Tabibi, Sauveur, Guerrier, Metayer ve Francis, 2021; Wang, Zhang ve Zhang, 2018), kar kalınlığı (Larson ve Nievinski, 2013; Zhang ve diğerleri, 2021), toprak nemi (Larson ve diğerleri, 2008; Vey, Güntner, Wickert, Blume ve Ramatschi, 2016), buz kalınlığı (Ghiasi ve diğerleri, 2020; Selbesoğlu ve diğerleri, 2021) ve ekstrem hava olaylarının belirlenmesi (Karegar, Larson, Kusche ve Dixon, 2020; Larson ve diğerleri, 2021) gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Hassas konum belirleme için istenmeyen bu hata kaynağının deniz seviyesinin gözlemlenmesinde kullanılması, GNSS elektromanyetik dalgalarındaki doğrudan gelen ve dolaylı sinyal girişimlerinin yansıma yüzeylerinin özelliklerinin kestirilmesi ile gerçekleştirilmiştir (Martin-Neira, 1993). Daha sonra, Anderson (2000) okyanuslarda doğrudan gelen ve yansıyan sinyaller arasındaki Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio, SNR) girişim desenlerini belirlemiştir. GNSS tabanlı mareograf ise ilk olarak Larson ve diğerleri (2013) tarafından SNR gözlemlerini kullanarak rölatif deniz seviyesi değişimini ölçmek için sunulmuştur. GNSS-IR tabanlı deniz seviyesinin belirlenmesine temel oluşturan bu önemli çalışmaların ardından tekniğin kullanılabilirliği ve geliştirilmesine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Wang vd. (2018), SNR verilerine dalgacık dönüşümünden sonra Lomb-Scargle periodogram (LSP) yöntemini uygulamış ve geliştirilen yöntemin kısa dönemli SNR verileri için daha uygun olduğu görülmüştür. Geremia-Nievinski vd. (2020), Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG) çalışma grubu 4.3.9 kapsamında gerçekleştirilen, bağımsız araştırma gruplarının yapmış olduğu SNR verilerine dayalı GNSS-IR tekniği ile hesaplanan deniz seviyesi sonuçlarını karşılaştırmıştır. Tüm gruplar GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi ve yerinde gözlem verileri arasında yüksek oranda korelasyon elde etmiştir. Zheng vd. (2021), SNR verilerinden yararlanarak çoklu-GNSS için ters çözüm ile Doğu Afrika kıyılarında iki yıllık zaman aralığında deniz seviyesi değişimini belirleyerek tersine çözümün doğruluğunu araştırmıştır. Beşel ve Tanır Kayıkçı (2021a), Türkiye'nin Akdeniz kıyısında

bulunan MERS IGS istasyonu GPS L1 ve L5 SNR verilerini kullanarak hem LSP analizi hem de LSP ile Hareketli Ortalamalar (LSP-MA) bütünleşik bir yaklaşımla deniz seviyesi değişimini belirlemiştir. LSP-MA yöntemi sonucunda GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi belirleme performansının arttığı görülmüştür. Beşel ve Tanır Kayıkçı (2021b), Türkiye kıyılarında bulunan denize yakın GNSS istasyonlarını kullanarak GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi belirlenebilirliğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, MERS ve TEKR istasyonları GNSS-IR ile deniz seviyesi belirlenmesine elverişli istasyonlar olarak bulunmuştur. GNSS-IR tekniği halen devam etmekte olan iyileştirme çalışmaları ile birlikte deniz seviyesinin belirlenmesine alternatif bir teknik olarak gösterilmektedir. Dolayısıyla bilim dünyasında oldukça ilgi görmektedir.

Deniz seviyesi gözlemlerini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Sıcaklık, rüzgar hızı, atmosferik basınç gibi meteorolojik parametreler ve gelgit etkisi başlıca faktörlerdir. Deniz seviyesinde gelgit değişimine bağlı olarak zaman içerisinde artma veya azalma meydana gelmektedir. Bunun sonucunda deniz seviyesi sabit kalmamaktadır. Artma veya azalma eğilimleri konuma göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, deniz seviyesindeki değişime etki eden faktörlerin belirlenmesi ve doğru olarak tahmin edilmesi için gelgit etkisinin belirlenmesi önemlidir. Gelgit etkisi temelde çeşitli harmonik analizler veya küresel okyanus modelleri ile belirlenmektedir. Kıyı alanlarındaki gelgit etkisini belirlemek için çoğunlukla mareograf deniz seviyesi kayıtlarından gelgit analizi yapılmaktadır. Son zamanlarda GNSS-IR tekniğinin çeşitli alanlardaki uygulamalarının yanında gelgit bileşenlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda da kullanıldığı görülmektedir. Bu açıdan, mareograf istasyonları ile deniz seviyesi belirlenmesine alternatif olarak gösterilen GNSS-IR tekniğinin gelgit etkisi belirlenmeye katkısının araştırılması önemlidir. Löfgren vd. (2014), beş farklı GPS istasyonundan hesaplamış olduğu GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi ve mareograf kayıtları için gelgit harmonik analizi yaparak karşılaştırmış olup uzun periyotlu gelgitlerin daha büyük farklara sahip olduğunu görmüştür. Williams & Nievinski (2017), GNSS-IR ile tahmin edilen tüm büyük gelgit harmoniklerini yakında bulunan mareograf istasyonu ile tahmin edilen harmoniklerden küçük olarak bulmuştur. Larson vd. (2017), L1 SNR verilerinden GNSS-IR tekniği ile tahmin etmiş olduğu deniz seviyesi ve mareograf kayıtlarından hesapladığı gelgit bileşenlerini karşılaştırmıştır. Sonuç olarak

maksimum farkı K1 bileşeninde bulmuştur. Tabibi vd. (2020), L1 SNR ve L2 SNR verilerinden yararlanarak Antarktika ve Grönland bölgesinde GNSS-IR tekniği ile günlük ve yarı-günlük gelgit bileşenlerini hesaplamıştır. Ardından, gelgit bileşenlerini mareograf, küresel ve bölgesel okyanus modelleri ile karşılaştırarak bir saatin altındaki GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemlerinin gelgit bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılabilir olduğunu görmüştür. Ülkemizde ise kıyıya yakın GNSS istasyonları kullanarak GNSS-IR tekniğine dayalı deniz seviyesi değişimi çeşitli çalışmalar ile belirlenmiştir (Altuntaş ve Tunalıoğlu, 2022; Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2021b, 2021a). Ancak GNSS-IR tekniği ile belirlenen deniz seviyesinden gelgit analizi çalışmasına ise henüz rastlanmamıştır.

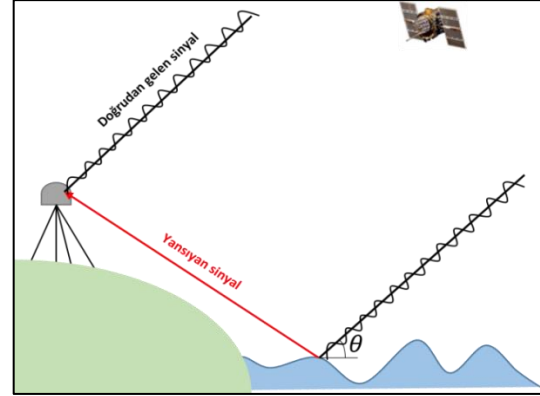
Bu çalışmada, ülkemizde denize yakın GNSS istasyonu kullanarak GNSS-IR tekniği ile elde edilen deniz seviyesi gözlemlerinin gelgit bileşenlerinin belirlenmesine katkısının araştırılması amaçlanmaktadır. Bunun için, Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) ortak yerleşkeli TRBZ GNSS istasyonu kullanarak GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi değişimi belirlenmiştir. Elde edilen deniz seviyesi değişimlerinden harmonik analiz ile gelgit bileşenleri hesaplanmıştır. Ardından GNSS-IR, mareograf ve EOT20 küresel okyanus gelgit modelinden hesaplanan her bir gelgit bileşeni karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

a. GNSS İnterferometrik Reflektometri

Kıyı alanlarında bulunan GNSS istasyonlarından yararlanan GNSS-IR tekniği sağladığı önemli avantajlarla birlikte kıyısız deniz seviyesinin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Başlıca avantajları şu şekilde sıralanabilir: (1) mareografin aksine düşey yer hareketinden etkilenmez; (2) geleneksel mareograf istasyonuna nazaran kıyıda daha geniş alandaki deniz seviyesi değişikliklerini algılar; (3) kurulum ve bakım maliyeti daha düşüktür; (4) sensörü kalibre etme ihtiyacı yoktur; (5) Uluslararası Yersel Referans Ağı'na (ITRF) göre deniz seviyesinin ölçülmesine olanak sağlar.

GNSS-IR tekniği, anten faz merkezi ve deniz seviyesi arasındaki düşey mesafenin ölçülmesi ile deniz seviyesinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. GNSS antenine gelen doğrudan sinyal ile yansıyan sinyal anten faz merkezinde birleşmekte olup burada bir girişim deseni oluşturmaktadır (Şekil 1). Bu girişim deseni en fazla SNR verilerinde gözlemlenmektedir.



Şekil 1. Deniz seviyesinin izlenmesinde GNSS-IR (θ; uydu yükseklik açısı)

Alıcıya gelen sinyalin SNR ile olan matematiksel ilişkisi,

$$SNR^2 \approx A_c^2 = A_d^2 + A_r^2 + 2A_dA_r\cos\psi \quad (1)$$

şeklinde 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 farkını ifade etmektedir. Doğrudan gelen sinyalin etkisini kaldırarak sadece yansıyan sinyali kullanmak için tüm veriye düşük dereceli polinom uygulanarak trend veri setinden çıkarılmaktadır. Böylece, doğrudan gelen sinyalin etkisinin kaldırıldığı trendden arındırılmış SNR verileri (δSNR) elde edilmektedir. Trendden arındırılmış SNR verisi için sinyal yansıma etkisi salınımları,

$$\delta SNR = A\cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda}\sin(\theta) + \varphi\right) \quad (2)$$

olarak ifade edilir. Burada, A ; genlik, h ; anten faz merkezi ile yansıma yüzeyi arasındaki düşey mesafe (reflektör yüksekliği), λ ; GNSS taşıyıcı dalga boyu, θ ; uydu yükseklik açısını, φ ; faz ofsetini ifade etmektedir. δSNR salınımlarındaki baskın frekans LSP yöntemi ile belirlenebilmektedir. Baskın frekans en yüksek spektral güce karşılık gelmekte olup $H = \frac{\lambda f}{2}$ kullanılarak reflektör yüksekliğine dönüştürülmektedir (Larson, Ray, ve diğerleri, 2013).

b. Gelgit Bileşenlerinin Belirlenmesi

Ay ve Güneş'in çekim kuvvetiyle meydana gelen gelgitler, deniz seviyesi değişimine etki eden en önemli faktörlerden biridir. Deniz seviyesi üzerinde harmonik ve düzenli etkiye sahiptir. Gelgit sinyalleri çok sayıda farklı genlik ve frekansa sahip harmonik bileşenler tarafından

ifade edilebilmektedir. Bir harmonik model,

$$h(t_j) = H_0 + A \cos(w_a t_j + \alpha) + B \cos(w_b t_j + \beta) + \dots \quad (3)$$

şeklindedir. Burada; t_j zaman, H_0 ; ortalama deniz seviyesi, A ve B ; gelgit bileşenleri genlikleri, α ve β ; başlangıç faz açıları, w_a ve w_b gelgit bileşenlerinin açısal hızlarını ifade etmektedir (Schureman, 2001). Bu çalışmada, gelgit bileşenlerinin genliklerini belirlemek için Pawłowicz vd. (2002) tarafından geliştirilen MATLAB programlama dilinde yazılan **T_Tide** klasik gelgit harmonik analiz yazılımı kullanılmıştır. Gelgit türleri yarı-günlük, günlük ve karışık olmak üzere üç temel türe ayrılmaktadır. Tablo 1’de günlük ve yarı-günlük olmak üzere beş temel gelgit bileşenine ait bilgiler verilmektedir.

Tablo 1. Temel gelgit bileşenleri

Bileşen	Açıklama	Periyot (Saat)
K1	Lunar Solar, Günlük	23.93
P1	Main Solar, Günlük	24.06
O1	Main Lunar, Günlük	25.81
M2	Main Lunar, Yarı-günlük	12.42
S2	Main Solar, Yarı-günlük	12.00

c. Performans Değerlendirmesi

GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi ile mareograf kayıtları karşılaştırılarak tekniğin performansı değerlendirilmiştir. Bunun için, Pearson korelasyon katsayısı ve Karesel Ortalama Hata (KOH) metrikleri kullanılmıştır. Pearson korelasyonu ($r_{\text{GNSSIRMAR}}$) ve KOH,

$$r_{\text{GNSSIRMAR}} = \frac{m_{\text{GNSSIRMAR}}}{m_{\text{GNSSIR}} m_{\text{MAR}}} \quad (4)$$

$$\text{KOH} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(S_{\text{GNSSIR},i} - S_{\text{MAR},i})^2}{n}} \quad (5)$$

şeklindedir. Burada; m_{GNSSIR} ve m_{MAR} değişkenlerin ortalama hatalarını, $m_{\text{GNSSIRMAR}}$ ($\text{GNSSIR}_i, \text{MAR}_i$) değişken çiftinin kovaryansını, n ; veri sayısını, $S_{\text{GNSSIR},i}$; GNSS-IR tekniği ile hesaplanan deniz seviyesi gözlemlerini, $S_{\text{MAR},i}$; mareograf istasyonu deniz seviyesi kayıtlarını ifade etmektedir.

3. UYGULAMA

a. Çalışma Alanı ve Veri

Çalışma kapsamında, TUDES bünyesinde bulunan mareograf ortak yerleşkeli TRBZ GNSS istasyonu kullanılmıştır. TRBZ istasyonu Doğu Karadeniz kıyısında, Trabzon ilinde bulunmaktadır. İstasyon Trimble alıcı ve TRM39105.00 anten donanımına sahiptir. Çalışmada GPS L1 frekansı SNR verileri kullanılmıştır. Veri zaman aralığı yaklaşık iki yıl (Temmuz 2019-Ağustos 2020) olup veri kayıt aralığı ise 30 saniyedir. GNSS tabanlı deniz seviyesi değişimlerini karşılaştırarak doğrulama yapmak için istasyona ortak yerleşkeli Trabzon mareograf istasyonu kayıtlarından yararlanılmıştır. Trabzon mareograf istasyonu radar sensörlü sisteme sahip ve veri kayıt aralığı 15 dakikadır (Şekil 2). Tablo 2’de TRBZ GNSS istasyonu ve Trabzon mareograf istasyonuna ait bilgiler verilmiştir.



(a)



(b)

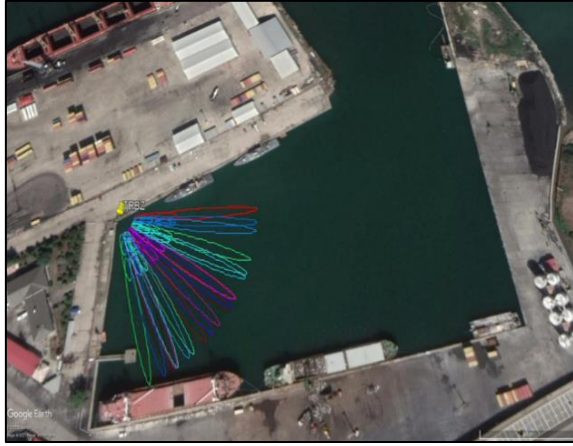
Şekil 2. (a) GNSS istasyonu konumu; (b) TRBZ mareograf ortak yerleşkeli GNSS istasyonu

Tablo 2. Çalışmada kullanılan istasyon bilgileri

İstasyon	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Boşluk Oranı (%)	Veri Kayıt Aralığı
TRBZ	41.0019	39.7445	0.22	30 sn
Trabzon	41.0019	39.7445	2.5	15 dk

b. Veri Analizi

Jeodezik GNSS-IR; GNSS alıcısı ve yansıtıcı yüzey arasındaki mesafe ve GNSS uydu pozisyonlarına bağlıdır. Bu nedenle, öncelikle istasyonun bulunduğu bölgede deniz alanlarını kapsayacak şekilde uydu yükseklik açısı ve azimut aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 3'te 5°, 10° ve 15° uydu yükseklik açısına sahip uydu izleri için hesaplanan Fresnel bölgeleri Google Earth görüntüsü üzerinde gösterilmiştir.



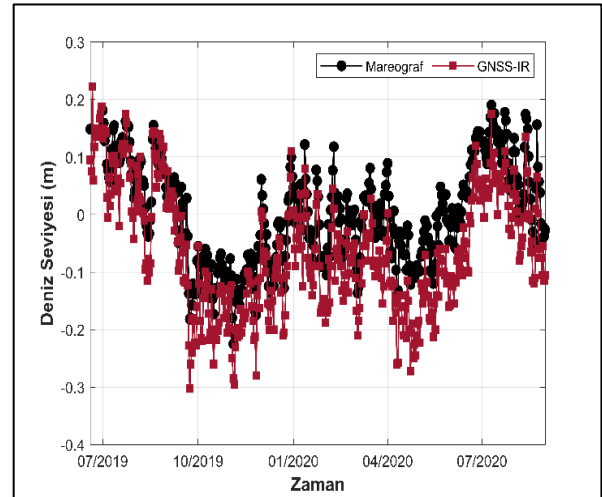
Şekil 3. TRBZ istasyonu Fresnel bölgesi

Uydu yükseklik açısı arttıkça yansıma bölgeleri antene yaklaşmaktadır. Bu nedenle, TRBZ istasyonunun bulunduğu bölgede 15° üzerindeki uydu yükseklik açılarında Fresnel bölgelerinin karasal alanları içerebileceği ve aynı zamanda istasyonun liman içerisinde bulunması sebebiyle gemilerin istasyon yakınında olabileceği de göz önünde bulundurularak uydu yükseklik açısı aralığı 5°-15°, azimut aralığı ise 85°-160° olarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan azimut ve yükseklik açısı aralıkları Tablo 3'te gösterilmiştir.

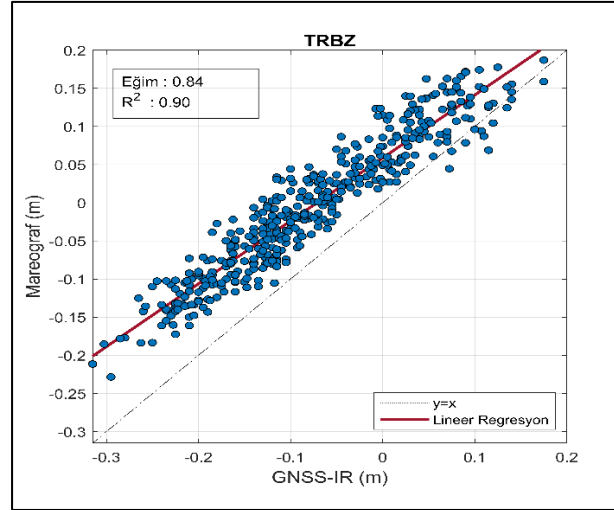
Tablo 3. Azimut ve uydu yükseklik açısı aralıkları

	TRBZ
Azimut (derece)	85-160
Yükseklik açısı (derece)	5-15

İlgili koşulları sağlayan tüm uydular yükselen ve alçalan uydu geçişleri olarak iki gruba ayrılmıştır. Gruplarda bulunan tüm uydulara ait SNR verilerine 2. dereceden polinom uygulanarak doğrudan gelen sinyalin etkisinden arındırılmış δ SNR verileri elde edilmiştir. Ardından, δ SNR salınımlarına uygulanan LSP sonucunda en yüksek spektral güce karşılık gelen baskın yansıma etkisi frekansı reflektör yüksekliğine dönüştürülmüştür. Bu aşamada, LSP sonucu hesaplanan pik değerlerinin anlamlı olup olmadığına karar vermek için pik-gürültü oranı testi uygulanmıştır (Larson, Löfgren, ve diğerleri, 2013). Buna göre en yüksek reflektör yüksekliği genliğinin gürültüye oranı 2.7 eşik değerinden küçük olan yansımalar anlamsız kabul edilip analizde kullanılmamıştır. Daha sonra, belirlenen reflektör yüksekliklerinin GNSS anteninin ortometrik yüksekliğinden farkı alınarak deniz seviyesi belirlenmiştir. TRBZ istasyonunda belirlenen deniz seviyesi aynı istasyonla ortak yerleşkeli Trabzon mareograf kayıtları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4, Şekil 5).



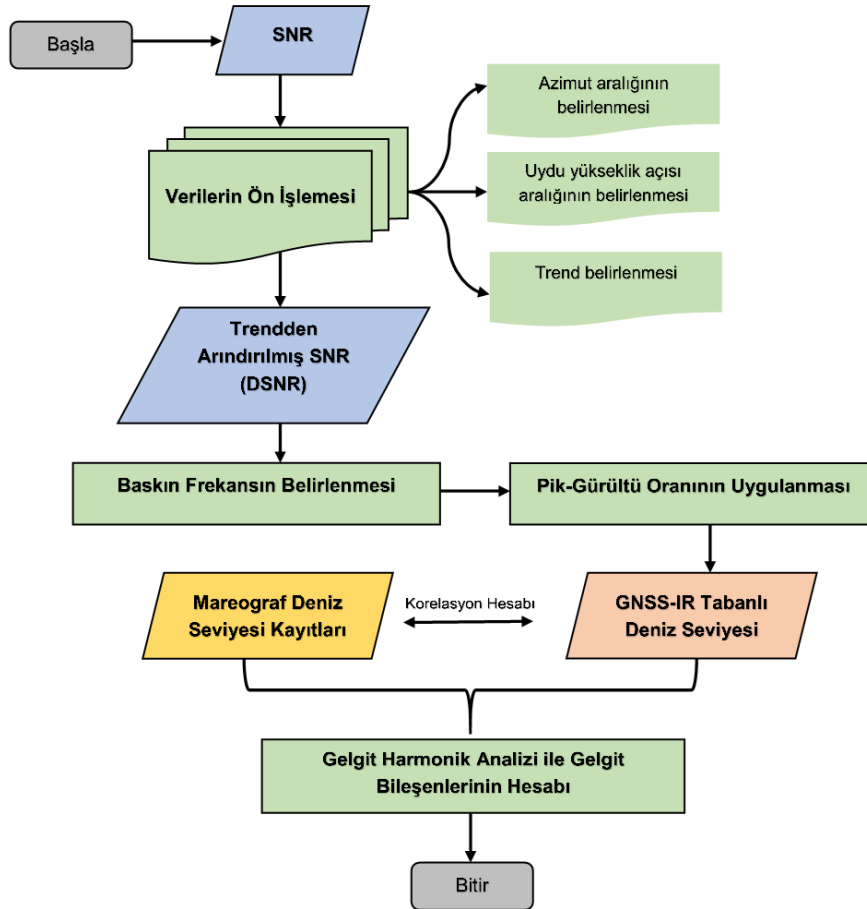
Şekil 4. GNSS-IR ile tahmin edilen ve Trabzon mareograf kayıtlarından elde edilen deniz seviyesi değişim grafiği



Şekil 5. GNSS-IR ve mareograf ile elde edilen deniz seviyesi değişimi saçınım grafiği

Her iki deniz seviyesi değişimi zaman serisi arasındaki Pearson korelasyonu 0.95, KOH değeri ise 2.83 cm olarak bulunmuştur. GNSS-IR ve mareograf deniz seviyesi gözlem değerleri arasındaki eğim 0.84 m/m ve R^2 katsayısı ise

0.90 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi belirlenmesine yönelik detaylı bilgiler (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2021b) çalışmada bulunabilir. Şekil 6'da çalışmaya ait iş akış şeması verilmiştir.



Şekil 6. GNSS-IR ile deniz seviyesi tahmini ve gelgit bileşenlerinin hesabı iş akış şeması

Tablo 4. Mareograf kayıtları ve GNSS-IR tekniği ile elde edilen deniz seviyesi değişimlerinden hesaplanan gelgit genlikleri, faz ve duyarlılıkları

Bileşen	Mareograf				GNSS-IR				Farklar	
	Gen. (cm)	Gen. Duy. (cm)	Faz (°)	Faz Duy. (°)	Gen. (cm)	Gen. Duy. (cm)	Faz (°)	Faz Duy. (°)	Gen. (cm)	Faz (°)
P1	0.45	0.1	221.08	12.7	1.05	0.7	62.73	43.1	0.6	158.35
K1	0.83	0.1	256.3	5.72	4.99	0.6	231.7	7.49	4.16	24.6
O1	0.66	0.1	245.05	6.61	0.57	0.5	239.23	62.98	-0.09	5.82
M2	2.53	0.1	260.42	1.5	1.73	0.6	213.43	18.3	-0.8	46.99
S2	1.16	0.1	203.9	3	0.91	0.5	342.09	36.22	-0.25	-138.19

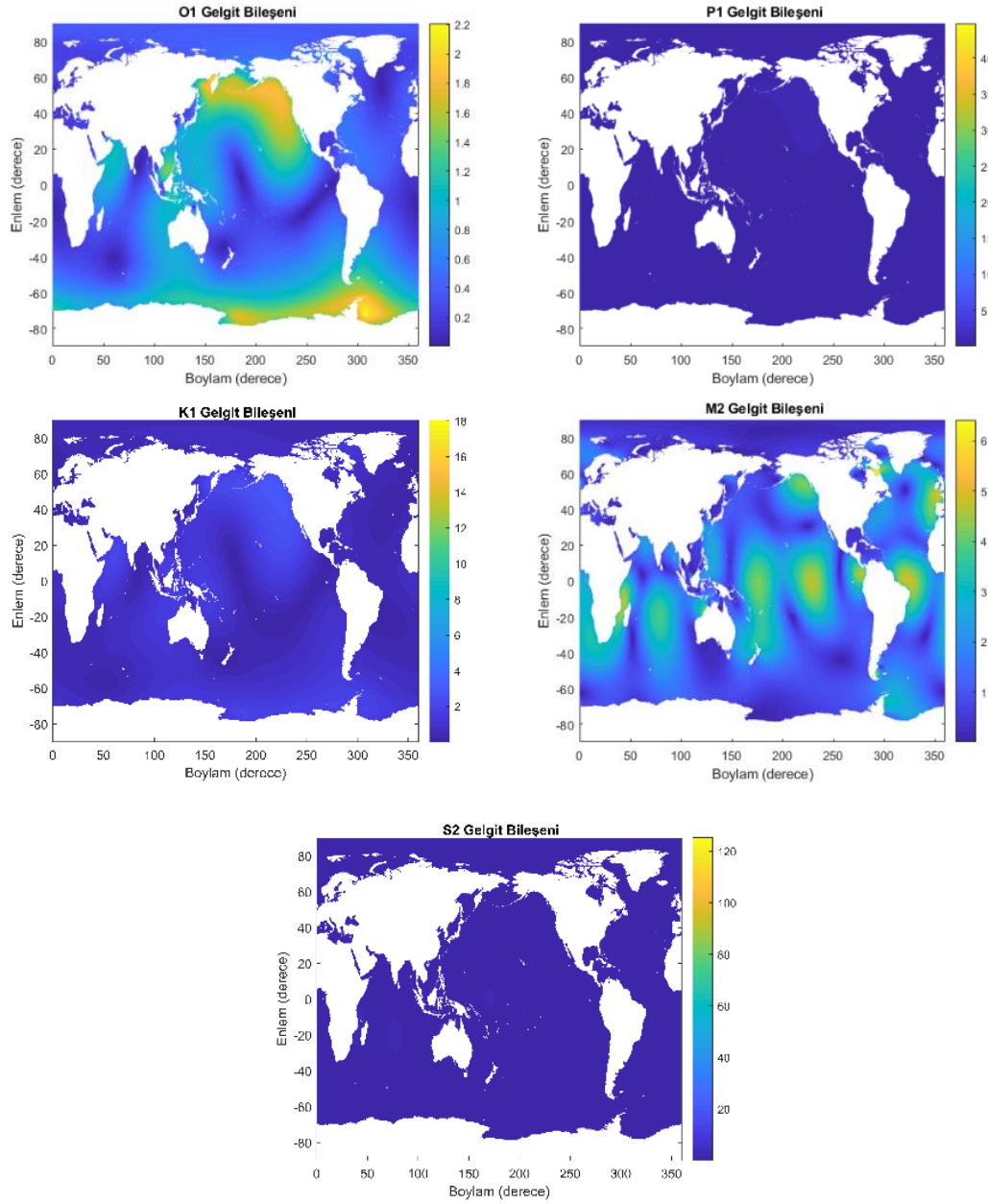
GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi ve mareograf kayıtları için harmonik analiz yöntemi ile günlük (P1,K1,O1) ve yarı-günlük (M2,S2) temel gelgit bileşenleri genlikleri ve fazları hesaplanmıştır. Tablo 4'te yaklaşık 2 yıllık zaman aralığına sahip GNSS-IR ve mareograf deniz seviyesi değişimlerinden hesaplanan gelgit genlikleri, fazları ve %95 istatistik güven ile duyarlılıkları verilmiştir. GNSS-IR ve mareograf deniz seviyesi değişimlerinden hesaplanan gelgit bileşenleri genlikleri karşılaştırıldığında; maksimum farkın 4.16 ± 0.5 cm ile K1 bileşeninde, minimum farkın ise -0.09 ± 0.4 cm ile O1 bileşeninde olduğu görülmüştür. Yarı-günlük (M2,S2) bileşenler mareograf ile kıyasladığında GNSS-IR ile daha küçük sonuçlar elde edilmiştir. GNSS-IR tekniği ve mareograf kayıtları ile elde edilen deniz seviyesi değişimlerinden hesaplanan gelgit genliklerinin farklarının ortalaması ve standart sapması sırasıyla 0.72 cm ve 1.98 cm olarak hesaplanmıştır. Burada, GNSS-IR genlik bileşenleri mareograf genlik bileşenlerine göre daha düşük hassasiyete sahip olarak bulunmuştur. Mareograf ile hesaplanan gelgit genliklerinin tamamı istatistiksel olarak anlamlıdır. GNSS-IR ve mareograf ile elde edilen gelgit genlikleri farklarının büyük çoğunluğu ise istatistiksel olarak anlamsızdır. Tabibi vd. (2020) çalışmasında mareograf ile hesaplanan gelgit bileşenlerini GNSS-IR tekniğine göre daha hassas bulmuştur. Aynı çalışmada mareograf ve

GNSS-IR gelgit bileşenleri farklarının çoğunluğunun istatistiksel anlamsız olduğu görülmüştür. GNSS-IR tekniği ile elde edilen gelgit genlikleri, tekniğin deniz seviyesi kestirim doğruluğuna bağlı olarak değişecektir. Bu aşamada GNSS-IR tekniğine dayalı deniz seviyesi belirlemeye ilişkin geliştirme ve iyileştirme çalışmaları ile gelgit belirleme duyarlılığının da artırılması mümkündür.

Çalışmada aynı zamanda GNSS-IR ve mareograf ile hesaplanan gelgit bileşenleri EOT20 küresel okyanus gelgit modelinden hesaplanan günlük ve yarı-günlük gelgit bileşenleri ile karşılaştırılmıştır. EOT20, Münih Teknik Üniversitesi, Alman Jeodezik Araştırma Enstitüsünde (DGFI-TUM) geliştirilen küresel okyanus gelgit modelidir. Okyanus gelgitlerinin artık sinyallerini tahmin etmek için FES2014 referans gelgit modeline göre gelgit analizi yapmaktadır. Çeşitli uydu altimetre misyonlarını kullanarak 17 gelgit bileşenine ait genlik ve faz değerlerini hesaplamaktadır. EOT 20 modelinin özellikle kıyı alanlarında iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Hart-Davis ve diğerleri, 2021). Tablo 5'te modele ilişkin bilgiler sunulmuştur. Şekil 7'de EOT20 küresel okyanus gelgit modeline göre hesaplanan O1, P1,K1,M2 ve S2 gelgit bileşenleri genlikleri gösterilmiştir. Bu model üzerinden de ülkemiz Karadeniz kıyılarının düşük gelgit genliklerine sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 5. EOT20 küresel okyanus gelgit modeline ilişkin bilgiler

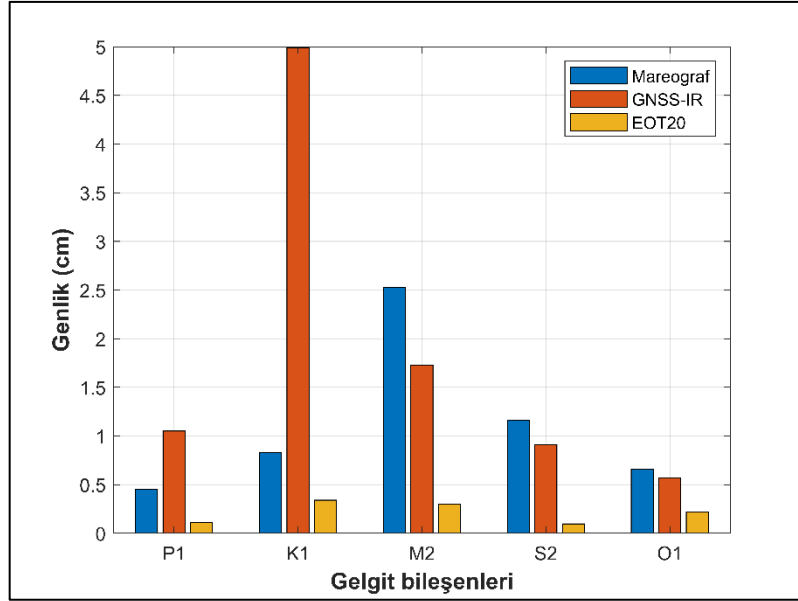
Model	Girdi	Çözünürlük	Gelgit Bileşenleri
EOT20	Topex/Poseidon, Jason-1/2/3, ERS-1/2, Envisat, ALES retracker	$0.125^\circ \times 0.125^\circ$	17 bileşen (2N2, J1, K1, K2, M2, M4, MF, MM, N2, O1, P1, Q1, S1, S2, SA, SSA ve T2)



Şekil 7. EOT20 küresel okyanus gelgit modeli ile tahmin edilen günlük ve yarı-günlük gelgit bileşenleri genlikleri (cm)

Tablo 6. Mareograf, GNSS-IR ve EOT20 küresel okyanus gelgit modeli gelgit genlikleri karşılaştırması

BİLEŞEN	MAREOGRAF	GNSS-IR	EOT20
	Genlik (cm)	Genlik (cm)	Genlik (cm)
P1	0.45	1.05	0.11
K1	0.83	4.99	0.34
O1	0.66	0.57	0.22
M2	2.53	1.73	0.3
S2	1.16	0.91	0.097



Şekil 8. Gelgit bileşenleri genlikleri

Tablo 7. GNSS-IR ve mareograf gelgit genlikleri ile EOT20 küresel okyanus gelgit modeli gelgit genlikleri arası farklar

İstasyon	Model	P1	K1	O1	M2	S2
TRBZ	EOT20	0.94	4.65	0.35	1.43	0.813
Trabzon		0.34	0.49	0.44	2.23	1.063

Tablo 6'da ve Şekil 8'de mareograf, GNSS-IR ve EOT20 ile hesaplanan gelgit bileşenleri genlikleri verilmiştir. Tüm gelgitlerde, GNSS-IR ile mareograf arasındaki uyumun GNSS-IR ile EOT20 modeli arasındaki uyumdan daha iyi olduğu görülmüştür. GNSS-IR tekniği hem mareograf hem de EOT20 küresel okyanus gelgit modeli ile en iyi uyumu O1 bileşeninde sağlamıştır. En kötü uyum ise K1 bileşenindedir. EOT20 modelinin hem mareograf hem de GNSS-IR ile az uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durumun EOT20 model hataları kaynaklı olabileceği düşünülebilir (Özel, 2020). Tablo 7'de TRBZ GNSS istasyonu SNR verilerinden hesaplanan deniz seviyesi gözlemlerine ait gelgit genlikleri ve mareograf kayıtları gelgit genliklerinin EOT20 küresel okyanus gelgit modeline göre farkları sunulmuştur. Buna göre, GNSS-IR ve mareograf ile hesaplanan gelgit bileşenlerinin EOT20 küresel okyanus gelgit modeli ile karşılaştırılması sonucunda maksimum farkın 4.65 cm değeriyle GNSS-IR ve EOT20 küresel okyanus gelgit modeli arasında K1 bileşeninde, minimum farkın ise 0.34 cm değeriyle mareograf ve EOT20 küresel okyanus gelgit modeli arasında P1

bileşeninde olduğu görülmüştür. Çalışmada GNSS-IR, mareograf ve EOT20 küresel okyanus gelgit modelinden tahmin edilen gelgit genlikleri arasındaki maksimum fark K1 bileşeninde bulunmuştur. Larson vd. (2017)'e göre, en büyük gelgit genliği farkının K1 bileşeninde olması GPS uydu geometrisinden kaynaklı olabilmektedir. Burada, uydu geometrisi sinyal yansıma etkisi ile ilişkili olduğundan benzer şekilde GNSS yansıma verileri de geometrik hatalarla ilişkilendirilebilmektedir. Aynı zamanda troposferik gecikme etkisinin de göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemizde GNSS-IR tekniğinin gelgit bileşenlerinin belirlenmesine katkısı araştırılmıştır. Bunun için, Karadeniz kıyısında bulunan TRBZ GNSS istasyonu SNR verilerinden GNSS-IR tabanlı elde edilen deniz seviyesi değişimleri ile gelgit harmonik analizi yapıp gelgit bileşenleri hesaplanmıştır. Elde edilen gelgit bileşenleri mareograf kayıtlarından ve EOT20 küresel okyanus gelgit modelinden hesaplanan gelgit bileşenleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda tüm gelgit bileşenleri cm mertebesinde hesaplanmış olup en tutarsız sonuç K1 günlük bileşeninde bulunmuştur. GNSS-IR tekniğinin mareograf ve EOT20 küresel okyanus gelgit modeli ile en iyi uyumun O1 bileşeninde olduğu görülmüştür. GNSS-IR ve mareograf deniz seviyesi değişimlerinden hesaplanan gelgit bileşenleri karşılaştırıldığında, maksimum fark 4.16 cm ve minimum fark ise - 0.09 cm olarak bulunmuştur.

GNSS istasyonunun bulunduğu bölgedeki gelgit olaylarının, hesaplanan reflektör yüksekliğine etki ettiği bilinmektedir. Bu anlamda, GNSS-IR tekniği ile hesaplanan deniz seviyesi değişimlerinde gelgit genliklerinin belirlenmesi önemli olmaktadır. Bununla birlikte, Türkiye'nin Karadeniz kıyılarının düşük gelgit genliklerine sahip olması sebebiyle gerçekleşen gelgitlerin reflektör yükseklikleri üzerinde bir etkiye sahip olmayacağı değerlendirilmektedir. Diğer yandan, akustik sensöre sahip mareograf istasyonlarındaki termal duyarlılık genlik bileşenlerini etkilemektedir. Bu açıdan GNSS istasyonlarının kullanılması termal duyarlılığa karşı üstünlük sağlayabilir. Yine ülkemizdeki mareograf istasyonlarında radar sensör bulunması bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak; GNSS-IR tekniğinin ülkemizde deniz seviyesinin izlenmesi açısından önemli bir potansiyel olabileceği gerçektir. Bu çalışma ile ülkemiz Karadeniz kıyılarında GNSS-IR tekniğinin de gelgit bileşenlerinin belirlenmesinde uygulanabilirliği araştırılmış ve ilk analiz sonuçları sunulmuştur. Elde edilen sonuçların, GNSS-IR tekniğinin deniz seviyesi belirleme performansı üzerine yapılan iyileştirme çalışmaları ile birlikte geliştirilmesi mümkündür. Ayrıca daha uzun zaman aralığına sahip GNSS-IR deniz seviyesi değişimi zaman serilerinden hesaplanan gelgit bileşenleri, bu tekniğin gelgit çalışmalarında kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde alternatif bir çözüm sunacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan veriler Karadeniz Teknik Üniversitesi ve Harita Genel Müdürlüğü arasında yürütülen "Karadeniz Kıyılarındaki Deniz Seviyesi Değişiminin GNSS-IR Tekniği İle Araştırılması" başlıklı ortak araştırma projesi kapsamında temin edilmiştir. Harita Genel Müdürlüğü, Jeodezi Dairesine ve Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi'ne teşekkür ederiz.

Şekil 2(b), TUDES tarafından (<https://tudes.harita.gov.tr/Portal/>) sağlanmıştır.

ORCID

Cansu BEŞEL  <https://orcid.org/0000-0003-3434-6483>

Emine TANIR KAYIKÇI  <https://orcid.org/0000-0001-8259-5543>

KAYNAKLAR

- Altuntaş, C. ve Tunalıoğlu, N. (2022). Deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesinde GNSS-IR yönteminin kullanımı ve doğruluk analizi üzerine bir araştırma. *Geomatik*, 7(3). doi:10.29128/geomatik.946594
- Anderson, K. D. (2000). Determination of water level and tides using interferometric observations of GPS signals. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17(8), 1118–1127. doi:10.1175/1520-0426(2000)017<1118:DOWLAT>2.0.CO;2
- Beşel, C. ve Tanır Kayıkçı, E. (2021a). Determination of Sea Level Variations in Turkish Mediterranean Coast Using GNSS Reflectometry. *Survey Review*. doi:10.1080/00396265.2021.1939589
- Beşel, C. ve Tanır Kayıkçı, E. (2021b). Türkiye denizlerinde GNSS reflektometre tekniği ile deniz seviyesi değişiminin araştırılması. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 8(1), 1–17. doi:10.9733/jgg.2021r0001.t
- Geremia-Nievinski, F., Hobiger, T., Haas, R., Liu, W., Strandberg, J., Tabibi, S., ... Williams, S. (2020). SNR-based GNSS reflectometry for coastal sea-level altimetry: results from the first IAG inter-comparison campaign. *Journal of Geodesy*, 94(8), 1–15. doi:10.1007/s00190-020-01387-3
- Ghiasi, Y., Duguay, C. R., Murfitt, J., van der Sanden, J. J., Thompson, A., Drouin, H. ve Prévost, C. (2020). Application of GNSS interferometric reflectometry for the estimation of lake ice thickness. *Remote Sensing*, 12(17), 1–9. doi:10.3390/RS12172721
- Hart-Davis, M. G., Piccioni, G., Dettmering, D., Schwatke, C., Passaro, M. ve Seitz, F. (2021). EOT20: A global ocean tide model from multi-mission satellite altimetry. *Earth System Science Data*, 13(8), 3869–3884. doi:10.5194/essd-13-3869-2021

- Karegar, M. A., Larson, K. M., Kusche, J. ve Dixon, T. H. (2020). Novel Quantification of Shallow Sediment Compaction by GPS Interferometric Reflectometry and Implications for Flood Susceptibility. *Geophysical Research Letters*, 47(14), 0–3. doi:10.1029/2020GL087807
- Larson, K. M., Lay, T., Yamazaki, Y., Cheung, K. F., Ye, L., Williams, S. D. P. ve Davis, J. L. (2021). Dynamic Sea Level Variation From GNSS: 2020 Shumagin Earthquake Tsunami Resonance and Hurricane Laura. *Geophysical Research Letters*, 48(4). doi:10.1029/2020GL091378
- Larson, K. M., Löfgren, J. S. ve Haas, R. (2013). Coastal sea level measurements using a single geodetic GPS receiver. *Advances in Space Research*, 51(8), 1301–1310. doi:10.1016/j.asr.2012.04.017
- Larson, K. M. ve Nievinski, F. G. (2013). GPS snow sensing: Results from the EarthScope Plate Boundary Observatory. *GPS Solutions*, 17(1), 41–52. doi:10.1007/s10291-012-0259-7
- Larson, K. M., Ray, R. D., Nievinski, F. G. ve Freymueller, J. T. (2013). The accidental tide gauge: A GPS reflection case study from kachemak bay, Alaska. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10(5), 1200–1204. doi:10.1109/LGRS.2012.2236075
- Larson, K. M., Ray, R. D. ve 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(2), 295–307. doi:10.1175/JTECH-D-16-0101.1
- Larson, K. M., Small, E. E., Gutmann, E. D., Bilich, A. L., Braun, J. J. ve Zavorotny, V. U. (2008). Use of GPS receivers as a soil moisture network for water cycle studies. *Geophysical Research Letters*, 35(24), 1–5. doi:10.1029/2008GL036013
- Löfgren, J. S., Haas, R. ve 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. doi:10.1016/j.jog.2014.02.012
- Martin-Neira, M. (1993). A passive reflectometry and interferometry system (PARIS): application to ocean altimetry. *ESA Journal*, 17(4), 331–355.
- Özel Ö.(2020). Okyanus Gelgit Yükleme Konum Değişimlerinin VLBI Ölçülerinden Kestirimi ve Global Okyanus Gelgit Modelleri İle Doğrulanması (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pawlowicz, R., Pawlowicz, R., Beardsley, R. C., Beardsley, R., Lentz, S. ve Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates. in *MATLAB using T TIDE. Computers & Geosciences*, 28(8), 929–937. <http://www.ocgy.ubc.ca/~rich>. adresinden erişildi.
- Schureman, P. (2001). Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides. Washington: U.S. Department of Commerce Coastal and Geodetic Survey.
- Selbesoğlu, M. O., Yavaşoğlu, H. H., Karabulut, M. F., Yavaşoğlu, H. A., Özcan, H. G., Oktar, Ö., ... Güllal, V. E. (2021). Antarktika'da Küresel İklim Değişikliği İzleme için GNSS İstasyon Tasarımı: TUR1 ve TUR2 GNSS İstasyonlarının 4. Ulusal Antarktika Bilim Seferi'nde Antarktika Horseshoe Adası'na Kurulumu. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 21(6), 1353–1365. doi:10.35414/akufemubid.946282
- Tabibi, S., Geremia-Nievinski, F., Francis, O. ve van Dam, T. (2020). Tidal analysis of GNSS reflectometry applied for coastal sea level sensing in Antarctica and Greenland. *Remote Sensing of Environment*, 248. doi:10.1016/j.rse.2020.111959
- Tabibi, S., Sauveur, R., Guerrier, K., Metayer, G. ve Francis, O. (2021). SNR-Based GNSS-R for Coastal Sea-Level Altimetry.
- Vey, S., Güntner, A., Wickert, J., Blume, T. ve 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. doi:10.1007/s10291-015-0474-0
- Wang, X., Zhang, Q. ve Zhang, S. (2018). Water levels measured with SNR using wavelet decomposition and Lomb–Scargle periodogram. *GPS Solutions*, 22(1). doi:10.1007/s10291-017-0684-8

- Williams, S. D. P. ve Nievinski, F. G. (2017). Tropospheric delays in ground-based GNSS multipath reflectometry—Experimental evidence from coastal sites. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(3), 2310–2327. doi:10.1002/2016JB013612
- Zhang, S., Peng, J., Zhang, C., Zhang, J., Wang, L., Wang, T. ve Liu, Q. (2021). GiRsnow: an open-source software for snow depth retrievals using GNSS interferometric reflectometry. *GPS Solutions*, 25(2), 1–8. doi:10.1007/s10291-021-01096-0
- Zheng, N., Chen, P. ve Li, Z. (2021). Accuracy analysis of ground-based GNSS-R sea level monitoring based on multi GNSS and multi SNR. *Advances in Space Research*, 68(4), 1789–1801. doi:10.1016/j.asr.2021.04.024

Üçlü Bindirmeli Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Zonguldak Test Alanında Algılayıcıya Bağımlı Yönelme Modeli ile Belirlenmesi (Determination of Georeferencing Accuracy of Göktürk-1 Tri-Stereo Satellite Images by Sensor Dependent Orientation Model in Zonguldak Test Site)

Gürsu AYTEKİN¹ , Hüseyin TOPAN² 

¹Milli Savunma Üniversitesi Hava Harp Enstitüsü, İstanbul

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak
gaytekin@msu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 16.04.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 27.07.2022

ÖZ

Günümüzde gerek askeri gerekse sivil kullanım alanlarıyla rekabet alanı haline gelen uzay, uydu teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde stratejik bir seviyeye ulaşmıştır. Özellikle uydu görüntüleri aracılığı ile yapılan uygulamalar, uzaktan algılama biliminin de temel konusu haline gelerek insanlığı derinden etkilemektedir. Bunun yanında konumsal verilerin ve hizmetlerin kaynağını da oluşturan uzaktan algılama görüntülerinin, başta Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olmak üzere konuma bağlı uygulamalar açısından anahtar rol oynamaktadır. Konuma bağlı uygulamalarda uydu görüntülerinin başarısı, algılayıcıların yöneltilmesi ile ilişkili olup, özellikle algılayıcıya bağımlı yönelme modeli ile elde edilen konumsal doğrulukların en üst seviyede gerçekleştiği görülmektedir. Bunun yanında bazı yetenekli uyduların çevik ve esnek yapıları sayesinde elde ettikleri üçlü bindirmeli görüntüler, Yeryüzünün üç boyutlu olarak gerçeğe en yakın şekilde tasvir edilebilmesine yardımcı olmaktadır. Yeryüzüne ait üçüncü boyut bilgisi konuma bağlı uygulamalarda oldukça değerli olup, bindirmeli görüntülerin uygun yöntemlerle yöneltilmesini gerektirmektedir. Bilsat, Rasat ve Göktürk-2 deneyiminden sonra Türkiye'nin ilk metre altı çözünürlüklü uydusu Göktürk-1 görüntülerinin de gerek askeri ve gerekse sivil kullanım alanlarında konum doğruluğu açısından kritik öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmada Türkiye'nin ilk metre altı elektro-optik uzaktan algılama uydusu olan Göktürk-1 uydusuna ait üçlü bindirmeli olarak alımı yapılmış pankromatik görüntülerin algılayıcıya bağımlı yönelme modeli kullanılarak yöneltilmesi ve bu kapsamda elde edilen üç boyutlu konum doğruluğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Zonguldak test alanında yapılan uygulama neticesinde doğrudan yönelme doğruluğunun ($\pm 6-12$ m aralığında) uydu üreticisi Telespazio firması tarafından hedeflenen doğruluk değeri (± 10 m) ile uyumlu olduğu, ön ve demet dengeleme ile elde edilen doğrulukların ise Yer Kontrol Noktaları (YKN) için mm seviyesinde, Bağımsız Denetim Noktaları (BDN) için ± 1 piksel (~ 50 cm) civarında olduğu görülmüştür. Elde edilen konum doğruluğu değerlerinin gerek ulusal gerekse uluslararası standartlar ile uyumlu olduğu ve bu kapsamda Göktürk-1 görüntülerinin yüksek konum doğruluğu beklenen çalışmalarda rahatlıkla kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Göktürk-1, Üçlü Bindirme, Algılayıcıya Bağımlı Yönelme, Konumsal Doğruluk, Zonguldak Test Alanı.

ABSTRACT

Today, space has become a competitive area with both military and civilian uses, and also has reached a strategic position thanks to advances in satellite technologies. Especially the applications of satellite images become the major topic of remote sensing and it affect the humanity deeply. As a source of geospatial data and services, the remote sensing images plays a key role in geospatial applications, especially in Geographic Information Systems (GIS). The success of satellite imagery in geospatial applications is associated with the orientation of sensors, and it is seen that the georeferencing accuracy obtained especially by the sensor-dependent orientation model desired at the highest level. In addition, the tri-stereo images obtained by the satellite's agile and flexible structures help to depict the Earth in three dimensions as real as possible. Third dimensional information of the Earth is very valuable in geospatial applications, and it requires that tri-stereo images be oriented by appropriate methods. Following the Bilsat, Rasat and Göktürk-2 experiences, images of Göktürk-1, the first sub-meter resolution satellite of Turkey, are also considered as critical for high georeferencing accuracy in both military and civilian applications. In this study, it was aimed to orient the panchromatic images obtained as tri-stereo of Göktürk-1 satellite using the sensor-dependent oriented model, and to assess its 3D georeferencing accuracy potential. As a result of the study made in Zonguldak test site, it is seen that the direct georeferencing accuracy ($\pm 6-12$ m) is compatible with the accuracy value (± 10 m) targeted by the manufacturer Telespazio, while the accuracy achieved by pre and bundle adjustment was around mm level for Ground Control Points (GCP) and ± 1 pixel (~ 50 cm) for Independent Check Points (ICP). It was assessed that the georeferencing accuracy in this study are compatible with both national and international standards, and Göktürk-1 images are suitable to use if the high geospatial accuracy is required.

Keywords: Göktürk-1, Tri-stereo, Sensor Dependent Orientation, Georeferencing Accuracy, Zonguldak Test Site.

1. GİRİŞ

Savunma amaçlı olarak başta askeri istihbarat faaliyetleri olmak üzere birçok sivil kullanım alanına da hizmet edecek şekilde geliştirilen

Göktürk-1 uydusu, Avrupa Uzay Ajansına ait VEGA sistemi ile Fransız Guyanası'ndan 05 Aralık 2016 tarihinde fırlatılarak yörüngeye yerleştirilmiştir. Türkiye'nin ilk metre altı elektro optik uydusu olan Göktürk-1 uydusu için, yer sistemlerinin geliştirilmesinde ana yüklenici firma Telespazio (İtalya), uydunun üretimi ve faydalı yük yönetimi için ise Thales (Fransa) firmaları görev yapmış, ayrıca yerel sanayi firmaları TUSAŞ, Aselsan A.Ş., TÜBİTAK BİLGEM, Roketsan A.Ş ve TR Teknoloji firmaları proje kapsamında alt yüklenici olarak çalışmalara katılmıştır (Telespazio, 2022). Hâlen Türk Hava Kuvvetleri Komutanlığı personeli tarafından Ankara'da bulunan yer kontrol istasyonu aracılığı ile yönetilen Göktürk-1 uydusuna yönelik teknik özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Yoğun olarak askeri amaçlarla etkin bir şekilde kullanılan ve konum doğruluğu açısından başarılı sonuçlar elde edilen Göktürk-1 görüntülerine yönelik kısıtlı sayıda da olsa bugüne kadar çeşitli bilimsel araştırmalar yapılmıştır. Fırlatma öncesi test faaliyetleri kapsamında; Yavaş ve Akgül (2019) tarafından uydu ve fırlatma sistemi arasındaki elektromanyetik uyumluluğa yönelik test çalışması ile Tarçın ve diğerleri (2019) tarafından uydunun tahrik alt sistemi tasarımı, entegrasyon, test ve fırlatma kampanyası faaliyetlerine yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Uydunun kabul işlemleri sırasında ise Polat ve diğerleri (2019) tarafından, Göktürk-1 görüntülerine ait radyometrik kalibrasyon ve görüntü kalitesi değerlendirmesi, Gültekin, Atak, Ayaz ve Arı (2019) tarafından ise ileri seviye görüntü işleme sonunda elde edilen ürünlere yönelik yatay ve düşey doğruluk araştırmaları yapılmıştır. Benzer şekilde ortogörüntü ve sayısal yükseklik modeli ürünlerine yönelik doğruluk çalışması, Arasan ve diğerleri (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bunların dışında, Roma (İtalya) test alanında; Göktürk-1 görüntülerinin yükseklik doğruluğuna yönelik çalışma Boccardo, Sandu, Ajmar ve Perez (2019) tarafından, ortogörüntü doğruluğuna yönelik çalışma Ravanelli, Lastilla ve Crespi (2019) tarafından, arazi kullanımı ve sınıflandırılması ise Ottaviano, Sertel ve Marchetti (2019) tarafından ele alınmıştır. Ankara'ya ait Göktürk-1 görüntüsü üzerinden pankeskinleştirme performansının incelenmesi Ünal ve Yıldız (2022) tarafından, Çaycuma/Zonguldak'a ait Göktürk-1 görüntüsü ile piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma performansı analizi Çetin ve Köksal (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Zonguldak test sahasında Göktürk-1 görüntülerine yönelik algılayıcıdan bağımsız yönelme modelleri kullanılarak iki boyutlu konum doğruluğu çalışması

Aytekin, Topan, Elkar, Kişi ve Erişik (2019) tarafından yapılmıştır.

Tablo 1. Göktürk-1 teknik özellikleri (Polat ve diğerleri, 2019; Arasan ve diğerleri, 2020).

Fırlatılma Zamanı	05 Aralık 2016
Yörünge	Güneş Eş Zamanlı
Yükseklik	686 km
Ekvator Geçiş Zamanı	10:30 (Yerel)
Yörünge Eğiklik Açısı	98,112 ° Polar
Algılayıcı Çeşidi	Optik Doğrusal Dizin
Optik Sistem	Korshe Tipi Teleskop, Odak Uzaklığı: 18140 mm
Geometrik Çözünürlük	Pankromatik: 0,5m, Çok Bandlı: 2m
Zamansal Çözünürlük	2-3 gün ($\pm 30^\circ$ Yalpa Açısı)
Radyometrik Çözünürlük	12 bit
Tayfsal Bandlar (μm)	0.450-0.845 μm Pankromatik
	0.435-0.554 μm Mavi
	0.493-0.607 μm Yeşil
	0.606-0.717 μm Kırmızı
	0.691-0.933 μm Yakın Kızılötesi
Dedektör Boyutu	Pankromatik 6 dizi, toplam 31600 piksel
	Çok Bantlı 6 dizi, toplam 7900 piksel
NIIRS Sınıf	6
Tekrar Döngü Zamanı	21 gün
Yalpa/Yunus Açısı	$\pm 45^\circ / \pm 30^\circ$
Görüntü Boyutu	15 km (Nadir)
Günlük Görüntü Kapasitesi	902 Tek Görüntü
En Fazla Bindirmeli Görüntü Genişliği	410 km Tek Geçiş
Konum Doğruluğu	Yatay Doğruluk: 10 m (CE90) YKN olmadan
	Yatay Doğruluk: 2 m (CE90) YKN ile
	Düşey Doğruluk: 20 m (LE90) YKN olmadan
	Düşey Doğruluk: 3 m (LE90) YKN ile

Bu çalışmanın amacı ise, Türkiye'nin ilk metre altı elektro-optik uzaktan algılama uydusu olan Göktürk-1 uydusuna ait üçlü bindirmeli olarak alımı yapılmış pankromatik görüntülerin algılayıcıya bağımlı yönelme modeli kullanılarak yönlendirilmesi ve bu kapsamda elde edilen üç boyutlu konum doğruluğunun değerlendirilmesidir. Söz konusu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak, algılayıcının fiziksel özelliklerini dikkate alarak gerçeğe yakın görüntüleme geometrisinin

oluşturulabildiği algılayıcıya bağımlı yöneltme modeli uygulanmıştır. Ayrıca üçlü bindirmeye yönelik matematiksel model, ikili bindirmeli görüntüler için Topan (2022) tarafından geliştirilen model temel alınarak, yazarlar tarafından MATLAB ortamında Geo3o1 modülü içinde geliştirilmiştir.

2. ÜÇLÜ BİNDİRMELİ GÖRÜNTÜ ALIMI

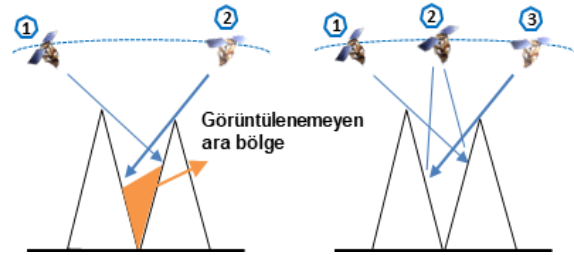
Uydu görüntülerinin, özellikle yükseklik verisinin de göz önüne alındığı, yüksek doğruluklu konuma bağlı uygulamalar amacıyla kullanılabilmesi için aynı noktanın farklı bakış açılarıyla görüntülendiği bindirmeli görüntü alımına ihtiyaç duyulmaktadır. Uzaktan algılama kapsamında ilk kez 1973 yılında Eugene E. Dereniy tarafından bindirmeli görüntülerin iki ayrı algılayıcı ya da uygun şekilde yerleştirilmiş iki doğrusal dizin tarafından elde edilebileceği incelenmiş, sonrasında bindirmeli görüntülerin üçlü olarak doğrusal dizin algılayıcılarla elde edilmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ancak ilk kez 1984 yılında Otto Hofmann ve Nave, doğrusal dizin algılayıcılarla üçlü bindirmeli görüntü elde edilmesine yönelik yeni bir fotogrametrik işlem geliştirmiştir. Bu yapıyla otomatik görüntü korelasyonu ve ortofoto ürünlerin güvenilirlik ve hassasiyetlerinin gelişeceği belirtilmiştir. (Zhang, 2005).

Bu çalışmaların devamında üçlü bindirmeli görüntü alabilen hava algılayıcıları yanında, birçok uydu/uzay sistemi de geliştirilmiştir. Bu kapsamda ilk üçlü bindirmeli görüntü alabilme yeteneğine sahip uzay sistemi MOMS-02 olup, bu sistem çoklu optik sistemle üçlü boyuna bindirmeli görüntü alabilen bir yapı olarak kısa süre de olsa görev yapmıştır. Bu sistemin doğruluk incelemesi sonunda tatmin edici değerlere ulaşılmıştır (Ebner, Hofmann, Konus, Müller ve Stlunz, 1991).

Bundan sonra IKONOS, SPOT-5, QuickBird, ALOS-PRISM gibi uydular üçlü bindirmeli görüntü alabilme kabiliyetleri ile ortaya çıkmış ve birçok üçlü bindirmeye yönelik uygulama yapılmıştır. Üçlü bindirmeli görüntü alımı bu sürecin devamında özellikle uyduların çevik ve esnek yapıya kavuşmaları ile daha da yaygınlaşmış ve günümüzde birçok uydu bu yeteneğe sahip olarak görev yapmaya başlamıştır. Bu aşamada örneğin Çin uydusu Zi-Yuan 3 (ZY-3) gibi ileri, nadir ve geri bakış doğrultusuna sahip çoklu optik sistemle üçlü bindirmeli görüntü alabilen uydular yanında, Cartosat-2, Kompsat-2, WorldView-1/2/3, GeoEye-1, Pleiades-1A/1B gibi tekli optik sistem dâhilinde üçlü bindirmeli görüntüleme yapabilen uydular da ortaya çıkmıştır (Poli ve Toutin, 2012).

Türkiye'nin yüksek çözünürlüklü ilk milli uydusu Göktürk-1 de bu yeteneğe sahip bir uydudur (Aytekin ve diğerleri, 2019).

İkili bindirmeli görüntü alımında yüksek baz/yükseklik (B/H) oranının, konum doğruluğunu özellikle düz alanlarda ve alçak binaların olduğu bölgelerde artırdığı Li (2010) tarafından yapılan çalışmada bildirilmiş olup, doğruluğun istenen düzeyde olabilmesi için 0.6 ile 1 arası bir B/H oranı ile bindirmeli görüntü alımının gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ancak bu kapsamda ikili bindirme ve yüksek B/H oranı ile özellikle yüksek dağ ve binaların birbirine yakın olduğu bölgelerde görüntü alımı yapılamayan ara bölgeler oluşabilmektedir. Dolayısıyla yüksek B/H oranı ile ikili bindirmeli görüntüler üzerinde özellikle bu ara bölgelerde görüntü eşleme yapılamamaktadır. Bu sorunu gidermek amacıyla üçlü bindirmeli görüntü alımı söz konusu olabilmektedir (Şekil.1). Üçlü bindirmeli çekimlerde her bir çift için yaklaşık 0.25 B/H oranı ile görüntü alımı yapılması tavsiye edilmektedir (Airbus Defence and Space, 2012).



Şekil 1. İkili bindirmeli (yüksek B/H) ve üçlü bindirmeli görüntü (Airbus Defence and Space, 2012).

Joseph (2015) tarafından ikili bindirmeli görüntülere oranla üçlü bindirmeli görüntülerden elde edilecek Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) doğruluğunun yüksek olacağı ve özellikle gölge etkisi ile görüntülenemeyen ara bölgelerden kaynaklı eşleme hatalarının üçlü bindirmeli görüntülerle azaltılabileceği belirtilmektedir. Giribabu, Srinivasa ve Murthy (2013) tarafından Cartosat-1 görüntüleri ile Himalaya Dağı'nda üçlü bindirmeli görüntülerle yapılan çalışmada ikili bindirmeli görüntülerde meydana gelen gölge ve görüntülenemeyen bölge sorunlarının ortadan kalktığı, SYM düzeltme işleminin azaldığı ve görüntü eşlemenin daha doğru şekilde yapılabildiği belirtilmektedir. Poli, Remondino, Angiuli ve Agugiaro (2015) tarafından dağlık, ormanlık ve yoğun yerleşimin bir arada olduğu Trento/İtalya'da SYM üretimine yönelik yapılan çalışmada; ikili bindirmeli GeoEye-1 ve WorldView-2 görüntüleri ile üçlü bindirmeli Pléiades-1A görüntüleri karşılaştırılmıştır. Buna göre yoğun yerleşim ve

yükseklik farkının fazla olduğu bu bölgede üçlü bindirmeli Pléiades-1A görüntülerinden elde edilen SYM doğruluğunun daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Üçlü bindirmeli görüntü alımı aynı uyduya ait görüntüler aracılığı ile elde edilebileceği gibi farklı uyduların aynı bölgeye ait görüntülerinin çeşitlemesi olarak da elde edilebilmektedir. Bu kapsamda Li, Zhou, Niu ve Kaichang (2007) tarafından farklı uyduların (QuickBird-IKONOS) birleşimi ile elde edilen bindirmeli görüntüye yönelik doğruluk araştırması yapılmış, ayrıca hava ve uydu görüntüsü birleşimi de denenerek 3B doğruluk değerlendirmelerine ulaşılmıştır. Aynı şekilde Jeong, Yang ve Kim (2015) tarafından iki ayrı uyduya ait ikili çiftler ile elde edilen bindirmeli görüntüler arasında yatay ve düşey doğruluk karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca QuickBird, IKONOS ve Kompsat-2 uydularına ait ikili bindirmeli görüntüye farklı çözünürlüklü üçüncü bir uyduya ait görüntü ilave edilerek üçlü bindirmeli görüntü birleşimi elde edilmiş ve yine ikili bindirmeli görüntülerle doğruluk karşılaştırması yapılmıştır. Tüm bu uygulamalarda yönelme işlemi Orantısal İşlev Modeli (Rational Function Model-RFM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Üçlü bindirmeli görüntülerin yöneltilmesine yönelik olarak ise literatürde merkezi izdüşüm etkisinin giderilmesi temeline dayanan fotogrametrik bakış açısı ve izdüşümsel geometri kurallarının geçerli olduğu bilgisayarlı görme bakış açısı olmak üzere iki yaklaşım söz konusudur. Üçlü bindirmeli görüntülerin yöneltilmesine ilişkin olarak en kapsamlı analizlerden birisi Förstner ve Wrobel (2016) tarafından yapılmış ve özellikle hava görüntülerine uygulanabilen çeşitli avantajları ortaya konulmuştur. Bunun yanında Hartley ve Zisserman (2003) tarafından üçlü bindirmeli görüntülerin yöneltilmesine ilişkin doğruluk değerlendirmelerinin de yapıldığı çeşitli yöntemler önerilmiştir. Ressel (2003) tarafından ise üçlü bindirmeli görüntülerin yöneltilmesinde Gauss-Helmert modeli ve demet dengeleme ile üçlü görüntülerin yöneltilmesi esas alınmıştır.

3. ALGILAYICIYA BAĞIMLI YÖNELTME MODELİ

Algılayıcı yöneltilmesindeki ana amaç görüntü ve nesne koordinat sistemleri arasındaki geometrik dönüşüm ilişkisinin kurulmasıdır. Bu ilişki, algılayıcıya bağımlı yönelme modeli ile algılayıcıların gerçeğe en yakın geometrik özelliklerini dikkate alarak kurulabileceği gibi, algılayıcının gerçek geometrik özelliklerini dikkate almayan algılayıcıdan bağımsız modellerle de

kurulabilmektedir. Konum doğruluğu açısından bakıldığında algılayıcıya bağımlı modellerle çalışmak uygun olsa da görüntüleme geometrisi, algılayıcı sistem ve platformun fiziksel özellikleri gibi bilgilere hâkim olmayı gerektiren zorlu bir süreç gerektirmektedir. Bu amaçla genelleştirilmiş modeller ortaya çıkmış ve bunlardan RFM, OGC (1999) tarafından algılayıcı yöneltilmesi çalışmaları için tavsiye edilmiştir. RFM yönteminde görüntüye ait metaveri dosyasında yer alan Orantısal Polinom Katsayıları (Rational Polynomial Coefficients-RPC) kullanılarak algılayıcı yönelme işlemi gerçekleştirilebilmektedir. İlk bölümde özetlenen Göktürk-1 görüntülerinin konumsal doğruluğunun belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda özellikle ortogörüntü ve sayısal yükseklik modeli oluşturulması aşamalarında RFM yönteminin kullanıldığı görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında ise algılayıcıya bağımlı model kullanılmıştır. Algılayıcıya bağımlı modeller oluşturulurken görüntü koordinat sistemi ile Yer koordinat sistemi arasındaki ilişki, yardımcı koordinat sistemleri kullanılarak bir dizi koordinat dönüşümü yapılmasını gerektirir ki bu da öteleme, ölçek ve dönme ögeleriyle gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda Weser, Rottensteiner, Willneff, Poon ve Fraser (2008) tarafından düzenlenen dönüşüm fonksiyonu SPOT-5, ALOS-PRISM ve QuickBird uydu görüntülerinin yöneltilmesinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Aynı temelde Pléiades 1A/1B ve SPOT 6/7 görüntüleri için Airbus Defence and Space (2012, 2013) tarafından geliştirilen algılayıcıya bağımlı model Göktürk-1 uydu görüntülerine uyarlanmıştır. Burada özellikle Pléiades 1A/1B ve SPOT 6/7 görüntülerinde beş parçalı çoklu doğrusal dizinlerin bir birleşimi olarak oluşturulan sanal gerçek algılayıcı dizini (Virtual Perfect Sensor Array), benzer şekilde Göktürk-1 için altı parçanın birleşiminden oluşmakta ve bu da Göktürk-1 ikinci seviye görüntüye (L2A) karşılık gelmektedir. Dolayısıyla görüntü ile Yer koordinat sistemi arasındaki dönüşüm, bu sanal görüntü kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda Göktürk-1'e ait metaveri dosyası incelendiğinde Pléiades 1A/1B ve SPOT 6/7'ye benzer şekilde, bakış açılarının (ψ_x, ψ_y) ikinci derece polinom katsayılarını destekleyecek şekilde verildiği ve ayrıca uydu koordinat sisteminden yer koordinat sistemine geçişin metaveri dosyasında bulunan ve üçüncü derece polinom olarak modellenebilen dördeyler (kuaterniyonlar) aracılığı ile ifade edildiği tespit edilmiştir. Bu durumda görüntü koordinat sisteminden Yer koordinat sistemine dönüşüm;

$$\underline{\vec{P}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \underline{\vec{p}}_u - s \underline{R} \begin{bmatrix} -\tan \psi_y \\ \tan \psi_x \\ -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ile hesaplanabilmektedir. Burada X, Y, Z yer koordinatlarını, $\underline{\vec{p}}_u$ Lagrange kestirimi ile hesaplanan uyduya ait konum vektörünü, s ölçeği, $\underline{R}$ dördeyler aracılığı ile hesaplanan dönme matrisini, (ψ_x, ψ_y) ise bakış açılarını göstermektedir. $\underline{R}$ dönme matrisi dördeyler aracılığı ile ifade edildiğinde

$$\begin{aligned} r_{11} &= (Q_0^n)^2 + (Q_1^n)^2 - (Q_2^n)^2 - (Q_3^n)^2 \\ r_{12} &= 2(Q_1^n Q_2^n - Q_0^n Q_3^n) \\ r_{13} &= 2(Q_1^n Q_3^n + Q_0^n Q_2^n) \\ r_{21} &= 2(Q_1^n Q_2^n + Q_0^n Q_3^n) \\ r_{22} &= (Q_0^n)^2 - (Q_1^n)^2 + (Q_2^n)^2 - (Q_3^n)^2 \\ r_{23} &= 2(Q_2^n Q_3^n - Q_0^n Q_1^n) \\ r_{31} &= 2(Q_1^n Q_3^n - Q_0^n Q_2^n) \\ r_{32} &= 2(Q_2^n Q_3^n - Q_0^n Q_1^n) \\ r_{33} &= (Q_0^n)^2 - (Q_1^n)^2 - (Q_2^n)^2 + (Q_3^n)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

elde edilir. Burada,

$$Q_j^n = \frac{Q_j}{\sqrt{Q^T Q}}, \quad j = 0, 1, 2, 3 \quad \underline{Q} = [Q_0 Q_1 Q_2 Q_3]^T \quad (3)$$

$$Q_j = \sum_{i=0}^3 (Q_j)_i t_{MN}^i$$

dir. t_{MN} görüntü merkezi için normalleştirilmiş zaman değeri olmak üzere,

$$t_{MN} = \frac{t - t_{öteleme}}{t_{ölçek}} \quad (4)$$

$$t = t_{referans} + t_{aralık}(x - x_{referans})$$

ile hesaplanır. Bakış açılarının oluşturduğu vektör ise

$$\tan \psi_y = \sum_{i=0}^n (\psi_y)_i (y - y_{referans}) \quad (5)$$

$$\tan \psi_x = \sum_{i=0}^n (\psi_x)_i (y - y_{referans})$$

ile hesaplanmaktadır. Uyduya ait konum verisi ve

elde edilme zamanları, $(Q_j)_i$, $t_{öteleme}$, $t_{referans}$, $t_{aralık}$, $t_{ölçek}$, $x_{referans}$, $y_{referans}$, $\tan(\psi_y)_i$, $\tan(\psi_x)_i$ değerleri metaveri dosyasından doğrudan alınabilmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Göktürk metaverilerinden doğrudan alınan değerler

Değerler	Açıklama
t_başlangıç	Görüntünün çekilmeye başladığı zaman
t_bitiş	Görüntü çekiminin tamamlandığı zaman
$t_{aralık}$	Bir satırın görüntülenme zamanı
Uydu (P), (V), (t)	Uyduya ait konum, hız ve zaman bilgisi
$t_{öteleme}$	Zamansal öteleme
$t_{ölçek}$	Zamansal ölçek
Q	Dördey katsayıları (Q_0, Q_1, Q_2, Q_3) (Her biri için dörder adet)
PsiX (ψ_x)	Enine bakış açısı
PsiY (ψ_y)	Boyuna bakış açısı
$t_{referans}$	Referans pikselin görüntülenme zamanı
$x_{referans}$ $y_{referans}$	Referans satıra ait görüntü koordinatları (varsayılan değer: 1)

Bu hesap sonucunda uyduya ait ham değerler aracılığıyla hesap yapılması durumunda, yöneltme işlemi doğrudan yöneltme olarak anılmaktadır. Doğrudan yöneltme sonucu elde edilmesi hedeflenen konum doğrulukları Pléiades 1A için $\pm 8,5$ m., Göktürk-1 için ise ± 10 m. olarak bildirilmiştir (Airbus Defence and Space, 2012; Arasan ve diğerleri, 2020).

Ancak daha yüksek bir konum doğruluğuna ulaşabilmek için elbette algılayıcı yöneltmenin en önemli adımlarından biri olan dengeleme işlemi yapılmalıdır. Çünkü söz konusu değerler sistematik olmayan (düzensiz, rastgele) hatalar ile yüklüdür. Dengeleme genel olarak, gereğinden fazla sayıda yapılan ölçümler aracılığı ile bilinmeyenlerin en uygun (olasılıklı) değerlerinin belirlenmesi ile ölçümlerin, kesin değerlerin ya da bunların fonksiyonlarının duyarlılıklarının saptanmasıdır (Öztürk ve Şerbetçi, 1995). Özellikle bakış açıları gibi (ψ_x, ψ_y) doğrusal olmayan ölçülerin söz konusu olduğu durumlarda Gauss-Helmert modeli aracılığıyla demet dengeleme işlemi yapılabilmektedir. Bu model özellikle doğrusal dizin görüntüler için Kornus, Alamus, Ruiz ve Talaya (2006), Weser ve diğerleri (2008) ve Topan ve Maktav (2014) tarafından

kullanılmıştır. Bu durumda görüntüden Yer koordinat sistemine dönüşümü sağlayan (1) bağıntısı yeniden düzenlenerek yer koordinat sisteminden görüntü koordinat sistemine dönüşümü sağlayacak şekilde düzenlenirse,

$$F_{\psi_y} = \frac{R_{11}^T(X_s - X) + R_{12}^T(Y_s - Y) + R_{13}^T(Z_s - Z)}{R_{31}^T(X_s - X) + R_{32}^T(Y_s - Y) + R_{33}^T(Z_s - Z)} - \tan(\psi_y) = 0$$

$$F_{\psi_x} = \frac{R_{21}^T(X_s - X) + R_{22}^T(Y_s - Y) + R_{23}^T(Z_s - Z)}{R_{31}^T(X_s - X) + R_{32}^T(Y_s - Y) + R_{33}^T(Z_s - Z)} + \tan(\psi_x) = 0 \quad (6)$$

fonksiyonel modeli elde edilmektedir. Burada $\underline{R}$ matrisi ortogonal matris olduğu için $\underline{R}^{-1} = \underline{R}^T$ olmaktadır. (6) bağıntısında doğrusal olmayan değerler Taylor serisi gibi uygun bir yöntemle doğrusal hale getirildikten sonra

$$\underline{AdP} + \underline{Bv} + \underline{w} = 0 \quad (7)$$

şeklinde oluşturulan Gauss-Helmert modelinin uygulanmasına geçilir. Burada $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ Katsayılar (Jakobiyen) matrisleri ve $\underline{w}$ kapanma artıkları olmak üzere, $\underline{A}$ Katsayılar matrisi; dış yönelme öğeleri (DYÖ) ve BDN'lere getirilecek düzeltmelerden, $\underline{B}$ Katsayılar matrisi ise bakış açılarından oluşturulur. Bu durumda öncelikle DYÖ ve BDN'lere getirilecek düzeltmeler;

$$\underline{dP} = (\underline{A}^T(\underline{BB}^T)^{-1}\underline{A})^{-1}\underline{A}^T(\underline{BB}^T)^{-1}(\underline{\ell} - \underline{\ell}_0) \underline{w} \quad (8)$$

ile hesaplanır. Daha sonra

$$\underline{v} = \underline{B}^T(\underline{BB}^T)^{-1}(\underline{AdP} + \underline{w}) \quad (9)$$

ile de ölçülere getirilecek düzeltmeler hesaplanarak bakış açılarına düzeltme olarak getirilir. Dengeli öğelerin ve ölçülerin ($\underline{\bar{P}}$ ve $\underline{\bar{\ell}}$) (6) bağıntısı ile verilen koşulu sağlayıp sağlamadığı $F(\underline{\bar{P}}, \underline{\bar{\ell}}) \stackrel{?}{=} 0$ ile kontrol edilerek, gerekirse bu şart sağlanana kadar dengeli öğelerle dengeleme işlemine döngüsel olarak devam edilir.

Edmundson ve Fraser (1998) ile Wang ve Clarke (2001) tarafından yapılan çalışmalarda dengelemede işlem yoğunluğunu azaltarak hızlı ve pratik çözüme ulaşılması maksadıyla dengelemenin bölümlere ayrılarak yapılmasının kullanışlı bir yöntem olacağı bildirilmiştir. Bu kapsamda Jung ve Won (2008) ile Topan ve Maktav (2014) yapmış oldukları çalışmada en büyük hata kaynağının bakış açılarından (ψ_x, ψ_y) kaynaklandığını belirterek öncelikli olarak bakış

açıların ön dengeleme ile dengelenmesinin uygun olacağını değerlendirmiştir. Bu kapsamda DYÖ'ler dengeli kabul edilip öncelikle bakış açıların ön dengelemeye tabi tutulması durumunda (7) numaralı bağıntıda; $\underline{dP} = 0$ ve dolayısıyla $\underline{AdP} = 0$ olacağından,

$$\underline{Bv} + \underline{w} = 0 \quad (10)$$

olarak işlem yapılacaktır. Böyle bir durumda öncelikle her bir bindirmeli görüntüye ait bakış açıları dengelenecek ve sonrasında dengelenmiş bakış açıları ile ham DYÖ'ler bir arada demet dengeleme işlemine tabi tutulacaktır. Ayrıca her bir yer kontrol noktasına ait dengelenmiş bakış açıları yardımı ile BDN'lere ait bakış açıları kestirilecektir.

Son olarak demet dengeleme sonunda elde edilen dengelenmiş bakış açıları ve DYÖ'ler kullanılarak (1) bağıntısı yardımıyla dengelenmiş nesne koordinatları (X_e, Y_e, Z_e) hesaplanır. Bu koordinatlarla, Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems-GNSS) ölçümleri ile elde edilen yüksek doğruluklu nesne koordinatları ($\underline{\bar{X}}, \underline{\bar{Y}}, \underline{\bar{Z}}$) arasındaki farklar,

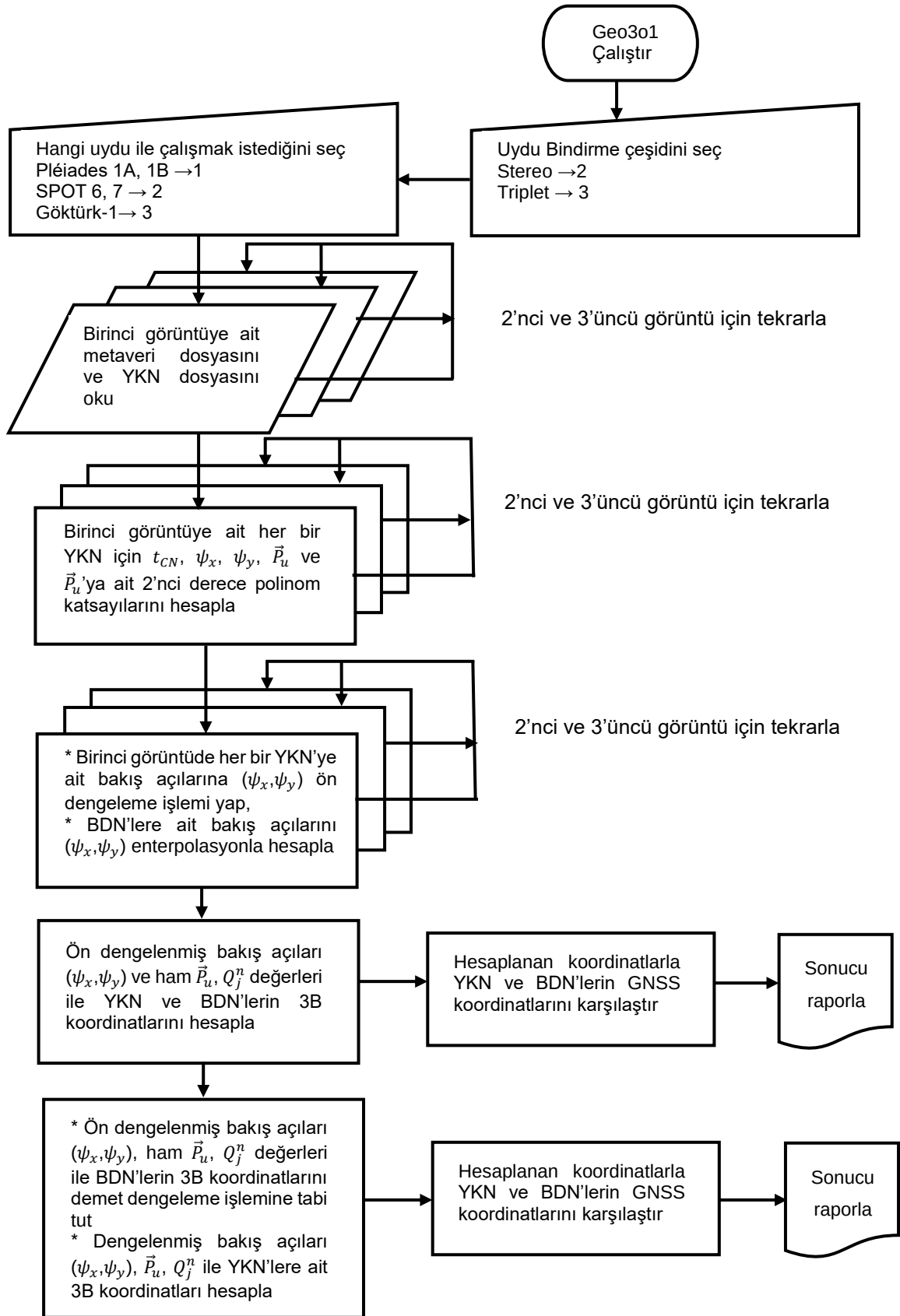
$$\begin{aligned} \underline{\Delta X} &= \underline{\bar{X}} - X_e \\ \underline{\Delta Y} &= \underline{\bar{Y}} - Y_e \\ \underline{\Delta Z} &= \underline{\bar{Z}} - Z_e \end{aligned} \quad (11)$$

ile hesaplanır. Karesel ortalama hatalar (KOH) ise, p YKN/BDN nokta sayısı olmak üzere;

$$\begin{aligned} m_x &= \pm \sqrt{\frac{[\Delta X \Delta X]}{p}} \\ m_y &= \pm \sqrt{\frac{[\Delta Y \Delta Y]}{p}} \\ m_z &= \pm \sqrt{\frac{[\Delta Z \Delta Z]}{p}} \end{aligned} \quad (12)$$

ile hesaplanır ve doğruluk değerlendirme (12) bağıntısıyla bulunan KOH değerlerine göre yapılır.

Yukarıda ifade edilen tüm adımlar ve hesaplamalar, Göktürk-1 görüntüleri için ilk versiyonu Topan (2022) tarafından Pléiades 1A görüntüleri için MATLAB ortamında geliştirilen Geo3o1 modülünde kodlanmıştır. Bu kapsamda Geo3o1 modülünde, ön ve demet dengelemeyi kapsayan iş akış diyagramı Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Geo3o1 iş akış diyagramı (Topan, 2022)

4. UYGULAMA

Bu bölümde, Göktürk-1 uydu görüntüleri ile Zonguldak test alanında yapılan uygulamaya yer verilmiştir. Söz konusu çalışma kapsamında üçlü bindirmeli olarak alımı yapılan görüntülerin algılayıcı bağımlı yöneltilme modeli ile GeoEtrim yazılımı (Geo3o1 modülü) kullanılarak yöneltilmesi ve üç boyutlu konum bilgisinin elde edilmesi sağlanmıştır. GeoEtrim yazılımına ilişkin kodlara GeoEtrim (2022)'den ulaşılabilir.

a. Test Alanı, Yardımcı Veriler ve Görüntüler

Uygulama kapsamında, Zonguldak test alanına ait 2018 tarihli üçlü bindirmeli olarak alımı yapılmış Göktürk-1 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntüler altı ayrı dizine ait görüntünün sanal olarak birleştirilmesi sonucu elde edilen ve metaveri açısından da en zengin içeriğe sahip gerçek görüntüye en yakın Seviye 2A (L2A) görüntülerdir. Ayrıca metaveri dosyası, Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu (International Organization for Standardization-ISO) 19115 temel standartına uygun olarak üretilerek Sayısal Görüntü Dosyası (Digital Image Map-DIMAP) yapısında, Genişletilebilir İşaretleme Dili (Extensible Markup Language-XML) formatlı olarak görüntüyle birlikte kullanıcıya sunulmaktadır. 01.11.2018 tarihli Göktürk-1 L2A görüntülere ilişkin özellikler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Üçlü bindirmeli Göktürk-1 görüntülerine ait özellikler

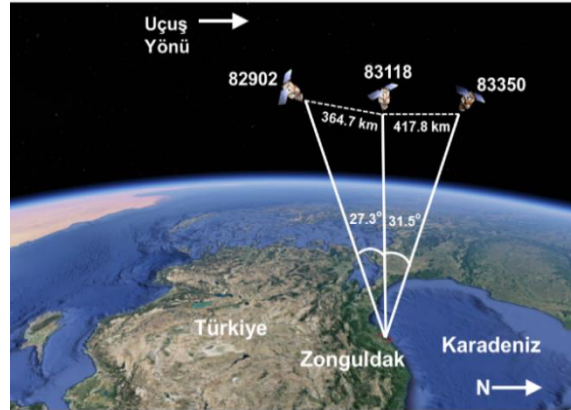
Görüntü Çiftleri	Zaman farkları (sn)	Baz (km)	Baz/Yükseklik (B/H)
82902-83118	48	364.7	0.53
83118-83350	55	417.8	0.61
82902-83350	103	782.5	1.14

Zonguldak test alanı konumsal doğruluk çalışmaları dâhil birçok konuma bağlı uygulamada farklı uydu görüntüleri kullanılarak, çeşitli analizlerin yapıldığı bir test alanıdır. Konum doğruluğu çalışmaları açısından Zonguldak test alanının; dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahip olması, bu arazi üzerinde yoğun yerleşim, orman ve tarım arazilerinin bir arada olması, deniz, nehir ve baraj gibi çeşitli su yapılarını barındırması önemlidir (Bayık ve diğerleri, 2016). Bu tür alanlarda özellikle konum doğruluğu

testlerinin yapılması uyduların gerçek yeteneklerini ortaya koyabilmekte, bunun gibi doğal özelliklere sahip olmayan düz ve çıplak alanlarda konum doğruluğu testleri kısıtlanmış sonuçlar verebilmektedir. Zonguldak test alanına ait Göktürk-1 görüntüleri kaplaması Şekil 3'te, Göktürk-1 görüntüleme durumu ise Şekil 4'te sunulmuştur.

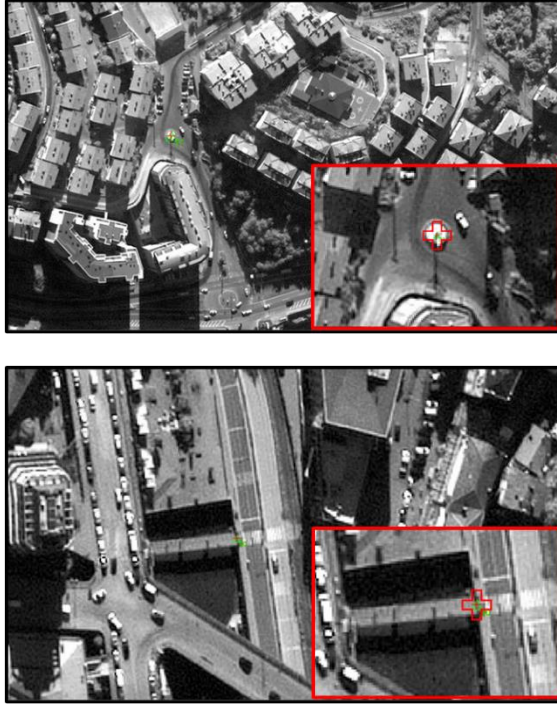


Şekil 3. Zonguldak test alanına ait üçlü bindirmeli Göktürk-1 görüntüleri kaplaması



Şekil 4. Üçlü bindirmeli görüntüleme durumu

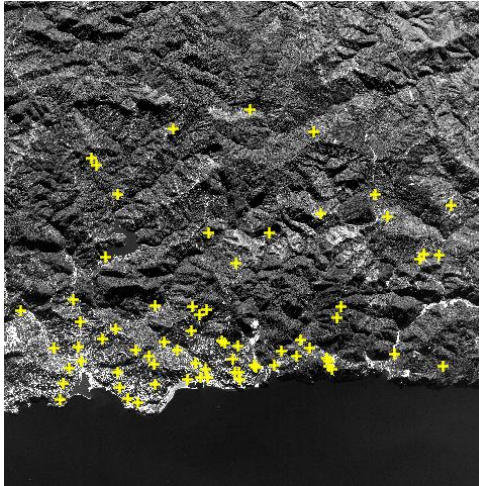
Uygulamada Topan ve diğerleri (2019) tarafından bildirilen Zonguldak test alanı içerisinde belirlenmiş 171 adet YKN'den 70 adedi kullanılmıştır. YKN'ler GNSS ölçümleri ile belirlenmiş olup doğrulukları ± 4 mm ile ± 283 mm arasında değişmektedir. Noktaların birçoğu Kapnias, Milenov ve Kay (2008) tarafından bildirilen şarta uymaktadır. Ayrıca YKN'lerin Topan, Oruç ve Koçak (2007) tarafından tavsiye edildiği gibi yüksekliği yer seviyesinde olacak şekilde, dar yol kavşakları, döner kavşaklar, küçük köprüler gibi simetrik nesnelerin ortasından, ayrıca düşey ve yatay dağılımı homojen olacak şekilde, arazi üzerinde kolay kaybolmayacak, yeri değişmeyecek noktalar olmasına dikkat edilmiştir (Şekil.5).



Şekil 5. YKN örnekleri

b. Uygulama Sonuçları

Arazi üzerinde GNSS ölçüleriyle belirlenen YKN'ler, her bir görüntü üzerinde hassas olarak tespit edilerek ilgili YKN'lere ait görüntü koordinatları bulunmuştur. YKN'lerin nadir görüntü üzerindeki dağılımı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. YKN'lerin nadir görüntü üzerindeki dağılımı (70 adet YKN)

Yöneltme işleminin ilk aşaması doğrudan yöneltme olarak da adlandırılmakta olup, ham bakış açıları ve ham DYÖ'ler ile herhangi bir dengeleme işlemine başlamadan Geo3o1

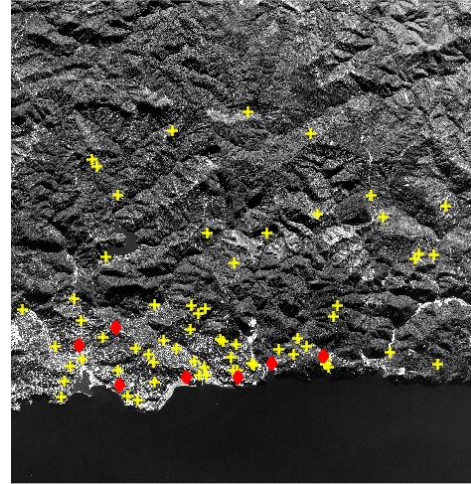
modülü aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. İkili ve üçlü bindirmeli olarak hesap yapıldığında elde edilen doğruluk değerleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Doğrudan yöneltme sonuçları

Bindirme Çeşidi	Görüntü No	Doğrudan Yöneltme Doğruluğu ($\pm m$)	$m_p (\pm m)$
İkili Bindirme	83118-82902	$m_x = \pm 1.99$ $m_y = \pm 10.18$ $m_z = \pm 7.22$	$m_p = \pm 12.63$
	83118-83350	$m_x = \pm 4.28$ $m_y = \pm 4.23$ $m_z = \pm 1.90$	$m_p = \pm 6.31$
	82902-83350	$m_x = \pm 3.26$ $m_y = \pm 5.54$ $m_z = \pm 5.55$	$m_p = \pm 8.49$
Üçlü Bindirme	82902-83118-83350	$m_x = \pm 2.14$ $m_y = \pm 6.61$ $m_z = \pm 4.23$	$m_p = \pm 8.13$

$$m_p = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2}$$

Ham değerlerle yapılan doğrudan yöneltme işleminden sonra ön ve demet dengeleme faaliyetine geçilmiştir. Bu işlemde YKN'lerin bazıları BDN olarak seçilmiştir. BDN'lerin nadir görüntü üzerindeki dağılımı Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. BDN'lerin nadir görüntü üzerindeki dağılımı (63 adet YKN, 7 adet BDN) (+: YKN, ◇: BDN)

Daha önce 2'nci bölümünde ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi uydu görüntülerinin yöneltmesinde en büyük hata kaynağı bakış açıları (ψ_x, ψ_y)

olarak belirlendiği için demet dengeleme öncesi DYÖ'ler dengeli kabul edilerek bakış açılarının ön dengelemesi yapılmıştır. Bu noktada öncelikle her bir YKN'ye ait bakış açıları ön dengeleme ile dengelendikten sonra, dengelenmiş bu değerlerle BDN'lere ait bakış açıları enterpolasyonla iç-kestirime hesaplanmıştır. Daha sonra her bir YKN ve BDN'lere ait 3B koordinatlar dengelenmiş bakış açıları ve ham DYÖ'ler aracılığı ile hesaplanarak noktaların GNSS koordinatları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Ön dengeleme işleminden sonra dengelenmiş bakış açıları, ham DYÖ'ler ve BDN'lere ait koordinatlar demet dengeleme işlemine tabi tutulmuştur. Demet dengelemede özellikle DYÖ'lerin hesaplanmasında kullanılan temel parametreler Tablo 5'te sunulmuştur. Demet dengeleme sırasında bu öğeler seçilirken en az öge ya da öge seti ile hesap yapılması tercih edilmiştir. Bu işlemde özellikle bir önceki aşamada ön dengeleme ile elde edilen koordinatların yüksek doğruluklu olması etkili olmuştur.

Tablo 5. Demet dengelemede kullanılan öğeler

Sıra No	Ögenin adı	Ögenin simgesi
1	Referans pikselin görüntülenme zamanı	$(t_{referans})$
2	Bir satırın görüntülenme zamanı	$(t_{aralık})$
3	Zamansal öteleme	$(t_{öteleme})$
4	Zamansal ölçek	$(t_{ölçek})$
5	Dördey katsayıları	(Q0, Q1, Q2, Q3)
6	Uyduya ait konum verisi (2'nci derece polinom katsayıları)	$\vec{p}_u$
7	BDN'lere ait yaklaşık koordinatlar	$\sim X, \sim Y, \sim Z$

Ön ve demet dengelemeye ilişkin sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Yapılan uygulama sonunda öncelikle herhangi bir dengeleme işlemine başvurmadan ham bakış açıları ve ham DYÖ'ler ile yapılan ve doğrudan yönelme olarak adlandırılan işleme ait sonuçlar irdelendiğinde gerek ikili ve gerekse üçlü bindirmeli görüntülerin yöneltmesi sonucunda

ortaya çıkan doğruluk değerlerinin $\pm 6-12$ m aralığında olduğu ve Göktürk-1 uydu üreticisi Telespazio firması tarafından hedeflenen doğruluk değeri (± 10 m) ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil-8'de hata vektörleri incelendiğinde yukarı yönde (görüntünün güneyine doğru) sistematik bir hatanın varlığından söz edilebilir. Bu durum, nokta konumlarının uydudan gelen ham değerlerle hesaplanması neticesinde ortaya çıkan ve beklenen bir durum olarak yorumlanmalıdır (Topan ve Maktav, 2014).

Ön ve demet dengeleme sonuçları açısından incelediğimizde ise, YKN'ler için mm altı seviyede yüksek bir doğruluğa, BDN'ler için ise 1 piksele yakın (~ 50 cm) doğruluk değerlerine erişildiği görülmektedir. Bu değerlerin gerek American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS, 2015) ve Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY, 2018) standartları, gerekse Leprince, Barbot, Ayoub ve Avouac (2007) tarafından bildirilen doğruluk değerleri içinde kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca ön ve demet dengelemeye ilişkin hata vektörleri Şekil-9 ve 10'da sunulmuş olup, dengeleme işleminden dolayı dağılımın rastgele olduğu görülmektedir.

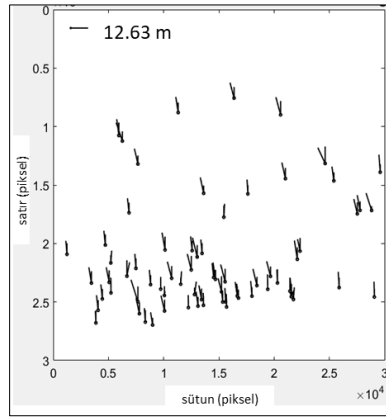
5. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'nin ilk metre altı elektro-optik uzaktan algılama uydusu olan Göktürk-1'e ait görüntülerin konum doğruluğunun belirlenmesine yönelik bir araştırma yapılmıştır. Bu amaçla Zonguldak test alanında üçlü bindirmeli olarak alınan pankromatik görüntüler kullanılmış ve görüntülerin yöneltmesinde algılayıcıya bağımlı yönelme modeli uygulanmıştır. Ayrıca bu çalışmada yazarlar tarafından özgün olarak geliştirilen yazılım kullanılmıştır. Bu kapsamda elde edilen üç boyutlu konum doğruluğu değerleri incelendiğinde gerek ulusal ve gerekse uluslararası konum doğruluğu standartlarının karşılandığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla yüksek konum doğruluğu beklenen çalışmalarda, Göktürk-1 görüntülerinin rahatlıkla tercih edilebileceği değerlendirilmektedir.

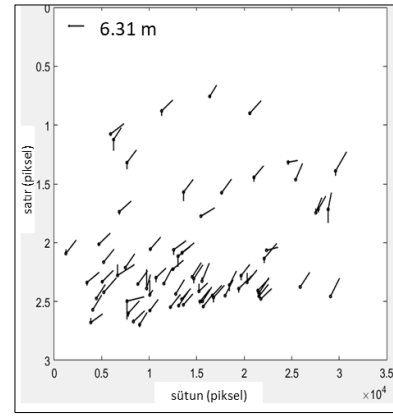
Çalışma her ne kadar güvenilir ve uluslararası öneme sahip bir test alanında gerçekleştirilmiş olsa da farklı test alanlarında uygulama yapılarak kapsamının genişletilmesinin de uygun olacağı kıymetlendirilmektedir.

Tablo 6. Ön ve demet dengelemeye ilişkin sonuçlar

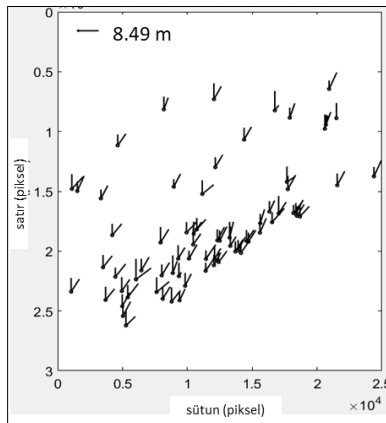
DYÖ	Bindirme Çeşidi	Görüntü Numaraları	YKN/BDN Nokta Sayısı	Nokta Türü	Ön Dengeleme $\pm m$ (YKN'ler için $\times 10^{-4}$)			Demet Dengeleme $\pm m$ (YKN'ler için $\times 10^{-3}$)		
					m_x	m_y	m_z	m_x	m_y	m_z
$(t_{referans})$	İkili Bindirme	83118-82902	63/7	YKN	1.94	2.34	1.76	2.71	3.02	6.30
				BDN	1.01	0,83	1,23	0.99	0.84	1.23
		83118-83350		YKN	0.60	0.76	1.97	0.07	1.88	0.39
				BDN	0.45	0.56	0.77	0.44	0.56	0.77
		82902-83350		YKN	0.41	0.66	1.20	6.14	7.79	9.85
				BDN	049	0.49	1.02	0.49	0.49	1.03
	Üçlü Bindirme	82902-83118-83350		YKN	0.65	0.92	0.95	2.81	5.24	13.1
				BDN	0.52	0.52	0.89	0.48	0.51	0.92



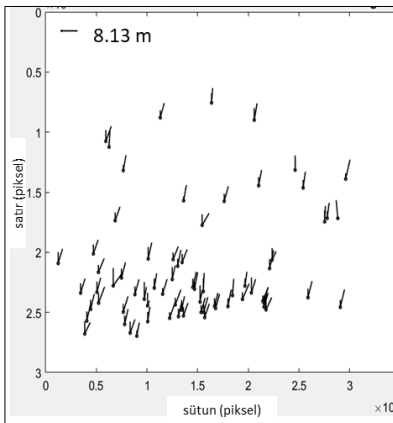
83118-82902



83118-83350

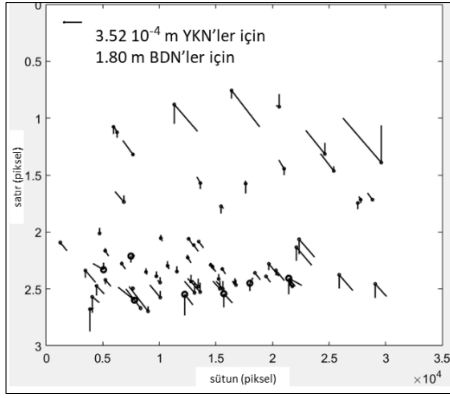


82902-83350

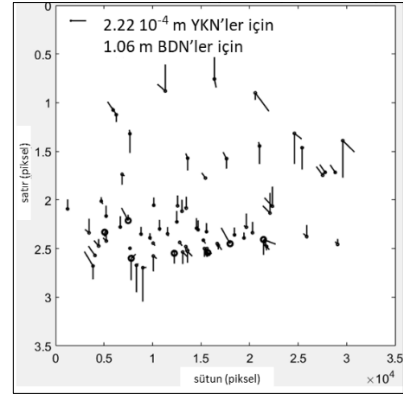


83118-82902-83350

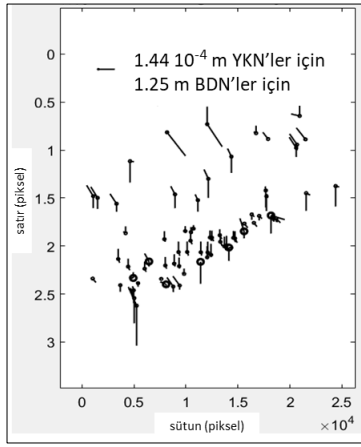
Şekil 8. Doğrudan yöneltme hata vektörleri (YKN) (Köşegen: XY, yukarı-aşağı: Z yönünde hatalar)



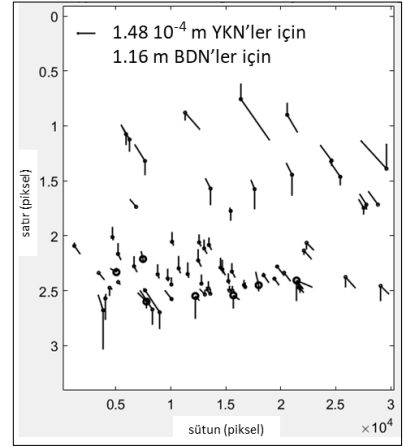
83118-82902



83118-83350

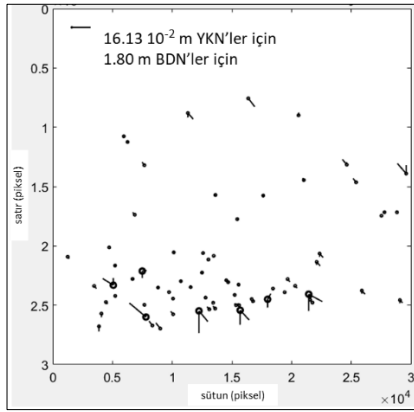


82902-83350

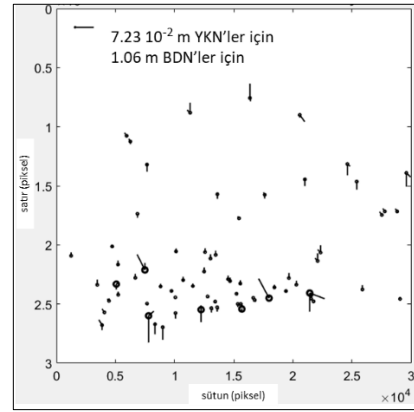


83118-82902-83350

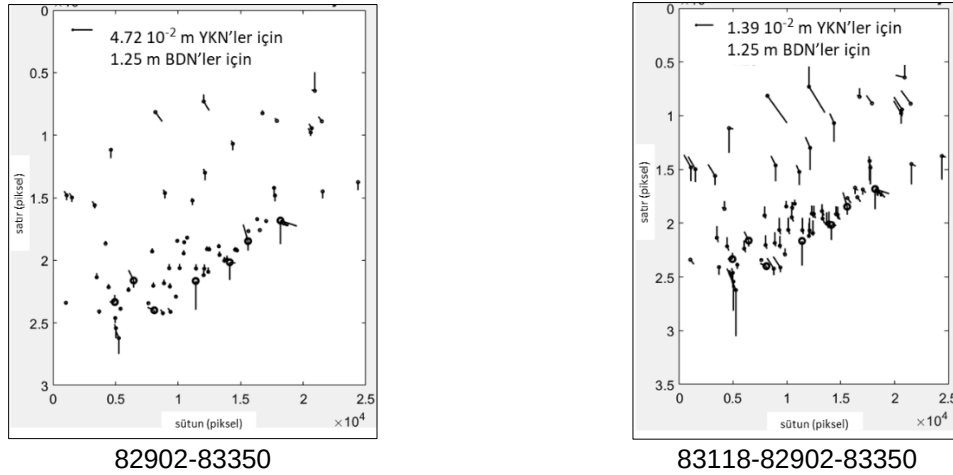
Şekil 9. Ön dengeleme hata vektörleri (YKN/BDN)



83118-82902



83118-83350



Şekil 10. Demet dengeleme hata vektörleri (YKN/BDN)

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, ikinci yazarın danışmanlığında yürütülen birinci yazara ait devam eden doktora tezindeki araştırmalara dayanmaktadır. Göktürk-1 görüntülerinin temini dolayısıyla Hava Kuvvetleri Komutanlığı'na, yer kontrol noktalarının üretilmesindeki katkılarından dolayı TÜBİTAK (Proje No: 114Y380) ve Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne (Proje No: 2014-47912266-01) teşekkür ederiz.

ORCID

Gürsu AYTEKİN  <https://orcid.org/0000-0001-7285-6826>

Hüseyin TOPAN  <https://orcid.org/0000-0001-8195-9333>

KAYNAKLAR

- Airbus Defence and Space. (2012). *Pléiades imagery user guide, V 2.0 ed.*
- Airbus Defence and Space. (2013). *SPOT 6 & SPOT 7 imagery user guide, SI/DC/13034-v1.0 ed.*
- Arasan, G., Yılmaz, A., Fırat, O., Avşar, E., Güner, H., Aygün, K., ve Yüce, D. (2020). Accuracy assessments of Göktürk-1 satellite imagery. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(3), 160-168. doi: 10.26833/ijeg.650899.
- ASPRS, (2015). ASPRS Positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 81, A1-A26.

Aytekin, G., Topan, H., Elkar, Y.E., Kişi, M. ve Erişik, O. (2019, Haziran). *2D orientation accuracy of Göktürk-1 panchromatic imagery*. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 2019, İstanbul, Türkiye. doi: 10.1109/RAST.2019.8767879

Bayık, Ç., Topan, H., Özendi, M., Oruç, M., Cam, A. ve Abdikan, S. (2016). Geospatial analysis using remote sensing images: Case studies of Zonguldak test field. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Copernicus Publications, Prague (Czech Republic), pp. 435-442. doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B1-435-2016

Boccardo, P., Sandu, C., Ajmar, A. ve Perez, F. (2019, Haziran). *Digital surface models extraction by Göktürk-1 satellite stereo pairs*. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 2019, İstanbul, Türkiye. doi: 10.1109/RAST.2019.8767887

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği. (2018). No: 2018/11962, Tertibi: 5, Cilt 59. *Fotogrametrik Çalışmalar*. Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/3.5.201811962.pdf>

Çetin, M. ve Köksal, E. (2020). *Göktürk-1 uydusunun sınıflandırma kapasitesinin alternatif uydu görüntü verileri ile karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=cMZYR-tObQax07-afG9L3Q&no=bzl5c-f1Zs60k-G-hQ3ZnQ>

- Ebner, H., Hofmann, O., Konus, W., Muller, R. ve Stlunz, G. (1991). A simulation study on point determination using MOMS-02/D2 imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 57 No:10. Erişim adresi: http://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1991journal/oct/1991_oct_1315-1320.pdf
- Edmundson, K. ve Fraser, C.S. (1998). A practical evaluation of sequential estimation for vision metrology. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 53 (5):272-85. doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(98\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(98)00014-8).
- Förstner, W. ve Wrobel, B.P. (2016). *Photogrammetric Computer Vision: Statistics, Geometry, Orientation and Reconstruction*. İsviçre: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-11550-4
- GeoEtrim (Geospatial evaluation and training of images). (2022). Erişim adresi: www.github.com/geoetrim
- Giribabu, D., Srinivasa, S.R. ve Murthy, Y.V.N.K. (2013). Improving Cartosat-1 DEM accuracy using synthetic stereo pair and triplet. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 77, 31-43. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.12.005>
- Gültekin, F.G., Atak, V.O., Ayaz, M. E. ve Arı, M. (2019, Haziran). *Geometric accuracy in satellite imagery: Test methods & Göktürk-1 performance evaluation*. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 2019, İstanbul, Türkiye. doi: 10.1109/RAST.2019.8767793
- Hartley, R. ve Zisserman, A. (2003). *Multiple view geometry in computer vision*. İngiltere: Cambridge University Press.
- Jeong, J., Yang, C. ve Kim, T. (2015). Geopositioning accuracy using multiple-satellite images: IKONOS, QuickBird, and KOMPSAT-2 Stereo Images. *Remote Sensing* 7, 4549-4564. doi:10.3390/rs70404549.
- Joseph, G. (2015). *Building Earth Observation Cameras*. Florida, USA: CRC Press.
- Jung, H.S., ve Won, J.S. (2008). Formulation of distortion error for the line-of-sight (LOS) vector adjustment model and its role in restitution of SPOT imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 63 (6): 610-20. doi: [DOI10.1016/j.isprsjprs.2008.03.002](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.03.002).
- Kapnias, D., Milenov, P. ve Kay, S. (2008). Guidelines for best practice and quality checking of ortho Imagery, *European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen*. doi: 10.2788/36028.
- Kornus, W., Alamús, R., Ruiz, A. ve Talaya, J. (2006). DEM generation from SPOT-5 3-fold along track stereoscopic imagery using autocalibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 60 (3):14759. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2005.12.004](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2005.12.004).
- Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F. ve Avouac, J.P. (2007). Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of satellite images, application to ground deformation measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 45, 1529-1558. doi:10.1109/Tgrs.2006.888937
- Li, R., Zhou, F., Niu, X. ve Kaichang, D. (2007). Integration of Ikonos and QuickBird imagery for geopositioning accuracy analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73 No:9. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net>
- Li, H. (2010, Haziran). *Multi-view structure computation without explicitly estimating motion*. 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Canberra, Avustralya. doi:10.1109/CVPR.2010.5540005.
- OGC. (1999). *The OpenGIS abstract specification Topic 6: The Coverage Type and its Subtypes Version 4*. Erişim adresi: <https://www.ogc.org/docs/1as>
- Ottaviano, M., Sertel, E. ve Marchetti M. (2019, Haziran). *Turkish Satellite Göktürk-1 at work: applications for artificial, natural and semi-natural resources, mapping and inventory*. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 2019, İstanbul, Türkiye. doi: 10.1109/RAST.2019.8767465

- Öztürk, E. ve Şerbetçi, M. (1995). Dengeleme Hesabı Cilt II. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını.
- Polat, H.C, Atak, V.O., Kocabıçak, İ.E., Gürçay, E., Gültekin F.G., ve Yanteri, E.E. (2019, Haziran). *Satellite imagery calibration and quality assessment tests: GÖKTÜRK-1 case study*. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 2019, İstanbul, Türkiye. doi: 10.1109/RAST.2019.8767436
- Poli, D. ve Toutin, T. (2012). Review of developments in geometric modelling for high resolution satellite pushbroom sensors. *The Photogrammetric Record* 27, 58-73. doi: 10.1111/j.1477-9730.2011.00665.x.
- Poli, D., Remondino, F., Angiuli, E. ve Agugiaro, G. (2015). Radiometric and geometric evaluation of GeoEye-1, WorldView-2 and Pléiades-1A stereo images for 3D information extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 100, 35–47. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.04.007.
- Ravanelli, R. Lastilla, L., ve Crespi, M. (2019, Haziran). *Orthoimage generation by GÖKTÜRK-1: A test case in Rome*. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 2019, İstanbul, Türkiye. doi: 10.1109/RAST.2019.8767878.
- Ressl, C. (2003). *Geometry, constraints and computation of the trifocal tensor*, faculty of science and computer science. (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.128.9482&rep=rep1&type=pdf>
- Tarçın, A. Ç., Poyraz, Ü., Bayramoğlu, M., Şahin, D. Ö., Yalçinkaya, E., ve Çelebioğlu, O. (2019, Haziran). *GÖKTÜRK-1 satellite propulsion subsystem design, integration, test and launch campaign activities*. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 2019, İstanbul, Türkiye. doi: 10.1109/RAST.2019.8767822.
- Telespazio. (2022). Gökürk-1. Erişim adresi: <https://www.telespazio.com/en/programmes/gokturk>
- Topan, H., Oruç, M. ve Koçak, M.G. (2007, Nisan). *Ortogörüntü üretiminde yer kontrol noktası seçimi ve sonuçlara etkisi*. 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara. Erişim adresi: https://obs.hkmo.org.tr/show-media/resimler/ekler/CBCF_bf12cb74e96e67e_ek.pdf
- Topan, H. ve Maktav, D. (2014). Efficiency of orientation parameters on georeferencing accuracy of SPOT-5 HRG Level-1A stereoimages. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52, 3683-3694. doi: 10.1007/s12524-013-0273-4
- Topan, H., Jacobsen, K., Cam, A., Ozendi, M., Oruç, M., Bakioğlu, O., ... Taşkanat T. (2019). Comprehensive evaluation of Pléiades-1A bundle images for geospatial applications. *Arabian Journal of Geosciences* 12 (7:223):1-16. doi: 10.1007/s12517-019-4353-9.
- Topan, H. (2022). 3D Georeferencing Accuracy Assessment of Pléiades-1A Stereo Panchromatic Images by Sensor Dependent Orientation Model. *Journal of Applied Remote Sensing*. (Under review).
- Ünal, A. ve Yıldız, F. (2022). Gökürk-1 uydu görüntülerinin pankeşkinleştirme performansının incelenmesi. *Geomatik* 6 (2):148-64. doi: 10.29128/geomatik.731816.
- Wang, X. ve Clarke, T.A. (2001). Separate adjustment in close-range photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 55, 289–298. Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(01\)00021-1](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(01)00021-1)
- Weser, T., Rottensteiner, F., Willneff, J., Poon, J. ve Fraser, C.S. (2008). Development and testing of a generic sensor model for pushbroom satellite imagery. *The Photogrammetric Record* 23, 255-274. doi:10.1111/j.1477-9730.2008.00489.x.
- Yavaş, G. ve Akgül, S. (2019, Haziran). *GÖKTÜRK-1 satellite system level radiated emission and radiated susceptibility tests*. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 2019, İstanbul, Türkiye. doi: 10.1109/RAST.2019.8767824.
- Zhang, L. (2005). *Automatic digital surface model (DSM) generation from linear array images*. (Doktora Tezi). Erişim adresi: https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/igp/igp-dam/documents/PhD_Theses/88.pdf

Havalimanlarında Yapısal Değişimlerin PSInSAR Tekniği ile Belirlenmesi: İstanbul Havalimanı Örneği

(Detection of Structural Movements with PSInSAR Technique at Airports: A Case Study of Istanbul Airport)

Nur YAĞMUR^{*1,2}, Nebiye MUSAĞLU¹

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

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

yagmurn@itu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 09.05.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 27.07.2022

ÖZ

Deniz dolgusuna veya ıslah edilen arazilere inşa edilen havalimanları, gerek yapının ağırlığıyla zeminde oturması ve gerekse de dolgu kili kullanıldığında kilin zamanla şişmesi-kabarması sonucu yapıyı kaldırmasına karşı oldukça hassas konumdadır. Ayrıca, dolgularda zemin sıvılaşması tektonik hareketlere karşı yapıyı daha da hassas bir hale getirmektedir. Zaman içerisinde zeminde ve yapılarda meydana gelen hareketlerin belirlenmesi amacıyla geliştirilen Interferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR-Interferometric Synthetic Aperture Radar) zaman serisi yöntemleri, kullanılan uydu görüntülerinin mekânsal çözünürlüğüne bağlı olarak mm mertebesinde meydana gelen deformasyonları belirleyebilmektedir. Bu çalışmada, sulak alanlar üzerine inşa edilen İstanbul Havalimanı'nın kullanıma açıldığı Kasım 2018'den Kasım 2021 yılına kadar meydana gelen yapısal hareketler Sabit Saçıcı Interferometri (PSI-Persistent Scatterer Interferometry) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada, Avrupa Uzay Ajansı tarafından ücretsiz olarak servis edilen ve yükselen yörüngede alınan 186 Sentinel-1 SAR görüntüsü kullanılmıştır. Ayrıca sonradan inşa edilen C pisti için gerçekleştirilen analizde de Temmuz 2020-Kasım 2021 zaman aralığında 85 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre havalimanının kuzey kesimlerinde uydu bakış yönünde negatif yönde yüzey hareketi tespit edilirken, güney kesimlerinde ise pozitif yönde yüzey hareketi tespit edilmiştir. 73 ha sulak alanın ıslah edildiği bölgenin çevresinde -20 mm'ye varan yüzey hareketlerinin belirlenmesi, havalimanlarında ıslah edilerek doldurulan alanların zemin hareketlerine karşı daha hassas olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, özellikle dolgu alanlar üzerine inşa edilen yapılarda ve özellikle havalimanlarında hem yersel hem de uydu bazlı sürekli izleme sistemlerinin kurulması için yol gösterici olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Algılama, InSAR, Havalimanı, PSI, İstanbul Havalimanı

ABSTRACT

Airports built on sea fill or reclaimed land are quite sensitive to the fact that the settlements occur due to the weight of the structure, and when the clay is used as filling material, the clay swells over time and lifts the structure. In addition, soil liquefaction in filled lands makes the structure even more sensitive to tectonic

movements. Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) time series methods, developed for determining the movements that occur over time, can determine the mm scale deformations depending on the spatial resolution of the satellite image used. For this purpose, the deformation analysis of Istanbul Airport, which was built on reclaimed wetlands area, between the years November 2018 that airport was put into operation and November 2021 using the Persistent Scatterer Interferometry (PSI) method. In the study, 186 Sentinel-1 SAR images in ascending orbit direction provided free of charge by the European Space Agency were used. In addition, 85 satellite images were used in the analysis carried out between July 2020 and November 2021 for the runway C which was put into operation in July 2020. According to the obtained results, settlement movement was detected in the satellite line of sight (LOS) direction in the northern parts of the airport, while the uplift movement was detected in the southern parts. Determination of up to 20 mm settlement movements around the area where 73 ha of wetland was reclaimed shows that the reclaimed areas were more sensitive to the movements in the airport. The obtained results can be used as a guide for the establishment of both terrestrial and satellite-based continuous monitoring systems, especially in airports built on filled areas.

Keywords: Remote Sensing, InSAR, Airport, PSI, Istanbul Airport

1. GİRİŞ

Büyük şehirlerde nüfusun artmasıyla ulaşım altyapılarında yeni ihtiyaçlar doğmuştur. Zaman içerisinde şehirleşme kırsal alanlara doğru ilerlemiş, hatta artan ihtiyacı karşılamak için deniz dolgusu veya inşaata elverişli olmayan alanların ıslahına doğru yönelim başlamıştır (Zhuo ve diğerleri, 2019). Son yıllarda, havalimanları da birçok farklı ülkede şehir merkezine uzak ve dolgu alanlar üzerine inşa edilmektedir (Liu ve diğerleri, 2019; Wu ve diğerleri, 2020; Bayik ve Abdikan, 2021).

Arazi ıslahı veya deniz dolgusu genellikle dolgu malzemelerinin konsolide olmayan deniz çökelleri üzerine boşaltılması olarak ifade edildiğinden (Yang ve diğerleri, 2018), bu şekilde kazanılan alanlar üzerine inşa edilen liman, otoyol,

havalimanı pistleri ve yeraltı tesisleri gibi ulaşım yapılarında hasarlar oluşabilmektedir (Liu ve diğerleri, 2019). Özellikle dolgu alanlar üzerine inşa edilmiş pistler üzerinde meydana gelebilecek yapısal hasarlar can ve mal kaybının yanı sıra ciddi ekonomik kayıplara da sebep olabilir.

Yapı hasarları birçok geleneksel yöntemle tespit ve takip edilebilmektedir. Ancak Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS-Global Navigation Satellite Systems), nivelman, inklonometre vb. ölçme yöntemleri yüksek doğruluğa sahip olsa da nokta tabanlı olup büyük altyapı tesislerinin zemin hareketlerinin belirlenmesinde yüksek iş gücü ve maliyet gerektirmektedir (Wang ve diğerleri, 2011; Baek ve diğerleri, 2019). Bu noktada, İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR-Interferometric Synthetic Aperture Radar) düşük maliyet, kötü hava koşullarında dahi algılama kapasitesi, yüksek mekânsal çözünürlük ve geniş kapsama alanı bakımından zemin ve yapı deformasyonlarının belirlenmesinde sıklıkla tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir (Hu ve diğerleri, 2014). İnterferometri teknikleri sadece arazi yüzeyinde meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde değil (Talib ve diğerleri, 2022), köprü (Xiong ve diğerleri, 2021), demiryolu (Zhang ve diğerleri, 2019), karayolu (Macchiarulo ve diğerleri, 2022) ve havalimanı (Bianchini Ciampoli ve diğerleri, 2020) gibi birçok ulaşım altyapısında meydana gelen konumsal değişimin tespitinde de sıkça kullanılmaktadır. Günümüzde ücretsiz SAR uydu verilerine erişimin kolaylaşması da uygulamaların yaygınlaşmasında en büyük etkenlerden biridir.

Konumsal değişimin belirlenmesinde kullanılan InSAR tekniği, farklı zamanlarda aynı bölgeyi kapsayan iki SAR görüntüsünü kullanır ve uydu bakış doğrultusu (UBD) boyunca yüzey yer değiştirmesini elde etmek için iki zaman periyodu arasındaki faz farkını ölçer (Gabriel ve diğerleri, 1989). Değişimin sürekli olarak izlenebilmesi için ise InSAR zaman serisi yöntemleri geliştirilmiştir. Sabit Saçıcı İnterferometri (PSI-Persistent Scatterer Interferometry) ve Kısa Baz Uzunluğu İnterferometri (SBAS-Small Baseline Subset) en çok kullanılan zaman serisi yöntemleridir. PSI, yapay yüzeylerin deformasyonlarının belirlenmesinde santimetrenin altında doğrulukta başarılı sonuçlar verirken (Van der Horst ve diğerleri, 2018; Erten ve Rossi, 2019), SBAS yönteminin ise arazi yüzeyi değişimlerinin belirlenmesinde kullanımı daha uygundur (Chen ve diğerleri, 2018). Bu yüzden, çalışma kapsamında PSI yöntemi kullanılmıştır.

PSI yöntemi kullanılarak havalimanlarında konumsal değişimlerin belirlenmesi üzerine literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bianchini

Ciampoli ve diğerleri (2020), İtalya'da bulunan Leonardo Da Vinci Uluslararası Havalimanı'nda meydana gelen değişimleri belirlemek için havalimanının 3. pisti üzerinde yapılan nivelman ve LiDAR ölçmelerinin yanı sıra COSMO-SkyMed uydu verilerine PSI yöntemini uygulamıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde PSI tekniğinin deformasyon analizinde oldukça doğru ve güvenilir sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Çin'de bulunan ve deniz dolgusu üzerine inşa edilmiş Shanghai Pudong Uluslararası Havalimanı için gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise Sentinel-1 uydu görüntülerine PSI yöntemi uygulanmış ve elde edilen sonuçların nivelman ölçmeleri ile tutarlı olduğu belirtilmiştir (Bao ve diğerleri, 2022). Sentinel-1 uydu verilerinin ücretsiz olarak erişime açılması ve orta mekânsal çözünürlüğe sahip C bandının havalimanı gibi yapı türlerindeki konumsal değişiminin tespitinde uygulanabilirliği birçok çalışmayla ortaya konmuştur (Marshall ve diğerleri, 2018; Hu ve diğerleri, 2019; Gagliardi ve diğerleri, 2021).

Yağmur ve diğerleri (2022) tarafından İstanbul Havalimanı'nda meydana gelen konumsal değişim PSI ve SBAS yöntemleriyle Kasım 2018-Mart 2021 zaman aralığı için tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ise dolgu alanlar üzerine inşa edilen ve İstanbul'un 3. havalimanı olan İstanbul Havalimanı'nın Kasım 2018-Kasım 2021 zaman aralığında 3 yıllık konumsal değişim analizinin yanı sıra inşaatı sonradan tamamlanan C pisti için de ayrıca interferometrik analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilip zaman serisi olarak da incelenerek zemin yapısıyla ilişkisi kurulmuştur. Yüzey hareketleri, ücretsiz olarak temin edilen Sentinel-1 uydu görüntülerine PSI yönteminin uygulanmasıyla mm ölçeğinde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar inşaat öncesi ıslah edilen sulak alanların konumuyla ilişkilendirilerek verilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

İstanbul Havalimanı, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda, Karadeniz'e kıyısı olan Tayakadın ile Akpınar köyleri arasındaki 76,5 km² alan üzerine inşa edilmektedir (Şekil-1). 2014 yılında başlayan zemin etütlerinin tamamlanmasının ardından Mayıs 2015'te başlanan havalimanı inşaatı 4 fazdan oluşmaktadır. Şu an birinci faz evresinde olan havalimanının 2029 yılında tamamlanması planlanmaktadır ("İGA", t.y.). 6 adet pistten oluşan İstanbul Havalimanı, iki pisti tamamlandıktan sonra 29 Ekim 2018'de kullanıma açılmıştır.



Şekil 1. İstanbul Havalimanı'nın Türkiye haritası üzerinde konumu ve Google Earth görüntüsü

İstanbul Havalimanı'nın inşa edildiği bölge, 1970-1990 yılları arasında şehrin kömür ihtiyacını karşılamak amacıyla açık kömür ocağı olarak kullanılmaktaydı. Başlangıçta orman alanlarından kömür çıkarılırken, yer üstü kaynaklarının tükenmesiyle kömür sahalarından çıkarılan kazı materyalleri kullanılarak deniz dolduruldu ve kömür ocakları için yeni alanlar açıldı. 1990'lardan sonra doğalgazın şehre gelmesi yeni bir alternatif oluşturdu ve kömür kullanımının azalmasıyla açık kömür ve kum ocakları terkedildi (Seker ve diğerleri, 2008). Terkedilen maden ocakları zamanla yeraltı suyu ve yağmur suyuyla dolarak sulak alanları oluştururken, kum artıklarıyla oluşan yığınlar da ağaçlandırılmıştır (JMO, 2014). Kömür ve kum ocakları kazılırken çıkarılan kazı malzemeleri ise gelişigüzel yerleştirilerek hem sulak alanların oluşmasına sebep olmuş hem de bölgenin ekolojik sistemini bozmuştur (Cingöz, 2017). Oluşan sulak alanlar ise zamanla kendi ekosistemini oluşturmuştur. Ancak havalimanı inşaatına başlanmasıyla sulak alanların ekosistemi tahrip edilmiş ve ıslah edilerek doldurulmuştur. Ayrıca bölgedeki zemin yapısı "zayıf zemin" olarak nitelendirilmekte ve mühendislik uygulamalarına uygun olmadığı da ifade edilmektedir (Cingöz, 2017). Şekil 2'de Landsat 8 uydu görüntüleriyle havalimanı inşaatı öncesi ve sonrası gösterilmiştir. Şekil 2a'da yer alan irili ufaklı birçok sulak alanın, havalimanı inşaatı sonrası yok olduğu Şekil 2b'de görülmektedir.

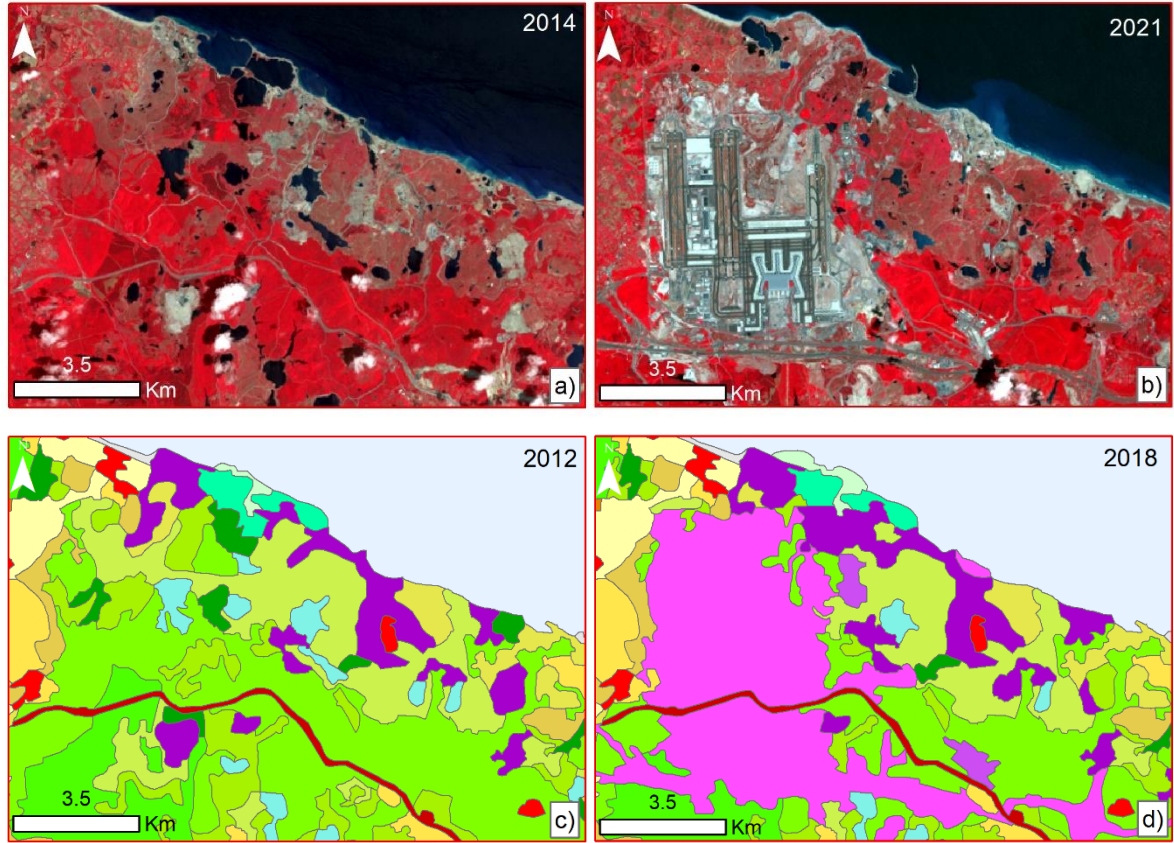
Çalışma alanının arazi örtüsü/arazi kullanımı (AÖ/AK) haritaları ise Şekil 2c ve 2d'de verilmiştir. AÖ/AK haritaları, Avrupa Çevre Ajansı tarafından

yürütülen Çevresel Bilginin Koordinasyonu (CORINE-Coordination of Information on the Environment) programı ile 1:100 000 ölçekli olarak hazırlanmakta ve ücretsiz olarak sunulmaktadır ("CORINE", t.y.). Çalışma alanını da kapsayan 2012 ve 2018 yıllarına ait AÖ/AK haritaları incelendiğinde, havalimanı inşaatı öncesinde bölgede, orman ve eski maden ocaklarının su ile dolmasıyla oluşan su kütlelerinin hâkim olduğu görülmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

Sentinel-1 uydu görüntüleri, hem orta çözünürlükteki SAR uydu görüntülerinin bölgesel çalışmalarda yeterli potansiyele sahip olması hem de ücretsiz ulaşılabilmesinden dolayı güncel literatürde sıkça tercih edilmektedir. Çalışmada havalimanının kullanıma açıldığı Kasım 2018-Kasım 2021 zaman aralığında algılanmış 186 adet Sentinel-1 SAR uydu görüntüsü kullanılmıştır. Ayrıca uygulamanın gerçekleştirildiği süre zarfında inşaat halinde olan C pisti için de zaman serisi aralığı C pistinin kullanıma açıldığı tarihe (Temmuz 2020-Kasım 2021) çekilerek 85 görüntü ile tekrarlanmıştır.

Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri, Avrupa Uzay Ajansı (ESA-European Space Agency) tarafından ücretsiz olarak servis edilmektedir. Orta mekânsal çözünürlükteki C bandına sahip Sentinel-1 uydu verisinin kullanılmasıyla mm mertebesinde doğruluk sağlanmaktadır (Ma ve diğerleri, 2019). 12 gün olan zamansal çözünürlüğü, Avrupa üzerinde 6 güne yükselmektedir. İstanbul Havalimanı da bu bölgeye dahil olduğundan, kullanılan veri setinin zamansal sıklığı 6 gündür.

**CORINE AÖ/AK**

- Süreksiz kentsel doku
- Endüstriyel veya ticari birimler
- Kara ve demiryolu ağları
- Maden sahaları
- İnşaat sahaları
- Önemli doğal bitki örtüsüne sahip, esas olarak tarım tarafından işgal edilen arazi
- Sulanmayan ekilebilir arazi
- Üzüm bağları
- Meralar
- Karışık tarım örtüsü
- Geniş yapraklı orman
- İğne yapraklı orman
- Karışık orman
- Doğal çayır
- Geçici ağaçlık/çalı
- Plajlar, kum tepeleri, kumlar
- Seyrek bitki örtüsü olan alanlar
- Su kütlesi
- Kıyı lagünleri
- Deniz ve okyanus

Şekil 2. Çalışma alanının a) havalimanı inşa edilmeden önce (2014) ve b) inşa edildikten sonrasına (2021) ait Landsat 8 (Yakın Kızılötesi-Kırmızı-Yeşil) uydu görüntüleri ile CORINE programı ile elde edilen 2012 (c) ve 2018 (d) yıllarına ait AÖ/AK haritası

Hem yükselen hem de alçalan yörüngede veri temin edebilen Sentinel-1 uydusunun, yükselen yörüngede elde edilen görüntüleri ile zaman serisi InSAR analizi gerçekleştirilmiştir. Düz yüzeylerde yükselen ve alçalan yörüngede benzer sonuçlar elde edildiğinden (Aslan ve diğerleri, 2019; Bilgilioğlu ve diğerleri, 2021) çalışma alanının topografik yapısı göz önünde bulundurularak sadece yükselen yörüngede elde edilen görüntüler kullanılmıştır.

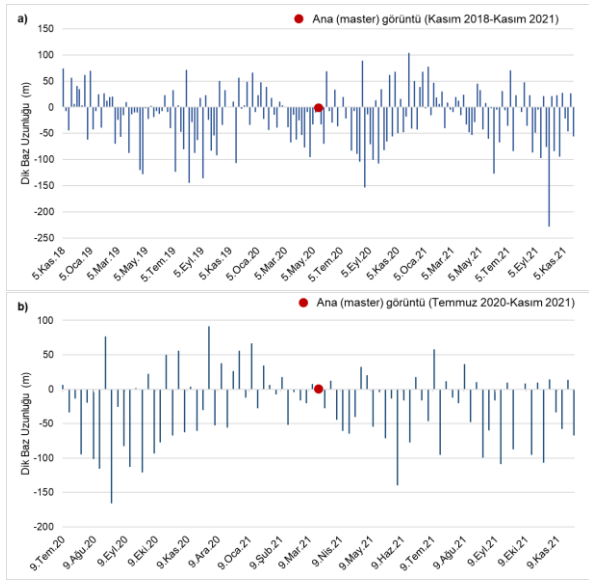
Kullanılan uydu verilerinin teknik özellikleri ve zaman aralıkları Tablo 1’de verilmiştir. Kullanılan görüntüler tek bakışlı karmaşık (SLC-Single Look Complex) formatında elde edilmiş ve düşey-düşey (VV- Vertical-Vertical) polarizasyonda çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan Sentinel-1 uydu verisinin teknik özellikleri ve detayları (“ESA”, t.y.)

Algılayıcı	Sentinel-1	
Dalga Boyu	C bandı	
Modu	IW (Interferometric Wide)	
Mekansal	5×20	
Çözünürlük	(azimut×menzil)	
Polarizasyon	VV	
Yörünge	54	
Geçiş yörüngesi	Yükselen	
	Tümü	C pisti
Periyot	Kasım 2018	Temmuz 2020
	Kasım 2021	Kasım 2021
Ana görüntü	16.05.2020	18.03.2021
Görüntü sayısı	186	85

Çalışma kapsamında PSI zaman serisi InSAR yöntemi kullanılmıştır. Ferretti ve diğerleri (2000) tarafından geliştirilen PSI yönteminde, sabit

saçıcılar (PS-Persistent Scatterer) olarak anılan faz kararlı noktasal hedefler, elektromanyetik geri saçılımlarının genlikleri üzerinde istatistiksel bir analiz temelinde tespit edilebilmektedir. $N + 1$ adet SAR görüntüsünden, ortak ana (öncül) görüntüye göre N adet interferogram üretilmektedir. Sabit saçıcılar dekorelasyondan etkilenmediğinden, normal ve zamansal baz uzaklığına bakılmaksızın tüm interferogramlar PSI işlemine dahil edilebilir (Colesanti ve diğerleri, 2003). Kullanılan Sentinel-1 uydu görüntülerinin zamansal ve dik baz uzunlukları Şekil 3'te gösterilmektedir. Öncül görüntü ise kırmızı renkle gösterilmiştir. Interferogramlar öncül görüntü baz alınarak üretilmiştir.



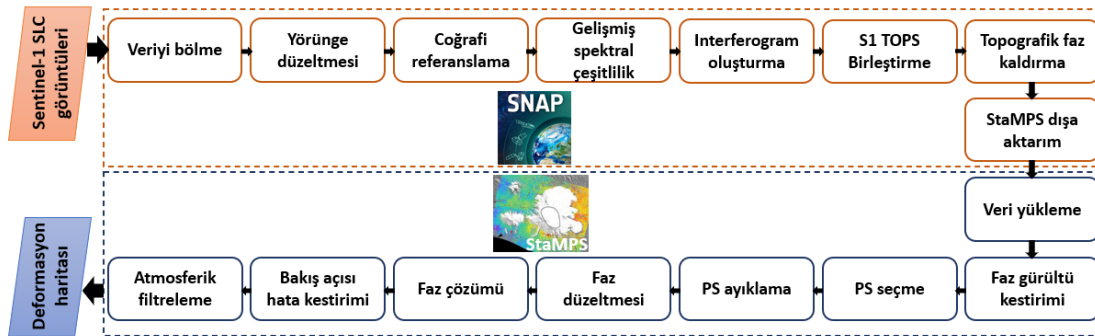
Şekil 3. a) Kasım 2018-Kasım 2021 186 SAR görüntüsü, b) Temmuz 2020-Kasım 2021 85 SAR görüntüsü ile gerçekleştirilen PSI zaman serisi dik ve zamansal baz uzaklığı

Interferogramlar üretilmeden önce 3 interferometrik geniş alan modunda alınan şerit (sub-swath) ve 9 parçadan (burst) oluşan SLC görüntüler, çalışma bölgesini kapsayan şeritteki ilgili parçalar seçilerek bölünür. Yörünge düzeltmelerinin ve mekânsal düzeltmelerin

yapılmasıyla görüntüler, interferometrik analize hazır hale getirilir. Interferogram üretimi, üretilen interferogramların birleştirilmesi ve topografik faz etkilerinin giderilmesiyle veriler PSI işlemine hazır hale getirilir. PS seçimi, SRTM (30×30 m) sayısal yükseklik modeli ile hata düzeltmesi ve faz çözümü (unwrapping) işlemleri de uygulanarak konumsal değişim haritası elde edilmiştir (Osmanoğlu ve diğerleri, 2016). Atmosferik filtreleme aşamasında TRAIN (Toolbox for Reducing Atmospheric InSAR Noise) uygulama paketinden yararlanılarak kullanılan lineer model ile troposferik etkiler giderilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen PS noktalarına tutarlılık (coherence) değerlerine göre 0.60 eşik değeri uygulanarak filtrelenmiştir ve 3 yıllık süre zarfı için gerçekleştirilen analizde havalimanının inşa edildiği alan içerisinde 14907 PS noktası tespit edilmiştir. C pisti için ayrıca gerçekleştirilen konumsal değişim analizinde de aynı eşik değeri kullanılmış olup C pistinde de PS noktalarının tespit edilmesiyle beraber nokta sayısı 32057 olarak belirlenmiştir.

Çalışmada PSI yöntemi SNAP ve StaMPS yazılımları aracılığıyla uygulanmıştır. SNAP (Sentinel Application Platform), ESA tarafından uydu verilerinin işlenmesi için üretilen ücretsiz bir yazılımdır. Interferogramlar SNAP yazılımı ile üretilip, PSI analizi ise birçok farklı üniversitenin katkılarıyla geliştirilen StaMPS yazılımı aracılığıyla tamamlanmıştır. SNAP ve StaMPS aracılığıyla gerçekleştirilen PSI zaman serisi konumsal değişim analizinin işlem adımları Şekil 4'te verilmiştir.

Ayrıca, dolgu alanların tespit edilebilmesi ve zemin koşullarına etkilerinin araştırılması amacıyla havalimanı inşaatı öncesi elde edilmiş Landsat-8 uydu görüntüsü ile sulak alan sınırları tespit edilmiştir. Landsat, 40 yılı aşkın süredir ücretsiz olarak servis ettiği orta mekânsal çözünürlüğe sahip uydu verisi arşivi ile zamansal ve mekânsal analizlere olanak sağlamaktadır. Landsat-8 uydu görüntülerinin teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 4. PSI zaman serisi işlem adımları

Tablo 2. Kullanılan Landsat-8 uydu verisinin teknik özellikleri ve detayları ("USGS", t.y.)

Algılayıcı	Landsat-8
Spektral çöz. (µm)	11 bant (0.43-12.51)
Mekansal çöz.	B8: 15 m B1-7, 9: 30 m B10-11: 100 m
Radyometrik çöz.	16 bit
Zamansal çöz.	16 gün
Görüntü tarihi	01.07.2014

1 Temmuz 2014 tarihli Landsat-8 uydu görüntüsüne Normalize Edilmiş Fark Su Indisi (NDWI-Normalized Difference Water Index) uygulanmıştır ve sulak alanlar tespit edilmiştir. NDWI, uydu görüntülerinin yeşil ve yakın kızılötesi (NIR-Near Infrared) bantlarını kullanarak su alanlarını tespit eder ve elde edilen değerler -1 ve +1 değer aralığında değişmektedir (Eşitlik 1). Sıfırın üzerindeki pozitif değerlerin suyu temsil ettiği belirtilmektedir (Mcfeeters, 1996). Şekil 2a'da gösterilen 1 Temmuz 2014 tarihli uydu görüntüsü üzerinde bulut bulunmasına rağmen uydu görüntüsü arşivinde 2014 yılına ait en elverişli uydu görüntüsü olması sebebiyle yine de kullanılmıştır. Ancak bulut sebebiyle sınırları tespit edilemeyen birkaç sulak alan sınırı manuel olarak düzenlenmiştir.

$$NDWI = (Yeşil - NIR) / (Yeşil + NIR) \quad (1)$$

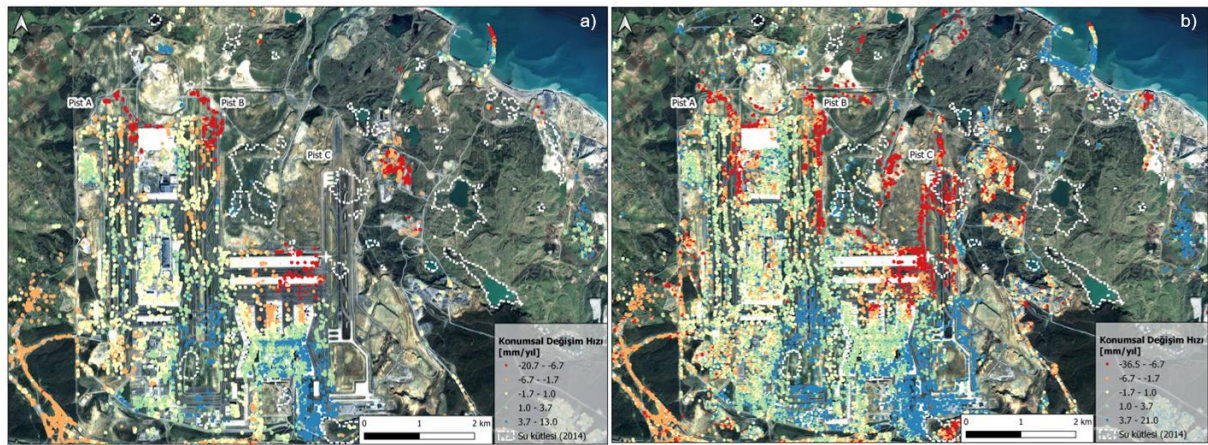
4. BULGULAR

Havalimanında meydana gelen zemin hareketlerinin tespit edilebilmesi amacıyla

yükselen yörüngede alınan 186 Sentinel-1 uydu görüntüsüne PSI yöntemi uygulanmıştır ve sonuçlar UBD yönünde elde edilmiştir. İstanbul Havalimanı 29 Ekim 2018 tarihinde kullanıma açıldığından tarih aralığı Kasım 2018-Kasım 2021 olarak belirlenmiştir. Kullanıma açıldığında sadece A ve B pistleri hizmet veren havalimanına, Temmuz 2020'de C pisti de tamamlanarak dahil edilmiştir. Ancak PSI zaman serisi yönteminde, inşaat alanları sabit saçıcı noktaların kısmen veya tamamen kaybedilmesine sebep olduğundan (Crosetto ve diğerleri, 2016) ve zaman serisi analizinin kapsadığı zaman aralığında C pisti inşaat halinde olduğundan bu piste ait konumsal değişim bilgisi ayrıca elde edilmiştir. Elde edilen değişim haritaları Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5'te kırmızı renkle gösterilen PS noktaları UBD yönünde negatif yönde yüzey (oturma) hareketini gösterirken, mavi renkle gösterilen noktalar ise pozitif yönde yüzey hareketini ifade etmektedir. Sarı, turuncu ve yeşil renkle gösterilen noktalar ise stabil hareketleri ifade etmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre analizin gerçekleştirildiği 3 yıllık süre zarfında (Şekil 5a) UBD yönünde 20.7 mm/yıl konumsal değişim hızına varan oturmaların olduğu ve 13 mm/yıl konumsal değişim hızına varan pozitif yönde yüzey hareketinin olduğu tespit edilmiştir. Terminal binasının kuzeye bakan üst bölgesinde oturma eğiliminde bir hareket tespit edilirken, terminal binasının çatısında ve güneye bakan alt bölgesinde pozitif yönde kabarma eğiliminde bir hareket tespit edilmiştir.



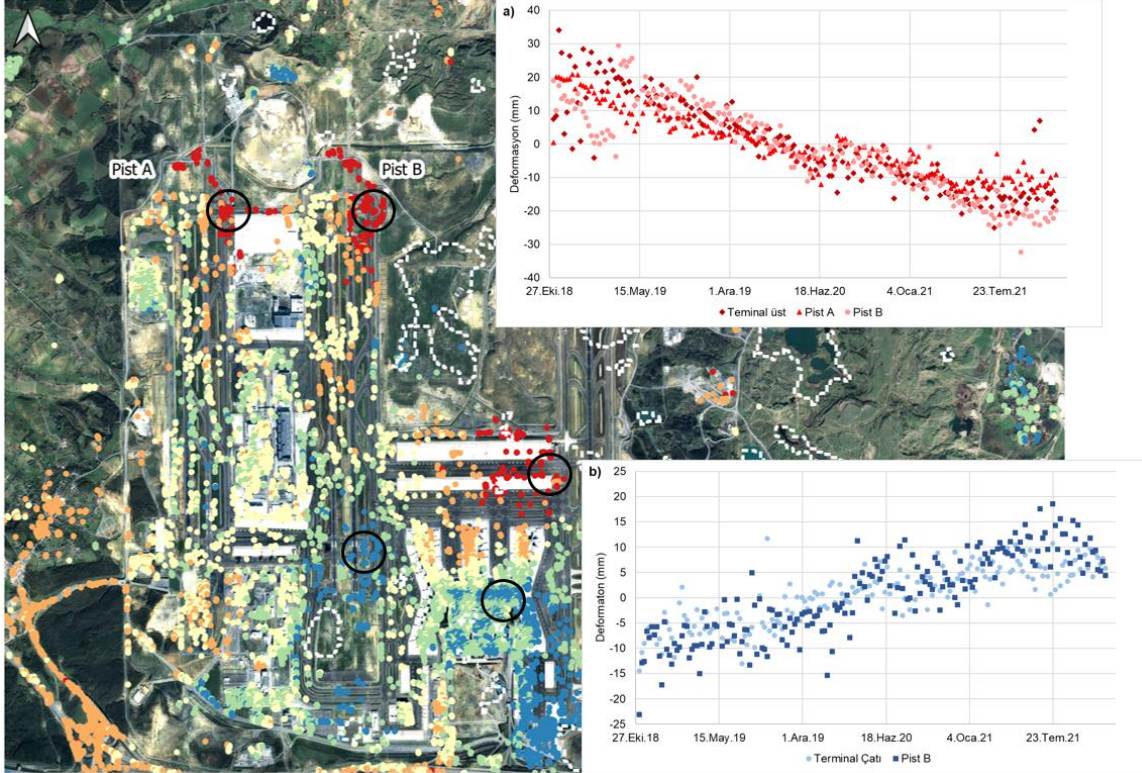
Şekil 5. a) Kasım 2018-Kasım 2021 zaman aralığında 186 SAR görüntüsünden elde edilen PSI konumsal değişim hızı haritası, b) Temmuz 2020-Kasım 2021 zaman aralığında 85 SAR görüntüsünden elde edilen konumsal değişim hızı haritası

Şekil 5b'de verilen C pistindeki yüzey hareketlerinin tespiti için gerçekleştirilen çalışma sonucunda ise konumsal değişim hızı UBD yönünde -30 mm/yıl ve 21 mm/yıl aralığında değişmektedir. C pistinde oturma/negatif yönde hareketin olması ve bu hareketin özellikle dolgu malzemesi ile ıslah edilen sulak alanın olduğu bölgeyle kesişmesi de dolgu malzemesinin oturma eylemini gerçekleştirdiğinin bir göstergesidir. Analizin gerçekleştirildiği 1,5 yıllık süre zarfında pist üzerinde 10 mm'ye varan oturma hareketi tespit edilmiştir.

İstanbul Havalimanı'nda meydana gelen değişimlerin dolgu alanları ile ilişkisini incelemek amacıyla havalimanı inşaatına başlanmadan önce 2014 Temmuz ayında alınan Landsat-8 uydu görüntüsüne NDWI uygulanmış ve elde edilen sulak alan sınırları Şekil 5'te verilen konumsal değişim haritası üzerinde beyaz kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre iki sulak alanın ıslah edilip doldurulmasıyla C pistinin inşaa edildiği belirlenmiştir. Ayrıca B ve C pistinin arasında ve terminalin kuzeyinde yer alan bölgenin, önceden sulak alan olduğu tespit edilmiştir. 73 ha alana sahip olan sulak alanın ıslah edildiği ve dolgu malzemeleriyle yok edildiği belirlenmiştir. Bu bölgeye yakın olan pistlerde

negatif yönde yüzey hareketi tespit edilmiştir. Yağmur ve diğerleri (2022) tarafından Kasım 2018-Mart 2021 zaman aralığı için hem PSI hem de SBAS yöntemleri ile gerçekleştirilen yapısal değişim analizi sonuçlarında da hem belirtilen bölgede hem de çevresinde oturma eğilimi tespit edilmiştir. Kasım 2018-Kasım 2021 zaman aralığının ele alındığı bu çalışmada ise yüzey hareketinin sonraki 6 aylık periyotta yavaşladığı yüzey hareketlerine ilişkin zaman serileriyle tespit edilmiştir. Bu amaçla, Şekil 6'da siyah dairelerle gösterilen alanlar için yüzey hareketleri zaman serileri ile gösterilmiştir.

Zaman serisi grafikleri de yüzey hareketlerinin tipine ve rengine göre kırmızı-negatif ve mavi-pozitif konumsal değişim hızı şeklinde renklendirilmiştir. Şekil 6a'da verilen ve A ve B pisti ile terminal binasının kuzey bölgesi için çizilen zaman serisinde negatif yönde yüzey hareketi pistlerde 30 mm'yi bulurken terminal binasının kuzey bölgesinde 20 mm'ye varmaktadır. Şekil 6b'de verilen ve B pistinin güney bölgesi ile terminal binasının çatısı için çizilen zaman serisinde pozitif yönde yüzey hareketi pistte 20 mm'ye ulaşırken, terminal binasının çatısında 10 mm'ye ulaşmaktadır.



Şekil 6. Kasım 2018-Kasım 2021 zaman aralığında elde edilen deformasyon haritasına göre siyah dairelerle gösterilen alanların negatif (a) ve pozitif (b) yönde yüzey hareketlerine ilişkin zaman serileri.

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, Sentinel-1 uydu görüntüleriyle dolgu alanlar üzerine inşa edildiği bilinen ve uydu görüntüleriyle de desteklenen İstanbul Havalimanı'nın yüzey hareketleri PSI zaman serisi yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, terminal ve pistlerin kuzey uçlarında negatif yönde hareket olduğu tespit edilmiş ve bölgede inşaat öncesi var olan ve ıslah edilerek doldurulan 73 ha alana sahip sulak alanın bu hareketlere sebebiyet vermiş olabileceği belirtilmiştir. Havalimanının orta kesimlerinde stabil olan hareketler güney kesimlerine doğru yerini pozitif yönde yüzey hareketlerine bırakmaktadır. Terminal binasının çatısı üzerinde ve alt kesimlerinde de benzer durum görülmektedir. Havalimanı genelinde negatif yönde yapı hareketleri 30 mm'ye ulaşırken, pozitif yönde ise 20 mm'ye varmaktadır. Zaman serisi sonuçlarından hareketle, zeminde ani oturmaların gerçekleştiği birincil oturma evresinin tamamlanarak yerini daha yavaş hareketlerle seyreden ikincil oturmaya bıraktığı söylenebilmektedir. İnşaatı sonradan tamamlanarak kullanıma açılan C pistinde de oturma hareketlerinin başladığı tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar havalimanlarının sürekli olarak izlenmesinde SAR uydu görüntülerinin ve InSAR zaman serisi yöntemlerinin önemini ve kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Yersel ölçmelerle noktasal olarak sonuçlar elde edilirken, SAR verilerini kullanarak PSI tekniği ile konumsal değişimin belirlenebilmesi sayesinde çalışma kapsamında da yaklaşık olarak 19 bin hektar alanın deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Yersel ölçmelerle bir arada kullanılabilmesinin yanı sıra PSI, doğruluğu kabul edilmiş bir yöntemdir. PSInSAR tekniği kullanılarak zemin ve yapı hareketlerinin tespit edilebildiği alanlar için önlemler alınabilir ve sürekli izleme istasyonları kurulabilir. Çalışmada kullanıldığı gibi ücretsiz uydu verileri ve ticari olmayan açık kaynak kodlu yazılımlar ile düşük maliyette büyük altyapı sistemlerinin konumsal değişimi belirlenerek sürekli olarak izlenebilir ve meydana gelebilecek hasarların önüne geçilebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından desteklenen MDK-2021-43006 numaralı İTÜ Bilimsel Araştırma Projesi (BAP)'ne finansal katkılarından dolayı teşekkür eder.

ORCID

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

Nebiye MUSAOĞLU  <https://orcid.org/0000-0002-8022-8755>

KAYNAKLAR

- Aslan, G., Cakir, Z., Lasserre, C. ve Renard, F. (2019). Investigating subsidence in the Bursa Plain, Turkey, using ascending and descending Sentinel-1 satellite data. *Remote Sensing*, 11(1), 85. doi: 10.3390/rs11010085.
- Baek, W. K., Jung, H. S., Jo, M. J., Lee, W. J. ve Zhang, L. (2019). Ground subsidence observation of solid waste landfill park using multi-temporal radar interferometry. *International Journal of Urban Sciences*, 23(3), 406-421. doi: 10.1080/12265934.2018.1468275
- Bao, X., Zhang, R., Shama, A., Li, S., Xie, L., Lv, J., ... Liu, G. (2022). Ground deformation pattern analysis and evolution prediction of Shanghai Pudong International Airport based on PSI long time series observations. *Remote Sensing*, 14(3), 610. doi: 10.3390/rs14030610
- Bayik, C. ve Abdikan, S. (2021). Monitoring of small-scale deformation at sea-filled Ordu-Giresun Airport, Turkey from multi-temporal SAR data. *Engineering Failure Analysis*, 130, 105738. doi: 10.1016/j.engfailanal.2021.105738
- Bianchini Ciampoli, L., Gagliardi, V., Ferrante, C., Calvi, A., D'Amico, F. ve Tosti, F. (2020). Displacement monitoring in airport runways by persistent scatterers SAR interferometry. *Remote Sensing*, 12(21), 3564. doi: 10.3390/rs12213564
- Bilgilioglu, B. B., Erten, E. ve Musaoğlu, N. (2021). Analysis of Salt Lake Volume dynamics using Sentinel-1 based SBAS measurements: A case study of Lake Tuz, Turkey. *Remote Sensing*, 13(14), 2701. doi: 10.3390/rs13142701
- Chen, H., Yang, T., Wang, Y. ve Yan, Y. (2018, Haziran). Assessing deformation of and impact of earthquakes on Jiuzhai-Huanglong Airport, China with InSAR techniques. In EUSAR 2018; 12th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 1-4. VDE.

- Cingöz, H. (2017). İstanbul İli Yeniköy-Akpınar-Ağaçlı Yöresi Açık Ocak Maden Alanlarındaki Dolgu ve Dolgu Altı Materyallerin Jeoteknik Analizi ve Değerlendirmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Colesanti, C., Ferretti, A., Prati, C. ve Rocca, F. (2003). Monitoring landslides and tectonic motions with the Permanent Scatterers Technique. *Engineering Geology*, 68(1-2), 3-14. doi: 10.1016/S0013-7952(02)00195-3
- CORINE (t.y.). CORINE Projesi. Erişim adresi: <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/>
- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthery, N. ve Crippa, B. (2016). Persistent scatterer interferometry: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 78-89. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011
- Erten, E. ve Rossi, C. (2019). The worsening impacts of land reclamation assessed with Sentinel-1: The Rize (Turkey) test case. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 74, 57-64. doi: 10.1016/j.jag.2018.08.007
- ESA (t.y.). Sentinel-1 Technical Document. Erişim adresi: <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/1877131/Sentinel-1-Product-Specification.pdf/49c514c3-1574-4d94-aae2-d8061a3baebd?t=1584020315000>
- Ferretti, A., Prati, C. ve Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(5), 2202-2212. doi: 10.1109/36.868878
- Gabriel, A. K., Goldstein, R. M. ve Zebker, H. A. (1989). Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B7), 9183-9191. doi: 10.1029/JB094iB07p09183
- Gagliardi, V., Bianchini Ciampoli, L., Trevisani, S., D'Amico, F., Alani, A. M., Benedetto, A. ve Tosti, F. (2021). Testing Sentinel-1 SAR interferometry data for airport runway monitoring: a geostatistical analysis. *Sensors*, 21(17), 5769. doi: 10.3390/s21175769
- Hu, J., Li, Z. W., Ding, X. L., Zhu, J. J., Zhang, L. ve Sun, Q. (2014). Resolving three-dimensional surface displacements from InSAR measurements: A review. *Earth-Science Reviews*, 133, 1-17. doi: 10.1016/j.earscirev.2014.02.005
- Hu, L., Dai, K., Xing, C., Li, Z., Tomás, R., Clark, B., ... Lu, Y. (2019). Land subsidence in Beijing and its relationship with geological faults revealed by Sentinel-1 InSAR observations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 82, 101886. doi: 10.1016/j.jag.2019.05.019
- IGA (t.y.). Cumhuriyet tarihinin en büyük projesi: İstanbul Yeni Havalimanı. Erişim adresi: <http://iga.phtools.net/insaat-asamalar.html>
- JMO-Jeoloji Mühendisleri Odası (2014). Çevre Jeolojisi Açısından 3. Havaalanı. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/7c4e57139a05e51_ek.pdf
- Liu, X., Zhao, C., Zhang, Q., Yang, C. ve Zhang, J. (2019). Characterizing and monitoring ground settlement of marine reclamation land of Xiamen New Airport, China with Sentinel-1 SAR Datasets. *Remote Sensing*, 11(5), 585. doi: 10.3390/rs11050585
- Ma, P., Li, T., Fang, C. ve Lin, H. (2019). A tentative test for measuring the sub-millimeter settlement and uplift of a high-speed railway bridge using COSMO-SkyMed images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 155, 1-12. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2019.06.013
- Macchiarulo, V., Milillo, P., Blenkinsopp, C. ve Giardina, G. (2022). Monitoring deformations of infrastructure networks: A fully automated GIS integration and analysis of InSAR time-series. *Structural Health Monitoring*. doi: 10.1177/14759217211045912
- Marshall, C., Large, D. J., Athab, A., Evers, S. L., Sowter, A., Marsh, S. ve Sjögersten, S. (2018). Monitoring tropical peat related settlement using isbas insar, Kuala Lumpur International Airport (KLIA). *Engineering Geology*, 244, 57-65. doi: 10.1016/j.enggeo.2018.07.015
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. doi: 10.1080/01431169608948714

- Osmanoğlu, B., Sunar, F., Wdowinski, S. ve Cabral-Cano, E. (2016). Time series analysis of InSAR data: Methods and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 90-102. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2015.10.003
- Seker, D. Z., Kaya, S., Alkan, R. M., Tanik, A. ve Saroglu, E. (2008). 3D coastal erosion analysis of Kilyos-Karaburun region using multi-temporal satellite image data. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17(11B), 1977-1982.
- Talib, O. C., Shimon, W., Sarah, K. ve Tonian, R. (2022). Detection of sinkhole activity in West-Central Florida using InSAR time series observations. *Remote Sensing of Environment*, 269, 112793. doi: 10.1016/j.rse.2021.112793
- USGS, (t.y.). Landsat 8. Erişim adresi: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>
- Van der Horst, T., Rutten, M. M., Van de Giesen, N. C. ve Hanssen, R. F. (2018). Monitoring land subsidence in Yangon, Myanmar using Sentinel-1 persistent scatterer interferometry and assessment of driving mechanisms. *Remote Sensing of Environment*, 217, 101-110. doi: 10.1016/j.rse.2018.08.004
- Wang, T., Perissin, D., Rocca, F. ve Liao M. S. (2011). Three Gorges Dam stability monitoring with time-series InSAR image analysis. *Science China Earth Sciences*, 54, 720–732. doi: 10.1007/s11430-010-4101-1
- Wu, S., Yang, Z., Ding, X., Zhang, B., Zhang, L. ve Lu, Z. (2020). Two decades of settlement of Hong Kong International Airport measured with multi-temporal InSAR. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111976. doi: 10.1016/j.rse.2020.111976
- Xiong, S., Wang, C., Qin, X., Zhang, B. ve Li, Q. (2021). Time-Series Analysis on Persistent Scatter-Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) Derived Displacements of the Hong Kong–Zhuhai–Macao Bridge (HZMB) from Sentinel-1A Observations. *Remote Sensing*, 13(4), 546. doi: doi.org/10.3390/rs13040546
- Yagmur, N., Erten, E., Musaoglu, N. ve Safak, E. (2022). Assessing Spatio-temporal Dynamics of Large Airport's Surface Stability. *Geocarto International*, 1-13. doi: 10.1080/10106049.2022.2082554
- Yang, M. S., Yang, T. L., Zhang, L., Lin, J. X., Qin, X. Q. ve Liao, M. S. (2018). Spatial-Temporal Characterization of a Reclamation Settlement in the Shanghai Coastal Area with Time Series Analyses of X-, C-, and L-band SAR datasets. *Remote Sensing*, 10, 329. doi: 10.3390/rs10020329
- Zhang, Q., Li, Y., Zhang, J. ve Luo, Y. (2019). InSAR technique applied to the monitoring of the Qinghai–Tibet Railway. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(10), 2229-2240. doi: 10.5194/nhess-19-2229-2019
- Zhuo, G., Dai, K., Shi, X., Li, S., Ran, P. ve Huang, H. (2019, Kasım). Monitoring Reclaimed Land Subsidence on Xiamen New Airport with Sentinel-1 Datasets. In 2019 6th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR). IEEE. doi: 10.1109/APSAR46974.2019.9048570

Accurate Lever Arm Determination via 3D Triangulation for Aided Inertial Navigation Systems

(Destekli Ataletsel Navigasyon Sistemlerinde 3B Üçgenleme Yöntemi ile Kol Kaçıklığının Hassas Olarak Belirlenmesi)

Mehmet SİMAV*^{ID}, Yunus Aytaç AKDOĞAN^{ID}

Harita Genel Müdürlüğü, Ankara

*Sorumlu yazar: mehmet.simav@harita.gov.tr

Received (Geliş Tarihi): 15.05.2022

Accepted (Kabul Tarihi): 27.07.2022

ABSTRACT

It is a well-known fact that the utilization of erroneous lever arm values in an aided inertial navigation system degrades the accuracy of the navigation solution. In practice, lever arm determination can be difficult, in particular when the displacement between the aiding sensors such as GNSS antenna, odometer, or a laser scanner and IMU is relatively large or the line of sight between them is blocked by the vehicle chassis. This paper considers the accurate determination of lever arm vector via 3D triangulation, describes the methodology, and provides a MATLAB function for a quick implementation. Slant distance, horizontal direction, and zenith angle measurements of a total station along with the fixed positions of the reference points on the IMU casing in an experimental setup are used to estimate the aiding sensor position in the inertial sensor coordinate frame by non-linear weighted least squares adjustment. The results reveal that lever arm accuracy of a few millimeters can be achieved with a total station of a medium quality.

Keywords: Aided inertial navigation, lever arm vector, 3D triangulation, non-linear weighted least squares.

ÖZ

Destekli ataletsel navigasyon sistemlerinde hatalı kol kaçıklığı değeri kullanımının, navigasyon sonuçları doğruluğunu düşürdüğü iyi bilinen bir gerçektir. Özellikle GNSS anteni, odometre veya lazer tarayıcı gibi destek sensörleri ile IMU arasındaki mesafenin göreceli olarak fazla olması veya birbirleri arasındaki görüş hattının araç gövdesi tarafından bloke edilmesi durumunda, pratikte kol kaçıklığı belirlemek zor bir durum haline gelebilir. Bu çalışma; kol kaçıklığı vektörünün 3B üçgenleme ile hassas bir şekilde belirlenmesini konu almakta, metodolojiyi tanımlamakta ve hızlı bir uygulama için bir MATLAB fonksiyonu sunmaktadır. Deneysel bir kurulum yapılarak bir total station ile elde edilen eğik mesafe, yatay doğrultu ve zenit açısı ölçümleri ile birlikte IMU kasası üzerindeki referans noktalarının sabit konumları kullanılarak, destek sensörünün ataletsel sensör koordinat çerçevesindeki konumu, doğrusal-olmayan ağırlıklı en küçük kareler dengelemesi ile kestirilmiştir. Sonuçlar, orta kaliteli bir total station ile birkaç milimetre doğruluğunda kol kaçıklığının belirlenebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Destekli ataletsel navigasyon, kol kaçıklığı vektörü, 3B üçgenleme, doğrusal-olmayan ağırlıklı en küçük kareler.

1. INTRODUCTION

The integration of Inertial Navigation System (INS) with some aiding sensors such as Global Navigation Satellite System (GNSS), odometer, magnetometer, laser scanner, camera, or a radar altimeter aims to utilize the benefits of the individual navigation sensor and to overcome their drawbacks for a continuous, high-bandwidth, and better navigation solution. Aided inertial navigation systems have been used for many years in a wide variety of applications from underwater to space. The integration architectures may vary depending on the application of the corrections to the inertial navigation solution, types of aiding sensor measurements used, and integration algorithm adapted. But, regardless of the integration approach, the lever arm vector between the aiding sensor and the Inertial Measurement Unit (IMU) of an INS must be considered while calculating the navigation solution (Jekeli, 2001; Titterton and Weston, 2004; Farrell, 2008; Groves 2013; Grewal et al., 2013). Using erroneous lever arm values or failing to compensate for its effect yields an attitude dependent error which eventually degrades the accuracy of the navigation solution (Bell, 2000; Hong et al., 2002; He and Jianye, 2002). It is obvious that the lever arm vector should be determined with accuracy at least not worse than today's GNSS positional accuracy.

In practice, it is not possible to locate the GNSS antenna, IMU, and the other aiding sensors at the same place physically. The antenna must be mounted on the outside surface of the platform to capture signals from the GNSS satellites. The odometer is mounted on a wheel of a moving vehicle. However, the IMU is usually located inside the platform or at different spots. The non-colocation of the sensors potentially yields inconsistent position estimates of IMU and aiding sensor by the amount equal to the lever arm vector, which is the relative position of the aiding

sensor resolved in the inertial sensor coordinate frame (see Figure 1). When both sensors are mounted on the platform as close as possible to each other, the lever arm vector can be measured by a simple ruler or a tape measure.

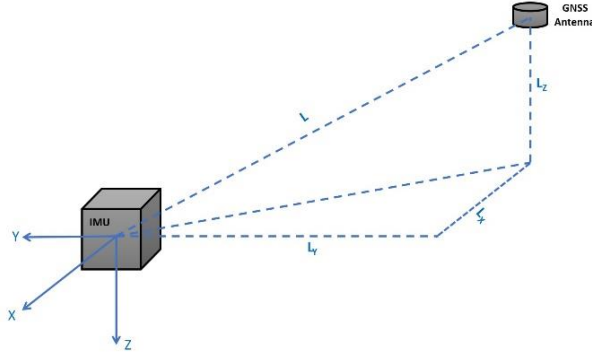


Figure 1. GNSS antenna lever arm vector resolved in the inertial sensor coordinate frame.

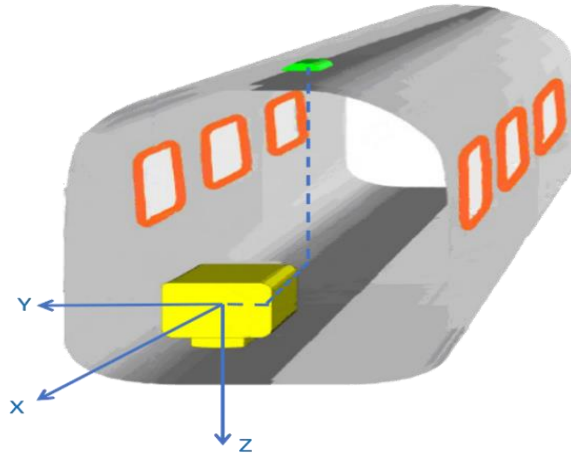


Figure 2. A typical GNSS antenna and IMU setup for the airborne applications.

But, when the displacement between the aiding sensor and IMU is relatively large or the line of sight between them is blocked by the vehicle chassis (e.g. aircraft setup in Figure 2), it is not that easy to accurately measure the components of the lever arm vector. More advanced techniques such as close-range photogrammetry (Luhmann et al., 2020) or geodetic techniques are required.

There are some computational methods proposed in the literature for the compensation of the lever arm effects provided that the lever arm vector or its magnitude is known to some accuracy level (Hong et al., 2004; Hong et al., 2005; Lee et al., 2005; Hong et al., 2006; Seo et al., 2006; Wu et al., 2014; Montalbano and Humphreys, 2018;

Borko et al., 2018; Stovner and Johansen, 2019). However, all these methods increase the complexity in the computation, but it is obvious that the more accurately the lever arm is determined, the better the navigation solution is obtained. The paper considers the accurate determination of the aiding sensor lever arm vector via 3D triangulation. To the best of the author's knowledge, there exists no direct and rigorous publication about the topic that may help the non-geodesists working in the inertial navigation field. This study provides a comprehensive guide especially to novice researchers with a basic set of equations and terms for the implementation.

The 3D triangulation technique has been applied for many years particularly before the advent of satellite positioning to compute the precise coordinates of the geodetic network or control points (Torge, 2001; Awange and Grafarend, 2005). It is still in use in some local land surveying applications. The principal of the 3D triangulation is based on measuring slant distances, horizontal directions, and the vertical (zenith) angles to some reference points whose coordinates are known in an arbitrary cartesian coordinate frame (see Figure 3). The unknown coordinates of the standing and the other survey points are determined using the trigonometric relations between the observations and the point coordinates as described in Section 2. This paper is organized as follows: In Section 2 the methodology is explained and the problem is formulated mathematically. Section 3 describes the experimental setup and the measurements performed. The last part presents the results and conclusion. A MATLAB function is provided in the appendix.

2. METHODOLOGY

The method of least squares adjustment of indirect observations is employed to obtain the best estimate of the aiding sensor coordinates in the inertial sensor coordinate frame. This technique requires the formation of a set of observation equations and their solution (Alsadik, 2019; Ogundare, 2019). Because the equations are non-linear functions of the reference (known) and unknown point coordinates, linearization is employed using the approximate values. The process is iterative that the corrections for the unknowns are computed and approximate values are updated until the corrections become negligible.

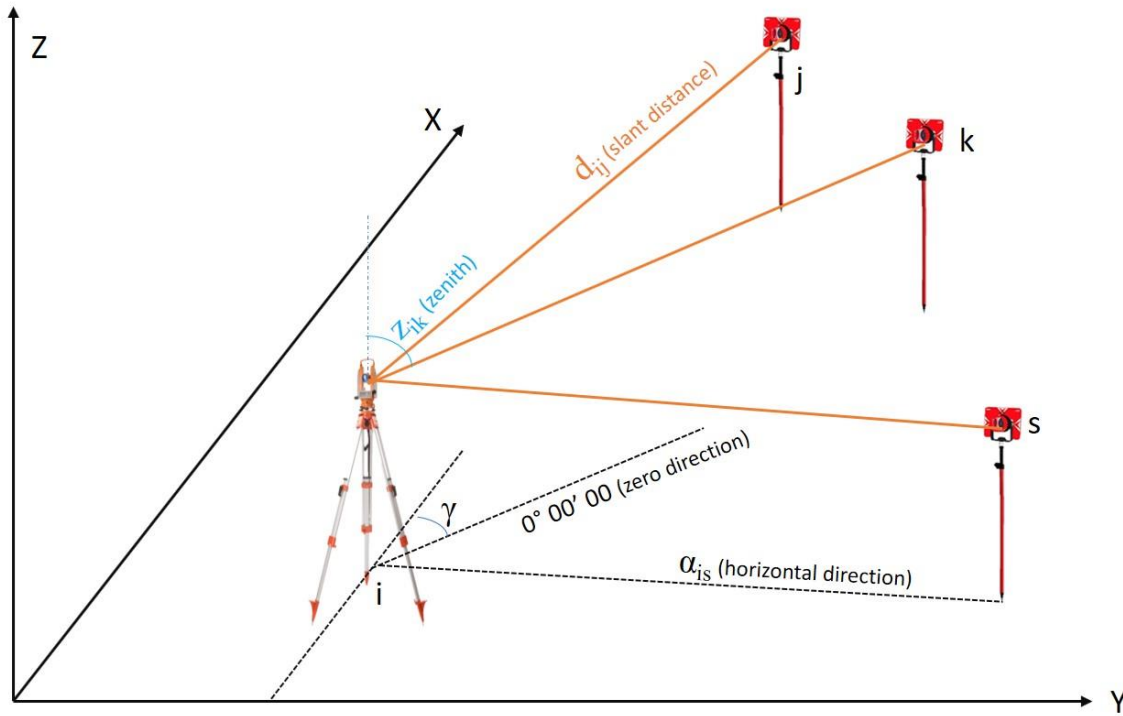


Figure 3. Illustration of 3D triangulation.

The observation equation for the slant distance (d_{ij}), horizontal direction (α_{ij}), and zenith angles (z_{ij}) between point i (e.g. the standing point or total station position) and points j (e.g. the reference markers on the IMU chasing and the reflector or aiding sensor) can be written as follows:

$$d_{ij} + r_{ij}^d = \sqrt{(\Delta X_{ij})^2 + (\Delta Y_{ij})^2 + (\Delta Z_{ij})^2} \quad (1)$$

$$\alpha_{ij} + r_{ij}^\alpha = \text{atan}\left(\frac{\Delta Y_{ij}}{\Delta X_{ij}}\right) + \gamma \quad (2)$$

$$z_{ij} + r_{ij}^z = \text{atan}\left(\frac{\sqrt{(\Delta X_{ij})^2 + (\Delta Y_{ij})^2}}{\Delta Z_{ij}}\right) \quad (3)$$

where r_{ij}^d , r_{ij}^α and r_{ij}^z are the residuals associated with observed quantities, $\Delta X_{ij} = X_j - X_i$, $\Delta Y_{ij} = Y_j - Y_i$, $\Delta Z_{ij} = Z_j - Z_i$ are the differences between point coordinates, and γ is the orientation of the zero direction of the instrument with respect to the X-axis direction of IMU. Linearization of the above non-linear functions can be done using Taylor's series expansion expressed in Eq.(4) where $X_i^0, Y_i^0, Z_i^0, X_j^0, Y_j^0, Z_j^0$ and $\delta X_i, \delta Y_i, \delta Z_i, \delta X_j, \delta Y_j, \delta Z_j$ are the approximate values and the correction terms of the unknown coordinates of points i and j , respectively. It should be noted that one more

term $\left[\frac{\partial F}{\partial \gamma}\right]^0 \delta \gamma$ is added to the above equation when the horizontal directions are being linearized.

$$F(X_i, Y_i, Z_i, X_j, Y_j, Z_j) =$$

$$F(X_i^0, Y_i^0, Z_i^0, X_j^0, Y_j^0, Z_j^0) + \left[\frac{\partial F}{\partial X_i}\right]^0 \delta X_i +$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial Y_i}\right]^0 \delta Y_i + \left[\frac{\partial F}{\partial Z_i}\right]^0 \delta Z_i + \left[\frac{\partial F}{\partial X_j}\right]^0 \delta X_j +$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial Y_j}\right]^0 \delta Y_j + \left[\frac{\partial F}{\partial Z_j}\right]^0 \delta Z_j \quad (4)$$

The corresponding linearized forms of the slant distance, horizontal direction, and zenith angle are given as below by taking the partial derivatives:

$$\Delta d_{ij} + r_{ij}^d = \frac{\Delta X_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta X_j + \frac{\Delta Y_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta Y_j + \frac{\Delta Z_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta Z_j - \frac{\Delta X_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta X_i - \frac{\Delta Y_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta Y_i - \frac{\Delta Z_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta Z_i \quad (5)$$

$$\Delta \alpha_{ij} + r_{ij}^\alpha = \delta \gamma - \frac{\Delta Y_{ij}^0}{(s_{ij}^0)^2} \delta X_j + \frac{\Delta X_{ij}^0}{(s_{ij}^0)^2} \delta Y_j + \frac{\Delta Y_{ij}^0}{(s_{ij}^0)^2} \delta X_i - \frac{\Delta X_{ij}^0}{(s_{ij}^0)^2} \delta Y_i \quad (6)$$

$$\Delta z_{ij} + r_{ij}^z = \frac{\Delta x_{ij}^0}{t_{ij}^0} \delta X_j + \frac{\Delta y_{ij}^0}{t_{ij}^0} \delta Y_j - \frac{(s_{ij}^0)^2}{k_{ij}^0} \delta Z_j - \frac{\Delta x_{ij}^0}{t_{ij}^0} \delta X_i - \frac{\Delta y_{ij}^0}{t_{ij}^0} \delta Y_i + \frac{(s_{ij}^0)^2}{k_{ij}^0} \delta Z_i \quad (7)$$

where

$$\begin{aligned} \Delta X_{ij}^0 &= X_j^0 - X_i^0 \\ \Delta Y_{ij}^0 &= Y_j^0 - Y_i^0 \\ \Delta Z_{ij}^0 &= Z_j^0 - Z_i^0 \\ d_{ij}^0 &= \sqrt{(\Delta X_{ij}^0)^2 + (\Delta Y_{ij}^0)^2 + (\Delta Z_{ij}^0)^2} \\ s_{ij}^0 &= \sqrt{(\Delta X_{ij}^0)^2 + (\Delta Y_{ij}^0)^2} \\ t_{ij}^0 &= \left(\frac{(s_{ij}^0)^2 + (\Delta Z_{ij}^0)^2}{\Delta Z_{ij}^0} \right) s_{ij}^0 \\ k_{ij}^0 &= (s_{ij}^0)^2 + (\Delta Z_{ij}^0)^2 \\ \Delta d_{ij} &= d_{ij} - d_{ij}^0 \\ \Delta \alpha_{ij} &= \alpha_{ij} - \alpha_{ij}^0 = \alpha_{ij} - \text{atan} \left(\frac{\Delta Y_{ij}^0}{\Delta X_{ij}^0} \right) + \gamma^0 \\ \Delta z_{ij} &= z_{ij} - z_{ij}^0 = z_{ij} - \text{atan} \left(\frac{s_{ij}^0}{\Delta Z_{ij}^0} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

The matrix form for linearized observation equations in Eqs. (5-7) can be written as follows:

$$A \delta x = \Delta c + r \quad (9)$$

where A is the design matrix constituted of partial derivatives, $\delta x = [\delta X_i, \delta Y_i, \delta Z_i, \delta X_j, \delta Y_j, \delta Z_j, \delta \gamma]^T$ is the vector of corrections applied to the unknowns, $\Delta c = [\Delta d_{ij}, \Delta \alpha_{ij}, \Delta z_{ij}]^T$ is the vector of closures, and $r = [r_{ij}^d, r_{ij}^\alpha, r_{ij}^z]^T$ is the vector of residuals. The least squares solution of Eq. (9) is given by:

$$\delta \hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T \Delta c \quad (10)$$

If the measurements are uncorrelated but have different uncertainties, then the weight matrix becomes $W = \text{diag} \left(1 / [\sigma_{d_{ij}}^2, \sigma_{\alpha_{ij}}^2, \sigma_{z_{ij}}^2] \right)$, and the weighted least squares solution can be written as:

$$\delta \hat{x} = (A^T W A)^{-1} A^T W \Delta c \quad (11)$$

The estimated corrections are added to the approximate values to compute the updated values of the approximations after each iteration.

The best estimates are obtained when the corrections for the k^{th} iteration reach some desired value, say less than 0.5 mm.

$$\hat{x} = x^0 + \delta \hat{x} = [X_i^0, Y_i^0, Z_i^0, X_j^0, Y_j^0, Z_j^0, \gamma^0]^T + [\delta X_i, \delta Y_i, \delta Z_i, \delta X_j, \delta Y_j, \delta Z_j, \delta \gamma]^T \quad (12)$$

At the end of the iterative process, the residuals are computed from Eq. (9) and the quality of the observations is assessed. Large residuals may indicate poor observations and should be removed or remeasured.

3. DESIGN AND IMPLEMENTATION

An experimental setup has been designed in laboratory conditions using an IMU and total station reflector shown in Figure 4 to allow direct measurement of the true or exact aiding sensor lever arm vector for accuracy assessment. The IMU is the navigation-grade iNAT-RQH of iMAR Navigation GmbH (<https://www.imar-navigation.de/>). It has some reference markers on its casing (see Figure 5) that can easily be measured with a caliper or a ruler. The company provides the mechanical drawings of the system which depict the locations of the sensor intersection point (the origin of the inertial sensor coordinate frame) and the reference markers. The sensor intersection point is the point somewhere inside the IMU not visible from outside. The provided drawings display the precise offset values between the sensor intersection point and the front left corner of the IMU which enables us to make the appropriate transformation after the successful determination of the aiding sensor lever arm with respect to the front left corner. For our case, the offset values between these two points are [0.1210, -0.1275, 0.1160] meters in X, Y, and Z directions, respectively.

The reflector on the top of the IMU represents the aiding sensor. The verticality of the reflector has been ensured by the total station. The 3D position of the reflector with respect to the front left corner of the IMU has been precisely measured by cross-checking with different instrumentations such as a ruler, caliper, laser meter, and tape measure. The obtained values [-0.125, 0.066, -1.554] meters in X, Y, and Z directions are acknowledged as the true coordinates of the aiding sensor.

Topcon OS-103 total station, having angle measurement accuracy of 3" and distance measurement accuracy of about $(3 + 2\text{ppm} \times D)$ mm where D is the measuring distance in mm, is

setup approximately 10 meters away from the reflector with the best visibility to all reference points. It should be noted that the total station should be placed as close as possible to the IMU chasing in practical application, but great care should be exercised in order not to obstruct the visibility to the reference markers and the aiding sensor.



Figure 4. Experimental setup with IMU, reflector, and total station.



Figure 5. The iCORUS reference points (markers) given in Table 1 and coordinate axis directions on the top of the IMU.

More information about the specifications of Topcon OS-103 can be found in the product sheet at

https://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/pdf/OS_E.pdf. The instrument is carefully levelled and the zero direction is oriented approximately towards the X-axis direction of the IMU to initialize the approximate value of γ with zero. Slant distances, horizontal directions, and the zenith angles to the reference points and the reflector are measured subsequently. The exact coordinates of the reference points on the IMU chasing and the initial coordinates of the standing point and the reflector are presented in Table 1, the observations are listed in Table 2, and the measurement uncertainties and their corresponding weights are given in Table 3.

Table 1: The list of the exact and approximate coordinates of the reference (from L-F to T-2) and unknown points (reflector and standing) in the inertial sensor coordinate frame.

Point Name	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
L-F	0.00	0.00	0.00
L-1	-2.73	0.25	-1.30
L-2	-2.73	0.25	-9.30
L-3	-2.73	0.25	-17.30
L-4	-4.73	0.25	-0.50
L-5	-4.73	0.25	-18.20
L-6	-14.23	0.25	-0.50
L-7	-14.23	0.25	-18.20
L-8	-23.73	0.25	-0.50
L-9	-23.73	0.25	-18.20
L-10	-33.23	0.25	-0.50
L-11	-33.23	0.25	-1.30
L-12	-35.23	0.25	-1.30
L-13	-35.23	0.25	-9.30
L-14	-35.23	0.25	-17.30
L-B	-38.00	0.00	0.00
T-1	-9.55	4.85	-20.20
T-2	-18.55	4.85	-20.20
Reflector (GNSS Antenna)	-12.40	3.86	-140.00
Standing (Total Station)	-36.50	-1085.00	-120.50

4. RESULTS AND CONCLUSION

A MATLAB function attached in the appendix has been written to perform 3D triangulation described in section 2. In our case with a single GNSS antenna, there are 7 unknowns (e.g. $u=7$), 57 observations (e.g. $n=57$), and 18 reference points that possess fixed coordinates to solve the problem. The unknowns are the 3D coordinates of the reflector (X_G, Y_G, Z_G) and the standing point

(X_T, Y_T, Z_T) , and also the 1D orientation of the zero direction of the total station (γ) with respect to the X-axis direction of IMU. "lsconv.m" function of MATLAB for weighted least squares solution to the linear system is used to evaluate Eq. (11). A while loop is employed for the iterative solution. The design matrix A and the closure vector Δc are rebuilt with the most recent values of the unknowns. The iteration is terminated when all the corrections δx applied to the unknown coordinates are less than 0.5 mm. The best estimate of the reflector coordinates in the inertial sensor coordinate frame after two iterations are presented in Table 4. It is evident that the deviations of the estimates from the true values are less than 0.5 cm.

Table 2: The slant distance, horizontal direction, and zenith angle measurements from standing (Total Station) to all visible points.

Point Name	Slant Distance [m]	Horizontal Direction [degree]	Zenith Angle [degree]
L-F	10.851	89.336667	96.310000
L-1	10.853	89.483611	96.238056
L-2	10.847	89.479167	95.818333
L-3	10.844	89.474444	95.396667
L-4	10.852	89.588889	96.282222
L-5	10.845	89.582222	95.352222
L-6	10.853	90.095000	96.278333
L-7	10.839	90.086389	95.351389
L-8	10.851	90.597222	96.275833
L-9	10.838	90.588611	95.347222
L-10	10.843	91.103889	96.271111
L-11	10.838	91.096111	95.343611
L-12	10.843	91.208333	96.227500
L-13	10.842	91.206667	95.806667
L-14	10.838	91.201945	95.384167
L-B	10.841	91.362778	96.299722
T-1	10.873	89.869722	95.248889
T-2	10.872	90.346111	95.242500
Reflector	10.866	90.023056	87.895000

Table 3: Measurement uncertainties and corresponding weights.

Measurement	Uncertainty	Weight
Slant distance	3 mm	0.3333 mm ⁻¹
Angular meas.	3"	9.26E-5 rad ⁻¹

Table 4: True and best estimate values of the reflector coordinates.

	X [m]	Y [m]	Z [m]
True value	-0.125	0.066	-1.554
Best estimate	-0.127	0.070	-1.551

Today's kinematic GNSS accuracies for the horizontal and vertical coordinate components are about few centimeters or even worse in some cases. The experimental results reveal that the GNSS antenna lever arm can accurately be determined via 3D triangulation technique using a medium quality total station. It is hoped that the study and the MATLAB function attached will help the non-geodesists working in the inertial navigation field, particularly the novice researchers wondering about the accurate determination of the lever arm vector by triangulation. It should be noted that the methodology can also be applied for the lever arm determination of the different aiding sensors used in inertial navigation.

APPENDIX

The MATLAB function named "LeverArm3DTri.m" that can perform 3D triangulation and the paper itself are combined into a single zipped folder downloadable from the journal's web site at <https://www.harita.gov.tr/makaleler>. It can also be attained from the ResearchGate page of the first author.

ORCID

Mehmet SİMAV  <https://orcid.org/0000-0002-3963-3871>

Yunus Aytaç AKDOĞAN  <https://orcid.org/0000-0003-2232-5327>

REFERENCES

- Alsadik, B. (2019). *Adjustment models in 3D geomatics and computational geophysics with MATLAB examples*. Elsevier, Amsterdam.
- Awange, J.L. and Grafarend, E.W. (2005). *Solving algebraic computational problems in geodesy and geoinformatics*. Springer, Berlin.
- Bell, T. (2000). Error analysis of attitude measurement in robotic ground vehicle position determination. *Navigation*, 47(4), 289-296. doi: 10.1002/j.2161-4296.2000.tb00222.x
- Borko, A., Klein, I. and Even-Tzur, G. (2018). GNSS/INS fusion with virtual lever-arm measurements. *Sensors*, 18(7), 2228. doi: 10.3390/s18072228

- Farrell, J.A. (2008). *Aided navigation: GPS with high rate sensors*. McGraw-Hill, New York
- Grewal, M.S., Andrews, A.P. and Bartone, C.G. (2013). *Global navigation satellite systems, inertial navigation and integration*. John Wiley & Sons.
- Groves, P.D. (2013). *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems*. Artech House: Norwood, MA.
- He, X. and Jianye, L. (2002). Analysis of lever arm effects in GPS/IMU integration system. *Trans. Nanjing Univ. Aeronaut. Astronaut.*, 19(1), 59-64.
- Hong, S., Chang, Y.-S., Ha, S.-K. and Lee, M.-H. (2002). Estimation of alignment errors in GPS/INS integration. *Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2002)*, Portland, OR, pp 527-534.
- Hong, S., Lee, M.-H., Kwon, S.-H. and Chun, H.-H. (2004). A car test for the estimation of GPS/INS alignment errors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 5(3), 208-218. doi: 10.1109/TITS.2004.833771
- Hong, S., Lee, M.-H., Chun, H.-H., Kwon, S.-H. and Speyer, J.L. (2005). Observability of error states in GPS/INS integration. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 54(2), 731-743. doi: 10.1109/TVT.2004.841540
- Hong, S., Lee, M.-H., Chun, H.-H., Kwon, S.-H. and Speyer, J.L. (2006). Experimental study on the estimation of lever arm in GPS/INS. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 55(2), 431-448. doi: 10.1109/TVT.2005.863411
- Jekeli, C. (2001). *Inertial navigation systems with geodetic applications*. Walter de Gruyter, Berlin.
- Lee, M.K., Hong, S., Lee, M.-H., Kwon, S.-H. and Chun, H.-H. (2005). Observability analysis of alignment errors in GPS/INS. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 19(6), 1253-1267. doi: 10.1007/BF02984046
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. and Boehm, J. (2020). *Close-range photogrammetry and 3D imaging*. Walter de Gruyter, Berlin.
- Montalbano, N. and Humphreys, T. (2018). A comparison of methods for online lever arm estimation in GPS/INS integration. *IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, pp 680-687. doi: 10.1109/PLANS.2018.8373443
- Ogundare, J.O. (2019). *Understanding least squares estimation and geomatics data analysis*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Seo, J., Lee, H.-K., Lee, J.G. and Park, C.G. (2006). Lever arm compensation for GPS/INS/odometer integrated system. *Int. J. Control Autom. Syst.*, 4(2), 247-254.
- Stovner, B.N. and Johansen, T.A. (2019). GNSS-antenna lever arm compensation in aided inertial navigation of UAVs. *18th European Control Conference (ECC)*. doi: 10.23919/ECC.2019.8795760
- Titterton, D.H. and Weston, J.L. (2004). *Strapdown inertial navigation technology*. IET, Stevenage.
- Torge, W. (2001) *Geodesy*. Walter de Gruyter, Berlin.
- Wu, Y., Wang, J. and Hu, D. (2014). A new technique for INS/GNSS attitude and parameter estimation using online optimization. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 62(10), 2642-2655. doi: 10.1109/TSP.2014.2312317

Kamu Kurum ve Kuruluşlarının Coğrafi İhtiyaçlarını Karşılatabilecek Taşınmaz Coğrafi Varlıkların Modellenmesi

(Modelling of Immovable Geographic Entities That Can Meet the Geo-Requirements of Public Institutions and Establishments)

Muharrem BİRGÖREN¹, Ferruh YILDIZ²

¹Harita Genel Müdürlüğü, Dikimevi, Ankara

²Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya

muharrem.birgoren@harita.gov.tr fyildiz@ktun.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 08.04.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 27.07.2022

ÖZ

Çalışmada, coğrafi varlıklardan sorumlu olan ve coğrafi varlıklar hakkında bilgiye gereksinim duyan kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçlarını karşılayabilecek, Coğrafi Veri Sözlüğü ve Coğrafi Veri Modeli hazırlanmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamının sınırlarını belirlemek ve istenilen amaca ulaşabilmek için, çalışmada sadece taşınmaz doğal ve yapay varlıklardan sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçları ortaya çıkarılmıştır. Kamu kurum ve kuruluşlarının resmi internet sayfalarında paylaştıkları, görev ve sorumluluklarını içeren mevzuat incelenerek, coğrafi ihtiyaçlar belirlenmiştir. 30'un üzerinde kamu kurum ve kuruluşu ile ilgili toplamda 92 Kanun, 6 Kanun Hükmünde Kararname, 2 Bakanlar Kurulu Kararı, 3 Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi, 2 Tüzük, 62 Yönetmelik ve 15 Yönerge olmak üzere, 182 adet mevzuattan yararlanılmıştır. Coğrafi ihtiyaçlarla birlikte, coğrafi ihtiyaçları karşılayabilecek coğrafi varlıklar, öznitelikleri ve tanımları da mevzuat hükümlerinden yararlanarak tespit edilmiş, Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli oluşturulmuştur. Ayrıca Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgisi Üretim Yönetmeliğinin Ek'inde bulunan 145 detaydan 18'i, 101 öznitelikten 33'ü, 477 öznitelik değerinden 44'ü, Coğrafi Veri Modeline ilave edilerek model iyileştirilmiştir. Ayrıca INSPIRE Direktifi Eklerinde yer alan 33 adet Veri Tanımlama Belgeleri incelenerek, Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeline; 4 adet yeni Detay, 12 adet yeni Detay Tanımı, 152 adet yeni Detay Özniteliği, 165 adet yeni Öznitelik Tanımı, 568 adet yeni Öznitelik Değeri, 831 adet yeni Öznitelik Değer Tanımı dâhil edilmiştir. Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli hazırlanırken, coğrafi detayların tanımlarına, özniteliklerine ve öznitelik değerlerine bakılarak modeldeki tekrarlı veriler birleştirilmiştir. Tüm bu işlemlerin neticesinde nihai olarak hazırlanan 'Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli' belgesi, 281 adet Detay, 1367 adet Öznitelik, 2885 adet Öznitelik Küme Değeri, tanımlarıyla ve yararlanılan kaynaklarıyla birlikte oluşturulmuş, internetten indirilebilecek şekilde kamunun paylaşımına sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi veri sözlüğü, coğrafi veri modeli, coğrafi ihtiyaç, kamu kurumu

ABSTRACT

In the study, it has been tried to prepare a Geographic Data Dictionary and Geographic Data Model that can meet the geographic needs of public

institutions and organizations that are responsible for geographic entities and need information about geographic entities. In order to determine the limits of the study scope and to achieve the desired goal, in this study, the geographic needs of public institutions and organizations that are responsible only for immovable natural and artificial entities, have been revealed. Geographic needs were determined by examining the legislation, which includes the duties and responsibilities of public institutions and organizations shared on their official websites. A total of 182 pieces of legislation, including 92 Laws, 6 Decrees in Effect of Law, 2 Decisions of the Council of Ministers, 3 Presidential Decrees, 2 Bylaws, 62 Regulations and 15 Directives, related to more than 30 public institutions and organizations, were used. Along with geographic needs, geographic entities that can meet geographic needs, their attributes and definitions were determined by using the provisions of the legislation, and a Geographic Data Dictionary and Data Model were created. In addition, the model was improved by adding 18 out of 145 features, 33 out of 101 attributes, and 44 out of 477 attribute values which are in the Annex of the Large-Scale Map and Map Information Production Regulation. In addition, 33 Data Specification Documents in the Annexes of the INSPIRE Directive were examined and 4 new Features, 12 new Feature Definitions, 152 new Feature Attributes, 165 new Attribute Definitions, 568 new Attribute Values, 831 new Attribute Value Definitions are included to the Geographic Data Dictionary and Data Model. While preparing the Geographic Data Dictionary and Data Model, the repetitive data in the model were combined by looking at the definitions, attributes and attribute values of the geographic feature. The 'Geographic Data Dictionary and Data Model' document, which was prepared as a result of all these processes, was created with 281 Features, 1367 Attributes, and 2885 Attribute Cluster Values, together with their definitions and resources, and made available to the public in a form that can be downloaded from the internet.

Keywords: Geographic data dictionary, geographic data model, geographic requirement, public institution

1. GİRİŞ

Coğrafi veri, uzayda konuma sahip varlıklara ilişkin bir veriyi ifade etmekte ve yaşamın her alanında ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle yaşama

dair karar alma süreçlerinde, doğru kararın alınabilmesi için gereklidir. Mesela, bir yerden bir yere en hızlı ve ekonomik bir şekilde nasıl gidilebileceği, bir hava aracı için en güvenli uçuş rotasının ve irtifasının ne olduğunun belirlenmesi, doğal afetlerden en az etkilenen yerleşime uygun güvenli bölgelerin tespit edilmesi gibi pek çok konuda doğru kararın alınmasına yardımcı olacaktır. Doğru karar, ancak doğru ve güncel veriler ile alınabilir.

Terimler sözlüğünde, coğrafi verinin bir coğrafi varlığa ilişkin bilgi olduğu, coğrafi varlık hakkında tutulan her şeyin birer coğrafi veri olduğu belirtilmektedir. Coğrafi varlığın ise, belli bir referans sistemine göre konumu ve biçimi olan somut ya da soyut, doğal ya da insan yapısı bütün nesnelerin ve detayların coğrafi varlık kapsamına girdiği, yeryüzü üzerinde veya yakınında belli bir anlama sahip somut ya da soyut her şeyin birer coğrafi varlık olduğu belirtilmektedir (Harita Genel Müdürlüğü, 2022).

Coğrafi verilerin doğru ve güncel olarak üretilmesinin yanı sıra nasıl üretileceği ve nasıl paylaşılacağı hususu önemini arttırmaktadır. Coğrafi veri paylaşılabilir ve birlikte çalışılabilir nitelikte olmalıdır (Demir, Yomralıoğlu ve Aydınoglu, 2011). Ülkemizde birçok kamu kurum ve kuruluşu coğrafi veri üretim faaliyetlerini planlarken, sadece kendi sorumluluk sahasına giren konuları ve ihtiyaçlarını göz önünde bulundurmaktadırlar. Kurumlar sorumlu olduğu veriyi üretirken, başka bir kurumun ihtiyaçlarını göz ardı edebilmektedir.

Böyle olunca aynı coğrafi varlık (detay) birden fazla kamu kurum ve kuruluşu tarafından farklı şekilde üretilmekte (Örneğin karayolu detayı Karayolları Gn.Md.lüğü, Belediyeler, Mahalli İdareler Gn.Md.lüğü, Orman Gn.Md.lüğü tarafından üretilmektedir), üretilen detaya dair başka bir birimin ihtiyaç duyduğu bilgi üretilmemektedir. Kurumlar arasında veri modeli standardı sağlanamamışsa etkin bir veri paylaşımı ve kaynakların etkin kullanımı da söz konusu olamamaktadır.

Pek çok alanda olduğu gibi örneğin, ulaşım ağı yönetiminde uluslararası düzeydeki uygulamalarla birlikte çalışabilecek, kara, demir, deniz, hava ulaşım yollarının bütünleşik yönetimine yönelik, kamu ve özel sektördeki verinin tekrarlı üretimini önleyecek ana/temel bir ulaşım veri modeline ihtiyaç vardır (Aydınoglu, 2009). Ülke genelinde kullanılabilecek bir coğrafi veri standardı, mükerrer veri üretimini ortadan kaldıracak gibi, daha geniş ve amaca yönelik

uygulamaların geliştirilmesini sağlayacaktır (Erhan, 2013).

Bu araştırma çalışmasının amacı, taşınmaz (konum bilgisi değişmeyen, bir yerden bir yere taşınmayan) coğrafi varlıklardan sorumlu olan, coğrafi veriye ihtiyaç duyan kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçlarını karşılayabilecek kapsamlı bir veri sözlüğünün ve veri modelinin hazırlanmasıdır. Bu çalışmanın yapılmasında etkili olan araştırma soruları aşağıda sıralanmıştır.

- Kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçları nelerdir?
- Kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçları, bilgi birikimi ve tecrübeleri doğrultusunda hazırlanan mevzuat içeriğinden yararlanarak nasıl belirlenebilir?
- Bu coğrafi ihtiyaçları karşılayabilecek coğrafi verinin içeriği ne olmalıdır?
- Hangi coğrafi varlığın hangi coğrafi verisi, hangi kurum/birim tarafından üretilmelidir?
- Coğrafi varlığa ve coğrafi veriye ilişkin tanımlar, mevzuat içeriğinden yararlanarak belirlenebilir mi?

Araştırma çalışmasındaki hipotez, kamu kurumlarının coğrafi ihtiyaçlarının doğru bir şekilde karşılanabilmesi, tekrarlı veri üretiminin önlenmesi ve kaynakların etkin kullanımı için mevzuatta yer alan coğrafi ihtiyaçların ayrıntılı olarak belirlenmesi, coğrafi verinin ihtiyaçları karşılayabilecek şekilde tanımlanması /modellenmesi ve coğrafi varlığa ilişkin her bir coğrafi verinin ayrı ayrı hangi kurum/birim tarafından üretileceğinin belirlenmesi ile sağlanabilir. Bir coğrafi varlıktan, bu varlığa ilişkin her bir öznelikten ve her bir öznelik küme değerinden farklı kurum/birim sorumlu olabilir. Bir diğer hipotez, coğrafi varlığın ve buna ilişkin coğrafi verinin herkes tarafından aynı şekilde anlaşılabilmesi için yeterli açıklamaya sahip tanımları, büyük ölçüde mevzuat içeriğinden yararlanarak belirlenebilir. Eksik kalan kısımlar hazırlanarak, mevzuat içeriklerine aktarılmalıdır. Bu çalışma neticesinde elde edilen bilgi ve belgeler, kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi bilgiye dayalı tüm sektörlerdeki ihtiyaçlarının karşılanmasına katkı sağlayacaktır.

Coğrafi verinin sahip olması gereken üç temel özelliğini sıralayacak olursak, doğru, güncel ve çoklu kullanıcının erişimine açık (ortak) olmalıdır (Şekil-1).



Şekil 1. Coğrafi Verinin Özellikleri.

Bir coğrafi varlık ancak kendisini tanımlayan coğrafi verilerin tam olarak bir araya getirilmesiyle ifade edilebilir. Coğrafi verisi eksik bir coğrafi varlık, eksik veya yanlış kullanılabilir. Coğrafi varlığın tanımına ve özelliğine göre coğrafi veri sayısı değişebilir. Örneğin köprü bir coğrafi varlık ise, köprünün Adı, Uzunluğu, Durumu, Genişliği, Yatay Gabarisi, Düşey Gabarisi, Alt Gabarisi, Yapı Malzemesi, Türü, Işıklandırma Durumu birer coğrafi verisidir. Bu veriler tam olmadan, düzenli bir şekilde tutulmadan coğrafi varlık bilgisayar ortamında eksiksiz ve doğru olarak modellenmiş sayılmaz (Şekil 2).



Şekil 2. Coğrafi Verinin Coğrafi Varlıkla İlişkisi.

Coğrafi verilerin hiyerarşisini belirleyen Coğrafi Veri Modelinde, coğrafi varlıklar, varlıkların sahip olduğu öznitelikler ve özniteliklerde bulunabilecek değerler belirtilir ve ilişkiler tanımlanır. Coğrafi Veri Modelinin uzun ömürlü olabilmesi için coğrafi ihtiyaçların çok iyi bir şekilde tespit edilmesi, modelin bu ihtiyaçlara göre tasarlanması, coğrafi varlıkların yoruma mahal vermeyecek şekilde modelde tanımlanmış olması, coğrafi varlıklardan sorumlu olan kurumların belirlenmesi ve modelin sonradan ortaya çıkabilecek ihtiyaçları da karşılayabilecek şekilde geliştirilebilir bir yapıda olması gerekmektedir. Böyle bir coğrafi veri modeli tasarımı sağlanır ve uygulanırsa tekrarlı veri üretiminin önüne geçilebilir, veriler gerçek anlamda paylaşılabılır ve ekonomiye katkı sağlanabilir.

Çalışmada, coğrafi varlıklardan sorumlu olan ve coğrafi varlıklar hakkında bilgiye gereksinim duyan kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçlarını karşılayabilecek, Coğrafi Veri Sözlüğü ve Coğrafi Veri Modeli hazırlanmaya çalışılmıştır. Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli tasarımında nihai ürün ve belgeleri doğru bir şekilde elde edebilmek için aşağıdaki yöntemler esas alınmıştır.

- Tasarım basit araçlarla yapılmalı,
- Yapısı her kullanıcı tarafından kolayca anlaşılabilir ve kullanılabilir, yorumlanması kolay olmalı (CBS Gn.Md.lüğü, 2019),
- Veri modelini oluşturan kurallar ve veri sözlüğünü oluşturan ifadeler yanlış anlaşılmalı yer vermeyecek şekilde açık ve kesin olmalı,
- Tasarım için belirlenen kurallar harfiyen uygulanmalı ve kurallara uygun standartlar belirlenmeli,
- Coğrafi veriler en etkin kullanıldığı çözünürlükte elde edilmeli ve en etkin yönetilebildiği düzeyde saklanmalı (CBS Gn.Md.lüğü, 2019),
- Farklı kaynaklardan gelen kesintisiz coğrafi bilgileri birleştirmek ve birçok kullanıcı ve uygulama ile paylaşmak mümkün olmalı (INSPIRE, 2022),
- Bir düzeyde/ölçekte üretilen bilgilerin tüm düzey/ölçeklerle paylaşılabilmesi mümkün olmalı, kapsamlı araştırmalar için ayrıntılı, stratejik amaçlar için genel olmalı (INSPIRE, 2022),
- Uygulama ihtiyaçlarına göre coğrafi verinin elde edilmesi ve yönetimi için gereksinimler belirlenmiş olmalı (CBS Gn.Md.lüğü, 2019),
- Coğrafi veri setlerinin içeriği ve özellikleri mevzuata uygun olarak tanımlanmalıdır (CBS Gn.Md.lüğü, 2019).

Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli, birlikte çalışabilirliği arttırmak ve sayısal coğrafi verinin üretiminin, paylaşımının, dağıtımının ve kullanımının anlaşılmasını sağlamak amacıyla standartlaştırılmış bir veri kodlamayı desteklemelidir. Herhangi bir tek uygulamanın, ürünün veya veri tabanının ihtiyaçlarını karşılamak için geliştirilmemeli, çözünürlük (ölçek), temsil ve betimleme (tasvir) seviyesinden bağımsız olmalıdır (DGIWG, 2000).

Çalışmanın kapsamının sınırlarını belirlemek ve istenilen amaca ulaşabilmek için, çalışmada sadece kamu kurum ve kuruluşlarının görevlerini etkin bir şekilde yapabilmeleri için sorumlu

oldukları veya ihtiyaç duydukları coğrafi varlıklar mevzuattan yararlanarak belirlenmeye çalışılmıştır. Coğrafi varlıklar arasından taşınmaz olan varlıklar incelenmiş, araç, insan, bulut gibi konum bilgisi değişebilen varlıklar çalışma konusu dışında tutulmuştur. Coğrafi varlıkların geometrik ilişkilerini belirleyen topolojik kurallar bu çalışmada irdelenmemiştir. Mevzuatta tanımlanmamış coğrafi varlıklar ise BÖHHBÜ (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim) Yönetmeliği'nden, INSPIRE (Avrupa Birliği Konumsal Veri Altyapısı) Direktifi Eklerinden ve TUCBS (Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi) Veri Tanımlama Dokümanlarından yararlanılarak çalışma belgelerine dahil edilmiştir. Öncelikli olarak, www.turkiye.gov.tr internet adresinde yer alan, coğrafi varlıklarla ilgili olduğu/olabileceği değerlendirilen, kamu kurum ve kuruluşları belirlenmiştir. Belirlenen kamu kurum ve kuruluşlarının görev ve sorumlulukları, hangi coğrafi bilgiye ihtiyaç duydukları, yürürlükteki mevzuat hükümlerinin incelenmesiyle tespit edilebileceği değerlendirilmiştir. Kamu kurum ve kuruluşlarının resmi internet sayfalarında paylaştıkları, görev ve sorumluluklarını içeren tâbi oldukları mevzuat isimleri belirlenmiş, güncel halleri www.mevzuat.gov.tr adresinden indirilmiştir. Tespit edilen mevzuat içerikleri baştan aşağı incelenerek, kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçları belirlenmiştir. Coğrafi ihtiyaçlarla birlikte coğrafi ihtiyaçları karşılayabilecek coğrafi varlıklar, öznelikleri ve tanımları da mevzuat hükümlerinden yararlanarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın yapılmasını gerektiren araştırma sorularının cevapları aranmış ve neticede,

- Kamu kurum ve kuruluşlarının mevzuatta yer alan coğrafi ihtiyaçları ayrıntılı olarak ortaya çıkarılmıştır.
- Bu coğrafi ihtiyaçları karşılayabilecek veri içeriği, hazırlanan Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modelinde belirtilmiştir.
- Hangi coğrafi varlığın hangi coğrafi verisi, hangi kurum/birim tarafından üretilmesi gerektiği, hazırlanan belgelerde belirtilmiştir.
- Coğrafi varlığa ve coğrafi veriye ilişkin tanımların büyük bir kısmı mevzuat içeriğinden yararlanarak belirlenebilmiştir.

2. COĞRAFİ VARLIKLAR VE ÖZNİTELİKLERİ

Varlık kavramı, ontoloji biliminin ve epistemoloji felsefe dalının temel konusunu oluşturmaktadır. Ontoloji varlığın ne olduğuna dair bize bir zemin sağlarken, epistemoloji bu varlığın kendisi hakkında bize bir zemin kurar.

Ontoloji varlıkların ne olduğunu, dünyadaki varlıkların temel kategorilerinin neler olduğunu sorar. Epistemoloji ise bu varlıklar, hakkında neyi bilgi olarak göreceğimiz ya da haklarında neyi geçerli bilgi sayacağımız, bu bilgiyi nasıl elde edeceğimiz ile ilgili faraziye grubudur (İstanbul Üniversitesi, 2022). Varlığın sözlükteki anlamı var olan şeydir. Varlık, uzayda bir konuma sahipse veya bir konumu tanımlıyorsa coğrafi varlık olarak nitelenebilir. Örneğin kara yolu, uzayda bir konuma sahip olduğu için coğrafi varlıktır.

Coğrafi varlıkların, dünya üzerinde kapladığı veya tanımladığı alan sınırlarının belirlenmiş olması gerekir. Örneğin, kara yolunun konum bilgisi ihtiyaca göre alan veya çizgi geometri ile temsil edilebilir. Coğrafi varlıkların bazıları doğal veya yapay fiziksel olarak dünya üzerinde bulunurken, bazıları da sanal olarak insan tarafından oluşturulmuş varlıklardır. Mesela orman, göl, arazi gibi coğrafi varlıklar doğal olarak oluşmuş ve bina, kara yolu, bent gibi coğrafi varlıklar yapay olarak oluşturulmuş iken il sınırı, koruma alanı, hava mânia yüzeyi gibi coğrafi varlıklar sanal olarak oluşturulmuştur.

Coğrafi varlığın doğru ve anlaşılır bir şekilde tanımlanması, coğrafi veri sözlüğünün temelini oluşturur. Coğrafi varlığın ismi ve tanımı belirlenirken, diğer varlıklardan ayırt edici ve açıklayıcı kelimelerin kullanılması gerekir. Eksik tanımlamalar karmaşaya ve yanlış veri üretilmesine neden olacaktır. Bununla birlikte coğrafi varlığın sahip olduğu veya olabileceği bazı bilgilerin de veri sözlüğünde tanımlanması gerekir. Bu bilgiler, coğrafi sorgulamalarda ve analizlerde ihtiyaç sahibi kişiye coğrafi varlık hakkında veri sunan, varlığı tanımlayan öznelik bilgileridir. Mesela kara yolu varlığının İsmi, Genişliği, Yol Kaplama Cinsi, Şerit Sayısı, özneliklerini oluşturmaktadır.

Coğrafi varlıklar modellenirken, ifadelerde belirsizliklerden, kavram karmaşasına neden olabilecek tanımlardan kaçınılmalı, coğrafi varlıkların hiyerarşik düzeyi ve ilişkileri belirlenmelidir. İdeal bir coğrafi veri modelinin hazırlanması, coğrafi varlık tanımlarındaki kavram karmaşasının en aza indirilmesi, coğrafi varlıklar arası ilişkilerin bilinmesi ile sağlanabilir. Coğrafi varlıkların geometrik ilişkileri de topolojik kurallar ile tanımlanmaktadır. Kara Yolu ile Göl detaylarının ortak bir geometriye sahip olmaması kuralı örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada topolojik kurallar irdelenmemiştir.

Coğrafi verilerin tutulacağı bir veri tabanında tasarımın amacı, gereksiz verileri azaltmak,

tekrarlanan verilerin önüne geçmek, gerektiğinde verilerin sorunsuz ve rahat bir biçimde birleşmesini sağlamak, verilerin doğruluğunu ve tutarlılığını sağlamak, veri işleme ve raporlama gereksinimlerini birbiriyle uyumlu hale getirmektir (Bitik, 2012).

Coğrafi varlıkların geometrileri iki boyutlu olarak veya geometriyi oluşturan noktaların referans yüzeyinden (örneğin ortalama deniz seviyesi veya elipsoit yüksekliği) olan yükseklikleri kullanılarak iki buçuk boyutlu olarak veya üç boyutlu olarak modellenenir. Coğrafi varlıkların yeryüzüne izdüşümü temel olarak alan, çizgi, nokta geometrileriyle iki boyutlu temsil edilmektedir. Büyük ölçekli çalışmalarda coğrafi varlıklar genellikle çizgi ve alan geometri ile temsil edilirken, ölçek küçüldükçe alan geometriler nokta veya çizgi geometri ile genelleştirme yapılarak temsil edilmektedir. Alan geometriler, ağırlık merkezi hesaplanarak nokta geometriyle veya alan geometriyi oluşturan noktaların sadeleştirilmesi ile çizgi geometriyle temsil edilebilir. Ölçekten bağımsız coğrafi veri modeli tasarımı, coğrafi varlıklar mümkün olduğunca alan geometri ile temsil edilmelidir. En kısa yol analizi gibi çizgi geometrilerin kullanıldığı coğrafi analizler, yol, nehir vb. alan geometrilerin genelleştirme yapılarak çizgi geometriye dönüştürülmesi suretiyle yapılabilecektir. Dolayısıyla coğrafi veri modelinde coğrafi varlığın geometrisi öncelikli olarak alan geometri ile, veri üretim ölçeği küçükse çizgi veya nokta geometri ile temsil edilmelidir.

3. ULUSAL VE ULUSLARARASI COĞRAFI STANDARTLAR

Uluslararası, bölgesel ve ulusal kuruluşlar Mekânsal Veri Altyapılarını oluşturmaya ve/veya uyumlu hale getirmeye çalışırken, coğrafi standartlar artık giderek daha önemli hale gelmektedir (Govorov, 2008).

Uluslararası kuruluşlarca hazırlanarak geliştirilen ve ülkelere örnek teşkil eden coğrafi veri sözlükleri ve veri modelleri esas alınarak daha kapsamlı, ülkemiz için uygulanabilir, coğrafi ihtiyaçları karşılayabilecek Coğrafi Veri Çerçevesinin ortaya çıkarılması çalışmaları devam etmektedir.

Türkiye'deki coğrafi veri yönetimi ve Konumsal Veri Altyapısı kurulması çalışmalarında, uluslararası standartlardaki öngörüler temel alınarak, yerelden ulusal ve uluslararası düzeye coğrafi veri kullanıcılarının

uygulama ihtiyaçlarına yönelik coğrafi veri standartları üretilmelidir (Aydınoğlu, 2010).

Ülkemizde, coğrafi veri altyapısından faydalanmak isteyen tüm sektörler kaliteli, güncel ve dinamik coğrafi bilgi akışını sağlayan entegre coğrafi bilgi üretim ve paylaşım altyapısı ile ulusal ekonomiye fayda sağlanması misyonuyla hazırlanmış olan Ulusal Coğrafi Bilgi Stratejisi ve Eylem Planı, 2018 yılında tamamlanmıştır (Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, 2022). Eylem planında belirlenen amaçlar ve hedefler sıralanırken, Ulusal Coğrafi Veri Sorumluluk Matrisinde kurumların sorumlu oldukları coğrafi veri temaları belirlenmiştir.

a. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Yönetmeliği

Büyük ölçekli çalışmalarda coğrafi varlıklar daha ayrıntılı temsil edilmektedir. Dolayısıyla veri modelinin de daha ayrıntılı tasarlanması gerekir. Kapsamı ve ayrıntısı ne kadar geniş tutulursa tutulsun, gerçek dünyadaki varlıkların bire bir modellenmesi, veri üretimi bakımından ekonomik olmayabilir. Coğrafi varlıklardan sorumlu olan kurumların ve bu kurumlardan hizmet alan kullanıcıların ihtiyacını karşılayacak ölçek ve kapsamda, coğrafi varlıkların modellenmesinin daha maliyet etkin olacağı değerlendirilmektedir. Büyük ölçekli çalışmalar için tasarlanan coğrafi veri modeline göre üretilen veriler, genelleştirme yapılmak suretiyle basitleştirilerek küçük ölçekli çalışmalar için de kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Türkiye'de yerel düzeyde gerçekleştirilen coğrafi veri üretiminde, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim (BÖHHBÜ) Yönetmeliği standart olarak kabul edilebilir. Ancak Yönetmelik incelendiğinde, Ek'inde sunulan coğrafi detay kataloğunda bazı detay özneliklerinin yeterli açıklamaya sahip olmadığı, öznelik küme değer tanımlarının yapılmadığı, detay kataloğunda benzer özneliklere sahip bazı coğrafi varlıkların (örneğin Kuyu ve Petrol Kuyusu) farklı detay olarak tanımlandığı, bazı coğrafi varlıkların detay kataloğunda tanımlanmadığı (örneğin Jeotermal Rezervuar, Hastane, Sağlık Tesisi, Organize Sanayi Bölgesi, vb.) tespit edilmiştir. BÖHHBÜ Yönetmeliği, harita üretimine yönelik bir standart ortaya koyduğu için, kurumların coğrafi ihtiyaçlarının tamamını karşılayacak düzeyde bir veri modeli sunamayacağı ancak kapsamlı bir coğrafi veri sözlüğünün ve veri modelinin hazırlanması çalışmalarına katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

b. Ulusal Veri Sözlüğü (UVS)

Veri Sözlüğü genel olarak, “bilgi sistemlerinde yönetilen verilere ilişkin üst verilerin tutulduğu, belirli kurallar çerçevesinde yönetildiği ve ilgili paydaşların erişimine açılan bir varlıktır” şeklinde tanımlanabilir. Veri üreten ve paylaşan bütün organizasyonlar için verinin standart bir tanımının bulunması ve paydaşlar tarafından bunun erişilebilir olması büyük önem taşımaktadır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2019).

Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi tarafından, kamu, kurum ve kuruluşlarının bilgi sistemlerindeki entegrasyon zorlukları, mükerrer ve çelişen verilerin olması, bilişim sistemlerinde dil birliğinin sağlanamaması ve veri sahipliğinin belli olmaması gibi birçok sorunu çözmek amacıyla Ulusal Veri Sözlüğü çalışmaları başlatılmıştır. Ulusal Veri Sözlüğü, kurumların ürettiği verilere yönelik kavramsal tanımlamalar yaptığı bir sözlüktür. Ulusal Veri Sözlüğü kapsamında;

- Ulusal veri envanterinin çıkarılması,
- Veri sahipliğinin belirlenmesi,
- Ulusal veri entegrasyon mimarisi ile yönetim ve izleme süreçlerinin yapılandırılması,
- Terminoloji birliğine varılması ve kurumsal hafızanın oluşturulması,
- Ulusal veri modellerinin belirlenmesi,
- Yeni yazılımlar için süreç iyileştirmeleri,
- Merkezi servis tasarım platformunun oluşturulması hedeflenmektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2022).

Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi tarafından gerçekleştirilen Ulusal Veri Sözlüğü (TUCBS Coğrafi Veri Sözlüğü Entegrasyonu sağlanmış) projesi kapsamında bugüne kadar yapılan çalışmalar irdelenecek olursa, projenin 3 fazda ilerletileceği bildirilmektedir. 1’inci fazda, kurumların Dijital Türkiye üzerinden sundukları web servislerine ilişkin veri sözlüklerini oluşturmaları, Ulusal Veri Sözlüğü konusunda personelinin eğitmesi, çalışma şeklini belirlemiş olması beklenmektedir. 2’nci fazda, kurumun ana iş alanı olan konulardan başlamak üzere örnek seçeceği bir uygulama veya proje üzerinden kendi veri sözlüğünü oluşturmaları, yani kurumun birinci faz ile oluşturmaya başladığı veri sözlüğünü tamamlaması beklenmektedir. 3’üncü fazda, kurumun veri sözlüğü kapsamını esas çalışma alanının tamamını içerir şekilde genişletmesi, uzmanlık alanına girmeyen kısımlar için de diğer kurumların çalışmalarına referans verir şekilde veri sözlüğünü genişletmesi hedeflenmektedir. Geline son durumda 1 ve 2’nci faz tamamlanmış, 3’üncü faza 01.12.2020

tarihinde başlanmış ve halen devam etmektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2022).

Bu proje kapsamında bütün kamu kurumlarının kendi veri sözlüklerini oluşturmaları hedeflenmektedir. Veri Sözlüğü Oluşturma işi kısa bir tanımla; yönetilen verilere ilişkin üst verinin tanımlı, erişilebilir ve yönetilebilir hale getirilmesi amacıyla bir Üst Veri Kayıt Defteri oluşturulması işidir. Hangi üst veri öğelerinin nasıl tanımlanıp yönetileceği ve Üst Veri Kayıt Defterinin nasıl oluşturulabileceğine ilişkin bir standart olan ISO/IEC 11179 standardı uluslararası ölçekte kabul görmüş, ülkemizde Sağlık Bakanlığının Ulusal Sağlık Veri Sözlüğü, Tarım ve Orman Bakanlığının Av Yönetimi Veri Sözlüğü, Avustralya Sağlık ve Refah Enstitüsü (Australian Institute of Health and Welfare) tarafından yayınlanan Ulusal Sağlık Veri Sözlüğü (National Health Data Dictionary) gibi çalışmalar tarafından referans olarak kullanılmıştır. Türk Standartları Enstitüsü de yakın zamanda ISO/IEC 11179 standardını temel alan TS ISO/IEC 11179 standardını yayınlamıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2019).

Ulusal Veri Sözlüğü uygulamasına girilecek coğrafi veri mevcutsa, bu verilerin sisteme hangi koşullarda işlenebileceği ile ilgili Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri entegrasyonu sağlanmıştır (<https://cbddo.gov.tr/projeler/ulusalverisozlugu/duyurular/>). Bu amaçla kullanıcıları bilgilendirmek amacıyla Coğrafi Veri Sözlüğü portalı CBS Gn.Md.lüğü tarafından erişime sunulmuştur. Portalde 335 coğrafi nesneye ilişkin bilgi sunulmaktadır (Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, 2022). Coğrafi nesnelerin yeterli içeriğe sahip olabilmesi için veri sözlüğü geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

e-Dönüşüm Türkiye Projesi Birlikte Çalışılabilirlik Esasları Rehberinin Veri Sözlüğü Standardının Oluşturulması ve Veri Sözlüğü Hazırlama başlıklarında, "Kurumlar, veri sözlüklerini kurumsal stratejiler ve Kamu Kurumları Veri Sözlüğü Standardı'na göre oluşturacak ve güncel tutacaktır. Kurumsal veri sözlükleri ve ontolojilerin hazırlanmasını takiben tek noktadan erişilebilecek meta sözlük hazırlanarak güncel tutulmalıdır." ifadelerine yer verilmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2019).

c. Avrupa Birliği (AB) Konumsal Veri Altyapısı (INSPIRE, Infrastructure for Spatial Information in the European Community)

Avrupa Birliğinde uluslararası coğrafi veri standartlarını, AB Konumsal Veri Altyapısı belirlemektedir. INSPIRE, Avrupa Komisyonu tarafından 2001 yılında başlatılan ve Avrupa Birliği'ne üye ülkeler ile katılımcı ülkelerin iş birliği ile geliştirilen bir girişimdir (Akıncı ve Cömert, 2009). 23 Temmuz 2004 tarihinde Avrupa Parlamentosu tarafından onaylanan INSPIRE yönergesinde, Avrupa Birliğindeki coğrafi altyapı faaliyetlerinin yasal zemine oturtulması ve birliğe üye ülkelerin uyması gereken teknik ve idari düzenlemeler belirlenmiştir (Simav, 2007).

INSPIRE Direktifi, çevre üzerinde etkisi olabilecek AB politikaları veya faaliyetleri için bir Avrupa Birliği Konumsal Veri Altyapısı oluşturmayı amaçlamaktadır. Direktif, çevresel uygulamalar için ihtiyaç duyulan 34 konumsal veri temasını ele almaktadır. Direktif 15 Mayıs 2007 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Tam uygulamanın sağlanabilmesi için 2021 yılına kadar çeşitli aşamalar yürürlüğe konulmuştur (INSPIRE, 2022).

Avrupa Birliğine üye ülkelerde konumsal veri altyapısının oluşturulmasını hedefleyen INSPIRE Direktifi Eklerinin geliştirilmesi süreci devam etmektedir. En son Direktifin Ek-2 ve Ek-3'ünde yer alan temalardaki detay çalışmaları tamamlanmıştır.

INSPIRE Direktifinin Ek-1'i Adresler, İdari Birimler, Kadastral Parseller, Coğrafi Grid Sistemleri, Coğrafi İsimler, Hidrografiya, Korunan Alanlar, Koordinat Referans Sistemleri, Ulaşım Ağları Veri Tanımlama belgeleri, Ek-2'si Yükseklik, Jeoloji, Arazi Örtüsü, Ortogörüntü Veri Tanımlama belgeleri, Ek-3'ü Atmosferik Durumlar ve Meteorolojik Detaylar, Tarımsal ve Su Ürünleri Tesisleri, Arazi Yönetimi Kısıtlama Düzenleme Bölgeleri, Biyo Coğrafi Alanlar, Binalar, Çevre İzleme Tesisleri, Enerji Kaynakları, Doğal Ortam ve Biyo Türler, İnsan Sağlığı ve Güvenliği, Arazi Kullanımı, Mineral Kaynaklar, Doğal Risk Alanları, Oşinografik Detaylar, Nüfus Dağılımı, Üretim ve Endüstri Tesisleri, Canlı Türlerinin Dağılımı, Toprak, Deniz Alanları, İstatistiksel Birimler, Kamu Yararı ve Hükümet Hizmetleri Veri Tanımlama belgelerinden oluşmaktadır.

ç. Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS)

Ulusal Coğrafi Bilgi Sisteminin kurulması ve geliştirilmesi görevi, 644 sayılı Kanun Hükmünde Kararnameyle kurulan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Genel Müdürlüğü'ne verilmiştir. Yine, 07 Kasım 2019 tarihli "49 Numaralı Coğrafi Bilgi Sistemleri Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi"ne göre, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi ve altyapısına ilişkin; kamu kurum ve kuruluşları arasında koordinasyonun sağlanması, hedef ve stratejilerin oluşturulması, coğrafi veri temaları içinde yer alan coğrafi veri ve bilginin üretilmesi ve güncelliğinin sağlanması, yönetilmesi, kullanılması, erişimi, güvenliğinin sağlanması, paylaşılması ve dağıtımına yönelik usul, esas ve standartlar ile bu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi kapsamında oluşturulan kurumların, kamu kurum ve kuruluşlarının, gerçek ve tüzel kişilerin görev, yetki ve sorumluluklarının belirlenmesi görevleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na verilmiştir (CBS Gn.Md.lüğü, 2022).

TUCBS, ulusal düzeyde teknolojik gelişmelere ve INSPIRE Direktifine uygun Coğrafi Bilgi Sistemi altyapısı kurulmasını, kamu kurum ve kuruluşlarının sorumlusu oldukları coğrafi bilgileri ortak altyapı üzerinden kullanıcılara sunmaları amacıyla bir web portalı oluşturulmasını, coğrafi verilerin tüm kullanıcı kurumların ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde içerik standartlarının oluşturulmasını ve coğrafi veri değişim standartlarının belirlenmesini amaçlayan bir e-devlet projesidir (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, 2022).

TUCBS projesi kapsamında bugüne kadar yapılan çalışmalar irdelenecek olursa, ülkemizin INSPIRE Direktifine uyum süreci konularında CBS Gn.Md.lüğünün öncülük ettiği ve Direktifte belirtildiği gibi coğrafi varlıkların tema bazlı sınıflandırıldığı ve Veri Tanımlama Dokümanlarının hazırlandığı görülmüştür. TUCBS geliştirme çalışmalarına öncülük eden CBS Gn.Md.lüğünün hazırladığı ve 04 Nisan 2022 tarihi itibarıyla kurumun internet sitesinde bulunan Adres, Arazi Kullanımı, Arazi Örtüsü, Altyapı, Biyocoğrafiya Bölgeleri, Bina, Koordinat Referans Sistemleri ve Coğrafi Grid Sistemleri, Çevre İzleme Tesisleri, Coğrafi Yer Adları, Deniz ve Tuzlu Su Alanları, Doğal Risk Bölgeleri, Enerji Kaynakları, Habitat Bölgeleri, Hidrografiya, İdari Birimler, İstatistiksel Raporlama Bölgeleri, İnsan Sağlığı ve Güvenliği, Jeoloji, Koruma Bölgeleri, Kadastro, Kamu Yönetim Bölgeleri, Meteoroloji Verileri ve Atmosfer Verileri, Madenler, Ortogörüntü, Sanayi Tesisleri, Tür Dağılımı,

Toprak, Tarım Tesisleri, Ulaşım Ağları, Yükseklik, Nüfus Dağılımı-Demografi Teması isimli toplam 32 adet Veri Tanımlama Dokümanlarına kullanıcılar tarafından erişilebilmektedir.

CBS Gn.Md.lüğünün koordinasyonunda hazırlanan Coğrafi Veri Tanımlama Dokümanlarının, INSPIRE Direktifi esas alınarak hazırlandığı, Veri Tanımlama Dokümanlarındaki bazı detay öznitelik değer tanımlamalarının boş bırakıldığı ancak her bir veri teması için çalışma gruplarının oluşturulduğu, ilgili akademik personel ve kurum temsilcilerinin katılımı ile veri temalarının güncellenmesi ve doküman içeriklerinin geliştirilmesi çalışmalarının devam ettiği, bazı Veri Tanımlama Dokümanlarının ikinci sürümlerinin hazırlandığı tespit edilmiştir. Birlikte çalışabilirlik için veri modellerinin uyumu hedeflenince de belirlenen çalışma grupları Türkiye'de uygulanabilir veri modeli ve ilgili dokümanları güncelleyerek geliştirmeye devam etmektedir.

4. KAMU KURUM VE KURULUŞLARININ TESPİTİ

Taşınmaz coğrafi varlıkların tespiti, korunması, işletilmesi, bakımı, inşası ve denetiminden sorumlu olan, faaliyetlerinde coğrafi veriye ihtiyaç duyan kamu kurum ve kuruluşları, mevzuatta yer alan tanımlardan yararlanılarak, Cumhurbaşkanlığının ve TBMM'nin resmi internet sayfalarında (www.turkiye.gov.tr, www.tbmm.gov.tr) yapılan araştırmalar neticesinde belirlenmiştir. Bu kapsamda Bakanlıklar hariç 30 kamu kurum ve kuruluşu tespit edilmiştir (Tablo 1). Kurumun buradaki sorumluluğu mevzuatta tanımlı olan görevlerini yapabilmesi için, coğrafi varlığın mülkiyeti, geometrik ve özniteliksel herhangi bir bilgisinin, üretilme veya güncellenme durumunu da içermektedir. Kamu kurum ve kuruluşlarının tabi olduğu mevzuatın incelenmesi aşamasında, coğrafi varlıklarla ilişkisi olduğu belirlenen diğer kurumlar da listeye ilave edilmiştir (Toplu Konut İdaresi Başkanlığı, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Belediye, Diyanet İşleri Başkanlığı).

Tablo 1. Coğrafi varlıklardan sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşları.

Sıra	Kamu Kurum ve Kuruluşları
1	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
2	Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi
3	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
4	Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü
5	Denizcilik Genel Müdürlüğü
6	Devlet Hava Meydanları İşletmesi Gn. Müdürlüğü
7	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
8	Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü
9	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
10	Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü
11	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
12	Harita Genel Müdürlüğü
13	İller İdaresi Genel Müdürlüğü
14	Karayolları Genel Müdürlüğü
15	Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü
16	Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü
17	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
18	Nüfus ve Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü
19	Orman Genel Müdürlüğü
20	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
21	Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı
22	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
23	T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Gn. Müdürlüğü
24	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
25	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
26	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
27	Tersaneler ve Kıyı Yapıları Genel Müdürlüğü
28	Tarım Reformu Genel Müdürlüğü
29	Türkiye Radyo Televizyon Kurumu
30	Vakıflar Genel Müdürlüğü

Taşınmaz coğrafi varlıkların tespiti, korunması, işletilmesi, bakımı, inşası ve denetimine yönelik, kamu kurum ve kuruluşlarının görev ve sorumluluklarını belirleyen Kanun, Kanun Hükmünde Kararname (KHK), Yönetmelik, Yönerge vb. mevzuat, ilgili kurumun internet sayfasından ve www.mevzuat.gov.tr adresinden bulunarak tespit edilmiştir.

5. COĞRAFI İHTİYAÇLARIN BELİRLENMESİ

Bakanlık, Genel Müdürlük ve Daire Başkanlığı düzeyindeki kamu kurum ve kuruluşlarının mevzuatta yazılı olan görevlerini yapabilmesi için gereksinim duydukları coğrafi ihtiyaçları, tespit edilen mevzuat içeriklerinin baştan sona incelenmesiyle belirlenmiştir. Coğrafi ihtiyaçlarla birlikte coğrafi ihtiyaçları karşılayabilecek coğrafi varlıklar, öznitelikleri ve tanımları da mevzuat hükümlerinden yararlanarak tespit edilmiştir. 30'un üzerinde kamu kurum ve kuruluşu ile ilgili Kanun, Kanun Hükmünde Kararname, Bakanlar Kurulu Kararı, Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi (Cum.K), Tüzük, Yönetmelik ve Yönergeler incelenmiştir. Toplamda 92 Kanun, 6 KHK, 2 Bak.K.K, 3 Cum.K., 2 Tüzük, 62 Yönetmelik ve

15 Yönerge olmak üzere, sayfa toplamı 2981 olan 182 adet mevzuattan yararlanılmıştır.

Mevzuat incelemesi yapılırken, mevzuat hükümlerinde ifade edilen kamu kurum ve kuruluşlarının görevlerine ilişkin, taşınmaz doğal ve insan yapımı detaylar ile dünya üzerinde bir konuma sahip, sınırları ve tanımları idarelerce belirlenen yerler coğrafi varlık olarak kabul edilmiştir.

Örneğin, 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununda “**Erişime kontrollü karayolu (otoyol-ekspresyol)**: Özellikle transit trafiğe tahsis edilen, belirli yerler ve şartlar dışında giriş ve çıkışın yasaklandığı, yaya, hayvan ve motorsuz araçların giremediği, ancak, izin verilen motorlu araçların yararlandığı ve trafiğin özel kontrole tabi tutulduğu karayoludur. **Geçiş Yolu**: Araçların bir mülke girip çıkması için yapılmış olan yolun, karayolu üzerinde bulunan kısmıdır. **Bağlantı Yolu**: Bir kavşak yakınında karayolu taşıt yollarının birbirine bağlanmasını sağlayan, kavşak alanı dışında kalan ve bir yönlü trafiğe ayrılmış olan karayolu kısmıdır. **Şerit**: Taşıtların bir dizi halinde güvenle seyredebilmeleri için taşıt yolunun ayrılmış bir bölümüdür.” tanımları ve “**Orman yollarında**, trafik düzeni ve güvenliği açısından ana orman yolları ile gerekli görülen diğer orman yollarında işaretlemeler yaparak tedbirler almak ve aldırarak. **Köy yollarında**, trafik düzeni ve güvenliği açısından gerekli düzenleme ve işaretlemeleri yaparak, tedbir almak ve aldırarak.” hükümleri bulunmaktadır. Bu tanım ve hükümlerde, Erişime Kontrollü Karayolu, Otoyol, Geçiş Yolu, Bağlantı Yolu, Şerit, Orman Yolu, Köy Yolu coğrafi ihtiyaçları bulunmaktadır. Söz konusu coğrafi ihtiyaçlar, Kara Yolu coğrafi varlığı (detayı); Türü, Erişime Kontrollü mü, Şerit Sayısı öznitelikleri; Bağlantı Yolu, Geçiş Yolu, Orman Yolu, Köy Yolu öznitelik küme değerleri kullanılarak karşılanabilecektir (Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4).

Tablo 2. Coğrafi varlık tablosu.

Coğrafi Varlık (Detay)
Kara Yolu

Tablo 3. Coğrafi varlık ve öznitelik tablosu.

Coğrafi Varlık	Öznitelik
Kara Yolu	Türü
Kara Yolu	Erişime Kontrollümü
Kara Yolu	Şerit Sayısı

Tablo 4. Coğrafi varlık, öznitelik ve değer tablosu.

Coğrafi Varlık	Öznitelik	Öznitelik Değer Kümesi
Kara Yolu	Türü	Bağlantı
Kara Yolu	Türü	Geçiş
Kara Yolu	Türü	Orman
Kara Yolu	Türü	Köy
Kara Yolu	Erişime Kontrollümü	Evet
Kara Yolu	Erişime Kontrollümü	Hayır

Örneğin, 7269 Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Tedbirlerle Yapılacak Yardımlara Dair Kanunda “**Deprem** (Yer sarsıntısı), **yangın**, **su baskını**, **yer kayması**, **kaya düşmesi**, **çığ**, **tasman** (göçük) ve benzeri afetlerde; yapıları ve kamu tesisleri genel hayata etkili olacak derecede zarar gören veya görmesi muhtemel olan yerlerde alınacak tedbirlerle yapılacak yardımlar hakkında bu kanun hükümleri uygulanır.” hükmü bulunmaktadır. Bu hükümde, Deprem Alanı, Yangın Alanı, Su Baskını Alanı, Yer Kayması Alanı, Kaya Düşmesi Alanı, Çığ Alanı, Göçük Alanı, Yapı, Tesis coğrafi ihtiyaçları bulunmaktadır. Söz konusu coğrafi ihtiyaçlar, Afet Riski Bulunan Alan, Bina, Tesis coğrafi varlığı (detayı); Türü özniteliği; Deprem, Yangın, Sel, Heyelan, Kaya Düşmesi, Çığ, Çökme öznitelik küme değerleri kullanılarak karşılanabilecektir (Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7).

Tablo 5. Coğrafi varlık tablosu.

Coğrafi Varlık (Detay)
Afet Riski Bulunan Alan
Bina
Tesis

Tablo 6. Coğrafi varlık ve öznitelik tablosu.

Coğrafi Varlık	Öznitelik
Afet Riski Bulunan Alan	Türü

Tablo 7. Coğrafi varlık, öznitelik ve değer tablosu.

Coğrafi Varlık	Öznitelik	Öznitelik Değer Kümesi
Afet Riski Bulunan Alan	Türü	Deprem
Afet Riski Bulunan Alan	Türü	Yangın
Afet Riski Bulunan Alan	Türü	Sel
Afet Riski Bulunan Alan	Türü	Heyelan
Afet Riski Bulunan Alan	Türü	Kaya Düşmesi
Afet Riski Bulunan Alan	Türü	Çığ
Afet Riski Bulunan Alan	Türü	Çökme

Mevzuat hükümlerinde ifade edilen coğrafi ihtiyaçları karşılayacak, coğrafi varlıkların, özniteliklerinin ve öznitelik küme değerlerinin tanımları, coğrafi veri sözlüğünün oluşturulması aşamasında kullanılmak üzere belirlenmiştir. 182 adet mevzuatın her birinin ayrı değerlendirilmesi sonucu 1463 adet coğrafi varlığı, 605 adet özniteliği ve 782 adet öznitelik küme değerini ifade eden coğrafi ihtiyaçlar tespit edilmiştir. Coğrafi ihtiyaçları karşılayacak bilgilerin önem derecesini, bilgiye ihtiyaç duyan kamu kurum ve kuruluş sayısı belirleyecektir.

6. SORUMLU KURUMLARIN BELİRLENMESİ

Coğrafi varlıkların, tespiti, korunması, işletilmesi, bakımı, inşası, denetiminden sorumlu olan kurum ve kuruluşlar, mevzuat içeriklerinde ve kamu kurumlarının resmi internet sayfalarında yer alan görev ve sorumluluklara göre belirlenmiştir. Detaydan sorumlu tek bir kurum olabileceği gibi detay alt tipine göre birden fazla kurumun sorumluluğu da bulunabilir.

Örneğin, Müze detayından Kültür ve Turizm Bakanlığı sorumlu iken, Kara Yolu detayının Devlet, İl, Otoyol, Toplayıcı, Bağlantı, Geçiş türlerinden Karayolları Gn.Md.lüğü, Köy türünden İller İdaresi Gn.Md.lüğü, Cadde, Sokak türünden Belediye, Orman türünden Orman Gn.Md.lüğü sorumludur (Tablo 8).

Tablo 8. Bazı coğrafi varlıkların sorumlu kurum tablosu.

Detay Adı	Türü Özniteliği	Sorumlu Kurum
Müze	-	Kültür ve Turizm Bakanlığı
Kara Yolu	Otoyol	Karayolları Gn.Md.lüğü
Kara Yolu	Devlet	Karayolları Gn.Md.lüğü
Kara Yolu	İl	Karayolları Gn.Md.lüğü
Kara Yolu	Toplayıcı	Karayolları Gn.Md.lüğü
Kara Yolu	Bağlantı	Karayolları Gn.Md.lüğü
Kara Yolu	Geçiş	Karayolları Gn.Md.lüğü
Kara Yolu	Köy	İl Özel İdaresi
Kara Yolu	Cadde	Belediye
Kara Yolu	Sokak	Belediye
Kara Yolu	Orman	Orman Gn.Md.lüğü

7. COĞRAFİ VERİ MODELİNİN HAZIRLANMASI

Mevzuatta yazılı coğrafi ihtiyaçları karşılayabilecek 2069 coğrafi detay, 905 öznitelik ve 1227 öznitelik değeri tablo yapısında derlenmiş, isimlerine göre kayıtlar alfabetik olarak sıralanmıştır. Böylece aynı veya benzer isme sahip satırlar bir araya getirilmiş ve detay, öznitelik, öznitelik değerlerinin birleştirilebilmesi için ortam oluşturulmuştur.

Detay, öznitelik ve öznitelik değer isimlerinden yararlanarak aynı veya benzer isme sahip olanlar tek bir isme indirgenmiştir. Örneğin Arama Sahası, Araştırma Alanı detayları, Arama Alanı ismiyle birleştirilmiştir. Başka bir detayın alt türü olabilecek detaylar, sahip olduğu özniteliklerine bakılarak ortak özniteliklere sahip ise Türü özniteliği altında birleştirilmiştir. Örneğin Bisiklet Yolu detayı, Kara Yolu detayının Türü özniteliğinin bir değeri olarak modellenmiştir. Detay, öznitelik ve değer tanımlamaları birleştirilirken en açıklayıcı ifadeler öncelikli olarak kullanılmıştır. Yararlanılan kaynak mevzuat isimleri veya detaylardan sorumlu olan kurum isimleri birden fazla ise, isimler arasına noktalı virgül konularak gerekli bilgiler birleştirilmiştir.

Örneğin, Arama Alanı, Arama Sahası, Araştırma Alanı detay isimlerindeki alan ve saha kelimeleri ile arama ve araştırma kelimeleri kullanılarak (Tablo 9), kaynak mevzuatta en çok ifade edilen detay isimlerine göre Arama Alanı detay ismi altında birleştirilmiştir (Tablo 10).

Tablo 9. Benzer isme sahip detaylar.

DETAY	KAYNAK	AÇIKLAMA	KAYNAK	SORUMLU KURUM
Arama Alanı	5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu			Enerji İşleri Genel Müdürlüğü ; Maden İşleri Gn.Md.lüğü
Arama Alanı	Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği			Maden İşleri Genel Müdürlüğü
Arama Sahası	6326 sayılı Petrol Kanunu	Bir arama ruhsatnamesinin taallük ettiği sahaya "arama sahası" denir.	6326 sayılı Petrol Kanunu	Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
Araştırma Alanı	2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu			Kültür ve Turizm Bakanlığı

Tablo 10. Benzer isme sahip detayların Arama Alanı detayı olarak birleştirilmesi.

DETAY	KAYNAK	AÇIKLAMA	KAYNAK	SORUMLU KURUM
Arama Alanı	5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ; Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği ; 6326 sayılı Petrol Kanunu	Bir arama ruhsatnamesinin taallük ettiği sahaya "arama sahası" denir.	6326 sayılı Petrol Kanunu	Enerji İşleri Gn.Md.lüğü ; Maden İşleri Gn.Md.lüğü ; Petrol İşleri Gn.Md.lüğü

Aynı coğrafi varlığı tanımlayan detay isimleri, detayın sahip olduğu benzer öznitelik isimleri ve özniteliklerin benzer olan değerleri birleştirilerek, tespit edilen 2069 detay 625'e, 905 öznitelik 561'e, 1227 öznitelik değeri 855'e indirgenmiştir.

8. BÖHHBÜ YÖNETMELİĞİNDEN YARARLANARAK VERİ SÖZLÜĞÜNÜN VE VERİ MODELİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgisi Üretim (BÖHHBÜ) Yönetmeliğinin incelenmesi neticesinde, Yönetmelik Ek'inde bulunan 145 detaydan 18'i, 101 öznitelikten 33'ü, 477 öznitelik değerinden 44'ü, mevzuat hükümlerinden elde edilen Coğrafi Veri Modeline ilave edilerek model iyileştirilmiştir. Modele eklenen detaylar, öznitelikler ve öznitelik değerlerinin, Yararlanılan Kaynak değerine BÖHHBÜ Yönetmeliği eklenmiştir. BÖHHBÜ Yönetmelik ekinde bulunan 145 detaydan 66'sına, 101 öznitelikten 27'sine, 477 öznitelik değerinden 50'sine ait tanımlar, Coğrafi Veri Sözlüğüne ilave edilerek iyileştirilmiştir (Tablo 11). Mevzuatta ve BÖHHBÜ Yönetmeliğinde yer alan detay tanımları birleştirilirken en kapsamlı tanım kabul edilmiş, birbirini tamamlayan tanımlar ise bir arada kullanılmıştır.

Tablo 11. BÖHHBÜ Yönetmeliğinden alınan bazı detay, öznitelik, öznitelik değeri ve tanımları.

DETAY	ÖZNİTELİK	ÖZNİTELİK DEĞERİ	TANIM
Deniz Feneri			Kıyıların tehlikeli yerlerinde, bazı kaya ve adacıkların üzerinde geceleri deniz taşıtlarına yol gösteren, tepesinde güçlü bir ışık kaynağı olan fener.
Kanal			Bazı bölgeleri sulamak, kurutmak amacıyla veya gemilerin işlemesine elverişli, insan eliyle açılmış su yoludur.
Bina	Deprem Katsayı		Binanın depreme dayanıklılık katsayısı.
Ada-Kadastral	Kat Adedi		KAKS/TAKS sonucu veya plânla oluşturulan yapı adası üzerinde belirtilen maksimum kat adedi.
Tabiat Varlığı	Türü	Mağara	Bir yamaca ya da kaya içine doğru uzanan genişçe kovuk.
Kule	Türü	Petrol	Petrol sondajı amacıyla tesis edilen seyyar veya sabit kule.

İyileştirilen Coğrafi Veri Modelinde, detay isimlerinden ve öznitelik değerlerinden yararlanılarak benzer isimli ve aynı özniteliklere sahip olan detaylar birleştirilmiştir. Bunun neticesinde 635 detay 420'ye indirgenmiş, birleştirilen detaylar Türü özniteliklerine aktarıldığı için öznitelik ve öznitelik değer kümeleri zenginleşmiştir, 582 öznitelik 609'a ve 874 öznitelik değeri 1063'e ulaşmıştır.

Örneğin Kanalizasyon, İsale Hattı, Doğalgaz Hattı, Petrol Boru Hattı, Su Dağıtım Hattı coğrafi varlıkları benzer özniteliklere sahip olduklarından (Tablo 12), Boru Hattı isminde tek bir detay altında, Türü özniteliği ile ayırt edilecek şekilde birleştirilmiştir (Tablo 13).

Tablo 12. Boru Hattı detayı altında birleştirilen bazı coğrafi varlıklar.

DETAY
Boru Hattı
Kanalizasyon
İsale Hattı
Doğalgaz Hattı
Petrol Boru Hattı
Su Dağıtım Hattı

Tablo 13. Birleştirme sonrası Boru Hattı detayına ait bazı öznitelikler ve değerleri.

DETAY	ÖZNİTELİK	ÖZNİTELİK DEĞERİ
Boru Hattı	Türü	Kanalizasyon
		Jeotermal
	Taşınan Madde	Su
		Doğalgaz
		Petrol
		Atık Su

9. INSPIRE DİREKTİFİ EKLERİNDEN VE TUCBS VERİ TANIMLAMA DOKÜMANLARINDAN YARARLANARAK VERİ SÖZLÜĞÜNÜN VE VERİ MODELİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Çalışmada INSPIRE Direktifinin Ek-1'inde yer alan Adresler, İdari Birimler, Kadastral Parseller, Coğrafi Grid Sistemleri, Coğrafi İsimler, Hidrografiya, Korunan Alanlar, Koordinat Referans Sistemleri, Ulaşım Ağları Veri Tanımlama belgeleri olmak üzere 1236 sayfa incelenmiştir. INSPIRE Direktifinin Ek-2'sinde yer alan Yükseklik, Jeoloji, Arazi Örtüsü, Ortogörüntü Veri Tanımlama belgeleri olmak üzere 910 sayfa incelenmiştir. INSPIRE Direktifinin Ek-3'ünde yer alan Atmosferik Durumlar ve Meteoroloji Detaylar, Tarımsal ve Su Ürünleri Tesisleri, Arazi Yönetimi Kısıtlama Düzenleme Bölgeleri, Biyo Coğrafi Alanlar, Binalar, Çevre İzleme Tesisleri, Enerji Kaynakları, Doğal Ortam ve Biyo Türler, İnsan Sağlığı ve Güvenliği, Arazi Kullanımı, Mineral Kaynaklar, Doğal Risk Alanları, Oşinografik Detaylar, Nüfus Dağılımı, Üretim ve Endüstri Tesisleri, Canlı Türlerinin Dağılımı, Toprak, Deniz Alanları, İstatistiksel Birimler, Kamu Yararı ve Hükümet Hizmetleri Veri Tanımlama belgeleri olmak üzere 3339 sayfa incelenmiştir.

Bununla birlikte INSPIRE Direktif'i esas alarak Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) geliştirme çalışmalarına devam eden CBS Gn.Md.lüğünün hazırladığı ve 04 Nisan 2022 tarihi itibarıyla kurumun internet sitesinde bulunan Adres, Arazi Kullanımı, Arazi Örtüsü, Altyapı, Biyocoğrafiya Bölgeleri, Bina, Koordinat Referans Sistemleri ve Coğrafi Grid Sistemleri, Çevre İzleme Tesisleri, Coğrafi Yer Adları, Deniz ve Tuzlu Su Alanları, Doğal Risk Bölgeleri, Enerji Kaynakları, Habitat Bölgeleri, Hidrografiya, İdari Birimler, İstatistiksel Raporlama Bölgeleri, İnsan Sağlığı ve Güvenliği, Jeoloji, Koruma Bölgeleri, Kadastro, Kamu Yönetim Bölgeleri, Meteoroloji Verileri ve Atmosfer Verileri, Madenler, Ortogörüntü, Sanayi Tesisleri, Tür Dağılımı, Toprak, Tarım Tesisleri, Ulaşım Ağları, Yükseklik, Nüfus Dağılımı-Demografi Teması isimli toplam 3963 sayfadan oluşan 32 adet Veri Tanımlama Dokümanları da incelenmiştir. Dokümanların, INSPIRE Direktif Veri Tanımlama Belgelerinden yararlanılarak hazırlandığı, INSPIRE belgeleri ile kıyaslandığında daha az resim ve şekillerin kullanıldığı, bazı detay öznitelik değer tanımlarının boş bırakıldığı, bu nedenle doküman sayfa sayılarının daha az olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte akademik personel ve kurum temsilcilerinin katılımı ile veri temalarının

güncellenmesi ve doküman içeriklerinin geliştirilmesi çalışmalarının devam ettiği tespit edilmiş, CBS Gn.Md.lüğünün Veri Tanımlama Dokümanlarının zaman içerisinde kamu kurum ve kuruluşlarının katkılarıyla iyileştirileceği ve geliştirileceği değerlendirilmektedir.

Böylelikle INSPIRE Direktif Ek-1, Ek-2 ve Ek-3'te yer alan toplam 5485 sayfalık 33 adet Veri Tanımlama Belgeleri ile TUCBS'deki toplam 3963 sayfalık 32 adet Veri Tanımlama Dokümanları incelenerek, mevzuat hükümlerinden elde edilen Coğrafi Veri Modeline; 4 adet yeni Detay, 12 adet yeni Detay Tanımı, 152 adet yeni Detay Özniteliği, 165 adet yeni Öznitelik Tanımı (Tablo 14), 568 adet yeni Öznitelik Değeri, 831 adet yeni Öznitelik Değer Tanımı dâhil edilmiştir (Tablo 15).

Tablo 14. INSPIRE Direktifinden alınan bazı öznitelik tanımları.

DETAY	ÖZNİTELİK	TANIM	KAYNAK
Adres	Geçerlilik Başlangıç Tarihi	Adresin bu versiyonunun gerçek dünyada geçerli olduğu veya olacağı tarih ve saat.	INSPIRE DataSpecification Addresses v3.1
Bina	Elektrik Bağlantısı Varmı	Bina veya bina bölümünün veya bina ünitesinin kamu elektrik şebekesine bağlı olup olmadığına dair bir gösterge.	INSPIRE DataSpecification Buildings v3.0
Yer Altı Kaynak Yatağı	Minimum Derinlik	Derinlik aralığının alt sınırını gösteren değer.	INSPIRE DataSpecification Energy Resources v3.0
Baraj Suyu	Ortalama Derinlik	Su kütlesinin ortalama derinliği.	INSPIRE DataSpecification Hydrography v3.1
Organize Sanayi Bölgesi	Kirliliği Azaltma Yöntemi	Tipik olarak bir baca olan teknik bir bileşenin emisyonlarından kaynaklanan kirlenici konsantrasyonunu azaltma yöntemleri.	INSPIRE DataSpecification Production and Industrial Facilities v3.0

Tablo 15. Coğrafi Veri Modeline dahil edilen coğrafi detaylar ve bilgileri.

DAHİL EDİLEN DETAY VE BİLGİLER	SAYISI	TOPLAM SAYIYA ORANI
Detay	4	%1,4
Detay Tanımı	12	%4,3
Detay Özniteliği	152	%11,1
Öznitelik Tanımı	165	%12,1
Öznitelik Değeri	568	%19,7
Öznitelik Değer Tanımı	831	%28,8

10. COĞRAFI VERİ MODELİNDEKİ EKSİKLİKLERİN BELİRLENEREK GİDERİLMESİ

Bu aşamada, hazırlanan Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modelinde, coğrafi varlığa ve coğrafi verisine ilişkin mevzuat içeriğinde ifade edilmemiş veya eksik kalan tanımları, farklı

kaynaklar kullanılarak tamamlanmış ve son incelemesi yapılmıştır.

Veri Sözlüğü ve Veri Modelindeki tüm coğrafi varlıkların eksik kalan tanımları sırasıyla, mevzuat taraması yapılarak mevzuat içeriğinden, Türk Dil Kurumu Sözlüğünden (www.sozluk.gov.tr), kamu kurum ve kuruluşlarının resmi internet sayfalarındaki bilgi ve terim sözlüklerinden, akademik yayınlardan, üniversitelerin internet sitelerinde bulunan belgelerden, Vikipedi Ansiklopedisinden (https://tr.wikipedia.org) ve açık kaynak bilgilerden yararlanarak hazırlanmıştır. Hangi kurum veya kuruluşun sorumluluğunda olduğu mevzuatta açıkça belirtilmemiş coğrafi varlıkların, özniteliklerinin ve öznitelik küme değerlerinin, sorumlu kurumların tespitleri, yeniden mevzuat taraması yapılarak bulunan hükümlerden, kurumların internet sayfalarında yazılı görev ve sorumluluk alanlarından, Ulusal Coğrafi Veri Sorumluluk Matrisinden (30 Haziran 2020 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanan Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemi Kurulu Kararı Ek-1), konuya ilişkin raporlardan (Orshoven ve Beusen, 2008) yararlanılarak belirlenmiştir.

Bazı coğrafi varlıkların Adı, Sahibi, Yapı Malzemesi, Yüksekliği gibi mevzuat hükümlerinde ve INSPIRE Direktifi'nde belirtilmemiş ancak gerçekte sahip olması gerektiği değerlendirilen öznitelikleri ve öznitelik küme değeri, Coğrafi Veri Modelindeki detaylara aktararak eksiklikler giderilmiştir. Modeldeki coğrafi varlıklara bu şekilde toplam 429 öznitelik ve 660 öznitelik küme değeri eklenmiştir. Bazı coğrafi varlıklara eklenen örnek öznitelikler Tablo 16'da, bazı öznitelik değer kümelerine eklenen örnek değerler Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 16. Bazı Coğrafi varlıklara eklenen örnek öznitelikler.

Coğrafi Varlık	Öznitelik
Barınak	Adı
Barınak	Kapasitesi
Dalgakıran	Adı
Dalgakıran	Yükseklik
Dalgakıran	Yapı Malzemesi
Heliport	Adı
Heliport	Sahibi
Heliport	Durumu

Tablo 17. Bazı öznitelik değer kümelerine eklenen örnek değerler.

Coğrafi Varlık	Öznitelik	Öznitelik Küme Değeri
Barınak	Türü	Çadır
Barınak	Türü	Konteyner
Demir Yolu Makası	Manevra Türü	Kruvazman
Demir Yolu Makası	Manevra Türü	S Makas
Trafo	Durumu	Faal
Trafo	Durumu	Kapalı
Trafo	Durumu	Bakımda
Trafo	Durumu	İnşa Halinde

11. ÇALIŞMA AŞAMALARI SONUCUNDA ELDE EDİLEN BELGELER

Çalışmada Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli hazırlanırken aynı zamanda, coğrafi detayların tanımlarına, özniteliklerine ve öznitelik değerlerine bakılarak, modeldeki tekrarlı veriler birleştirilmiştir. Örneğin Servis İstasyonu, Tekne Bakım Yeri, Bakım Alanı detayları Araç Bakım Servis İstasyonu isminde tek bir detay olarak birleştirilmiştir. Örneğin Dağ, Tepe, Ova, Sirt, Boyun, Mevki, Meydan detayları, Coğrafi Ad isminde tek bir detayın Türü özniteliği altında birleştirilmiştir. Tüm bu işlemlerin neticesinde Coğrafi Veri Modeli, 281 adet Detay, 1367 adet Öznitelik, 2885 adet Öznitelik Küme Değeri, tanımlarıyla ve yararlanılan kaynaklarıyla birlikte oluşturulmuştur.

Dokuz aşamadan oluşan çalışmanın ilk dört aşaması sonucu, coğrafi varlıklardan sorumlu olan ve coğrafi veriye ihtiyaç duyan kamu kurum ve kuruluşları belirlenmiş, kamu kurum ve kuruluşlarını ilgilendiren mevzuat belgeleri belirlenmiş, ilgili mevzuat hükümlerinden yararlanılarak coğrafi ihtiyaçlar belirlenmiş, 'Kamu Kurum ve Kuruluşlarının Coğrafi İhtiyaçları' belgesi hazırlanmıştır (Şekil 3). Çalışmanın ilk yedi aşaması sonucu, kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçlarını karşılayabilecek detaylar, öznitelikler, öznitelik değerleri ve tanımları belirlenmiş, 'İhtiyaçları Karşılayabilecek Coğrafi Varlıklar, Öznitelikleri ve Öznitelik Değerleri' belgesi hazırlanmıştır (Şekil 4). Çalışmanın ilk dokuz aşaması sonucu, coğrafi detaylar, öznitelikler, öznitelik değerleri, tanımlar ve yararlanılan kaynaklar birleştirilmiş, benzer bilgiler sadeleştirilmiş, BÖHBBÜ Yönetmeliği ve INSPIRE Direktifi Eklerinden yararlanılarak Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli zenginleştirilmiş, Veri Sözlüğü ve Veri

Modelindeki eksiklikler diğer kaynaklar kullanılarak giderilmiş, 'Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli' belgesi hazırlanmıştır (Şekil 5). Belgelerin tüm bilgisayarlarda açılabilmesi ve kullanıcılar tarafından okunabilmesi amacıyla, belgeler excel dosya (.xlsx) yapısında

hazırlanmış, kolay anlaşılabilmesi için belge içerikleri düzenlenmiş, açıklayıcı tanımlar ve bilgiler eklenmiştir.

S.NO.	B MEVZUAT	C HÜKÜM	D COĞRAFİ BİLGİ İHTİYACI	E ÖZNETLİK	F AÇIKLAMA	G SORUMLU KURUM
1	Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMI) Ana Statüsü	Sivil Havacılık faaliyetlerinin gereği olan, hava	Hava Alanı		Hava Alanları terimi; DHMI tarafından i	
2	Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Hava Alanları Yönetim Ve İşletme Yönergesi	Ana Statü ve Birim Yönetmelikleri çerçevesinde, Hava Limanlarında Hava Limanı Başmüdürü, Meydanlarda ise	Hava Limanı Hava Meydanı		Havalimanı: Karada ve su üzerinde, içe	
3	Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Hava Alanları Pist, Apron Ve Taksiyolu (Pat) Sahaları Hizmetleri Yönergesi	2120 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu ve yönetmelikleri ile yürürlükteki diğer ilgili mevzuat hükümlerine uygun olarak hava Hava alanlarında uçak park sahalarının düzeni Hava alanı, enerji nakil hatları, tali trafo postaları, kuvvet santrali, elektrojen grupları	Pist Apron Taksitür (PAT) Park Sahası Traflo Postası Kuvvet Santrali		Pist: Havalimanında uçakların iniş ve ka Apron: Bir havalimanında hava araçları Uçak park sahası: Apronlarda bekleme	
4	Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Hava Alanları Terminal Hizmetleri Yönergesi	Terminal Tesisleri terimi; Hava alanları terminal binaları ve terminal hizmetleriyle Hava alanında yolcu, karşılayıcı/uçurlayıcı, gö	Otopark Localizer İstasyonu Kritik Sahası Glide Path İstasyonu Kritik Sahası VOR İstasyonu Kritik Sahası Sinyal Oluşum Sahası			
5	Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Elektronik Sistemler Yönergesi	ILS sisteminin kategorisine uygun olarak Localizer ve Glide Path istasyonları için kritik Localizer ve Glide Path istasyonları ile havalim Havalimanı yetkilileri tarafından, ILS sistemi G Dağ tipi istasyonlar başta olmak üzere tüm seyrüsefer yardımcı cihaz istasyonlarına ait anten ve barınak sahalarının kar ve ot Kule ve saha kontrol telsiz ve telefon görüşm	Anten Barınak Kule Pist PAT Sahaları: Pist, Apron ve Taksi Yolları saha Taksi Yolu	İstasyon Türü (Dağ Tipi, Glide Path, Localize Anten Tipi (VOR, LOC, GP, MM, OM, Marke		
					Taksiyolu: Uçakların taksi yapmaları için	

Şekil 3. Kamu Kurum ve Kuruluşlarının Coğrafi İhtiyaçları belgesi.

B		C
S.NO	TANIM	AÇIKLAMA
1	Belge Adı	İhtiyaçları Karşılatabilecek Coğrafi Varlıklar, Öznitelikleri ve Öznitelik Değerleri
2	Belgenin İlk Düzenlenme Tarihi	21 Ağustos 2020
3	Belgenin Son Düzenlenme Tarihi	27 Aralık 2021
4	Belgenin Hızlılaştırma Amacı ve İzlenen Yöntemler	Bu belge, çalışmanın ilk 4 aşaması neticesinde hazırlanan "Kamu Kurum ve Kuruluşlarının Coğrafi İhtiyaçları" belgesindeki, kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçlarını karşılayacağı değerlendirilen coğrafi varlıkların (detaylar), özniteliklerin ve öznitelik değerlerinin bir araya getirilmesi, aynı olanların birleştirilmesi ve tekil hale getirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Aynı coğrafi varlık, mevzuatta farklı isimlerle ifade edilebilmektedir. Benzer şekilde coğrafi varlığın özniteliği ve öznitelik değeri mevzuatta farklı isimlerle kullanılabilmektedir. Bu belgede aynı coğrafi varlığı, öznenliği ve öznitelik değerlerini ifade eden kavramlar bir araya getirilmiş, en yaygın olan ve kavramı en iyi ifade eden kelimeler kullanılarak birleştirme, sadeleştirme ve yeniden isimlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu belgenin, Detaylar, Öznitelikler, Öznitelik Değer Kümesi
5	Hazırlayan	
6	Çalışmanın Adı	Kamu Kurum ve Kuruluşlarının Coğrafi İhtiyaçlarını Karşılatabilecek Taşınmaz Coğrafi Varlıkların Modeldenmesi
7	Çalışmanın Amacı	Coğrafi verinin farklı birimler tarafından tekrarlı üretiminin azaltılması, coğrafi verinin paylaşım ve kullanımı oranının artırılması, coğrafi verilerin bir araya getirilebilmesiyle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uygulamalarının daha da geliştirilebilmesi, bu suretle ülke ekonomisine zaman, parasal ve iş gücü yönünden somulu olması gerektiği değerlendirilen
8	Dosya Formatı	Microsoft Excel (.xlsx), çoğu bilgisayarda açılabilen ve kullanıcılar tarafından kullanılabilen bir bilgisayar dosya formatı olması nedeniyle, çalışmada bu dosya formatı
9	Sekme Adları	Bu belgedeki rengi gri olan sekme adları, Detaylar, Öznitelikler ve Öznitelik Değer Kümesi'dir.
10	Detaylar Sekmesi	Detaylar sekmesi sırasıyla, satırlarda bulunan coğrafi varlık (detay) bilgilerinde nasıl bir birleştirme işleminin yapıldığını dolgu rengine göre bildiren hücreleri (RENK sütunu), coğrafi varlıkları (detayları) tanımlayan detay isimlerini (DETAY sütunu), coğrafi detay ihtiyacını bildiren kaynak mevzuat isimlerini (DETAY KAYNAK sütunu), detayın açıklanması (AÇIKLAMA sütunu), açıklamanın hazırlanmasında yararlanılan kaynakları (AÇIKLAMA KAYNAK sütunu) ve detaydan sorumlu olması gerektiği değerlendirilen
11	Öznitelikler Sekmesi	Öznitelikler sekmesi sırasıyla, satırlarda bulunan coğrafi varlık (detay) bilgilerinde nasıl bir birleştirme işleminin yapıldığını dolgu rengine göre bildiren hücreleri (RENK sütunu), coğrafi varlıkları (detayları) tanımlayan detay isimlerini (DETAY sütunu), detayların öznitelik isimlerini (ÖZNİTELİK sütunu), coğrafi detay öznitelik ihtiyacını bildiren kaynak mevzuat isimlerini (DETAYLIL KAYNAK sütunu), detay özniteliklerinin açıklanması (AÇIKLAMA sütunu), açıklamanın hazırlanmasında yararlanılan kaynakları (AÇIKLAMA KAYNAK sütunu) ve detay özniteliklerinden sorumlu olması gerektiği değerlendirilen kamu kurum ve kuruluş isimlerini (SORUMLU KURUM sütunu) içermektedir.
12	Öznitelik Değer Kümesi Sekmesi	Öznitelik Değer Kümesi sekmesi sırasıyla, satırlarda bulunan coğrafi varlık (detay) bilgilerinde nasıl bir birleştirme işleminin yapıldığını dolgu rengine göre bildiren hücreleri (RENK sütunu), coğrafi varlıkları (detayları) tanımlayan detay isimlerini (DETAY sütunu), detayların öznitelik isimlerini (ÖZNİTELİK sütunu), öznitelik değerlerinin isimlerini (ÖZNİTELİK DEĞER KÜMESİ sütunu), öznitelik değerlerini bildiren kaynak mevzuat isimlerini (ÖZNİTELİK DEĞERİ KAYNAK sütunu), öznitelik değerlerinin açıklanmaları (AÇIKLAMA sütunu), açıklamaların hazırlanmasında yararlanılan kaynakları (AÇIKLAMA KAYNAK sütunu) ve detay öznitelik değerinden sorumlu olması gerektiği değerlendirilen kamu kurum ve kuruluş isimlerini (SORUMLU KURUM sütunu) içermektedir.

Şekil 4. İhtiyaçları Karşılatabilecek Coğrafi Varlıklar, Öznitelikleri ve Öznitelik Değerleri belgesi.

A	B	C	D	E	F
RENK	DETAY	DETAY KAYNAK	AÇIKLAMA	AÇIKLAMA KAYNAK	SORUMLU KURUM
	Acil İniş Alanı	Heliport Yapım ve İşletme Yönetmeliği	Hava taşıtlarının acil durumlarda iniş için kullanılabilecek		SHGM ; DHMI
	Ada-Suyula Çevrili	İstanbul Liman Başkanlığı Yerel Deniz Trafik Regülasyonu	Deniz veya göl suları ile çevrilmiş küçük kara parçası.	https://sozluk.gov.tr/ ; 2918 Karayolları	Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı
	Ada-Kavşak	2918 Karayolları Trafik Kanunu ; Karayolları Trafik Kanunu	Kavşaklarda trafiği düzenleyici, yönlendirici veya ayırıcı	https://sozluk.gov.tr/ ; 2918 Karayolları	Karayolları Gn.Md.lüğü ; Belediye
	Ada-Kadastral	6306 Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Kanunu ; Afet Riski Bulunan Alan	Kadastral yapıldığı zaman ya da imar planı uygulaması ile	Büyük Ölçekli Harita Ve Harita Bilgileri Üretimi Kanunu	Belediye ; Tapu Kadastro Gn.Md.lüğü
	Afetsel Riskli Alan	5490 sayılı Nüfus Hizmetleri Kanunu ; Adres Kayıt Kanunu	Adres: Herhangi bir toprak parçası veya binanın coğrafi konumu	5490 sayılı Nüfus Hizmetleri Kanunu	Nüfus ve Vatandaşlık Hizmetleri Gn.Md.lüğü
	Afetsel Riskli Bulunan Alan	Afet Ve Acil Durum Müdahale Hizmetleri Yönetmeliği	Afet riski bulunan alan. Zemin yapısı veya üzerindeki yapı	6306 Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Kanunu	AFAD ; Karayolları Gn.Md.lüğü ; TCDD ; Çe
	Ağaç	4373 Sayılı Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Alınacak Önlemler Kanunu	Tek, ayrı, kendi başına olan ağaç.	Büyük Ölçekli Harita Ve Harita Bilgileri Üretimi Kanunu	Belediye ; Harita Genel Müdürlüğü ; TRGM
	Ağaçlandırma Sahası	3194 Sayılı İmar Kanunu ; 6831 sayılı Orman Kanunu	Ağaçlandırılmak üzere fidan dikilen saha.		Orman Gn.Md.lüğü ; TCDD
	Ağaçlık Alan	Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği ; DHMI	Ağaçlı bol olan yer.	https://sozluk.gov.tr/	Belediye
	Akarsu	BOTAŞ Ham Petrol Ve Doğal Gaz Boru Hattı Tesisi	Devamlı akış gösteren ve yatağında akan sular.	Kıyı Kanununun Uygulanmasına Dair Yönetmelik	DSİ ; Kıyı Emniyet Gn.Md.lüğü ; Orman Gn.
	Akarsu Yatağı	TCDD Kültürel Tahkimat ve Ağaçlandırma Hizmetleri	İrmak, çay, dere vb.nin, içinde aktıkları yer, akak, mecra	https://sozluk.gov.tr/	AFAD ; DSİ
	Akaryakıt İstasyonu	BOTAŞ Ham Petrol Ve Doğal Gaz Boru Hattı Tesisi	Akaryakıt istasyonu: Araçların esas itibarıyla akaryakıt, gaz	Karayolları Trafik Yönetmeliği	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu ; Belediye
	Alışveriş Merkezi	Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği	Alışveriş merkezi (AVM), büyük ve orta büyüklükteki ticaret	https://tr.wikipedia.org/wiki/A%4C4%B1	Belediye
	Alt Geçit	6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ; 2918 Karayolları Trafik Kanunu	Alt geçit: Karayolunun diğer bir karayolu veya demiryolu ile	2918 Karayolları Trafik Kanunu	Karayolları Gn.Md.lüğü ; Belediye
	Ambar	5442 sayılı İl İdaresi Kanunu ; 6831 sayılı Orman Kanunu	Genellikle tahıl saklanan yer.	https://sozluk.gov.tr/	Tarım Reformu Genel Müdürlüğü ; İllet İdaresi
	Anten	5809 sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu ; Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği	Radio, televizyon yayını amacı ile tesis edilen verici tesis	Büyük Ölçekli Harita Ve Harita Bilgileri Üretimi Kanunu	BTİK ; DHMI ; Türkiye Radyo Televizyon Kurumu
	Araç Bakım Servis İstasyonu	Kıyı Kanununun Uygulanmasına Dair Yönetmelik	Servis istasyonu : Araçların bakım, onarım ve servislerini	Kıyı Kanununun Uygulanmasına Dair Yönetmelik	Tersaneler ve Kıyı Yapıları Gn.Md.lüğü ; Karayolları Gn.Md.lüğü ; Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
	Araç Muayene İstasyonu	2918 Karayolları Trafik Kanunu ; Karayolları Trafik Kanunu	Muayene istasyonu : Araçların niteliklerini tespit ve kontrol	2918 Karayolları Trafik Kanunu	Karayolları Gn.Md.lüğü ; Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
	Araç Park Yeri	5393 sayılı Belediye Kanunu ; 2918 Karayolları Trafik Kanunu	Bir aracın park etmesi için gerekli olan ve manevra alanı	Otopark Yönetmeliği	Karayolları Gn.Md.lüğü ; Belediye ; TCDD ; Çe
	Araç Tarti İstasyonu	Karayolları Trafik Yönetmeliği ; Eti Maden İşletme Kanunu	Araç Tarti İstasyonu: Araçların yükü veya yüksüz olarak	Karayolları Trafik Yönetmeliği	Karayolları Gn.Md.lüğü ; ETİ Maden İşleri Genel Müdürlüğü
	Arazi	7269 Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Önlemler Kanunu	Arazi: Toprak, iklim, topografya, ana materyal, hidroloji	Tarım Araçlarının Korunması, Kullanılması	Belediye ; Valilik ; Tapu Kadastro Gn.Md.lüğü ; Çe
	Aritma Tesisi	6326 Sayılı Petrol Kanunu ; 6200 Sayılı Devlet Su Yolu Kanunu	Sıvı ve gazlarda bulunan zararlı maddelerin ayrıştırıldığı		Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü ; Çe
	Aşevi	Afet Ve Acil Durum Müdahale Hizmetleri Yönetmeliği	Yoksullara parasız yemek yedirilen veya dağıtılan yer, aş	https://sozluk.gov.tr/	AFAD
	Atık Toplama Alanı	Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği ; Tersane, Tekne Yıkma ve Onarım Kanunu	Atıkların ayrı biriktirilmesi amacıyla biriktirme ekipmanlı	Sıfır Atık Yönetmeliği	Belediye
	Atış Poligonu	Orman Kanununun 17/3 ve 18 İnci Maddelerinin Uygulanmasına Dair Yönetmelik	Atış yeri.	https://sozluk.gov.tr/	OGM ; Emniyet Genel Müdürlüğü ; Çe
	Atölye	BOTAŞ Ham Petrol Ve Doğal Gaz Boru Hattı Tesisi	Zanaatçıların veya resim, heykel sanatlarıyla uğraşanların	https://sozluk.gov.tr/	Karayolları Gn.Md.lüğü ; TCDD ; Liman Bakanlığı

Şekil 5. Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli belgesi.

Hazırlanan belgelere, taşınmaz coğrafi varlıklardan sorumlu olan, coğrafi veriye ihtiyaç duyan kamu kurum ve kuruluşlarında görevli coğrafi veri kullanıcısı veya yöneticisi personelin erişebilmesi amacıyla, “<https://drive.google.com/drive/folders/1eanZPlt8-TfhwTwDTxv5IWQ-eCJPeyPC?usp=sharing>” internet adresinden indirilebilecek şekilde kamunun paylaşımına sunulmuştur.

12. DEĞERLENDİRME

Bu araştırma çalışmasını diğer ulusal ve uluslararası coğrafi veri sözlüğü ve veri modeli hazırlama çalışmalarından özgün kılan hususlar tekrarlanacak olursa, kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçları tâbi oldukları mevzuat hükümleri incelenerek belirlenmiş, coğrafi ihtiyaçları karşılayabilecek coğrafi varlıklar ve öznitelikleri tespit edilmiş, coğrafi varlıklardan sorumlu olan kurum ve kuruluşlar mevzuat hükümlerinden ve kurumların ürün sitelerinde görev ve sorumluluklarını duyurduğu ifadelerden yararlanarak tespit edilmiş, coğrafi varlıkların ve özniteliklerinin mevzuat hükümlerinde yer alan tanımlamaları ortaya çıkarılmış, eksik kalan tanımlamalar kurumlara ait belgelerden ve akademik yayınlardan yararlanarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ortaya çıkarılan bilgi ve belgeler Ulusal Veri Sözlüğü belirleme çalışmalarına, TUCBS çalışmalarına, kurumların coğrafi veri modeli hazırlama ve geliştirme çalışmalarına önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Coğrafi varlıklar birden fazla coğrafi tema ile ilişkilendirilebileceği değerlendirilerek, varlıklar tema bazlı gruplanmamıştır.

Bu kapsamda, çalışma neticesinde hazırlanan Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modelindeki coğrafi detaylar, öznitelikleri, öznitelik küme değerleri ile TUCBS Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Tanımlama Dokümanlarındaki coğrafi detaylar, öznitelikleri, öznitelik küme değerleri karşılaştırılmıştır. TUCBS Veri Tanımlama Dokümanlarında bulunmadığı tespit edilen toplam 80 adet coğrafi detay veya detay alt tipinin, 248 adet detay özniteliğinin, 406 adet öznitelik küme değerinin ilave edilebileceği değerlendirilmektedir. Ulusal Veri Sözlüğü kapsamında kamu kurumları tarafından geliştirilmeye devam eden Coğrafi Veri Sözlüğüne 80 adet coğrafi detay veya detay alt tipine ilişkin tanımların, 248 adet detay öznitelik tanımlarının, 406 adet öznitelik küme değerinin tanımlarının ilave edilebileceği değerlendirilmektedir (Tablo 18). İlave edilebilecek detay ve bilgileri, TUCBS dokümanlarına aktarılırken, detayın tanımı ve öznitelikleri göz önünde bulundurularak doğru coğrafi detaya aktarılması gerekmektedir. TUCBS Veri Tanımlama Dokümanlarında bulunmadığı tespit edilen detayların, özniteliklerin, öznitelik küme değerlerinin ve tanımlarının tamamı bu makalede gösterilemeyecek kadar fazla olduğundan, bu makalede bazıları örnek olarak gösterilmiş ancak tamamını içeren excel dosya (.xlsx) yapısındaki “Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli - TUCBSye Aktarılabilirler Detaylar” belgesi ve Enterprise Architect dosya (.eapx) yapısındaki “CoğrafiVeriSözluguVeriModeli” UML belgesi, 11’inci Bölümde paylaşılan internet adresinden indirilebilecek şekilde kamunun paylaşımına sunulmuştur.

Tablo 18. TUCBS Veri Tanımlama Dokümanlarına ve Coğrafi Veri Sözlüğüne dahil edilebilecek coğrafi detaylar ve bilgileri.

DAHİL EDİLEBİLECEK DETAY VE BİLGİLER	SAYISI
Detay veya Alt Tipi	80
Detay veya Alt Tip Tanımı	80
Detay Özniteliği	248
Öznitelik Tanımı	248
Öznitelik Değeri	406
Öznitelik Değer Tanımı	406

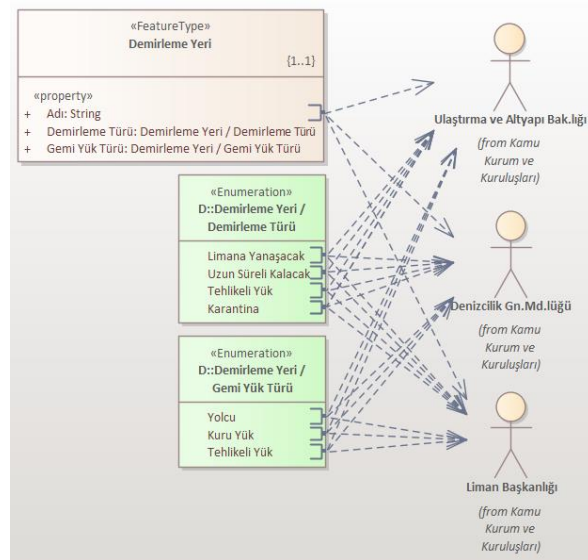
Örneğin, çalışma neticesinde hazırlanan Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modelinde bulunan Acil İniş Alanı, Ağaçlandırma Sahası, Araç Tartı İstasyonu, Barınma Merkezi, Demirleme Yeri, Deniz Trafik Bölgesi, Elektrik Ayırıcı Kesici, Galer, Köprü Ayağı, Mandıra, Minare, Reklam Panosu, Rüzgar Perdesi, Vinç detaylarının veya detay alt tiplerinin, TUCBS Veri Tanımlama Dokümanlarında bulunmadığı belirlenmiştir. Bu bilgilerin dahil edilerek Dokümanların geliştirilebileceği değerlendirilmektedir (Tablo 19).

Tablo 19. TUCBS Veri Tanımlama Dokümanlarına dahil edilebilecek örnek bazı detay veya detay alt tipleri.

DETAY	KAYNAK	AÇIKLAMA	KAYNAK	SORUMLU KURUM
Araç Tartı İstasyonu	Karayolları Trafik Yönetmeliği ; Orman Kanununun 16 ncı Maddesinin Uygulama Yönetmeliği	Araçların yüklü veya yüksüz olarak sabit veya taşınabilir cihazlarla tartıldığı yerdir.	Karayolları Trafik Yönetmeliği	Karayolları Gn.Md.lüğü
Barınma Merkezi	Afet ve Acil Durum Müdahale Hizmetleri Yönetmeliği	Kişilerinin beslenme, barınma, sağlık, sosyal ve diğer ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla Göç İdaresi Gn.Md.lüğü tarafından kurulan, valiliklerce (il müdürlüğü) doğrudan işletilen veya kamu kurum ve kuruluşlarınca işlettilen merkezleri ifade eder.	Kabul ve Barınma Merkezleri İle Geri Gönderme Merkezlerinin Kurulması, Yönetimi, İşletilmesi ve Denetimi Hakkında Yönetmelik	AFAD Bşk.lığı
Demirleme Yeri	Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü	Deniz trafik düzeninin uygulanabilmesi bakımından demirlemek isteyen gemilerin beklemek amacıyla gemilerini sabit tutabileceği yerleri ifade eder.	Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü	Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı ; Denizcilik Gn.Md.lüğü ; Liman Başkanlığı
Minare	Hüresel Sistem Anten Tesisleri ile Telsiz Erişim Şebekelerinin Paylaşımına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik	Orada bir cami olduğunu belirten ve üzerinde ezan okunan yüksek yapı.	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği	Diyanet İşleri Başkanlığı

DETAY	KAYNAK	AÇIKLAMA	KAYNAK	SORUMLU KURUM
Mandıra	5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu ; Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Yönetmelik	Büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliği yapılan yerlerde işletme içi veya dışında sadece süt sağım ve soğutma yapılan tesisleri ifade eder.	Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Yönetmelik	Tarım Reformu Gn.Md.lüğü ; Belediye ; Valilik
Elektrik Ayırıcı Kesici	Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği	Yüksüz elektrik devrelerini açıp kapayan cihaza ayırıcı; yük altında veya arıza durumlarında elektrik devrelerini açıp kapamak için kullanılan cihaza kesici denir.	Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği	Türkiye Elektrik Dağıtım AŞ
Vinç	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği	Çeşitli malzeme ve eşyayı kaldırmak, indirmek veya kaydırmak için kullanılan, bir destek yapısı üzerinde dönebilen, kayabilen makine.	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği	Liman Başkanlığı ; TOKİ Bşk.lığı ; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

TUCBS Veri Tanımlama Dokümanlarında bulunmadığı tespit edilen detaylardan biri olan Demirleme Yeri detayının, UML diyagramları ile gösterimi Şekil 6'dadır. UML diyagramları, Enterprise Architect sürüm 15 yazılımı ile hazırlanmıştır (Sparx Systems Pty Ltd. (2022)).



Şekil 6. TUCBS Veri Tanımlama Dokümanlarına dahil edilebilecek Demirleme Yeri detayının UML diyagramları ile gösterimi.

13. SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışma ile kamu kurum ve kuruluşlarının mevzuatta yer alan görevlerini yapabilmeleri için gereksinim duydukları coğrafi

varlıklar, öznitelikleri, öznitelik değerleri ve tanımları kaynak belirtilerek hazırlanmış, kapsamlı bir Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli tasarlanmaya çalışılmıştır. Sadece mevzuat hükümleri ve ulusal standartlar esas alınmamış, aynı zamanda uluslararası standartlarda yer alan kavram ve tanımlarla Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeli belgeleri zenginleştirilmiştir. Hazırlanan Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modelinin uzun ömürlü olabilmesi için coğrafi ihtiyaçlar mevzuattan yararlanarak ayrıntılı bir şekilde tespit edilmiş, bu ihtiyaçlara göre model tasarlanmış, coğrafi varlıklar yoruma mahal vermeyecek şekilde veri sözlüğünde tanımlanmış ve coğrafi varlıklardan sorumlu olan kurumlar belirlenmiştir.

Çalışmada, Veri Modelindeki coğrafi varlıklar ve coğrafi veriler, kurumların belirlenen coğrafi ihtiyaçlar ile ilişkilendirildiğinden, verinin kurum içi ve kurumlararası ihtiyaç seviyesi, önem düzeyi ölçülebilir hale getirilmiştir. Veri modelinde neden bu bilgi var, gerekli mi sorularına kolay bir şekilde ve mevzuata dayalı olarak cevap verilebilmektedir. Ayrıca Coğrafi Veri Modelinde, coğrafi varlığa, özniteliklerine, öznitelik değer kümelerine varıncaya kadar her biri için ayrı ayrı sorumlu kurum bilgisi tanımlandığından, Coğrafi Veri Sözlüğünün ve Veri Modelinin geliştirilmesi aşamasında, görev ve sorumlulukların kesin bir şekilde paylaşılmasına olanak sağlanabilmektedir.

Hâlihazırda kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyaçları, ihtiyaçlarını karşılayabilecek pek çok coğrafi varlık, mevzuatta ifade edilmiş ve bazılarının ayrıntılı tanımları yapılmış durumdadır. INSPIRE Direktifinde yer alan coğrafi varlıklar ile ülkemizdeki kamu kurum ve kuruluşlarının tabi olduğu mevzuat hükümlerinde ifade edilen coğrafi varlıkların, özniteliklerin ve tanımlarının bire bir örtüşmeyeceği, farklılıkların olabileceği, INSPIRE Direktifinde yer alan coğrafi varlıkların kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi ihtiyacını tamamen karşılayamayabileceği aşikârdır. INSPIRE Direktifindeki bazı kavramlar ve tanımlar, mevzuat hükümlerindeki kavramlar ve tanımlardan farklı olabileceği değerlendirildiğinde INSPIRE Direktifinin ülkemizde doğrudan uygulamasının mahsurları olacaktır. Bu durumda kamu kurum ve kuruluşlarının görevlerini en iyi yapmasına olanak sunabilecek, coğrafi ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayabilecek coğrafi veri modelinin ve coğrafi varlıklara ilişkin tanımlamaların yer aldığı coğrafi veri sözlüğünün kullanılması daha doğru bir tercih olacaktır.

Bu çalışma neticesinde hazırlanan Coğrafi Veri Sözlüğü ve Veri Modeline ilişkin bilgi ve belgeler, Ulusal Veri Sözlüğü belirleme çalışmalarına, TUCBS çalışmalarına ve Veri Tanımlama Dokümanlarının geliştirilmesine (Kurumların ihtiyaçlarına göre detayların, özniteliklerin, öznitelik değerlerinin artırılması veya azaltılması, tanım bilgilerinin yanlış/eksik anlaşılmalara mahal vermeyecek şekilde iyileştirilmesine) katkı sağlayabilecek, kamu kurum ve kuruluşlarının coğrafi veri tabanı tasarımı ve veri üretimi çalışmalarında yol gösterebilecektir. Ayrıca coğrafi verinin farklı birimler tarafından tekrarlı üretiminin azaltılabilmesi, kaynakların etkin kullanılarak coğrafi bilgi üretiminin artırılması, coğrafi verilerin bir araya getirilerek paylaşım ve kullanım oranının artırılabilmesi, CBS uygulamalarının daha da geliştirilebilmesi çabalarına önemli katkı sağlayacaktır.

Coğrafi varlıkların, tespiti, korunması, işletilmesi, bakımı, inşası, denetiminden sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşları, zaman içerisinde gelişen yeni coğrafi ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde Coğrafi Veri Sözlüğünü ve Veri Modelini, sorumlulukları çerçevesinde iyileştirmelidir. Kurumlar, mevzuatta tanımlanmamış coğrafi ihtiyaçları için, veri sözlüğü ve veri modeli geliştirme çalışmalarına katkı sağlamalıdır. Çalışma neticesinde elde edilen belgeler, mevzuat değişiklikleri ile birlikte eş zamanlı güncellenerek yayımlanmalıdır.

ORCID

Muharrem BİRGÖREN  <https://orcid.org/0000-0001-5445-9261>

Ferruh YILDIZ  <https://orcid.org/0000-0003-1248-8923>

KAYNAKLAR

- Akıncı H. ve Cömert Ç. (2009, Mayıs). *TUCBS ve INSPIRE Teknik Mimarisi*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Aydınoğlu, A.Ç. (2009). *Türkiye İçin Coğrafi Veri Değişim Modelinin Geliştirilmesi* (Doktora Tezi). KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydınoğlu A.Ç. (2010, Ekim). *Coğrafi Veri Yönetiminde Standart Kavramı*. III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Gebze, Kocaeli, Türkiye.

- Bitik, E. (2012). *Adres Bilgi Sistemine Dayalı Doğal Gaz Veri Yapısının CBS İle Entegrasyonunun Tasarımı ve Analizi* (Doktora Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. (2019). *Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi: Genel Kavramsal Model Sürüm 1.0*. Ankara.
- Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. (2022). *TUCBS Nedir*. Erişim Adresi: <https://rehber.tucbs.gov.tr/tr/tanimlama-rehberi/tucbs-nedir> (06 Nisan 2022).
- Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. (2022). *TUCBS Coğrafi Veri Sözlüğü*. Erişim Adresi: <https://cografiverisozlugu.tucbs.gov.tr/> (06 Nisan 2022).
- Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. (2022). *TUCBS Strateji ve Eylem Planı*. Erişim Adresi: <https://cbs.csb.gov.tr/tucbs-stratejisi-ve-eylem-planı-i-86240> (06 Nisan 2022).
- Demir E., Yomralıoğlu T. ve Aydınöğlu A.Ç. (2011, Nisan). *Afet Acil Durum Yönetimine Yönelik Coğrafi Veri Modelinin Tasarlanması: Yangın Örneği*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- DGIWG. (2000). *The Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST) Part 4 Feature and Attribute Coding Catalogue (FACC) Edition 2.1*. Erişim Adresi: <https://www.dgiwg.org/DIGEST> (05 Ocak 2022).
- Erhan, S. (2013). *Web Ortamında Coğrafi Verilerin Birlikte Çalışabilirliğine Yönelik Yaklaşımların Belirlenmesi: Ulaşım Veri Teması Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Bilişim Enstitüsü, İstanbul.
- Govorov, M. (2008). *Standards, Specifications and Metadata for Geographic Information GII-03*, Lithuanian National Land Service under the Ministry of Agriculture, Vilnius.
- Harita Genel Müdürlüğü. (2022). *Terimler Sözlüğü*. Erişim Adresi: <https://www.harita.gov.tr/terimler-sozlugu> (08 Nisan 2022).
- INSPIRE. (2022). *INSPIRE Hakkında*. Erişim Adresi: <https://inspire.ec.europa.eu/about-inspire/563> (09 Şubat 2022).
- INSPIRE. (2022). *Prensipier*. Erişim Adresi: <https://inspire.ec.europa.eu/inspire-principles/9> (04 Nisan 2022).
- ISO/TC 211. (2022). *Geographic Information/Geomatics*. Erişim Adresi: <https://www.iso.org/committee/54904.html> (05 Nisan 2022).
- İstanbul Üniversitesi. (2022). *Sosyal Psikoloji*. Erişim Adresi: https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/18_19/sosyal_psiikoloji/index.html (13 Şubat 2022).
- Orshoven, J.V. ve Beusen, P. (2008). *Türkiye'de Mekânsal Veri Altyapıları: 2007 Yılı Genel Durumu* (rcr07TRv101). Statistical Office of the European Union (Eurostat), Lüksemburg.
- Simav, Ö. (2007). *1:1.000.000 Ölçekli Türkiye Coğrafi Veri Tabanının Avrupa Coğrafi Veri Tabanına Uyarlanması ve İnternet / İnternet Ortamında Sunumu* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sparx Systems Pty Ltd. (2022). *Enterprise Architect 15*. Erişim Adresi: <https://sparxsystems.com/products/ea/15/index.html> (26 Şubat 2022).
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. (2022). Erişim Adresi: www.mevzuat.gov.tr (11 Şubat 2022).
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2021). Erişim Adresi: www.turkiye.gov.tr (04 Nisan 2021).
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2022). *Ulusal Veri Sözlüğü Projesi*. Erişim Adresi: <https://cbddo.gov.tr/projeler/ulusalveri-sozlugu/> (05 Nisan 2022).
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2019). *Veri Sözlüğü Oluşturma Metodolojisi: Ulusal Veri Sözlüğü Sistemi*. Ankara.
- Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (2022). *Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi*. Erişim Adresi: www.tkgm.gov.tr/projeler/turkiye-ulusal-cografı-bilgi-sistemi-tucbs (07 Nisan 2022).

YAZIM ESASLARI

1. Harita Dergisine Yazı Hazırlama Esasları

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kaynaklar ilk yazarlarının soyadına göre alfabetik sırada sıralanır.

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

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

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

Elektronik Kaynaklar: Talimat, Rehber vb.

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

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

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

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

Teknik Rapor:

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

Süreli yayın:

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

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

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

Kitap:

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

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

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

Sempozyum, Bildiri vb:

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

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

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

Tez:

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

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

2. Makalelerin Gönderilmesi

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

(MAKALE ÖRNEĞİ)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (Makale Başlığı-Türkçe)

(XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX) (Makale Başlığı- İngilizce)

(1 satır boşluk)

XXXX XXXX (Yazar ismi)

XXXXXX XXXX XXXX, XXXX XXXX (Adres)

xxxxxxxx@xxxxxx (e-posta)

(1 satır boşluk)

ÖZ

0.5 cm

0.5 cm

0.5 cm

0.5 cm

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX; XXXXXX XXXX
 XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 XXXXXX.

(1 satır boşluk)

Anahtar Kelimeler: XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX
 XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX

(1 satır boşluk)

ABSTRACT

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX XXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX. XXXXXXXX
 XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXXXXX XXXX XXXX.

(1 satır boşluk)

Keywords: XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXX
 XXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX.

(1 satır boşluk)

1. GİRİŞ

(1 satır boşluk)

XX XXX XX
 XXXX XXXXXX /1/.

(1 satır boşluk)

a. XXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXX
 XXXX XXXX XXXXXX XXXX XXXXXX XXXXX XXXX XXXX

(1 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX

(1) XXXXXXXX XXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXX

XXXX XXXX XXXX XXXX.

(2 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

2. XXXXX XXXXXX XXXX (Ana bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

a. XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXX
 XXXXXXXX

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXX XXXXXX
 XXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

(1 satır boşluk)

(1) XXXXX XXXXXX XXXXXX XXXX XXXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXXX

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX
 XXXXXXXXXXX XXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXX.

(2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf)

(1 satır boşluk)

(a) XXXXX XXXXXX XXXXXX XXXX

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXX XXXX XXXXXX XXXXX XXXXXXXX
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX

XXXXXXXX XXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXXX
 XXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

(b) XXXXX XXXXXX XXXXXX XXXX

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX
 XXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXXXXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX X XXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

(l) XXXXX XXXXXX XXXXXX XXXX

XXXX XXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX

(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX
 XXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX

XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX

(1 satır boşluk)

(aa) XXXXX XXXXXX XXXXXXXX

(5 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX
 XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX

XXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

b. XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXX XXXXXXX
 XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

2 cm

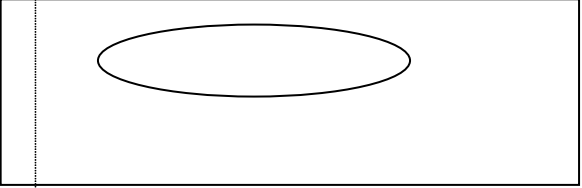
xx

3 cm

1.25 cm

(MAKALE ÖRNEĞİ)

(1)	Xxxxx XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXXX.
(2 nci düzey alt bölüm başlığı)	
(1 satır boşluk)	
Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xXXXXXXXXX	
xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxx.	
(2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf)	
(1 satır boşluk)	
(a) Xxxxx XXXXXX XXXXXX XXXX	
(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)	
(1 satır boşluk)	
Xxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	
xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxx xxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx x xxxxxxxxxx xxxxxxxx.	
(1 satır boşluk)	
(b) Xxxxx XXXXXX XXXXXX XXXX	
(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)	
(1 satır boşluk)	
Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx x	
xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxx.	
(1 satır boşluk)	
(l) Xxxxx XXXXXX XXXXXX XXXX	
(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)	
(1 satır boşluk)	
Xxxx xxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxx	
xxxxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx	
xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx	
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx	
xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx	
xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx	
xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx	
xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx	
xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxx xxx.	
(1 satır boşluk)	
Tablo 1. Xxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx	
(1 satır boşluk)	
Xxxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxx	
xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx	
xxxxxx xxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxx.	
(1 satır boşluk)	
$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i - X_{i(RASAT)}}{n}}$	(1)
(1 satır boşluk)	

Xxxxxxxx xxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxx	
xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx	
xxxxxx xxx xxxxxx xxxxxx .	
(1 satır boşluk)	
	
(1 satır boşluk)	
Şekil 1. Xxxxxxxx xxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxx	
(1 satır boşluk)	
Xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx	
xxxxxxx xxxxxxx xxxxx xx xxxxxx	
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxx	
xxxxx.	
(1 satır boşluk)	
3. SONUÇ	
(1 satır boşluk)	
Xxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	
xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxx.	
(1 satır boşluk)	
KAYNAKLAR	
(1 satır boşluk)	
Sürelî Yayınlar:	
Yazar, A. A., Yazar, B. B. ve Yazar, C. C. (Yıl).	
Yazının başlığı. <i>Sürelî Yayının Başlığı</i> , Cilt, s- s. doi:xx.xxxxxxxx (veya Erişim Adresi:)	
Kitap:	
Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i> . Yer: Yayıncı.	
Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i> . Erişim adresi: http://www.xxxxxxxxx	
Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i> . doi:xxxxxxxxxxx	
Editor, A. A. (Ed.). (Yıl). <i>Eserin başlığı</i> . Yer: Yayıncı.	
Yazar, A. A. ve Yazar, B. B. (Yıl). <i>Bölüm ya da giriş başlığı</i> . A. Editör, B. Editör ve C. Editör (Ed.), Kitap başlığı (s. xxx-xxx) içinde. Yer: Yayıncı.	
Doktora ve yüksek lisans tezleri:	
Yazar, A. A. (Yıl). <i>Doktora ya da yüksek lisans tezinin başlığı</i> (Yüksek lisans tezi/Doktora tezi). ... veri tabanından erişildi (Erişim ya da Sipariş No.).	
Yazar, A. A. (Yıl). <i>Doktora ya da yüksek lisans tezinin başlığı</i> (Yayımlanmamış doktora tezi/yüksek lisans tezi). Kurum adı, Yer bilgisi.	
Teknik raporlar ve araştırma raporları:	
Yazar, A. A. (Yıl). <i>Çalışmanın başlığı</i> (Rapor No. xxx). Yer bilgisi: Yayıncı.	
Toplantı ve sempozyumlar:	
Sunan, A. A. (Yıl, Ay). <i>Bildiri ya da poster başlığı</i> . Kuruluş Adının toplantısında sunulan bildiri ya da poster, Yer bilgisi.	

