Harita Dergisi

Temmuz 2020
Sayı:164

ISSN 1300-5790
E-ISSN 2667-4084

Kurt, A.İ., Cingöz, A., Özdemir, S., Peker, S., Özel, Ö., Simav, M.: **Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) Güncel Koordinat ve Hızlarının GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesi Kapsamında Hesaplanması** (Estimation of the Updated Coordinates and Velocities of Turkish National Fundamental GNSS Network within the Context of GNSS Data Reprocessing)

Yıldız, S.K.: **Planar Trend Analysis of the Midlatitude Ionosphere for Turkey and the Balkans** (Türkiye ve Balkanlar için Orta Enlem İyonküresinin Düzlemsel Yönseme Analizi)

Bahadur, B., Nohutcu, M.: **Hassas Nokta Konumlama İçin Robust Kalman Filtresi Yöntemlerinin Analizi** (Analysis of Robust Kalman Filter Methods for Precise Point Positioning)

- Çölkesen, İ., Şahin, E.K.: **Heyelan Duyarlılık Analizinde Eğitim Seti Boyutunun Harita Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması** (Investigation of The Effects of Training Set Size on Map Accuracy in Landslide Susceptibility Analysis)

Çağ T., Selvi, H.Z., Buğdaycı, İ.: **1:25.000 Ölçekli Standart Topoğrafik Harita Yazı Katmanı Değişim İncelemesi** (1:25.000 Scale Standard Topographic Map Annotation Layer Change Analysis)

Hacar, M.: **OpenStreetMap Yerleşim-içi Yollarına Ait Etiket Bilgilerinin Karşılaştırılmasıyla Gönüllülerin Katkı Sağlama Eğilimlerinin İncelenmesi** (Analyzing the Contribution Trends of Volunteers by Comparing Tag Metadata of OpenStreetMap Residential Roads)

HARİTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ,ANKARA
www.harita.gov.tr/harita-dergisi

HARİTA DERGİSİ
Temmuz 2020
Yıl: 86 Sayı: 164

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
Yük.Müh. Alb. Caner KARABAY

Editör
Yük.Müh. Yb. Selçuk CEYLAN

Yönetim Kurulu
Yük.Müh. Alb. Caner KARABAY (Bşk.)
Dr. Müh. Alb. Mustafa ATA
Yük.Müh. Alb. Hüseyin ÇELİK
Doç. Dr. Müh. Alb. Hasan YILDIZ
Yük.Müh. Yb. Selçuk CEYLAN

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

Tel: (312) 595 21 22
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

Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) Güncel Koordinat ve Hızlarının GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesi Kapsamında Hesaplanması (Estimation of the Updated Coordinates and Velocities of Turkish National Fundamental GNSS Network within the Context of GNSS Data Reprocessing)

Ali İhsan KURT, Ayhan CİNGÖZ, Soner ÖZDEMİR , Selçuk PEKER, Özgür ÖZEL, Mehmet SİMAV 1 - 17

Planar Trend Analysis of the Midlatitude Ionosphere for Turkey and the Balkans (Türkiye ve Balkanlar için Orta Enlem İyonküresinin Düzlemsel Yönseme Analizi)

Şölen Kumbay YILDIZ 18 – 28

Hassas Nokta Konumlama İçin Robust Kalman Filtresi Yöntemlerinin Analizi (Analysis of Robust Kalman Filter Methods for Precise Point Positioning)

Berkay BAHADUR, Metin NOHUTCU 29 – 42

Heyelan Duyarlılık Analizinde Eğitim Seti Boyutunun Harita Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması (Investigation of The Effects of Training Set Size on Map Accuracy in Landslide Susceptibility Analysis)

İsmail ÇÖLKESEN, Emrehan Kutluğ ŞAHİN 43 – 60

1:25.000 Ölçekli Standart Topoğrafik Harita Yazı Katmanı Değişim İncelemesi (1:25.000 Scale Standard Topographic Map Annotation Layer Change Analysis)

Turgay ÇAP,
Hüseyin Zahit SELVİ, İlkay BUĞDAYCI 61 – 76

OpenStreetMap Yerleşim-içi Yollarına Ait Etiket Bilgilerinin Karşılaştırılmasıyla Gönüllülerin Katkı Sağlama Eğilimlerinin İncelenmesi (Analyzing the Contribution Trends of Volunteers by Comparing Tag Metadata of OpenStreetMap Residential Roads)

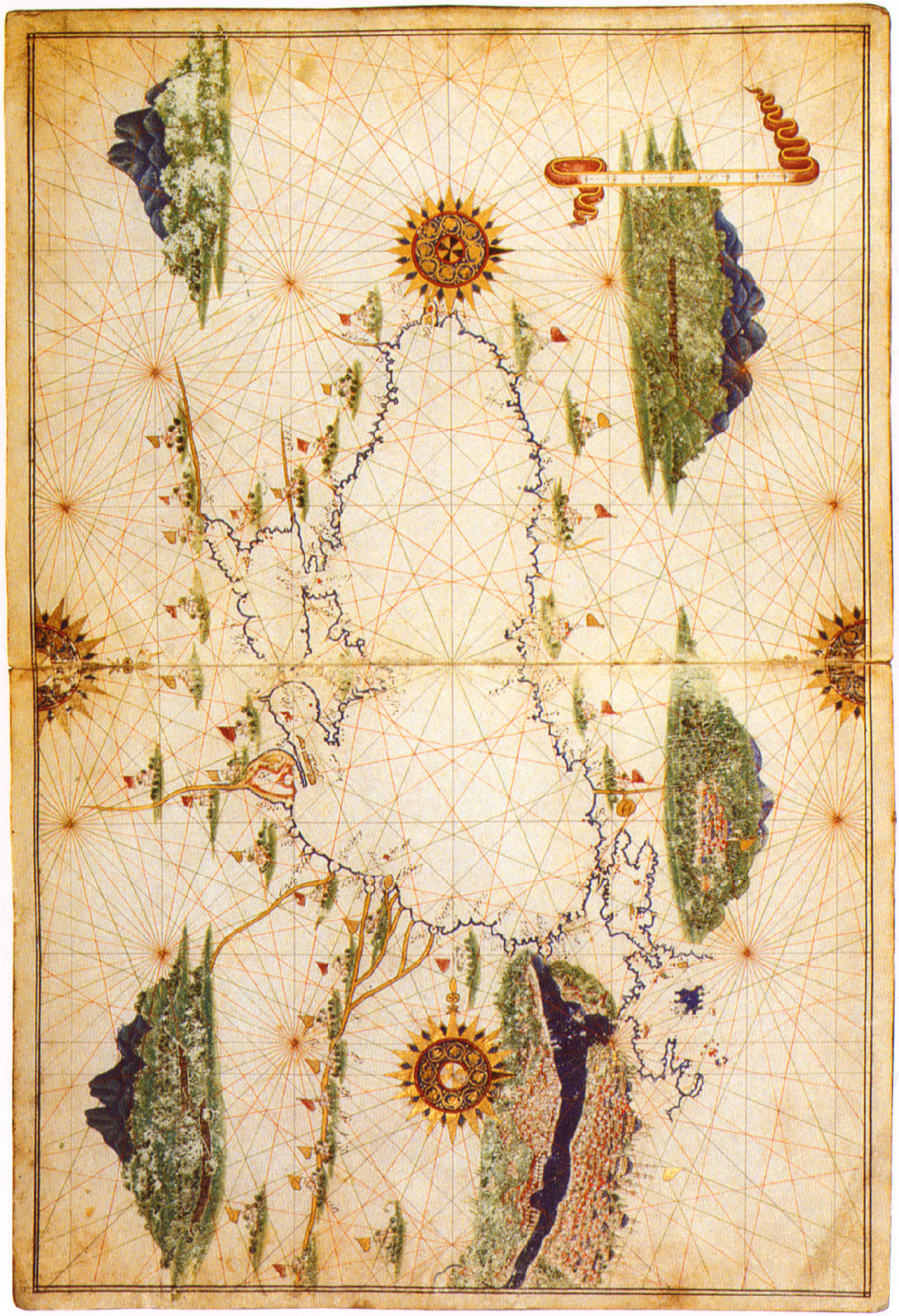
Müslüm HACAR 77 – 87

Bilim Kurulu

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

Harita Dergisi'nin 164. Sayısında Makalelerin Değerlendirilmesinde Hakemlik Yapan Akademisyenler

Prof.Dr. Bahadır AKTUĞ (AÜ)
Prof.Dr. Cengizhan İPBÜKER (İTÜ)
Prof.Dr. A. Melih BAŞARANER (YTÜ)
Prof.Dr. Mevlüt YETKİN (İKÇÜ)
Prof.Dr. Oğuz GÜNGÖR (KTÜ)
Doç.Dr. Ahmet Özgür DOĞRU (İTÜ)
Doç.Dr. Bihter EROL (İTÜ)
Doç.Dr. Cemal Özer YİĞİT (GTÜ)
Doç.Dr. R. Cüneyt ERENOĞLU (ÇOMÜ)
Doç.Dr. Derya ÖZTÜRK (OMÜ)
Doç.Dr. Fatih GÜLGEN (YTÜ)
Doç.Dr. Onur LENK (İÜ)
Doç.Dr. Ali KILIÇOĞLU
Dr.Öğr. Üyesi Metin NOHUTCU (HÜ)
Dr.Müh.Alb. Yavuz Selim ŞENGÜN (HGM)
Dr.Müh.Bnb. Osman Nuri ÇOBANKAYA (HGM)
Dr. Coşkun DEMİR



Walters Deniz Atlası XVI. yüzyıl. Karadeniz Haritası. (K. Özdemir, Osmanlı Deniz Haritaları'ndan alınmıştır.)

WALTERS DENİZ ATLASI

Walters Deniz Atlası, 16. yüzyıl Osmanlı haritacılığının gösterişli örneklerindendir. Atlas, Amerika Birleşik Devletleri'nde, Baltimore, Maryland'da Walters Art Gallery'de bulunmaktadır. Adını da bulunduğu yerden almıştır. İlk bakışta Atlas'ın Osmanlı Sarayı için hazırlandığı apaçık görülmektedir. Sayfalarını çevirince deniz haritalarıyla Türk minyatür sanatının iç içe olduğu göze çarpar. Saray nakkaşhanesinde üretilen güzel bir eserle karşı karşıya olduğumuzu söyleyebiliriz. Ali Macar Reis Atlası'nın sarayda çok beğenilip, benzerlerinin yapıldığı düşüncesindeyiz. Bunlardan iki tanesi bugün elimizdedir ve Walters Deniz Atlası bunlardan biridir.

Atlasta yer alan haritalar, Ali Macar Reis Atlası'nda olduğu gibi çift sayfaya çizilmiştir; boyutları 45x30,1 cm'dir. Haritalar Venedik kaynaklı parşömen üzerine sekiz renkli olarak hazırlanmıştır. Siyah, kırmızı, altın yaldız, yeşil, sarı, mavi, eflatun, açık yeşil gibi canlı ve gözalıcı renkler kullanılmıştır. 16. yüzyılda Osmanlıların Venedik'ten ithal ettiği mallar arasında kağıt ve parşömen, ipekli kumaştan hemen sonra gelmekte idi. Yine bu yıllarda Türk tüccarlar Venedik'te Caneregio semtinde bir evde kalmaktaydılar. Rialto'da da ticarethane ve mağazaları bulunmaktaydı. Atlas'ta Venedik'te imal edilen parşömenin kullanılması, bazı batılı araştırmacıların haritaların İtalya'da yapıldığı gibi varsayımlar üretmelerine yol açmıştır. Gerçekte atlas, Osmanlı Sarayı'ndaki hünerli ellerin eşsiz bir eseridir.

Atlas'ta yer alan haritaların ortak özelliği, dünya haritası dışındakilerin birer deniz haritası olmasıdır. Hepsinde 17 adet rüzgâr gülü bulunmakta ve bu rüzgâr güllerinden çıkan yön çizgileri tüm harita yüzeyini kaplamaktadır. Haritalarda ikisi tam, ikisi yarım dört rüzgâr gülü büyük ve süslüdür.

Atlas'ta sekiz harita yer alır:

1. Karadeniz Haritası
2. Ege ve Doğu Akdeniz Haritası
3. Orta Akdeniz ve İtalya Haritası
4. Batı Akdeniz ve İspanya Haritası
5. İngiliz Adaları, Fransa ve Baltık Denizi Haritası
6. Avrupa, Akdeniz ve Kuzey Afrika Haritası
7. Güney Asya ve Hint Okyanusu Haritası
8. Dünya Haritası

Kaynak: Özdemir, K. (2008, s. 110-111). *Osmanlı Haritaları.* İstanbul: Avea

Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) Güncel Koordinat ve Hızlarının GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesi Kapsamında Hesaplanması

(Estimation of the Updated Coordinates and Velocities of Turkish National Fundamental GNSS Network within the Context of GNSS Data Reprocessing)

Ali İhsan KURT*, Ayhan CİNGÖZ, Soner ÖZDEMİR
Selçuk PEKER, Özgür ÖZEL, Mehmet SİMAV
Harita Genel Müdürlüğü, Jeodezi Dairesi, Ankara
*Sorumlu yazar: aliihsan.kurt@harita.gov.tr

Geliş Tarihi (Received): 04.05.2020 Kabul Tarihi (Accepted): 29.06.2020

ÖZ

Türkiye'nin ilk modern uydu bazlı 3 boyutlu temel jeodezik referans ağı olan Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA)'nın yaşatılması ve geliştirilmesi için ölçü sayısının artırılması ve tüm ölçülerin en güncel modeller, hassas yörünge parametreleri ve güncel analiz stratejileri ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; 1992-2019 yılları arasında gerçekleştirilen kampanya ve sabit GNSS ölçüleri birlikte dengelenerek, günümüzde 654 noktadan oluşan TUTGA'nın güncel koordinat ve hızlarının yeniden hesaplanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, tarihsel tüm GPS verilerinin, homojen bir veri değerlendirme stratejisi, güncellenen uydu yörüngeleri ve Yer Dönme Parametreleri kullanılarak işlenmesiyle daha tutarlı zaman serilerinin ve nokta hızlarının elde edilmesi hedeflenmiştir. İlk olarak, tarihsel GNSS verileri ve meta verileri tasniflenerek sayısal ortamda hazır hale getirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmış ve nihai çözüm ITRF2014 referans sisteminde hesaplanmıştır. Hesaplanan TUTGA koordinatlarını, Türkiye Ulusal Datumu olan TUREF'in belirlendiği ITRF96 2005.0 epoğuna getirmek için 14 parametreli Helmert dönüşümü uygulanmıştır. Noktaların zaman serileri tektonik ve lokal etkiler açısından incelenmiş ve bölgesiyle uyuşumsuz olan noktalar tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı yer değiştirmeler oluşturan 11 adet deprem göz önüne alınmış, depremden etkilenen noktaların ayırt edilmesi için noktaların dört karakter kısaltmalarının yanına iki karakterli deprem kısaltması tanımlanmıştır. Ayrıca, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar önceki çalışmalar ile karşılaştırılmış ve farklar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *TUTGA, GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirmesi, Hız Kestirimi, Yarı-Kinematik Datum, TUREF.*

ABSTRACT

Sustainability and improvement of the first modern satellite based 3 dimensional fundamental geodetic reference network of Turkey (TNFGN) requires more observations at sites and processing data with latest models, precise orbits and up to date analysis strategies. Via processing campaign type and continuous GPS data together spanning the years 1992 and 2019, up to date set of station coordinates and velocities of TNFGN, which currently consists of 654 sites, have been obtained. Within the scope of this study it is aimed to achieve more consistent time series and velocities by processing all historical GPS data using a homogeneous data analysis strategy, updated satellite orbits and Earth Orientation Parameters. Firstly, all historical GPS and related meta data were prepared in digital platform prior to reprocessing. GAMIT/GLOBK software is used in analysis and the final solution is computed in ITRF2014 datum. In order to get coordinates in TUREF (ITRF96 at 2005.0) which is used as Turkey's National Datum, a 14-parameter Helmert transformation is applied. Coordinate time series are examined in terms of tectonic and local effects and points showing different behaviors from the ones in their vicinity are determined. In terms of statistically significant displacements, 11 earthquakes were taken into consideration and in addition to the four-character abbreviations of the sites two-character earthquake abbreviations were defined indicating the sites affected by the earthquake. Besides, differences in results between previous studies and this study are presented comparatively.

Keywords: *TNFGN, GNSS Data Reprocess, Velocity Prediction, Semi-Kinematic Datum, TUREF.*

1. GİRİŞ

Ülkemiz dünyanın en aktif deprem bölgelerinden birisi olan Alp-Himalaya kuşağı üzerindedir (Duman ve diğerleri, 2017). Anadolu Plakası, doğuda Arabistan - Avrasya levhalarının çarpışması, batıda ise Afrika levhasının Ege Denizi altına dalması sonucu yoğun ve farklı gerilme koşullarında şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışması sonucu batıya hareket eden Anadolu Levhası sınırlarında ve içinde meydana gelen tektonik deformasyonlar ve bunların neden olduğu deprem etkinliği Türkiye'nin sismotektoniğini doğrudan kontrol etmektedir. Başta Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı gibi transform faylar olmak üzere, Akdeniz'de Anadolu ve Afrika levhaları arasındaki yitimi karşılayan Ege ve Kıbrıs yayları ile Afrika ve Arabistan levhaları arasında transform sınır oluşturan Ölü Deniz Fay zonu bölgenin diğer deprem kaynağı olan devasa

Atıf/To cite this article: Kurt, A.İ., Cingöz, A., Özdemir, S., Peker, S., Özel, Ö. ve Simav, M. (2020). Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) Güncel Koordinat ve Hızlarının GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesi Kapsamında Hesaplanması. *Harita Dergisi,* 164, 1-17.

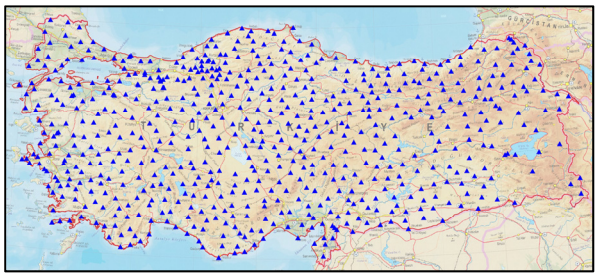
yapısal unsurlarıdır. Türkiye ve yakın çevresinde tarihsel ve aletsel dönemlerde çok sayıda deprem kayıt altına alınmıştır. Anadolu'da 1900 öncesi tarihsel dönemde 200'den fazla yıkıcı depremin meydana geldiği ve bazı medeniyetleri ciddi şekilde etkilediği, hatta yıkılmalarına neden olduğu bilinmektedir. Benzer şekilde aletsel dönemde 1900-2012 yılları arasında Türkiye ve yakın çevresinde 203 büyük deprem ($M_W \geq 6,0$) kaydedilmiştir (Duman ve diğerleri, 2017).

Ülkemizde 1990'lı yıllardan itibaren yapılan GNSS ölçüleri, deprem öncesi (intersismik) tektonik levha hareketleri nedeniyle nokta konumlarında büyüklük ve yönü bölgeden bölgeye değişen yatay yönde 2-3 cm/yıl mertebesinde değişiklik olduğunu göstermektedir. Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'na göre daha durgun olarak görülen ancak tarihte büyük depremlerin meydana geldiği Doğu Anadolu Fayı (DAF) üzerinde dahi 1 cm/yıl'a varan kayma hızları tespit edilmiştir (Ayhan ve diğerleri, 2002; Reilinger ve diğerleri, 2006; Aktuğ ve diğerleri, 2016).

Böylesine aktif tektoniğe sahip bir bölgede meydana gelen söz konusu depremler güncel jeodezik ölçü doğruluğunun çok üzerinde büyüklüğe ulaşan yatay ve düşey yerkabuğu hareketleri meydana getirmektedir.

Ülkemizde, kurulduğu günden bu yana statik ve bölgesel bir jeodezik datum (ED-50) olarak hizmet veren Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı (TUYKA); tektonik hareketlerden dolayı uğradığı deformasyonlar nedeniyle, 1980'lerden itibaren artarak gelişen uydu tekniklerinin beraberinde getirdiği yüksek konumlama doğruluklarına cevap veremez hale gelmiştir. Bu sebeple, tektonik hareketleri de içeren kinematik, modern ve yere bağlı yer merkezli bir sistemde 3 boyutlu bir ağın kurulması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) ülkemizde 3 boyutlu modern referans koordinat sistemi ihtiyacını karşılamak amacıyla 1997-1999 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmalarla 594 noktalı olarak TUTGA-99 ismi ile kurulmuştur (Ayhan ve diğerleri, 2001). Daha sonra, 17 Ağustos 1999 İzmit, 12 Kasım 1999 Düzce ve 6 Haziran 2000 Çerkeş/Çankırı depremlerinin geniş bir alanda oluşturduğu yatay ve düşey yer değiştirmeler nedeniyle, 2000 ve 2001 yıllarında özellikle deprem alanlarını içeren noktalarda yapılan yeni ölçülerle güncellenerek TUTGA-99A tanımlanmıştır (Ayhan ve diğerleri, 2002). Sıklaştırma çalışmaları ile nokta sayısı günümüzde 654'e ulaşmıştır (Şekil 1).

TUTGA kurulduktan sonra, noktalardaki ölçümler genellikle bölgesel kampanyalar ile yenilenmiştir. Bunun sonucu olarak noktalarda homojen ölçü aralıkları oluşmamış, bazı noktalarda hız belirlemek için yeterli ölçü sayısına veya uzun ölçü aralığına ulaşılamamıştır. Bu strateji 2015 yılında bırakılarak, 2015 ve 2018 yılları arasında tüm ağın yeniden ölçülmesiyle hem konumsal hem de zamansal çözünürlük açısından oldukça iyi bir veri seti elde edilmiştir.



Şekil 1. Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı.

Bu çalışmada, Türkiye ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde 1992-2019 yılları arasında gerçekleştirilen kampanya GPS verileri ile TUSAGA ve TUSAGA-Aktif ağlarına ait istasyonların günlük verileri yeniden değerlendirilerek sonuç çözümler TUREF (ITRF-96 Epok 2005.0) datumunda üretilmiştir.

TUTGA'ya ilişkin kampanyaların yeniden değerlendirilmesindeki motivasyonlar; önceki kampanyalara oranla noktalarda çok daha fazla epok ölçü olması ve epoklar arasında daha fazla zaman aralığı bulunması, veri değerlendirme stratejilerindeki gelişmeler, global jeodezik parametrelerin belirlenmesindeki iyileşmeler, yörünge ve yer dönme parametrelerinin iyileştirilmesidir. Ayrıca, TUSAGA ve TUSAGA-Aktif sabit GNSS istasyonları zaman serilerinde tespit edilen sıçramalar TUTGA noktalarının da tekrar gözden geçirilmesi ihtiyacını ortaya koymuştur. TUTGA koordinat ve hızlarının tümüyle yeniden değerlendirilmesinde izlenen stratejiler ile daha önceki hesaplamalardan farklı olarak gerçekleştirilen çalışmalar izleyen bölümlerde açıklanmıştır.

Marmara Depremleri sonrasında bölgedeki deprem sonrası (postsismik) etkiyi tespit edebilmek amacıyla 2004 yılına kadar ölçümler tekrarlanmıştır. Müteakip ilk ölçümler çoğu noktada 2016 yılında gerçekleştirilmiştir. Ancak, postsismik etkinin noktaların deprem merkez üssüne yakınlığına bağlı olarak 2008-2010 yılına kadar devam ettiği görülmektedir. Bu çalışmada mümkün olduğu kadar 1999-2008 yılları

arasındaki ölçülerden kaçınılarak daha güncel ve postsismik etkinin azaldığı zamanlardaki ölçülerin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Üniversiteler ve diğer kurumlardan bu noktaların bazılarının 2008 sonrası ham GPS ölçüleri temin edilerek noktaların intersismik hızları, postsismik etkinin tamamlandığı dönemdeki ölçüler kullanılarak belirlenmiştir.

2. GPS KAMPANYALARININ YENİDEN VERİ DEĞERLENDİRMELERİ

GNSS uydu yörüngeleri ve yer dönme parametrelerinin gelişen yeni modeller ışığında global analiz merkezlerince güncelleme çalışmaları sürekli bir faaliyet olarak devam etmektedir. Yeniden veri değerlendirme çalışmaları kapsamında; tarihsel tüm GPS verilerinin, homojen bir veri değerlendirme stratejisi, güncellenen uydu yörüngeleri ve yer dönme parametreleri kullanılarak işlenmesiyle daha tutarlı zaman serilerinin ve nokta hızlarının elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada kullanılan çözüm dosyaları ve epok sayılarına ilişkin bazı istatistikler Aktuğ, Sezer, Özdemir, Lenk ve Kılıçoğlu (2011) ile karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmaya TUSAGA-Aktif istasyonlarının da dâhil olmasıyla, 5 epoktan fazla veriye sahip nokta sayısında önemli bir artış kaydedilmiştir.

Tablo 1. Yeniden veri değerlendirme çalışmalarında kullanılan çözüm ve nokta sayılarına ilişkin istatistikler.

	Aktuğ ve diğerleri (2011)	Bu Çalışma
Çözüm dosyası	84	470
Toplam nokta	1547	2020
1 Epok verisi olan nokta	723	491
2 Epok verisi olan nokta	323	208
3 Epok verisi olan nokta	180	300
4 Epok verisi olan nokta	112	255
5 Epok verisi olan nokta	62	131
>5 Epok verisi olan nokta	147	635

Yeniden veri değerlendirme çalışmalarında daha önceki kampanya çözüm çalışmalarından farklı olarak aşağıdaki stratejiler göz önüne alınmıştır:

- TUTGA revizyon kampanyaları dışında farklı amaçlarla ölçülen ağa ilişkin noktalar araştırılmış, ölçü süreleri ve yöntemleri incelenerek uygun olanlar veri değerlendirmelerine dâhil edilmiştir.

- Önceki çalışmalarda sabit istasyonlar kampanya bazlı olarak çözümlerde yer almıştır. Bu çalışmada TUSAGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının verileri de TUTGA kampanyalarıyla beraber değerlendirilmiştir.

- Nokta sayısını ve dolayısıyla hız alanı için gerekli konumsal çözünürlüğü artırmak amacıyla mareograf istasyonlarında gerçekleştirilen GNSS kampanyaları da çözüme dâhil edilmiştir.

- Önceki hesaplamalarda, bir TUTGA kampanyası, arazideki toplam ölçüm süresi dikkate alınmadan (2-3 ay) tek bir dosya olarak çözümlere girmiştir. Ancak bu durum nokta konumlarının kampanya orta noktasında hesaplanmasından kaynaklı hataları beraberinde getirmekte, diğer bir deyişle, olası nokta hızları göz ardı edilmektedir. Bu çalışmada ise, kampanyalar 15 günlük bölümlere ayrılarak, söz konusu hataların azaltılması hedeflenmiştir.

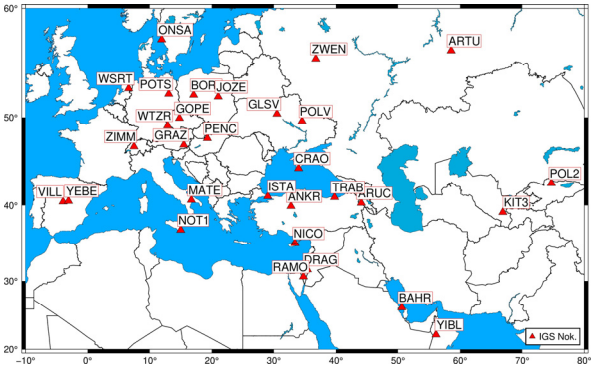
- Türkiye çevresindeki Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service-IGS) istasyonlarının zaman serileri ile IGS ve Avrupa Referans Sistemi Bölgesel Alt Komisyonu (European Reference Frame-EUREF) raporları incelenerek, datum tanımlamada kullanılacak istasyon sayısı artırılmıştır.

Kampanya GPS verilerinin yeniden değerlendirmesinde sırasıyla aşağıdaki işlem adımları uygulanmıştır:

- Tüm noktalara ait dört karakter kısaltması, alıcı ve anten marka/model bilgileri ile anten yüksekliklerini içeren meta veri dosyaları yeniden kontrol edilmiştir. Bu amaçla, ölçüm gerçekleştirilen yıllara ait tüm gözlem karneleri gözden geçirilmiş ve sayısal ortama alınmış, anten yüksekliklerinin tümü kontrol edilmiş, nokta ismi çakışanlar için yeni dört karakter kısaltmaları tanımlanmıştır. Bu şekilde TUTGA ve TUSAGA-Aktif nokta isimlendirmelerindeki tutarsızlıklar giderilmiştir.

- Tüm GNSS verileri (RINEX), standart bir klasör yapısında bir araya toplanarak veri arşivi oluşturulmuştur. Bu amaçla, farklı disk, bilgisayar ve data teyp ortamlarında, farklı klasörler halinde saklanan veriler sayısal ortamda birleştirilmiştir.

- Referans çerçevesini tanımlamak amacıyla datum dönüşümünde kullanılmak üzere, daha fazla IGS istasyonu dikkatli bir seçimle ağ çözümlerine dâhil edilmiştir. Bu kapsamda kullanılan Türkiye ve çevresindeki 33 adet IGS istasyonunun dağılımı Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Veri değerlendirmelerinde kullanılan IGS istasyonlarının dağılımı.

- Analiz stratejileri ile kullanılacak modeller belirlenirken, IGS ve EUREF Sabit GNSS İstasyonları Ağı (European Permanent Network – EPN) teknik rapor ve kılavuzlar da (IGS Technical Report 2018; EPN Guidelines, 2018; IERS Conventions, 2010) göz önüne alınmıştır.

- Önceki çözümlerin bir kısmı BERNESE (Dach, Lutz, Walser ve Fridez, 2015) bir kısmı ise GAMIT/GLOBK (Herring, King, ve McClusky, 2018) yazılımlarının geçmiş sürümleriyle yapılmışken, bu çalışmada tüm veriler GAMIT/GLOBK V10.70 (Herring ve diğerleri, 2018) ile yeniden değerlendirilmiştir.

- Analizde, IGS analiz merkezlerince güncel model ve stratejiler ile yeniden değerlendirilerek üretilen "repro2" final uydu yörünge bilgileri CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System) veri arşivinden indirilerek kullanılmıştır. Ölçüm yapılan noktalardaki anten faz merkezi düzeltmeleri için, azimut ve yükseklik açısına bağlı olmak üzere en güncel mutlak faz merkezi değişimi dosyasından yararlanılmıştır. Kutup gezinmesi koordinatları, evrensel zaman (UT1-UTC) ve nutasyon değerlerini içeren Yer Dönme Parametreleri için Uluslararası Yer Dönme ve Referans Sistemleri Servisi (International Earth Rotation and Reference Systems Service-IERS) tarafından hazırlanan USNO "bulletin b" final dosyaları kullanılmıştır.

- Troposferik gecikme hesaplanırken, ölçüm yapılan noktanın zenit doğrultusundaki gecikme miktarından yararlanarak herhangi bir uydudan gelen sinyal doğrultusundaki değerin hesaplanmasını sağlayan indirgeme (izdüşüm) fonksiyonu için, Vienna Fonksiyonu (Vienna Mapping Function-VMF1) kullanılmıştır. Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezinin (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts-ECMWF) hazırlamış olduğu ERA40 (Yaklaşık 40 yıllık verinin yeniden analizine yönelik proje) veri setinden yararlanarak hazırlanan VMF1 (Boehm, Werl ve Schuh, 2006), tüm dünya için 2.5 x 2 derece çözünürlüğünde ve grid yapısında sunulmaktadır.

- Öncül troposferik parametreler için 5 x 5 derece çözünürlüğünde ve grid yapısındaki gpt2_5.grd dosyası kullanılmıştır (Lagler, Schindelegger, Böhm, Krásná ve Nilsson, 2013). Söz konusu dosyada, tüm dünya için basınç, sıcaklık (yükseklikle değişimi dâhil) ve su buharı basıncı gibi parametreler yıllık değişimleriyle birlikte katsayılar halinde bulunmaktadır. Troposferik parametre kestirimi aralığı 2 saat alınırken, ikinci ve üçüncü derece iyonosferik düzeltmelerin çözüme katkısı çok küçük olduğu için analize dahil edilmemiştir.

- Gelgitsel (Günlük (S1) ve yarım günlük (S2) periyotlu) ve gelgitsel olmayan Atmosferik Yükleme Etkilerinin her ikisi de grid dosyalar kullanılarak dikkate alınmıştır (Tregoning ve Van Dam, 2005). Okyanus Yüklemesi Düzeltmesi için de FES2004 grid dosyası kullanılmıştır (Lyard, Lefèvre, Letellier ve Francis, 2006).

Veri değerlendirme stratejileri özet olarak Tablo 2'de sunulmuştur.

3. SABİT VE KAMPANYA GPS ÖLÇÜLERİNİN BİRLİKTE DENGELENMESİ

Türkiye ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde 1992-2019 yılları arasında gerçekleştirilen 214 adet GNSS kampanya ölçüsü ve 256 adet sabit GNSS istasyonların aylık çözümleri ile toplam 470 çözüm birlikte dengelenerek sonuç çözüm elde edilmiştir. Uzun süreli GNSS kampanyaları 15 günlük bölümlere ayrılmıştır. Kampanya çözümlerinin birlikte dengelenmesinde GAMIT-GLOBK (V 10.70) yazılımının GLOBK (Global Kalman Filtreleme) modülü kullanılmıştır. Kampanya tarihleri birbirine çok yakın veya aynı olan kampanyalar GLOBK aşamasında birleştirilmiştir.

GLOBK, farklı yazılımlarla oluşturulmuş çözümleri Kalman Filtreleme tekniği ile istenilen bir referans koordinat sisteminde birleştirilmesini sağlayan, nokta koordinat zaman serilerini oluşturan ve sonuç hızları hesaplayan bir modüldür. GLOBK çözümü iki aşamalı olarak incelenebilir. Birinci aşamada tüm noktalara yüksek öncül varyans (± 100 m) tanımlanarak gevşek-kısıtlı çözüm Kalman Filtreleme tekniği ile elde edilmiştir (Herring ve diğerleri, 2018).

Tablo 2. Veri Değerlendirme Stratejileri.

Yazılım	GAMIT/GLOBK V10.70
Modellenen Gözlemler	Çiftli Farklar
En düşük uydu yükseklik açısı (cut-off angle)	3 derece
Uydu Yörüngeleri	IGS hassas efemerisi (final SP3)
Yer Dönme Parametreleri	USNO bull_b
Troposferik İndirgeme Fonksiyonu	VMF1 (Kuru ve ıslak bileşenler için)
Troposferik öncül veri kaynağı	gpt2_5.grd (global basınç sıcaklık)
Troposferik parametre kestirimi aralığı	2 saat
Okyanus Yüklemesi Düzeltmesi	otl_FES2004.grid
Atmosferik Yükleme Etkisi (non-tidal loading)	atmfilt_cm.YYYY (grid dosya)
Atmosferik Yükleme Etkisi (tidal loading)	ANU100826_grid.atl (grid dosya)
Manyetik Model	IGRF12 modeli
Kullanılan IGS İstasyonu	33 İstasyon
Anten Faz Merkezi Düzeltmeleri	Mutlak (IGS14 modeli)
Öncül Koordinatlar	ITRF2014 (igs14_comb.apr)
Stabilizasyon	Bölgesel
Dönüşüm	6 Parametreli (3 Kayıklık + 3 Dönüklük)
Referans Çerçevesi	ITRF2014 (Altamimi ve diğerleri, 2016)
Ulusal Datum	TUREF (ITRF96 Epok 2005.0)

İkinci aşamada gevşek kısıtlı çözüm ile referans koordinat sistemi tanımlanması için seçilen 33 IGS istasyonunun (Şekil 2) ITRF2014 koordinat ve hızları arasında 12 parametreli (3 öteleme, 3 dönüklük, 3 öteleme hızı, 3 dönüklük hızı) Helmert dönüşümü uygulanmıştır. ITRF2014 koordinat ve hız alanı Massachusetss Teknoloji Enstitüsü (Massachusetss Institute of Technology-MIT) tarafından ITRF, IGS, EPN ve NGS çözümlerinin ITRF2014 gerçekleştirilmesi için birleştirildiği "igs14_comb.apr" dosyasından (Herring ve diğerleri, 2018) elde edilmiştir. "igs14_comb.apr" koordinat dosyası, yukarıda belirtilen kurumlar tarafından global ve bölgesel GNSS istasyonlarının ITRF2014'e dayalı olarak yayımlanan çözümlerinin MIT tarafından birleştirilmiş bir koordinat ve hız listesidir. Söz konusu dosyadan alınan 33 IGS istasyonunun 1992-2019 yılları arasında donanım, yazılım, yer değişikliği, depremsel ve lokal etkiler vb. nedenlere bağlı olarak koordinatlarında meydana gelen değişimlerin belirtildiği "igs14_comb.eq" dosyası (Herring ve diğerleri, 2018) da dikkate alınmıştır.

Sonuç olarak, tüm kampanyalardan oluşan gevşek kısıtlı çözüm, 33 IGS istasyonunun koordinat ve hızlarına minimum kısıt verilerek ITRF2014 datumunda dengelenmiş ve elde edilen koordinat ve hızlar için hesaplanan Karesel Ortalama Hatalar (KOH) Tablo 3'de Aktuğ ve diğerleri (2011) çalışmasıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3. Yeniden veri değerlendirmede elde edilen istatistik sonuçlar (K:Kuzey-Güney, D:Doğu-Batı, Y:Yükseklik bileşenleri).

		Aktuğ ve diğerleri (2011)	Bu Çalışma
Konum İstatistikleri (WRMS)	K	1.87 mm	1.26 mm
	D	2.65 mm	0.90 mm
	Y	10.67 mm	4.20 mm
Hız İstatistikleri (WRMS)	V_K	0.64 mm/yıl	0.21 mm/yıl
	V_D	1.26 mm/yıl	0.20 mm/yıl
	V_Y	0.98 mm/yıl	0.53 mm/yıl
Referans İstasyon Koordinatlarının Dengeleme Sonrası Karesel Ortalama Hatası		1.73 mm	2.19 mm
Referans İstasyonlarının Hızlarının Dengeleme Sonrası Karesel Ortalama Hatası		0.61 mm/yıl	0.59 mm/yıl

4. DEPREMLER NEDENİYLE OLUŞAN DEFORMASYONLARIN İNCELENMESİ

Jeodezik nokta koordinatlarında değişikliğe neden olan depremlerin fay düzlemi geometrisi ve parametreleri bilinirse, elastik yarı-uzay modelleri ile depremin neden olduğu yüzey yer değiştirmeleri hesaplanabilir (Aktuğ, 2003).

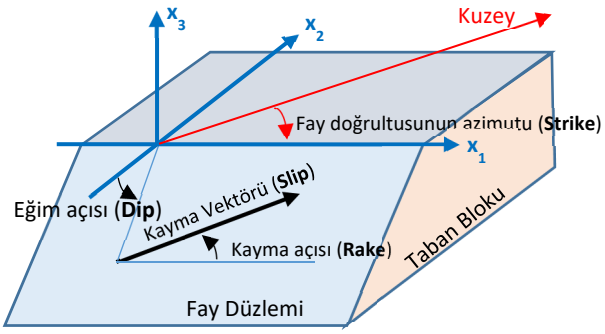
Herring ve diğerleri (2016), Kuzey Amerika Kıtasının en büyük jeodezik ağı olan Plaka Sınır Gözlemevi (Plate Boundary Observatory-PBO) kapsamında kurulan GNSS istasyonlarını, toplanan verileri, gerçekleştirilen analizleri ve sonuç ürünlerini (koordinat zaman serileri, konum ve hız bilgileri, atmosferik parametreler vb.) detaylı olarak raporlamıştır. Burada, zaman serilerindeki depremlerden kaynaklanan etkiler incelenirken depremin büyüklüğü (M) ve dış merkezine olan uzaklığı arasında aşağıdaki deneysel formül kullanılmıştır.

$$d = 2.5 * 10^{-3} * 5^{M} \quad (1)$$

Depremin etki alan yarıçapını kilometre biriminde yaklaşık olarak veren bu bağıntıdan yararlanarak büyük depremlerin bu alana giren istasyonların konumlarında meydana getirdiği deprem anı (kosismik) olası yer değiştirmeler, zaman serileri üzerinde incelenmiştir.

Türkiye'de meydana gelen depremlerin TUTGA nokta konumlarında meydana getirebileceği yer değiştirme miktarlarını kestirebilmek, dolayısıyla koordinat zaman serilerini daha iyi yorumlayabilmek maksadıyla, Okada (1992) modeline dayanan Hdef (Half-space Deformation Toolbox) kullanılmıştır (Herman ve diğerleri,2014; Herman ve diğerleri,2016). Program ile meydana gelen herhangi bir depreme ait fay düzlemi parametreleri mevcutsa depremin merkez üssünün çevresinde meydana getireceği olası yer değiştirmeler (displacement), gerilim (stress) ve gerinimler (strain) tahmin edilebilmektedir. Deprem noktasının çevresinde TUTGA örneğindeki gibi nirengi noktaları mevcutsa, söz konusu noktaların konumları girilerek ya da grid yapısında bir konum dosyası tanımlanarak yer değiştirmeler elde edilebilmektedir. Sonuçlar GMT (Wessel, Smith, Scharroo, Luis ve Wobbe, 2013) yazılımı yardımıyla haritalanabilmektedir.

Yazılımda, P ve S deprem dalga hızları sırasıyla 6.8 ve 3.926 km/sn, Yer kabuğu yoğunluğu ise 3000 kg/m^3 (3 gr/cm^3) olarak alınmaktadır. Fay düzlemi parametreleri grafik olarak Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. Fay düzlemi parametreleri.

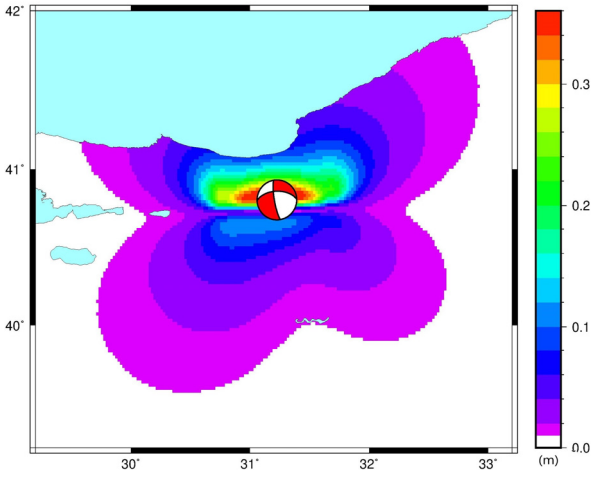
Bu çalışmada, Okada (1992)'de verilen modele dayalı Hdef programı ile Herring ve diğerleri (2016)'daki deneysel formülden hesaplanan yarıçap kullanılarak depremlerin etki alanları yorumlanmış, etkilendiği değerlendirilen noktalara ilgili tarihlerde kesiklikler uygulanmıştır.

Tablo 4'de verilen ve yer değiştirmeler açısından göz önüne alınan depremlere ilişkin kullanılan Fay Düzlemi Çözümleri;

- [1] Türkiye Sismotektonik Haritasının Fay Düzlemi Çözüm Kataloğu Eki'nden (Kılıç, Kartal, Kadirioğlu, Duman ve Özalp, 2017),

- [2] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı Fay Çözümleri veri tabanından ("AFAD Fay Çözümleri", 2020),

- [3] B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne ait deprem bülteninden ("Kandilli BDTİM", 2020) alınmıştır. Şekil 4'de ise Hdef programı ile hesaplanan Düzce Depremi (12 Kasım 1999) etki alanı örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Half-space Deformation Toolbox-Hdef yazılımı ile hesaplanan Düzce Depremi (12 Kasım 1999) etki alanı.

Tablo 4. Fay düzlemi çözümleri ve iki karakter deprem kodları.

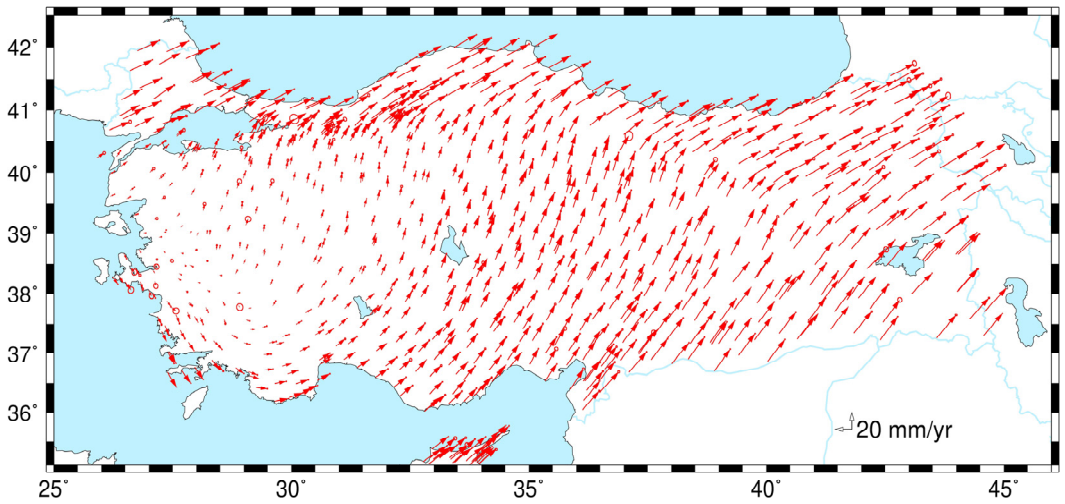
Deprem	Boylam	Enlem	Derinlik (km)	Strike	Dip	Rake	M_W	Tarih	Saat	**Deprem Kodu**
İzmit [1]	30.004	40.770	15.0	182	74	3	7.6	17.08.1999	00:01:39	**IZ**
Düzce [1]	31.226	40.806	11.0	268	54	-167	7.2	12.11.1999	16:57:21	**DU**
Çerkeş [1]	33.005	40.734	7.0	356	39	-47	6.0	06.06.2000	02.41.51	**CE**
Sultandağı [1]	31.202	38.520	22.1	269	37	-71	6.5	03.02.2002	07:11:31	**SU**
Bingöl [1]	40.460	39.010	10.0	333	67	-171	6.3	01.05.2003	00:27:05	**BI**
Urla [1]	26.728	38.172	7.3	231	76	-177	5.8	17.10.2005	05:45:16	**UR**
Kovancılar [1]	40.070	38.770	5.0	320	66	-174	6.1	08.03.2010	02.32:00	**KO**
Van [1]	43.466	38.689	19.0	285	60	105	7.2	23.10.2011	10:41:00	**VA**
Gökçeada [2]	25.452	40.311	23.0	65	59	-146	6.7	24.05.2014	09:25:01	**GA**
Karaburun [3]	26.313	38.849	10.0	114	43	-78	6.2	12.06.2017	12:28:37	**KB**
Bodrum [3]	27.443	36.920	6.0	275	38	-80	6.5	20.07.2017	22:31:09	**BO**

5. HIZ KESTİRİMLERİ

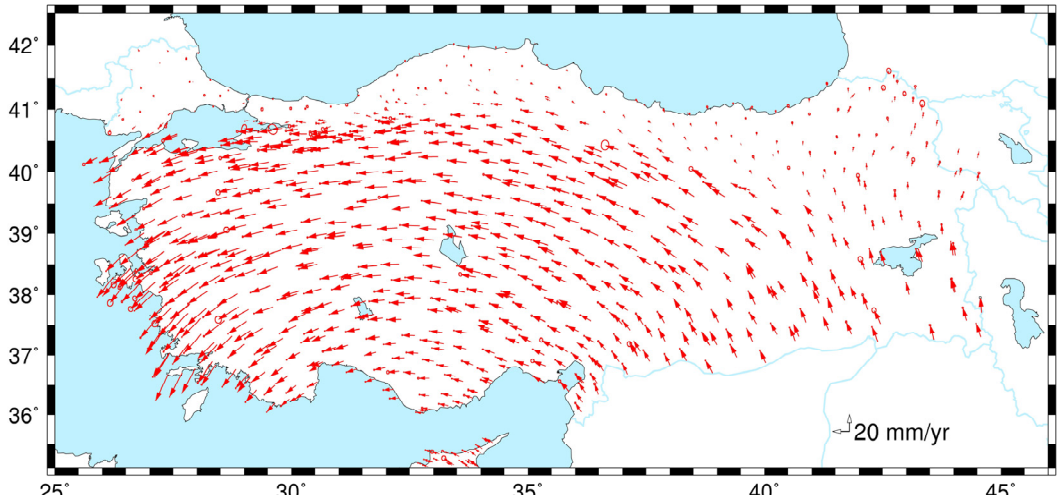
Yukarıda belirtilen işlemler sonucunda tüm Türkiye ve KKTC'ye dağılmış GNSS noktalarının zaman serileri ve tektonik uyumları dikkate alınarak Türkiye ve çevresindeki GNSS noktalarının yüksek duyarlıklı koordinatları ve hızları ITRF2014 datumunda elde edilmiştir. Türkiye ve KKTC'de çözüme giren tüm noktaların tekrarlılık ve tektonik açıdan uyumlu bulunanların ITRF2014'de belirlenen hızları Şekil 5'de verilmektedir.

Şekil 5'de verilen hız alanı sıfır-net-dönüklük ve NUVEL-1A modeline göre tanımlıdır. Avrasya-sabit bir sistemde hız alanı tanımlamak için MIT tarafından aynı referans noktalarının Avrasya levhasına göre artık hızları ile oluşturulan "igs14_comb_eura.apr" dosyası (Herring ve diğerleri, 2018) kullanılmıştır. Bu şekilde elde edilen hızlar Şekil 6'da gösterilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, hız belirlemek için yeterli veriye sahip olmayan noktalarda hız kestirimi çalışması nokta bazlı olarak yapılmış, Türkiye için hız alanı modelinin oluşturulması sonraki çalışmaya bırakılmıştır.



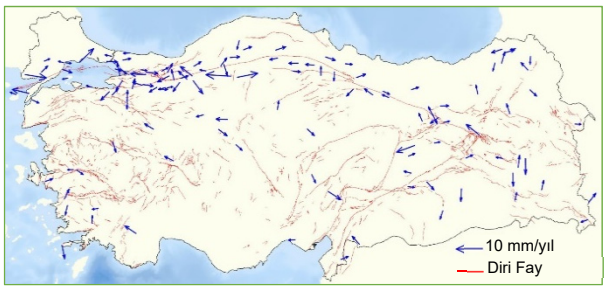
Şekil 5. Çözüme giren tüm noktaların ITRF2014 datumunda hızları.



Şekil 6. Çözüme giren tüm noktaların Avrasya sabit datumunda hızları.

Tektonik olarak hızı bölgesiyle uyuşumsuz olan noktalar çapraz doğrulama tekniği ile tespit edilmiştir. Bu kapsamda noktaların doğu-batı, kuzey-güney ve yükseklik hız bileşenleri Krigging yöntemi ile ayrı ayrı gridlenmiş ve çapraz doğrulama yöntemi ile artık değerler hesaplanmıştır. Çapraz doğrulama sonrası yatay hız artık değerleri 2 mm/y'dan büyük olan noktalar Şekil 7'de verilmiştir. Çapraz doğrulama uygulanırken ana fay hatlarının dikkate alınmamasından dolayı özellikle KAF Zonu ve DAF Zonu Bölgelerinde artık hızların büyüdüğü dikkati çekmektedir. Bunun sebebi, çapraz doğrulama tekniğinde her noktanın çevresindeki noktalarla beraber değerlendirmeye alınmasıdır. Deformasyon bölgelerinin dikkate alınmaması daha dikkatli bir incelemeyi gerektirmektedir. Uyuşumsuz bulunan noktaların çoğunlukla yamaç veya tarım arazisi gibi tektonik etkiden farklı deformasyon gösteren (heyelan, yer altı suyu çekilmesi vb.) bölgelere kuruldukları ve örneğin yamacın eğimi istikametinde hareket ettikleri görülmektedir. Bu özellikteki 15 nokta, referans ağını temsil etme özelliklerinin olmaması nedeniyle TUTGA ağından çıkarılmıştır. Ayrıca, tahrip olan TUTGA noktaları da konum ve hız bilgileri arşivlenmekle birlikte referans ağı güncel nokta listesinden çıkarılmıştır.

Hız parametresi kestirilmeye yetecek kadar ölçüsü olmayan (2 epoklu ya da daha fazla ölçüsü olup da ilk ve son ölçü aralığı 2 yıldan az olan) TUTGA noktaları için yukarıda da belirtildiği gibi nokta bazlı bir yaklaşım uygulanmıştır. Hızı kestirilecek olan noktalar tek tek incelenerek noktanın özelliğine göre hız parametreleri tahmin edilmiştir. Nokta tahrip bir noktanın yerine tesis edilmiş ve bir veya hız belirlemeye yetmeyecek kadar birbirine süre olarak yakın birkaç ölçüsü varsa öncelikle tahrip olan noktanın hızı incelenmiş; eğer bölgesiyle uyumlu bir hız ise yeni noktaya tahrip olan noktanın hızı verilmiştir. Nokta herhangi bir deprem nedeniyle kosismik bir etki görmüşse, yeni koordinatına postsismik etki dikkate alınarak deprem öncesi lineer hızı verilmiştir. Eğer noktanın deprem veya lokal etki atımı sonrasında hız belirlemek için atım öncesine göre daha fazla sayı ve dağılımda ölçüsü varsa noktanın deprem öncesi hızı olarak deprem sonrası hızı verilmiştir.



Şekil 7. Yatay artık hızları 2 mm/y'dan büyük olan noktaların dağılımı.

Eğer nokta yeni tesis edilmişse ve yakın çevresinde doğrudan hız verilebilecek bir nokta yoksa, fay hatları göz önüne alınarak noktaya en yakın en az 3 nokta seçilerek hız kestirilmiştir. Hız kestirme işlemi MATLAB yazılımında "scatteredInterpolant" fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu fonksiyon, herhangi bir gridlemeye gerek kalmadan dağınık halde bulunan noktalardan enterpolasyonu kolayca yapabilmektedir. Söz konusu fonksiyon, dağınık halde bulunan noktalardan Delaunay üçgenlemesini kullanarak istenen nokta için enterpolasyon yapabilmektedir. TUTGA'nın

kartezyen hızları kullanıma sunulacak olduğu için, bu aşamada, kestirimde kullanılan noktaların kartezyen hızları ve hataları ayrı ayrı lineer enterpolasyona tabii tutulmuştur.

6. TÜRKİYE ULUSAL REFERANS ÇERÇEVESİ (TUREF) TANIMLANMASI

Klasik bir yaklaşımla jeodezik datum, yer merkezli yere bağlı bir referans sisteminde tanımlanan, genellikle başlangıç noktası, yönlendirilmesi ve ölçeği ile büyüklüğü ve şekli belli olan bir dönel elipsoidin seçildiği bir referans yüzeyidir.

Statik ve kinematik olmak üzere iki tür jeodezik datumdan söz edilebilir. Literatürde kinematik datum yerine dinamik datum da kullanılabilmektedir. Geometrik referans sistemleri konusunda, fiziksel kuvvetlere (kuvvetler ya da torklar) veya hareketlerin kaynağına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sebeple "kinematik" datum teriminin kullanılması daha doğru olmaktadır.

Statik datum, tüm noktaların koordinatlarının sabit ya da zamanla değişmediği geleneksel bir jeodezik datum olarak düşünülebilir. Bu varsayım, tektonik hareketler nedeniyle yer yüzeyinin düzenli bir şekilde değişmesinden dolayı tam olmayan bir yaklaşımdır. Jeodezik ağda önemli bir dereceye kadar iç deformasyon oluşmasa da, litosferik levha üzerine kurulu olan jeodezik ağ Yer'in astenosferik mantosu üzerinde katı bir cisim olarak hareket etmektedir. Statik datumun bir diğer kısıtlaması, uzun GNSS bazlarının değerlendirilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Eğer bir referans istasyonun statik koordinatları sabit alınırsa uzun bazın katı levha dönüklüğü, nokta konumlama hesabının duyarlığını zamanın bir fonksiyonu olarak azaltacaktır.

Kinematik ve yarı-kinematik koordinat referans sistemlerindeki temel farklılık, gözlemlerden sonra koordinatların nasıl ifade edildiği ile ilgilidir. Her iki durumda da koordinatlar kinematik küresel bir referans koordinat sisteminde gözlem epoğunda hesaplanmakta, kinematik sistemde tüm koordinatlar zamana bağlı olarak gözlem epoğunda tutulmaktadır. Yarı-kinematik datumda ise koordinatlar belli bir epoğa taşınmaktadır.

Yarı-kinematik datum modelinde deformasyon modeli, uzay teknikleri ile elde edilen kinematik koordinatların sabit bir referans epoğuna sürekli ve yüksek doğrulukla dönüştürülmesini sağlayan, datumun ayrılmaz bir bileşenidir. Ana levha sınırlarını barındıran birçok ülke, sürekli devam eden kabuk deformasyonlarının datumu zamanla bozmasını önlemek amacıyla yarı-kinematik datumu benimsemiştir.

Yersel Referans Sisteminin belirli bir epokta gerçekleştirilmesi (realizasyonu) için 3 öteleme, 1 ölçek ve 3 dönüklük olmak üzere toplam 7 parametreye ihtiyaç vardır. Yersel Referans Sisteminin doğal merkezi Yerin ağırlık merkezidir. Bu merkez, katı Yer kütlesine ilaveten Yer'in akışkan çevresini oluşturan okyanuslar, atmosfer ve kıta içi suları da ihtiva etmektedir. Uydu teknikleri yerin ağırlık merkezine duyarlı oldukları için yer merkezi bu gözlemlerden elde edilebilmektedir. Ölçü içindeki gürültü ve kısmen tamamlanmamış indirgemeler ve hesaplama modelleri (yörünge modellemesi, küçük-ölçekli kütle yükleme etkileri vb.) referans sistemi merkezinin belli hata sınırları içerisinde belirlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Referans sisteminin ölçeği, yine yukarıda belirtilen hata kaynakları ile kısmen varsayımlara dayalı olarak hesaplanan yerçekimi sabitesi GM ve hesaplamalardaki veri indirgemelerinden (troposferik ve iyonosferik modellemeler, uydu ve alıcı anten faz merkezi değişimleri vb.) kaynaklı hatalar nedeniyle belli hata sınırlarında belirlenmektedir. Merkez ve ölçeğin tersine, ağın dönüklükleri uydu teknikleri ile belirlenememekte ve bu sebeple 3 dış kısıtlama ile tanımlanmaktadır (Rülke, Dietrich, Fritsche, Rothacher ve Steigenberger, 2008).

Sonuç olarak iki farklı Yersel Referans Sistemi gerçekleştirilmesinin belirli bir epokta karşılaştırılması 7 dönüşüm parametresinin belirlenmesini gerektirmektedir. ITRF'in gerçekleştirilmesi ele alındığında, herhangi bir epoktaki nokta koordinatları noktanın belirli bir epoktaki koordinatları ve hızları yardımıyla hesaplanabilmektedir. En basit yaklaşım olarak, 7 parametrenin doğrusal hızları ile birlikte toplam 14 parametrenin kullanılmasını gerektirmektedir (Altamimi, Rebischung, Métivier ve Collilieux, 2016).

Referans koordinat sistemi tanımlamak için gerçekleştirilen dönüşüm modeli, 14 parametreli Helmert dönüşüm modeli olup, 7 parametreli Helmert dönüşüm modelinin zamana göre diferansiyeli alınarak elde edilebilir (Altamimi ve diğerleri, 2016). Konum vektörleri arasında $\vec{X}_1$'den $\vec{X}_2$'ye standart Helmert Dönüşümü;

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_1 + T + D\vec{X}_1 + R\vec{X}_1 \quad (2)$$

şeklinde tanımlandığında öteleme ve dönüklük matrisleri,

$$T = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} \text{ ve } R = \begin{bmatrix} 0 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 0 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

olup T öteleme vektörü, R_1, R_2, R_3 sırasıyla X, Y ve Z eksenlerindeki dönüklük açıları ve D ölçek faktörüdür. (2) eşitliğinin zamana göre türevi alındığında;

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + D\dot{X}_1 + \dot{R}X_1 + R\dot{X}_1 \quad (4)$$

R ve D nin çok küçük olduğu ve bunların nokta hızlarını ifade eden $\dot{X}$ ile çarpımının ihmal edilebilir düzeyde olduğu göz önünde tutulursa, (4) eşitliği,

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + \dot{R}X_1 \quad (5)$$

olur (Altamimi ve diğerleri, 2016).

Koordinat ve hız alanının belirlenmesi amacıyla (4) ve (5) eşitlikleri kullanılarak gevşek-kısıtlı çözümlerde bulunan 33 IGS noktasından yararlanarak tüm çözüm ITRF2014 koordinat ve hız kümesine dönüştürülmüştür.

Türkiye Ulusal Datumu olarak işlev görebilecek, dört boyutlu, global referans sistemleri ile ilişkileri yüksek duyarlıkla belirli, ITRS'in gelecek sürümlerinden bağımsız ve tek anlamlı olabilecek bir referans çerçevesi ihtiyacını karşılamak amacıyla Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) tanımlanmıştır (Aktuğ, 2005). TUTGA-99A'nın petrol boru hatları, tüm doğal gaz şebekeleri, demiryolu hatları, Türkiye Kadastrosu gibi büyük projelere altlık oluşturduğu dikkate alındığında, yeni tanımlanacak bir referans çerçevesinin TUTGA-99A dolayısıyla ITRF-96 ile çakışık bir referans sistemi olması gerektiği değerlendirilmiştir. Diğer yandan, gerek Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerini Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) kapsamında sıklaştırılan yeni ağ noktalarının, gerekse diğer sayısal ve basılı ürünlerin tek anlamlı bir şekilde ilgili idarelerce teslim alınabilmesi, arşivlenebilmesi ve yeniden kullanılabilmesi amacıyla referans epoğu kavramının referans çerçevesi ile birlikte ele alınması da zorunlu hale gelmiştir. Bu kapsamda tanımlanan TUREF, ITRF-96 ile uyumlu ve koordinatlarının 2005.0 epoğunda tanımlandığı bir referans çerçevesidir. Diğer bir deyişle TUREF ITRF-96 ile 2005.0 epoğunda çakışık bir referans çerçevesidir (Aktuğ ve diğerleri, 2011).

Diğer bir yandan, ITRS'in en güncel sürümü en fazla sayıda nokta ve ölçü içerdiğinden IGS noktalarının koordinat ve hız bilgileri en yüksek duyarlıklı olarak en güncel sürümde bulunacaktır. Günümüzde en güncel ITRF sürümü ITRF2014 olup, tüm çözüm ITRF2014'e dayalı olarak gerçekleştirilmiş daha sonra TUREF'e dönüştürülmüştür. TUREF'e dönüştürmek amacıyla ITRF2014 ile ITRF96 arasındaki 14 dönüşüm parametresine ihtiyaç vardır.

("Transformation parameters from ITRF14", 2020)'deki parametreler kullanılarak ITRF2014 koordinat ve hızlarından ITRF96 koordinat ve hızlarına dönüşüm, "t" hesap epoğu olmak üzere aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir:

- ("Transformation parameters from ITRF14", 2020)'de verilen parametreler 2010.0 epoğunda olduğu için öncelikle söz konusu parametrelerin yine aynı tabloda verilen hızları kullanılarak dönüşüm parametreleri hesap epoğuna (t) getirilmiştir.

$$\begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \\ D \\ R_X \\ R_Y \\ R_Z \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \\ D \\ R_X \\ R_Y \\ R_Z \end{bmatrix}_{2010.0} + \begin{bmatrix} \dot{T}_X \\ \dot{T}_Y \\ \dot{T}_Z \\ \dot{D} \\ \dot{R}_X \\ \dot{R}_Y \\ \dot{R}_Z \end{bmatrix} .(t - 2010.0) \quad (6)$$

- Hesap epoğuna getirilen dönüşüm parametreleri kullanılarak, ITRF2014 datumunda elde edilen tüm TUTGA koordinatları aşağıdaki dönüşüm modeli kullanılarak hesap epoğunda ITRF96 koordinatlarına dönüştürülmüştür.

$$\begin{bmatrix} X^{96} \\ Y^{96} \\ Z^{96} \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} X^{14} \\ Y^{14} \\ Z^{14} \end{bmatrix}_t + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix}_t + \begin{bmatrix} D & -R_Z & R_Y \\ R_Z & D & -R_X \\ -R_Y & R_X & D \end{bmatrix}_t \begin{bmatrix} X^{14} \\ Y^{14} \\ Z^{14} \end{bmatrix}_t \quad (7)$$

- Aşağıda verilen dönüşüm kullanılarak noktaların ITRF2014 hızlarından ITRF96 hızları elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{96} = \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{14} + \begin{bmatrix} \dot{T}_X \\ \dot{T}_Y \\ \dot{T}_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{D} & -\dot{R}_Z & \dot{R}_Y \\ \dot{R}_Z & \dot{D} & -\dot{R}_X \\ -\dot{R}_Y & \dot{R}_X & \dot{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{14} \\ Y^{14} \\ Z^{14} \end{bmatrix}_t \quad (8)$$

- Son olarak (7) ile hesap epoğunda elde edilen ITRF96 koordinatları, (8) ile bulunan ITRF96 hızları kullanılarak aşağıda verilen dönüşüm modeli ile 2005.0 epoğunda TUREF koordinatlarına dönüştürülmüştür.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TUREF} = \begin{bmatrix} X^{96} \\ Y^{96} \\ Z^{96} \end{bmatrix}_t + \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{ITRF96} .(2005 - t) \quad (9)$$

TUTGA noktalarının kartezyen koordinatları TUREF datumunda hesaplanmasını müteakip

GRS80 elipsoidine göre coğrafi koordinatlara dönüştürülmüştür.

Enlem ve boylamın standart sapmalarını bulmak için hata yayılma yasası uygulanmıştır. Hata yayılma yasasının uygulanmasında ihtiyaç duyulan Jakobien matrisi (Thomson, Krakiwsky ve Steeves, 1977)'den alınmış ve (10)'da verilmiştir.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{-sin\,\varphi\,cos\,\lambda}{(M+h)} & \frac{-sin\,\varphi\,sin\,\lambda}{(M+h)} & \frac{cos\,\varphi}{(M+h)} \\ \frac{-sin\,\lambda}{(N+h)\,cos\,\varphi} & \frac{cos\,\lambda}{(N+h)\,cos\,\varphi} & 0 \\ cos\,\varphi\,cos\,\lambda & cos\,\varphi\,sin\,\lambda & sin\,\varphi \end{bmatrix} \quad (10)$$

Kartezyen koordinatlarının varyans-kovaryans matrisi, koordinat bileşenlerinin standart sapmaları ve çözüm dosyasından alınan korelasyon katsayıları kullanılarak (11)'deki gibi kurulmuştur.

$$C_{XYZ} = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & \rho_{xy}\sigma_X\sigma_Y & \rho_{xz}\sigma_X\sigma_Z \\ \rho_{xy}\sigma_X\sigma_Y & \sigma_Y^2 & \rho_{yz}\sigma_Y\sigma_Z \\ \rho_{xz}\sigma_X\sigma_Z & \rho_{yz}\sigma_Y\sigma_Z & \sigma_Z^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

(10) ve (11) ile verilen jakobien ve varyans-kovaryans matrisleri kullanılarak coğrafi koordinatların varyans-kovaryans matrisi hata yayılma yasası uygulanarak (12)'deki gibi elde edilmiştir.

$$C_{\varphi\lambda h} = J\,C_{XYZ}\,J^T \quad (12)$$

Daha önceki çalışmalarda enlem ve boylam hataları toposentrik yerel koordinat sisteminde metre biriminde verilmiştir. Bu çalışmada coğrafi koordinatların hataları derece saniyesi cinsinden de verilmiştir. Bu amaçla (12) ile elde edilen standart sapmalar (13) ile metre birimine dönüştürülmüştür. Sonuç olarak bu çalışmada enlem ve boylamın standart sapmaları hem derece saniyesi hem de metre biriminde verilmiştir.

$$\sigma_\varphi^{Düzlem} = \left(\sigma_\varphi/\rho^{"}\right)\,x\,6378137.0$$
$$\sigma_\lambda^{Düzlem} = \left(\sigma_\lambda/\rho^{"}\right)\,x\,6378137.0\,x\,cos\,\varphi \quad (13)$$

TUTGA nokta koordinatlarında depremler ve lokal etkiler nedeniyle oluşan değişimler, noktaların zamansal kullanımını gerektirmektedir. Dolayısıyla, tektonik veya lokal etkiden önceki ve sonraki koordinatlarının ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir. Koordinat ve hız hesaplamalarında dikkate alınan depremler Tablo 4'de listelenmiştir. Depremden etkilenen noktaların ayırt edilmesi maksadıyla TUTGA noktalarının dört karakter kısaltmalarının yanına iki karakterli deprem kodu kısaltması tanımlanmıştır (Tablo 4). Örneğin, YENF_GPS noktasının Karaburun-İzmir depreminden etkilendiğini belirtmek için, deprem sonrası koordinat ve hızı YENF_GKB ismi ile verilmiştir.

TUTGA koordinatları, iki karakter deprem kısaltmasına göre verilen tarih aralığına göre kullanılmalıdır. Örneğin ABNT noktasının ABNT_GPS noktasından sonra ABNT_GIZ ve ABNT_GDU noktaları gelmektedir. Dolayısıyla 17 Ağustos 1999 tarihinden önce ABNT_GPS, 17 Ağustos 1999 – 12 Kasım 1999 tarihleri arasında ABNT_GIZ, 12 Kasım 1999 tarihinden sonraki çalışmalar için ise ABNT_GDU koordinatları kullanılmalıdır.

Bu çalışmada iki karakter deprem kısaltması olmayıp da 2PS uzantısı verilen bazı noktalar da mevcuttur. Bunlardan bir kısmı, bölgesel olarak depremlerin etki alanında olabileceği fakat yakın deprem aralıkları arasında verisi olmayan ve dolayısıyla hangi depremden etkilendiği tam olarak kestirilemeyen noktalardır. Örneğin PAZR noktasının Düzce ya da Çerkeş depremlerinin aralığında verisi olmadığından hangisinden etkilenmiş olabileceğine karar vermek yerine en son depremin tarihi baz alınarak 2PS olarak uzantısı değiştirilmiştir.

Bazı noktaların tektonik hareketlerden ziyade lokal etkilerden bir atım oluşturdukları değerlendirilmiş, bunların bir kısmı süreklilik arz edebileceği düşünülerek uyuşumsuz nokta olarak nitelendirilmiş ve arşivde tutulmaya devam edilmekle birlikte güncel TUTGA listesinden çıkarılmıştır. Bu noktaların çoğunluğunun bir tepenin yamacı üzerine kurulmuş olduğu ve yamaçtaki yavaş toprak kayması ile uyumlu hareket ederek bölgesel tektonik hızdan uzaklaştıkları tespit edilmiştir. Bazı noktaların ise böyle bir konumu olmayıp bir seferlik bir lokal etki (traktör çarpması vb.) görmüş olabileceği değerlendirilerek bu noktaların da atım tarihlerinden sonraki dönem için 2PS uzantısının verilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu noktaların ileriki dönemlerde yeni ölçülerle takip edilerek bölgesel uyuşumunun kontrol edilmesi gerekmektedir.

7. ÖNCEKİ ÇÖZÜMLER İLE KARŞILAŞTIRMA

TUTGA tesis ve ölçüm çalışmalarının 1997-1999 yılları arasında tamamlanmasından sonra 2000 yılında TUTGA99 ismiyle ITRF-96 datumunda ve 1998.0 epoğunda; daha sonra 2000 ve 2001 yıllarında yapılan yeni ölçüler ile

güncellenerek TUTGA-99A ismiyle 2002 yılında aynı datum ve epokta yayımlanmıştır (Ayhan ve diğerleri, 2002). 2004 yılında Aktuğ ve diğerleri (2004) ile yayımlanan TUTGA koordinat ve hızları ITRF-2000'de hesaplanmakla birlikte ITRF-96'ya dönüştürülerek sunulmuştur. Müteakiben 1992-2009 yılları arasındaki tüm TUTGA kampanyaları birleştirilerek TUREF datumunda (ITRF-96 Epok 2005.0) yayımlanmıştır (Aktuğ ve diğerleri, 2011). Söz konusu çalışmada, kampanyaların gevşek kısıtlı çözümlerinin birleştirilmesinin ardından ITRF2005 datumunda tüm koordinat ve hızlar belirlenmiş; IGS tarafından yayımlanan dönüşüm parametreleri kullanılarak koordinatlar ve hızlar TUREF datumuna dönüştürülmüştür.

Aktuğ ve diğerleri (2011) çalışmasında da önceki çalışmalara benzer şekilde kampanya bazlı olarak BERNESE yazılımında değerlendirilen kampanyaların gevşek kısıtlı çözümleri kullanılmıştır. Yani kampanyanın değerlendirildiği dönemdeki uydu yörüngeleri ve yer dönme parametreleri aynen kullanılmıştır. Önceki bölümlerde detaylı olarak anlatıldığı gibi bu çalışmada tüm kampanyalar güncellenen veriler ve veri değerlendirme stratejileri kullanılarak GAMIT-GLOBK yazılımıyla yeniden değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra TUTGA noktalarında da önemli derecede veri artışı olmuştur. 2015 ve 2018 yılları arasında tüm ağın yeniden ölçülmesiyle hem konumsal hem de zamansal çözünürlük açısından oldukça iyi bir veri seti elde edilmiştir.

Aktuğ ve diğerleri (2011) ile bu çalışma arasındaki koordinat ve hız farklarına ilişkin olarak aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Bu çalışmada, TUTGA noktalarının başka çalışmalarda yapılmış ölçüleri de değerlendirmelere dâhil edilmiştir. Bu sayede zamansal çözünürlüğün artırılması hedeflenmiştir.

- Önceki çalışmada hızlar Marmara depremleri öncesi ve sonrası olmak üzere ikiye ayrılmıştır. 1999 öncesi çoğu noktanın ölçü epokları hız belirlemek için yeterli değildir. Örneğin, FSTK (40º.48057-Kuzey 28º.88184-Doğu) noktasının 1997, 1998 ve 1999 olmak üzere üç epok ölçümü vardır. Fakat ilk ölçü ile son ölçü arasındaki zaman aralığı 1.685 yıldır. Bu sürenin doğrusal hız belirlemek için yeterli olmadığı değerlendirilmektedir.

- Aktuğ ve diğerleri (2011) çözümünde özellikle Marmara Bölgesindeki ölçülerin 2004 yılında kesildiği ve deprem sonrası koordinat ve hızların belirlenmesinde kullanılan bu ölçülerin post-sismik aktiviteden yoğun olarak etkilendiği gözlenmektedir. Bu bölgede depremin merkez üssüne yakınlığına bağlı olarak noktaların 2008-2010 yıllarına kadar bu etki altında oldukları söylenebilir. Bu çalışmada mümkün olduğunca bu dönemlerdeki ölçülerden kaçınılarak daha güncel ve postsismik etkinin azaldığı zamanlardaki ölçülerin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Bu bölgedeki farkların büyük olmasına neden olan en büyük etmenin bu olduğu değerlendirilmektedir.

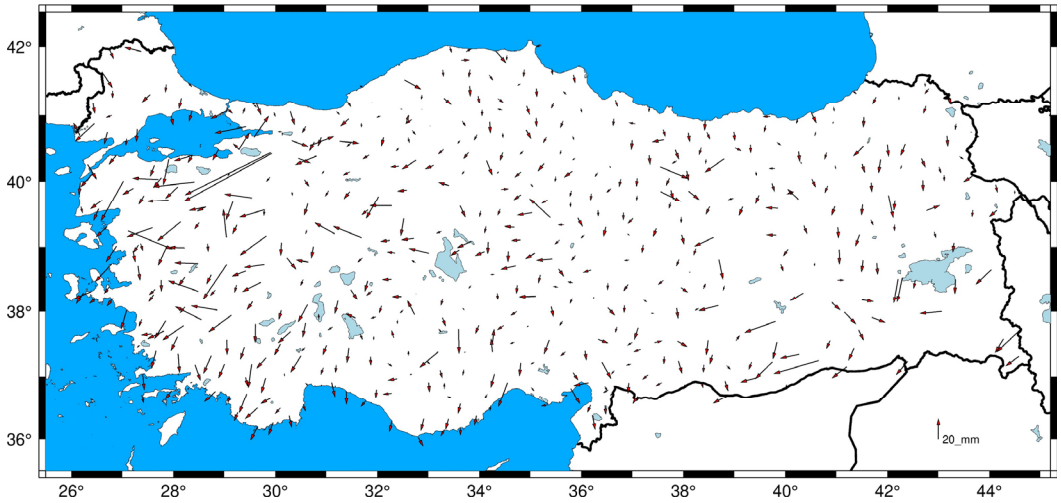
- Her ne kadar Aktuğ ve diğerleri (2011) çalışmasında TUTGA-99, TUTGA-99A ve TUTGA-2005 hesaplamalarına göre noktalarda daha fazla epok olsa da, çoğu noktanın tek epok, birden fazla epoğu olan noktaların da gözlem epoklarının nispeten birbirine yakın olması nedeniyle hız alanı belirlenmesinde hesaplamalarda kullanılan noktalar yetersiz kalmıştır. Fakat bu çalışmada neredeyse tüm noktaların uygun zamansal çözünürlükte daha fazla ölçüsünün olması sayesinde daha iyi hız kestiriminde bulunulmuştur. Bu sayede, bölgesiyle uyuşumsuz noktaların tespitinde önemli avantaj sağlamıştır.

- Bu çalışmadaki en büyük katkılardan birisi de TUSAGA-Aktif ağından elde edilen yaklaşık 10 yıllık veri olmuştur. Özellikle hız kestirimi ihtiyacı olan TUTGA noktalarında; TUTGA ve TUSAGA-Aktif ağlarının birleşimi ile oluşan konumsal çözünürlüğü daha yüksek olan bir ağdan yararlanılmıştır.

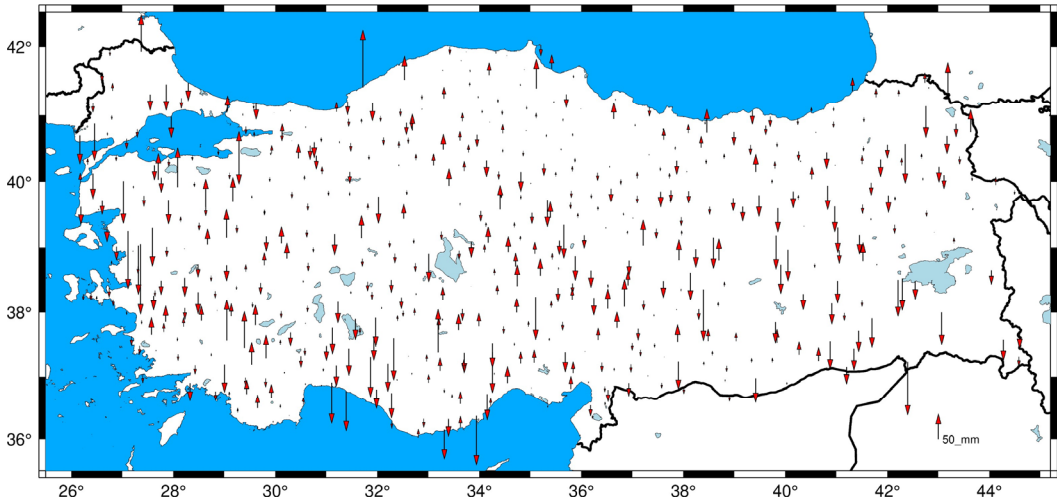
Aktuğ ve diğerleri (2011) çalışmasında elde edilen TUTGA noktalarının koordinat ve hızlarının bu çalışmadaki farklarının incelenmesi amacıyla, öncelikle tahrip olmamış ve uyuşumsuzluk tespit edilmemiş nokta kümesi belirlenmiştir. Koordinat ve hız karşılaştırmaları TUREF datumunda ve toplam 559 noktada yapılmıştır. Karşılaştırmaya ilişkin istatistik sonuçlar Tablo 5'de; yatay konum farkları Şekil 8'de, düşey konum farkları Şekil 9'da, yatay hız farkları Şekil 10'da ve düşey hız farkları Şekil 11'de sunulmuştur.

Tablo 5. Aktuğ ve diğerleri (2011) ve Bu Çalışma çözümlerinin karşılaştırmalarının istatistikleri (ΔKG:Kuzey-Güney yönündeki konum farkları, ΔD: Doğu-Batı yönündeki konum farkları, Δh: Düşey yöndeki konum farkları, ΔV_{KG}: Kuzey-Güney yönündeki hız farkları, ΔV_{DB}: Doğu-Batı yönündeki hız farkları, ΔV_h : Düşey yöndeki hız farkları).

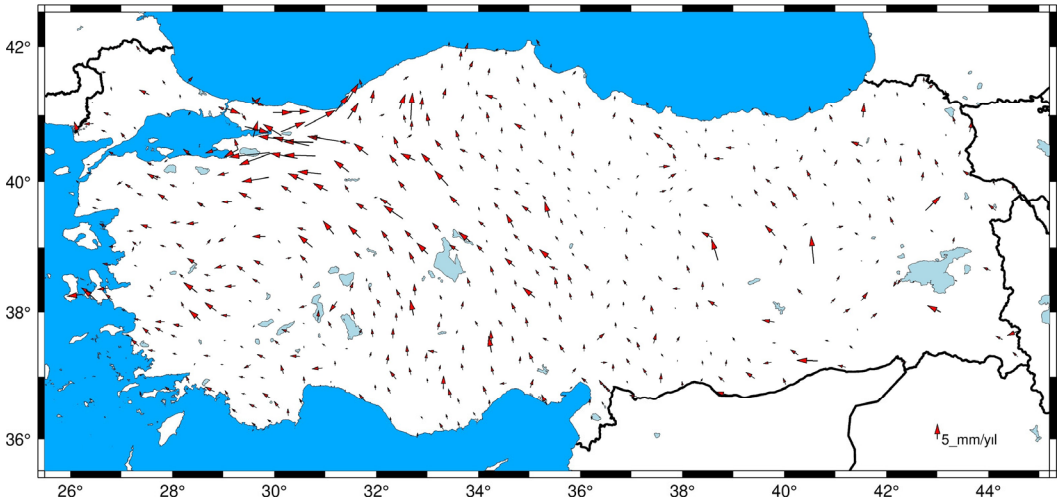
	ΔKG (mm)	ΔDB (mm)	Δh (mm)	ΔV_{KG} (mm/y)	ΔV_{DB} (mm/y)	ΔV_h (mm/y)
Minimum	-47.91	-87.34	-139.15	-3.85	-13.38	-31.91
Maksimum	27.80	43.89	112.73	9.11	10.21	19.55
Ortalama	-6.37	-3.50	-7.60	1.60	-1.12	-2.32
Medyan	-6.43	-2.27	-7.40	1.60	-0.92	-1.89
Standart Sapma	6.94	9.56	29.91	1.43	2.20	6.59



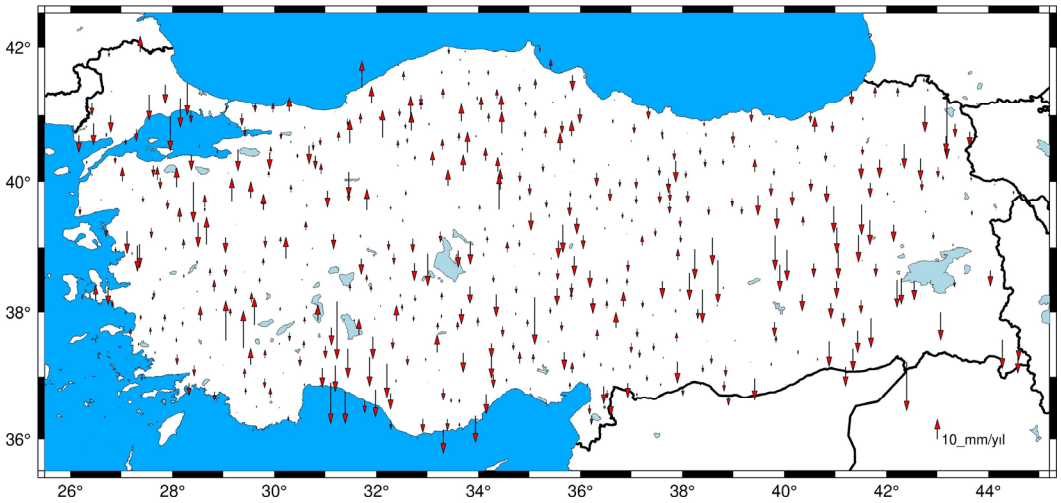
Şekil 8. Bu çalışma ile Aktuğ ve diğerleri (2011) arasındaki yatay konum farkları.



Şekil 9. Bu çalışma ile Aktuğ ve diğerleri (2011) arasındaki düşey konum farkları.



Şekil 10. Bu çalışma ile Aktuğ ve diğerleri (2011) arasındaki yatay hız farkları.



Şekil 11. Bu çalışma ile Aktuğ ve diğerleri (2011) arasındaki düşey hız farkları.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Türkiye ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde TUTGA noktalarında 1992-2019 yılları arasında gerçekleştirilen 214 adet GNSS ölçü kampanya verileri yeniden değerlendirilmiştir. Ayrıca TUSAGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının 1998-2019 yılları günlük çözümleri de yeniden yapılmış ve aylık olarak birleştirilen 256 adet sabit GNSS istasyonları aylık çözümleri ile toplam 470 çözüm birlikte dengelenerek 654 TUTGA noktasının koordinat ve hızları TUREF datumunda elde edilmiştir. Noktaların zaman serileri tektonik ve lokal etkiler açısından incelenmiş, hızları bölgesiyle uyuşumsuz noktalar tespit edilmiştir.

Yeterli epok ölçüsü olmayan noktalar için hız kestirimi noktasal bazda fay hatları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiş, Türkiye için hız alanı modelinin oluşturulması, sonraki çalışmaya bırakılmıştır. Müteakip yıllarda, noktalardaki ölçü sayısı arttıkça, hızı kestirilen noktaların kontrol edilerek mümkün olduğunca kendi hızlarının kullanmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Deprem etki alanlarının noktaların zaman serileri ile beraber incelenmesiyle, noktalardan gereksiz yere ölçü çıkarılmasının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Yoğun postsismik etkinin oluştuğu Marmara Depremleri sonrasında ölçülerin 2004 yılında kesildiği ve müteakip en yakın ölçünün çoğu noktada 2016 yılında yapıldığı görülmektedir. Postsismik etkinin deprem merkez üssüne yakınlığına bağlı olarak 2008-2010 yılına kadar devam ettiği görülmektedir. Üniversiteler ve diğer kurumlardan bu noktaların bazılarının 2010 sonrası ölçüleri elde edilerek bu noktalarda intersismik hız belirlenmiştir. Özellikle Marmara Bölgesindeki bu noktaların önümüzdeki yıllarda ölçü planlarına dâhil edilmesi ve böylece

postsismik etki sonrası doğrusal hızın daha iyi belirlenmesi için zamansal çözünürlüğün artırılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Önceki çalışmalarda TUTGA noktalarının enlem ve boylam hataları toposentrik yerel koordinat sisteminde metre biriminde verilmiştir. Referans nokta koordinatlarını coğrafi olarak alan yazılımların kullanılması durumunda kullanıcıların bu hataları açı birimine çevirmeleri gerekmektedir. Bu işlem yükünü azaltmak amacıyla metre birimi yanında açı cinsinden de hatalar verilmiştir. Ayrıca önceki çalışmalarda 0.0001 m duyarlıkta verilen koordinat ve hızlar bu çalışmada 0.00001 m duyarlığında verilmiştir. Bu duyarlık derecesinin Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) kapsamında yapılan çalışmalar için gerekli olmasa da bilimsel çalışmalar kapsamında kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Koordinat ve hızların ITRF2014 datumunda hesaplanmasından sonra tüm koordinatlar TUREF'e dönüştürülmüştür. Bu amaçla, 14 parametreli standart Helmert Dönüşümü kullanılmıştır. Elde edilen koordinat ve hızların Aktuğ ve diğerleri (2011) ile karşılaştırılması sonrasında elde edilen farkların, özellikle Marmara Bölgesinde Kuzey Anadolu Fayı etrafında ve Aktuğ ve diğerleri (2011)'de hız kestirilen noktalarda büyüdüğü görülmektedir. Karşılaştırılan tüm noktalar için koordinat farklarının standart sapmaları, kuzey-güney bileşeninde 6.94 mm, doğu-batı bileşeninde 9.56 mm ve yükseklikte ise 29.91 mm bulunmuştur. Aynı şekilde hız farklarının, kuzey-güney bileşeninde 1.43 mm/yıl, doğu-batı bileşeninde 2.20 mm/yıl ve düşey hızlarda ise 6.59 mm/yıl olduğu görülmüştür. Doğu-batı bileşenindeki koordinat ve hız farklarının kuzey-güney bileşenindeki koordinat ve hız farklarından daha yüksek olmasının sebebinin, İzmit ve Düzce depremlerini oluşturan Kuzey Anadolu Fayının sağ yanal atımlı bir fay sistemi olması ve bu sistemin doğu-batı bileşeninin kuzey-güney bileşeninden daha büyük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Önceki çalışmalarda, özellikle fay bölgelerinde hız kestirimi yapılan ve koordinatları bu değerlere göre hesaplanan noktaların, yeni ölçülerin katılımıyla hızlarının daha doğru belirlenmesi ve koordinatların daha doğru hesaplanması sonucunda söz konusu farkların oluştuğu değerlendirilmektedir.

Aktuğ ve diğerleri (2011)'de Türkiye için hız alanı belirlenmesinde fay hatları dikkate alınmamıştır. Hâlihazırda yürürlükte olan Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY)'ne göre üretilen C1, C2 ve C3 noktalarının hızlarının TUTGA ve TUSAGA-Aktif noktalarından belirlenmesi, idarenin uygun göreceği enterpolasyon yöntemiyle kullanıcıya bırakılmış olup, hızların değişim gösterdiği ana fay sistemleri için bir yöntem belirtilmemiştir. Dolayısıyla, kullanıcıların en yakın TUTGA noktalarını kullanma kaygısıyla belirleyeceği hızlarda hatalar meydana gelebileceği değerlendirilmektedir. Bu işlemin kullanıcıya bırakılmadan hazır bir deformasyon modeli sunulmasının, yeni noktalarda standart ve daha doğru kestirimler yapılmasını sağlayacağı değerlendirilmektedir. Türkiye için ana fay hatlarının dikkate alınacağı bölgeleme yöntemiyle yüksek doğruluklu bir hız modelinin oluşturulmasının ve yeni ölçülerle geliştirilmesinin ve en önemlisi de bu modelin BÖHHBÜY'e de ithal edilerek kullanıcılara sunulmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Epok sayısı fazla, fakat epoklar arası sürenin kısa olduğu (2 yıldan az) ölçülerle belirlenen hızlarda, ölçü hatalarının hız tahmininde baskın olması sebebiyle yeterli duyarlık ve doğruluğun sağlanamadığı görülmektedir. Bu sebeple, noktaların bulunduğu bölgeye bağlı olarak noktalardaki ölçü aralıklarının 3-6 yıl arasında seçilmesinin hızın güvenirliğini artırması ve ekonomik olması açılarından daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Özellikle, TUSAGA-Aktif ağının kurulmasıyla ülke genelinde sabit istasyon açısından önemli bir boşluğun dolduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra üniversiteler, belediyeler ve diğer kamu kurumlarının da işlettiği istasyonlar ve sabit GNSS ağları mevcuttur. Hız alanının belirlenmesinde bu istasyonların verilerinin de kullanılmasının önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca, IGS ağına 2018 yılında eklenen 3 TUSAGA-Aktif istasyonu (MERS, KRS1, IZMI), referans sistemi tanımlamada önemli faydalar sağlayacaktır. Bu sebeple Türkiye'den IGS ve EUREF ağlarına dâhil istasyon sayısının artırılmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan yeniden veri değerlendirme çalışmasının en önemli faydalarından birisi de tarihsel GPS verilerinin ve meta verilerinin sayısal ortamda hazır hale getirilmesi olmuştur. İleriki dönemlerde, veri değerlendirme yazılımlarının kullandıkları modellerde ve değerlendirme stratejilerindeki

gelişmeler ışığında verilerin tekrar analiz edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Günümüzde veri değerlendirme yazılımlarının kullanım kolaylığı ve yaygınlığı arttıkça hesap epoğunda koordinat belirleyebilmek oldukça kolaylaşmıştır. Fakat hesap epoğunda belirlenen koordinatların ülke datum epoğuna taşınması için hızların yüksek doğrulukla bilinmesi ve kullanıcıların her noktada standart bir hız modelini kullanmalarına ihtiyaç vardır. Ayrıca, TUREF'in ITRF96 datumunda tanımlandığı 2005 epoğundan gittikçe uzaklaştığı da göz önüne alındığında, söz konusu hız alanına olan ihtiyaç kaçınılmazdır. Eldeki tüm verilerin kullanılması ile ana fay hatları ile bölgelenmiş bir hız alanı modelinin kullanıcılara sunulmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

TUTGA'nın kurulması, yaşatılmasında ve GNSS verilerinin yeniden değerlendirilmesinde emeği geçen Harita Genel Müdürlüğü personeline; TUTGA noktalarındaki ölçülerini Harita Genel Müdürlüğü ile paylaşarak çalışmaya katkı sağlayan TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi ve Afyon Kocatepe Üniversitesine teşekkür ederiz. Ayrıca bu çalışmayı hakem olarak inceleyen, zaman ve emek harcayarak yayının bilimsel kalitesinin artmasına yardımcı olan 3 Hakeme katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

ORCID

Ali İhsan KURT https://orcid.org/0000-0003-2367-2152

Ayhan CİNGÖZ https://orcid.org/0000-0002-4468-1309

Soner ÖZDEMİR https://orcid.org/0000-0002-4836-4853

Selçuk PEKER https://orcid.org/0000-0001-7763-8844

Özgür ÖZEL https://orcid.org/0000-0001-5192-9985

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

KAYNAKLAR

AFAD Fay Çözümleri. (2020). Erişim Adresi: https://deprem.afad.gov.tr/faycozumleri

Aktuğ, B. (2003). Elastik yarı-uzay modelleri ve depremsel koordinat değişimlerine dinamik bir yaklaşım. *Harita Dergisi*, 129, 1-15. Erişim Adresi:https://www.harita.gov.tr/images/dergi/makaleler/129_1.pdf

Aktuğ, B., Ayhan, M.E. ve Demir, C. (2004). *1992-2004 yılları GPS kampanyalarının birleştirilmesi ve Türkiye hız alanının belirlenmesi* (Rapor No. UZYTEK-05-4). Ankara: Harita Genel Komutanlığı.

Aktuğ, B. (2005). Referans sistemlerinin zamansal evrimi ve Türkiye için ulusal bir model: Türkiye Ulusal Referans Sistemi-1996 (TURES-96). *Harita Dergisi*, 133, 1-26. Erişim Adresi: https://www.harita.gov.tr/images/dergi/makaleler/133_1.pdf

Aktuğ, B., Sezer, S., Özdemir, S., Lenk, O. ve Kılıçoğlu, A. (2011). Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı güncel koordinat ve hızlarının hesaplanması. *Harita Dergisi*, 145, 1-14.Erişim Adresi:https://www.harita.gov.tr/images/dergi/makaleler/145_1.pdf

Aktuğ, B., Özener, H., Dogru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, K., … Havazlı, H. (2016). Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field. *Journal of Geodynamics*, 94–95, 1-12. doi:10.1016/j.jog.2016.01.001

Altamimi, Z., P. Rebischung, L. Métivier ve X. Collilieux (2016). ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 121, 6109–6131. doi:10.1002/2016JB013098.

Ayhan, M.E., Lenk, O., Demir, C., Kılıçoğlu, A., Kahveci, M., Türkezer, A., … Fırat, O. (2001). *Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA-99)*. Ankara: Harita Genel Komutanlığı.

Ayhan, M.E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Aktuğ, B., Fırat, O., … Özerkan, A. (2002). Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A). *Harita Dergisi*, Özel Sayı 16. Erişim Adresi: https://www.harita.gov.tr/images/dergi/c9cdb31dba480a4.pdf

Boehm J., Werl B. ve Schuh H. (2006). Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data. *Journal of Geophysical Research*, 111, B02406. doi:10.1029/2005JB003629

Dach, R., S. Lutz, P. Walser ve P. Fridez (Eds) (2015). *Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual, Astronomical Institute, University of Bern*. doi: 10.7892/boris.72297

Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioğlu, F.T., Başarır Baştürk, N., Kılıç, T., … Kurt, A.İ. (2017). *Türkiye Sismotektonik Haritası ve Kitabı*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*,* Özel Yayınlar Serisi-34, 137-162.

Half-space Deformation Toolbox. (2020). Erişim Adresi:http://www.matthewwherman.com/software.html

Herman, M.W., Herrmann, R.B., Furlong, K.P. ve Benz, H.M. (2014). Using regional moment tensors to constrain the kinematics and stress evolution of the 2010–2013 Canterbury earthquake sequence, South Island, New Zealand. *Tectonophysics*, 633, 1-15. doi: 10.1016/j.tecto.2014.06.019

Herman, M.W., Furlong, K.P., Hayes, G.P. ve Benz, H.M. (2016). Foreshock triggering of the 1 April 2014 Mw 8.2 Iquique, Chile, earthquake. *Earth and Planetary Science Letters,* 447, 119-129. doi: 10.1016/j.epsl.2016.04.020

Herring, T. A., Melbourne, T.I., Murray M.H., Floyd, M.A., Szeliga, W.M., King, R.W., … Wang, L. (2016). Plate Boundary Observatory and related networks: GPS data analysis methods and geodetic products. *Reviews of Geophysics*, 54, 759–808. doi:10.1002/2016RG000529

Herring, T.A., King, R.W., M. A. Floyd ve McClusky, S.C. (2018). *GAMIT Reference Manual, GPS Analysis at MIT, Release 10.6*. Erişim Adresi: http://geoweb.mit.edu/gg/GAMIT_Ref.pdf

Kandilli BDTİM. (2020). Erişim Adresi: http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/

Kılıç, T., Kartal, R.F., Kadirioğlu, F.T., Duman, T.Y. ve Özalp, S. (2017). *Türkiye ve yakın çevresi için düzenlenmiş moment tensor (1906-2012) kataloğu MW ≥ 4,0).* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Lagler, K., M. Schindelegger, J. Böhm, H. Krásná, ve T. Nilsson (2013) GPT2: Empirical slant delay model for radio space geodetic techniques. *Geophysical Research Letters*, 40, 1069–1073. doi:10.1002/grl.50288.

Lyard, F., Lefèvre, F., Letellier, T. ve Francis, O. (2006) Modelling the global ocean tides: a modern insight from FES2004. *Ocean Dynamics*, 56, 394-415. doi: 10.1007/s10236-006-0086-x

Okada, Y., (1992). Internal Deformation Due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *82*(2), 1018-1040. Erişim Adresi: https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/82/2/1018/119580/Internal-deformation-due-to-shear-and-tensile?redirectedFrom=fulltext

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R … Karam, G. (2006). GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 111, B5, doi:10.1029/2005JB004051

Rülke, A., R. Dietrich, M. Fritsche, M. Rothacher, ve P. Steigenberger (2008). Realization of the Terrestrial Reference System by a reprocessed global GPS network. *Journal of Geophysical Research,* 113, B08403. doi:10.1029/2007JB005231

Thomson, D.B., Krakiwsky, E.J. ve Steeves, R.R. (1977). *A Manual For Geodetic Coordinate Transformations In The Maritime Provinces*. Dept. of Surveying Engineering, University of New Brunswick , Technical Report No. 48 Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/50244825_A_Manual_for_Geodetic_Coordinate_Transformations_in_the_Maritime_Provinces

Transformation parameters from ITRF14. (2020). Erişim Adresi: http://itrf.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2014_ITRFs.txt

Tregoning, P. ve Van Dam T. (2005) Atmospheric Pressure Loading Corrections Applied to GPS Data at the Observation Level. *Geophysical Research Letters*, 32, L22310. doi:10.1029/2005GL024104

Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. Luis, and F. Wobbe (2013). Generic Mapping Tools: Improved Version Released, EOS Trans. AGU, *94*(45), 409–410. doi:10.1002/2013EO450001

Planar Trend Analysis of the Midlatitude Ionosphere for Turkey and the Balkans

(Türkiye ve Balkanlar için Orta Enlem İyonküresinin Düzlemsel Yönseme Analizi)

Şölen KUMBAY YILDIZ

Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Çankaya, 06800, Ankara

solen@ee.hacettepe.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 27.12.2019 Accepted (Kabul Tarihi): 29.05.2020

ABSTRACT

A locally planar Total Electron Content (TEC) trend model for the midlatitude region encompassing a major part of Turkey and some Balkan countries is investigated by estimating its coefficients in the least square sense for the solar minimum year 2009 and the solar maximum year 2014. The TEC values are obtained from Global Ionospheric Maps (GIM) which have a spatial resolution of 2.5° in latitude and 5° in longitude. The temporal resolution of the maps is two hours. The coefficients, as well as their 7-day and 27-day medians are investigated which in turn reveal the diurnal, seasonal and semiannual periodicities in the midlatitude ionosphere TEC trend. The estimated model coefficients are used to generate model maps and the difference between these and actual GIM are obtained in squared L_2 sense as a performance indicator. Despite the major distinctness in solar activity levels in both years, the differences for both 2009 and 2014 generally remain below 0.1% and the deviation of the model from actual GIM never exceeds 0.9% even on days with severe geomagnetic disturbances. The planar trend model provides a successful representation of TEC for the midlatitude region taken into consideration in both years. Periods with higher levels of solar activity result in estimated model coefficients with both increased values and spread.

***Keywords**: planar trend model, midlatitude ionosphere, coefficient estimation.*

ÖZ

Bu çalışmada, Türkiye'nin büyük bir kısmı ile bazı Balkan ülkelerini kapsayan bir orta enlem bölgesindeki Toplam Elektron İçeriği'ni (TEİ) temsil eden bölgesel düzlemsel bir yönseme modeli, güneş döngüsünün en az ve en çok güneş etkinliği olan yılları 2009 ve 2014 için irdelenmiştir. Model katsayıları, 2.5° enlem, 5° boylam ve 2 saat zaman çözünürlüğüne sahip Global Ionospheric Maps TEİ (GIM-TEC) verileri kullanılarak en küçük kareler yaklaşımı ile kestirilmiştir. Kestirilen model katsayıları ile bu katsayıların 7 günlük ve 27 günlük ortanca değerleri incelenerek, yönsemede günlük, mevsimsel ve 6 aylık dönemlerde tekrarlanan özellikler gözlenmiştir. Her iki yıl için kestirilen model katsayıları kullanılarak elde edilen model haritası ile gerçek GIM-TEC verileri arasındaki farkın L_2 normunun karesi bir başarım göstergesi olarak hesaplanmıştır. Güneş etkinliği seviyeleri arasındaki büyük farka rağmen, hem 2009 hem de 2014 için kestirilen düzlemsel modelin gerçek GIM-TEC değerlerinden sapma oranı genellikle %0.1'in altında kalmış, sapma oranı şiddetli jeomanyetik fırtınaların kaydedildiği günlerde dahi %0.9'un üzerine çıkmamıştır. Güneş etkinliğinin yüksek olduğu dönemlerde kestirilen model katsayılarının daha büyük değerler aldığı gözlenmiştir.

***Anahtar Kelimeler**: düzlemsel yönseme modeli, orta enlem iyonküresi, katsayı kestirimi.*

1. INTRODUCTION

The midlatitude ionosphere is constantly under the influence of polar and equatorial regions and is the subject of many works aiming to present its structure and determine a model. Most of these studies focus on indicators such as maximum ionization height (h_mF_2), the critical frequency of the F_2 layer (f_oF_2) and the Total Electron Content (TEC).

The complex nature of ionospheric variability and the dependency of the f_oF_2 trends on the geomagnetic latitude is extensively explained in Mikhailov and Marin (2001) and Rishbeth and Mendillo (2001). Variations of ionospheric parameters are observed in the diurnal and seasonal periods. It is also reported that a semiannual pattern is observed with peaks at equinoxes. Danilov (2015) demonstrated the dependence of f_oF_2 trends on local time and season and the dependence of f_oF_2 variability on latitude is shown by Fotiadis and Kouris (2006). Geomagnetic activity is claimed to be the major cause of this variability and the impact of space weather and geomagnetic disturbances on the F_2 layer directly affect the characteristics of TEC (Mikhailov and Marin, 2001, Laštovička, 2005). To take into account regional differences, it is proposed to examine the data on a more local basis, for example with respect to latitude. A review of the coupling between the lower and upper atmosphere for long temporal trends is presented in Laštovička (2017). The regional dependency of these long term trends is reported to be highly complex. The long term temporal trends of f_oF_2 and h_mF_2 are found to be linear in Cnossen and Franzke (2014). It is apparent that, monitoring the ionosphere to better understand the nature of this variability is an important subject and an ongoing effort.

To cite this article/Atıf: Yıldız, Ş.K. (2020). Planar Trend Analysis of the Midlatitude Ionosphere for Turkey and the Balkans. *Harita Dergisi,* 164, 18-28.

An effective way of observing the general trend behavior of ionospheric parameters is using TEC maps over a desired region. These TEC maps, called Global Ionospheric Maps (GIM), are provided by International Global Navigation Satellite Systems (GNSS) Service (IGS) analysis centers. GIM-TEC has a spatial resolution of 2.5° by 5° in latitude and longitude, respectively. The temporal resolution varies from a few minutes to several hours depending on the analysis center providing the data.

In Toker, Gokdag, Arikan and Arikan (2012) and Toker, Arikan and Arikan (2014), it is observed that several midlatitude ionospheric parameters generally follow a local planar trend which can be represented by a linear dependency on latitude and longitude. According to Turel and Arikan (2010), the probability density functions of TEC can be optimally categorized when regions of 10° in latitude are taken into consideration. Additionally, a region of size 10° by 20° in latitude and longitude, respectively, is found suitable to be represented by such a planar trend model in Deviren, Arikan and Arikan (2013).

Lean, Emmert, Picone and Meier (2011) focus on extracting a global and regional TEC trend structure by a regression model. The model parameters, which are obtained using daily mean GIM-TEC, strongly depend on the level of solar and geomagnetic activities and long term trends, thus pointing at a complex ionospheric trend structure. Laštovička, Urbar and Kozubek (2017) uses GIM-TEC from Jet Propulsion Laboratory (JPL) in the investigation of long term trends of TEC.

This study focusses on a locally planar TEC trend model representing the ionospheric structure of a northern hemisphere midlatitude region of dimensions 10° in latitude and 20° in longitude. The coefficients for the planar trend model are estimated in the least square (LS) sense using GIM-TEC for 2009 and 2014, the solar minimum and maximum years of the 24th solar cycle. The estimated coefficients for 2009 and 2014 and their 7-day and 27-day medians are analyzed in a comparative fashion. The performance of the planar trend model is examined by means of a performance measure.

The paper is organized as follows: Section 2 covers the midlatitude region, the data for the years 2009 and 2014, the model and the estimation algorithm for its coefficients. The results are provided in Section 3 and Section 4 contains the concluding remarks.

2. DATA AND METHODOLOGY

Detailed information regarding the data and methodology used for the analyses in this study are provided in this section.

a. The Region

In this study, a region of dimensions 10° x 20° in latitude and longitude, respectively, is taken into consideration to test a locally planar trend structure of the ionosphere. This midlatitude region encompasses most of Turkey and some Balkan countries as shown in Figure 1a, where dotted and dashed lines indicate geographic and geomagnetic coordinates, respectively and the transparent blue shape marks the region of interest. This region is represented by a rectangle in Figure 1b and the geographic center and corner coordinates of the region of interest are also indicated. In order to remove the dependency of the trend model coefficients to the numeric values of the geographic coordinates, the region is assumed to have a normalized coordinate frame as shown in Figure 1c. The center coordinates are taken as (0,0) and the corner coordinates are shifted accordingly.

b. The Data

Toward calculating the linear trend coefficients, GIM-TEC from JPL are utilized. The data files are in IONEX format and are obtained from the IGS Ionosphere Working Group Analysis Center of JPL, NASA (CDDIS, n.d.). The spatial resolution of GIM-TEC is 2.5° x 5° in latitude and longitude, respectively. The temporal resolution is 2 hours. The center coordinates of the region shown in Figure 1 are chosen such that they coincide with a grid point in GIM-TEC. All grid points where GIM-TEC are specified in the selected region are also shown in Figure 1c.

The GIM-TEC for 2009 and 2014 are used to calculate the trend model coefficients for the selected midlatitude region. 2009 marks the solar minimum of the 24th solar cycle which reached its maximum in 2014. The difference in the level of solar activities and TEC values between 2009 and 2014 can be observed through GIM-TEC data as shown in Figure 2 where GIM on four different days are plotted at 00:00, 06:00, 12:00 and 18:00 local time (LT) over the midlatitude region chosen for this study. Figures 2a-2d correspond to a geomagnetically quiet day of 2009 whereas Figures 2e-2h show TEC data on a day with a geomagnetic disturbance (IZMIRAN, n.d.) in the same year with recorded TEC values ranging

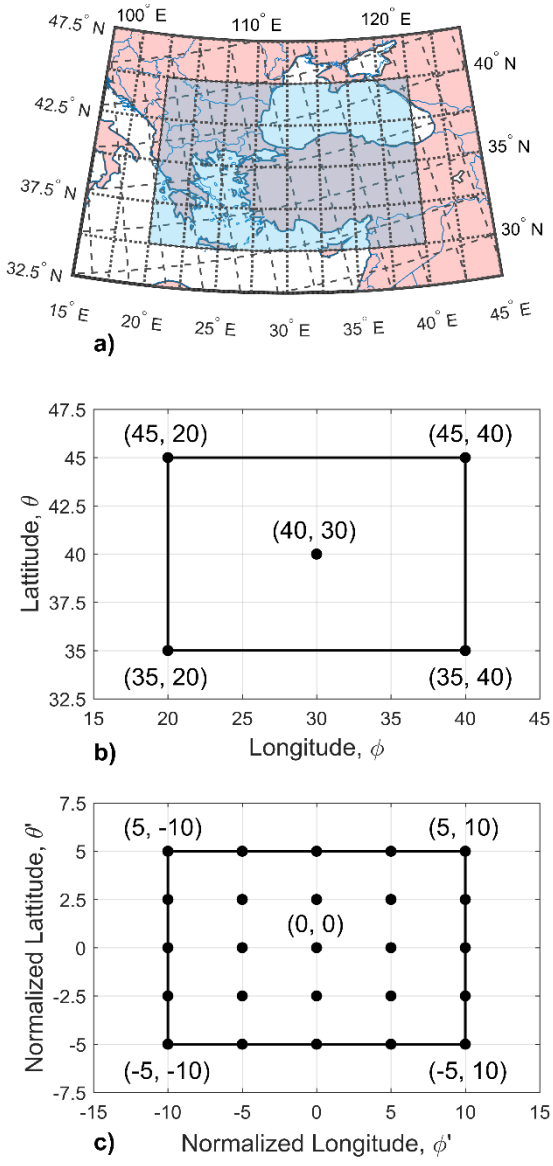


Figure 1. The midlatitude region and its geographic structure: a) Map of the region, b) Center and corner coordinates, c) Normalized coordinates and data points on the GIM grid.

between 7 and 18 TECU. Similarly, Figures 2i-2l and 2m-2p provide GIM for a quiet and a disturbed day of 2014 with maximum and minimum TEC values of 11.5 TECU and 75.10 TECU, respectively. The highest TEC value recorded on the day of 2009 with the geomagnetic disturbance is lower than the lowest TEC value obtained for the quiet day of 2014. The TEC values for the disturbed day, especially at noon where the effect of the Sun is at maximum, are significantly higher than the values corresponding to the remaining days and hours shown in Figure 2, indicating the difference in the behavior of the ionosphere on a period with high solar activity.

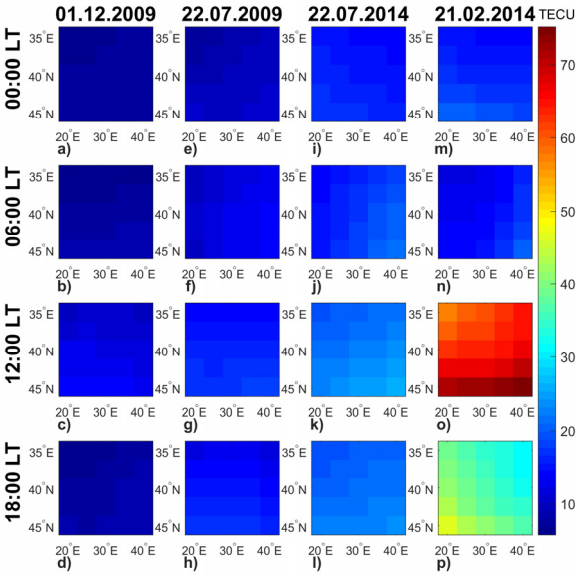


Figure 2. Four examples for GIM-TEC, a) to d): Quiet day, 2009; e) to h): Geomagnetic storm, 2009, i) to l): Quiet day, 2014; m) to p): Geomagnetic storm, 2014.

The daily Sunspot Numbers (SSN), Disturbance storm time index (Dst), planetary K-index (K_p) and Solar Radio Flux (F10.7) for 2009 and 2014 are plotted in Figure 3 in order to compare these two years in terms of proxies indicating solar activity (OMNIWeb, n.d.). According to Figure 3a, 2009 began with sunspot numbers less than 10 with a slight increase to 25 in June and July, and the highest values are observed between September and December (less than 50). There are significant periods of time with no sunspot numbers in 2009. The year of 2014, on the other hand, displays SSN values above 75 on the majority of the days with peak values around and above 200. The negative peaks of Dst values seen in Figure 3b are significantly lower for 2009 than for 2014 in both number of occurrences and in amplitude. There are 6 major TEC storms recorded for 2009 with durations ranging from 20 to 53 hours. In 2014, the number of major TEC storms is 17 with durations between 26 to 80 hours (IZMIRAN, n.d.). The negative peak around -80 nT for 2009 and -120 nT for 2014 correspond to the peak days of disturbances recorded on 22 July 2009 and 21 February 2014, respectively. The GIM for these days are shown in Figure 2. It can be noted that the number of negative peaks of Dst and their values for 2009 are significantly lower than those for 2014. In contrast to 2014, K_p values for 2009 generally remain under 3 in Figure 3c. Similarly, F10.7 values for 2009 provided in Figure 3d stay around 75 sfu while a severely oscillatory behavior

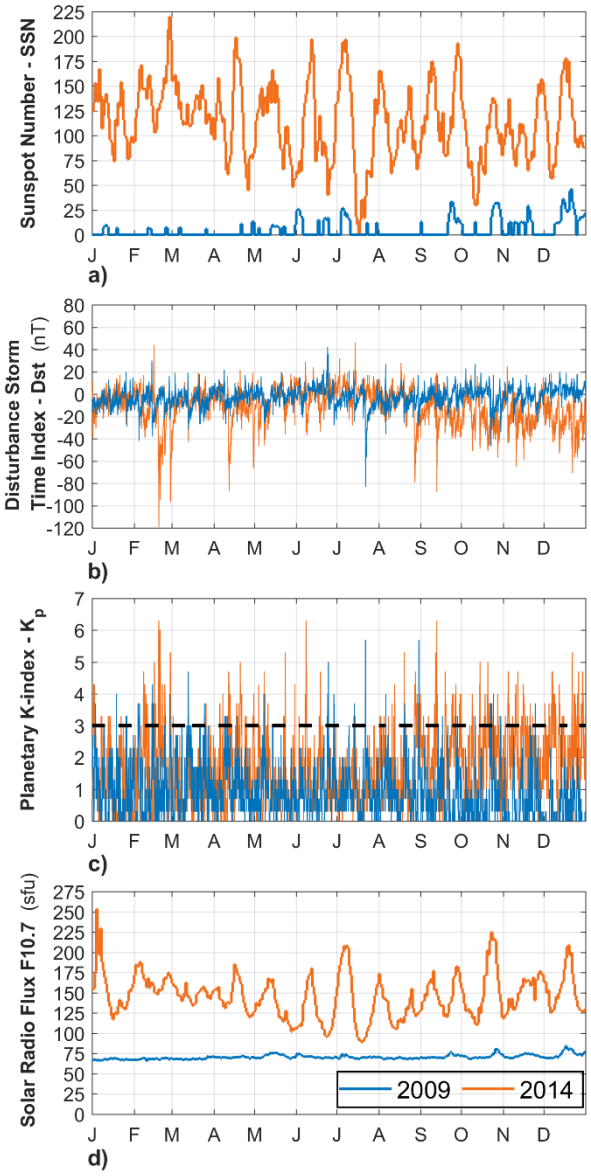


Figure 3. Solar geomagnetic indices for 2009 and 2014: a) SSN, b) Dst, c) K_p, d) F10.7.

is observed for 2014 with values generally ranging between 100 and 250 sfu.

c. The Planar Trend Model

A planar model describing the trend in TEC distribution for a midlatitude region at normalized coordinates (θ', ϕ') and time t is of the form

$$\mu\,(\theta', \phi'; t) = a_\mu(t) + a_\theta(t)\theta' + a_\phi(t)\phi' \quad (1)$$

where $a_\mu(t)$, $a_\theta(t)$ and $a_\phi(t)$ are the model coefficients. $a_\mu(t)$ indicates the constant level of GIM-TEC and is in TECU. $a_\theta(t)$ and $a_\phi(t)$ are in TECU/° and represent the declination and inclination of the planar surface with respect to latitude and longitude, respectively. Defining the planar model matrix as

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & \theta'_1 & \phi'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \theta'_{n_g} & \phi'_{n_g} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \theta'_{N_g} & \phi'_{N_g} \end{bmatrix} \quad (2)$$

with $N_g = 25$, which is the number of sample points shown in Figure 1c, the discrete planar model of the midlatitude ionosphere at time index n_t can be expressed as in Eq. (3).

$$\mathbf{M}\mathbf{a}(n_t) = \mathbf{g}(n_t) \quad (3)$$

Here, $\mathbf{a}(n_t)$ denotes the discrete model coefficients in vector form. $\mathbf{g}(n_t)$ is the vector containing GIM-TEC values at all normalized grid coordinates (θ', ϕ') and time index n_t for the region depicted in Figure 1c.

$$\mathbf{a}(n_t) = [a_\mu(n_t) \quad a_\theta(n_t) \quad a_\phi(n_t)]^T \quad (4)$$

$$\mathbf{g}(n_t) = \left[g(\theta'_1, \phi'_1; n_t) \quad \cdots \quad g(\theta'_{N_g}, \phi'_{N_g}; n_t)\right]^T \quad (5)$$

The coefficients in Eq. 4 are estimated in the LS sense as:

$$\hat{\mathbf{a}}(n_t) = (\mathbf{M}^T\mathbf{M})^{-1}\mathbf{M}^T\mathbf{g}(n_t) \quad (6)$$

Using the estimated coefficients, an estimate of the model provided in Eq. 1 can be calculated at normalized coordinates (θ', ϕ').

$$\hat{\mu}\,(\theta', \phi'; n_t) = \hat{a}_\mu(n_t) + \hat{a}_\theta(n_t)\theta' + \hat{a}_\phi(n_t)\phi' \quad (7)$$

Considering all grid points in the region the discrete estimated map is given as follows:

$$\hat{\boldsymbol{\mu}}(n_t) = \left[\hat{\mu}(\theta'_1, \phi'_1; n_t) \quad \cdots \quad \hat{\mu}(\theta'_{N_g}, \phi'_{N_g}; n_t)\right]^T \quad (8)$$

The measure given below is used to assess the performance of the model and represents the difference between the estimated map in Eq. 8 and GIM-TEC. $\|\cdot\|_2^2$ denotes the square of the Euclidean or L_2 norm.

$$e_{\hat{\mu}}(n_t) = \frac{\|\hat{\boldsymbol{\mu}}(n_t) - \mathbf{g}(n_t)\|_2^2}{\|\mathbf{g}(n_t)\|_2^2} \times 100 \quad (9)$$

The results for the years 2009 and 2014 are presented in the following section.

3. RESULTS

The coefficients of the proposed planar trend model for the midlatitude region shown in Figure 1 are estimated in the LS sense using JPL GIM-TEC as described in the previous section. Since the temporal resolution of JPL-TEC is two hours, these coefficients, i.e. $\hat{a}_\mu$, $\hat{a}_\theta$ and $\hat{a}_\phi$, are obtained at every two hours on each day of the years 2009 and 2014. However, for simplicity, they are only shown at four different hours in local time (LT) with respect to the center coordinates, namely at 00:00 (midnight), 06:00 (sunrise), 12:00 (noon) and 18:00 (sunset), and are presented in Figure 4. As explained previously, $\hat{a}_\mu$ (first column) represents a constant average level. Positive and negative values of $\hat{a}_\theta$ (second column) indicate higher TEC values in the north (the plane is said to tilt toward south) and south (northern tilt) of the plane, respectively. Similarly, positive and negative values of $\hat{a}_\phi$ (third column) mean an increase in TEC toward east (western tilt) and west (eastern tilt) of the planar surface, respectively.

According to Figure 4a, the values of $\hat{a}_\mu$ are between 6 and 12 TECU for 2009. For 2014 the spread and the values are higher, between 10 and 29 TECU. The highest values are observed in May and October of 2009 and between April and August of 2014. While $\hat{a}_\theta$ values for 2009 remain mostly around zero indicating no north-south tilt of the planar surface, the estimates for 2014 indicate a significant northern tilt, except in winter months, despite the fact that the effect of the Sun is minimal at midnight. The tilt is more pronounced between March and July. No east-west tilt is observed for 2009 in Figure 4c, and the estimated planar surface for 2014 slightly tilts toward east during summer months.

There is a small increase in $\hat{a}_\mu$ values at 06:00 for both 2009 and 2014 according to Figure 4d. $\hat{a}_\theta$

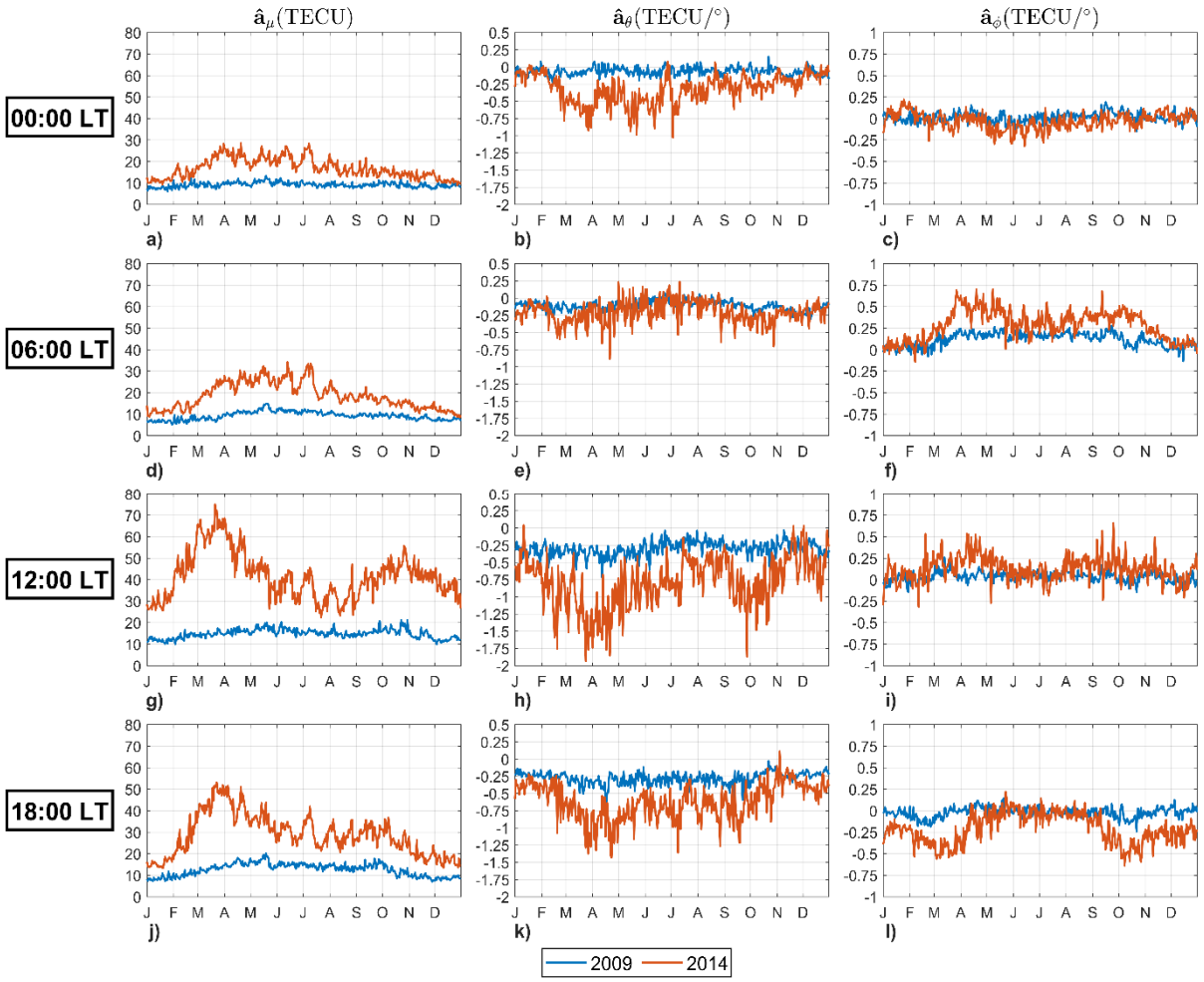


Figure 4. Estimated planar trend coefficients for the midlatitude region shown in Figure 1 using JPL GIM-TEC in 2009 and 2014.

in Figure 4e indicate that the estimated planar surfaces for both years tend to slightly tilt toward north during fall and spring equinoxes. The tilt is more apparent for 2014 and is minimum in summer months. Due to the Sun rising, positive $\hat{a}_\phi$ values are observed in Figure 4f for both years, as the TEC values start increasing toward east. This increase is more evident for 2014.

At noon, the effect of the Sun is at maximum, thus a significant increase in $\hat{a}_\mu$ can be observed in Figure 4g. While the average TEC value increases up to only 20 TECU for 2009, it peaks at 75 and 55 TECU during spring and fall equinoxes of 2014, respectively. A definite northern tilt for 2009 can be seen while the tilt for 2014 is very strong (Figure 4h). $\hat{a}_\phi$ values at noon indicate little to no east-west tilt for 2009 and a slight westerly tilt for 2009 in both equinoxes (Figure 4i).

For sunset hours shown in Figures 4j, 4k and 4l, the average TEC values for 2009 still remain generally between 10 and 20 TECU with peaks observed in May and September. For 2014, there is still a prominent increase in average TEC values between February and April. This level reduces slightly during the summer; another yet lower increase follows during the fall equinox. A northern tilt can be seen throughout the year for both 2009 and 2014, however the tilt is more distinctive in 2014, especially in equinoxes. The planar surface for 2009 tilts briefly toward east in February and October, and no east-west tilt is observed in the remainder of the year. In contrast, a prominent easterly tilt can be observed for 2014 even during winter months and the amount of tilt increases during both equinox periods. Similar to 2009, $\hat{a}_\phi$ values remain around zero during the summer.

The average TEC values ($\hat{a}_\mu$) tend to increase with increasing effect of the Sun. $\hat{a}_\phi$ for 2009 display peaked values in May and October, while for 2014 these peaks are observed in March and October. $\hat{a}_\phi$ values for 2014 are overall higher than those for 2009 since 2014 is a year with high solar activity, which is in agreement with the solar proxies previously shown in Figure 3. A similar result can be inferred for $\hat{a}_\theta$ and $\hat{a}_\phi$. The trends displayed in both 2009 and 2014 are similar, yet the effect of increased solar activity in 2014 manifests itself in coefficients with much larger values, thus indicating stronger north-south and east-west tilts.

A running 7-day median filter is applied to the estimated planar trend model coefficients for 2009 and 2014 and the results are shown in Figure 5. Each median is calculated over a sliding window of length 7 across neighboring elements of the coefficients estimated at midnight, sunrise, noon and sunset hours and presented in a similar fashion as in Figure 4. The 7-day median helps remove the effects of short-term deviations which are not normally a part of the trend and usually caused by magnetically disturbed conditions and allows to demonstrate the weekly dominant trend of TEC (Gulyaeva, Arikan and Stanislwska, 2014).

From Figure 5, the 27 days TEC oscillation due to solar rotation can easily be observed. This cycle of 27 days is particularly conspicuous in the $\hat{a}_\mu$ values for 2014, seen in the first column of Figure 5, as the amplitude and the spread of the data are higher than those for 2009. The amplitude of these oscillations appear to increase during summer months of 2014, especially in June and July. Oscillations in a comparable way stand out in the $\hat{a}_\theta$ and $\hat{a}_\phi$ values in the second and third columns of Figure 5, respectively, indicating the planar surface representing the ionosphere is tilted toward north and south, and east and west with the same periodicity throughout the year with varying degrees depending on the local time and thus the ionization due to the Sun.

Figure 6 shows the planar trend model coefficients passed through a running 27-day median filter, smoothing the effect of 27-day solar rotation (Gulyaeva, Stanislwska and Tomasik, 2008, Vita-Finzi 2009). The objective is to observe the dominant TEC trend of the midlatitude region of interest.

According to Figures 6a and 6d, when the effect of the Sun is low, that is at 00:00 and 06:00, an increase in $\hat{a}_\mu$ is noted between February and May. This level is kept roughly until July, at which point there is a decreasing trend of TEC during fall. At 12:00 and 18:00, on the other hand, the average TEC trend indicates two local maxima in both years. For 2009 these peak values occur in May and fall equinox, while for 2014 both peaks coincide with the spring and fall equinoxes. Figure 6b indicates that the planar surface displays a very small and almost constant level of northern tilt at midnight for 2009, yet there is a strong northern tilt in 2014 with sharply increasing values between February and March, continued until June. Starting from 06:00 until sunset (Figures 6f, 6i and 6l), the trend shows stronger northern tilts in equinoxes when compared to the remainder of the year in both years. $\hat{a}_\phi$ levels for 2009 at midnight (Figure 6c) remain almost constant around zero, whereas the planar surface representing the data

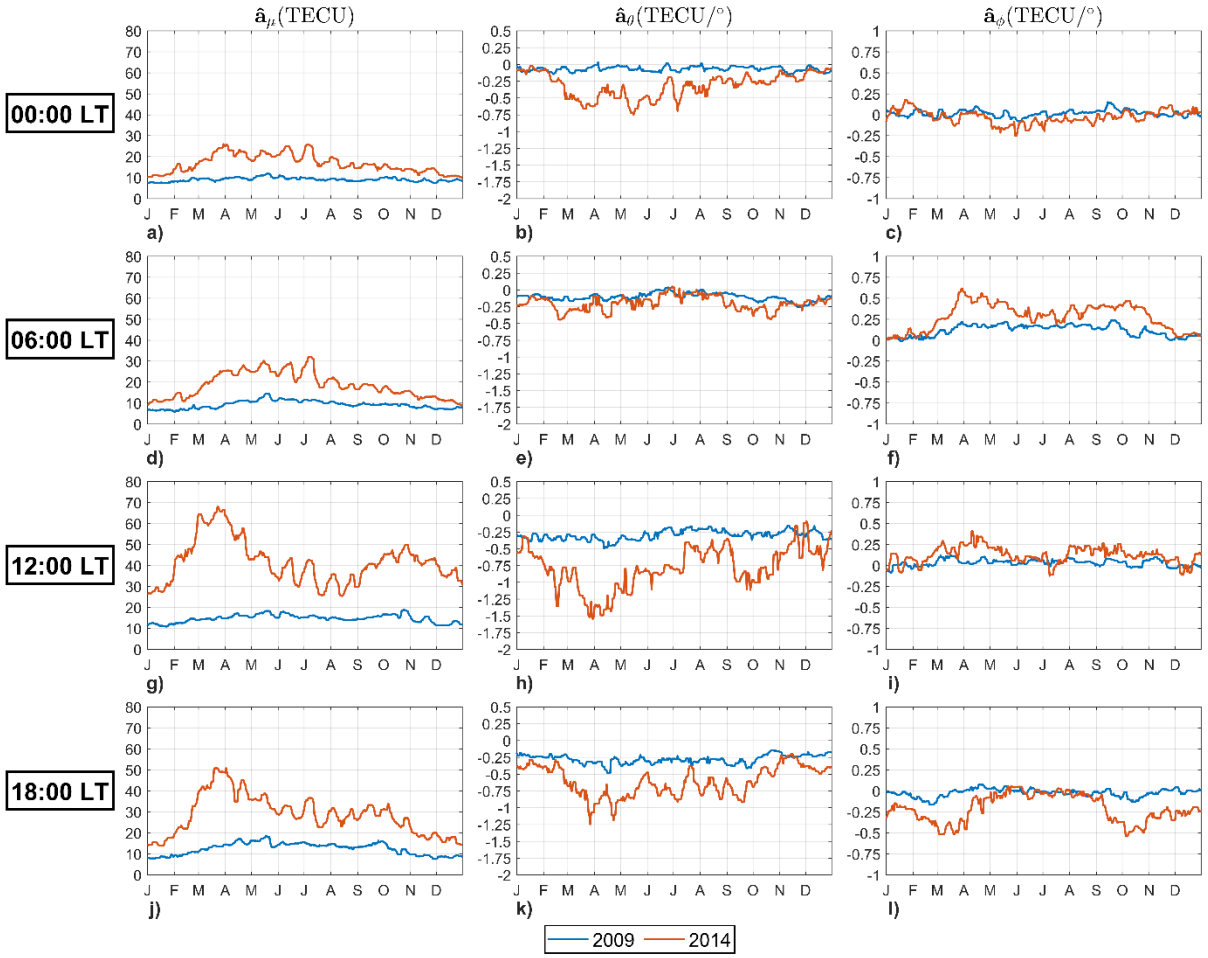


Figure 5. 7-day median values of the estimated planar trend coefficients shown in Figure 4.

for 2014 displays a slight eastern tilt between March and October, a weak western tilt in January and November and almost no tilt in December. At 06:00 (Figure 6f), the TEC values in both years are higher towards east, however, the plane for 2009 is tilted at a constant rate between April and September, but for 2014 this inclination towards west peaks during equinoxes. There is little to no east-west inclination in January and December in both years. At noon (Figure 6i), the $\hat{a}_{\phi}$ values for 2009 are around zero, meaning similar TEC values in the east-west direction. In 2014, on the other hand, a certain amount of westerly slant can be spotted in equinox seasons. As expected, the planar model indicates elevated TEC values towards west for both years at 18:00 in equinoxes, with larger coefficients in 2014. In summer months, the plane shows no east-west inclination as the effect of the Sun is still stronger in comparison.

Figure 7 provides the estimated planar trend model coefficients for the midlatitude region over Turkey and the Balkans, calculated at every two hours of every day of the years 2009 and 2014 using JPL GIM-TEC. The values obtained by applying a 7-day (solid black line) and 27-day (solid red for 2009 and solid blue for 2014) running median filter are also indicated on the same axes for each model coefficient. Upon comparing the $\hat{a}_{\mu}$ values for 2009 and 2014 given in Figures 7a and 7d, it is evident that, although the average TEC values are much higher in the solar maximum year of 2014 than in 2009, a semiannual trend is exhibited that manifests itself in two peak values in both years. The difference in the trends is that the maximum average TEC values in 2014 coincide with the spring equinox while it is recorded later in May for 2009. The second peak for both years has a lower value and they are both observed in the fall equinox. The 27-day oscillation of TEC can be noted in both years by examining the 7-day median values of the coefficients. The amplitude of oscillation is more prominent in May for 2009 and in summer months for 2014. The general trend of $\hat{a}_{\theta}$ values shown in Figures 7b and 7e indicate that these values for both years remain mostly negative, i.e. the TEC

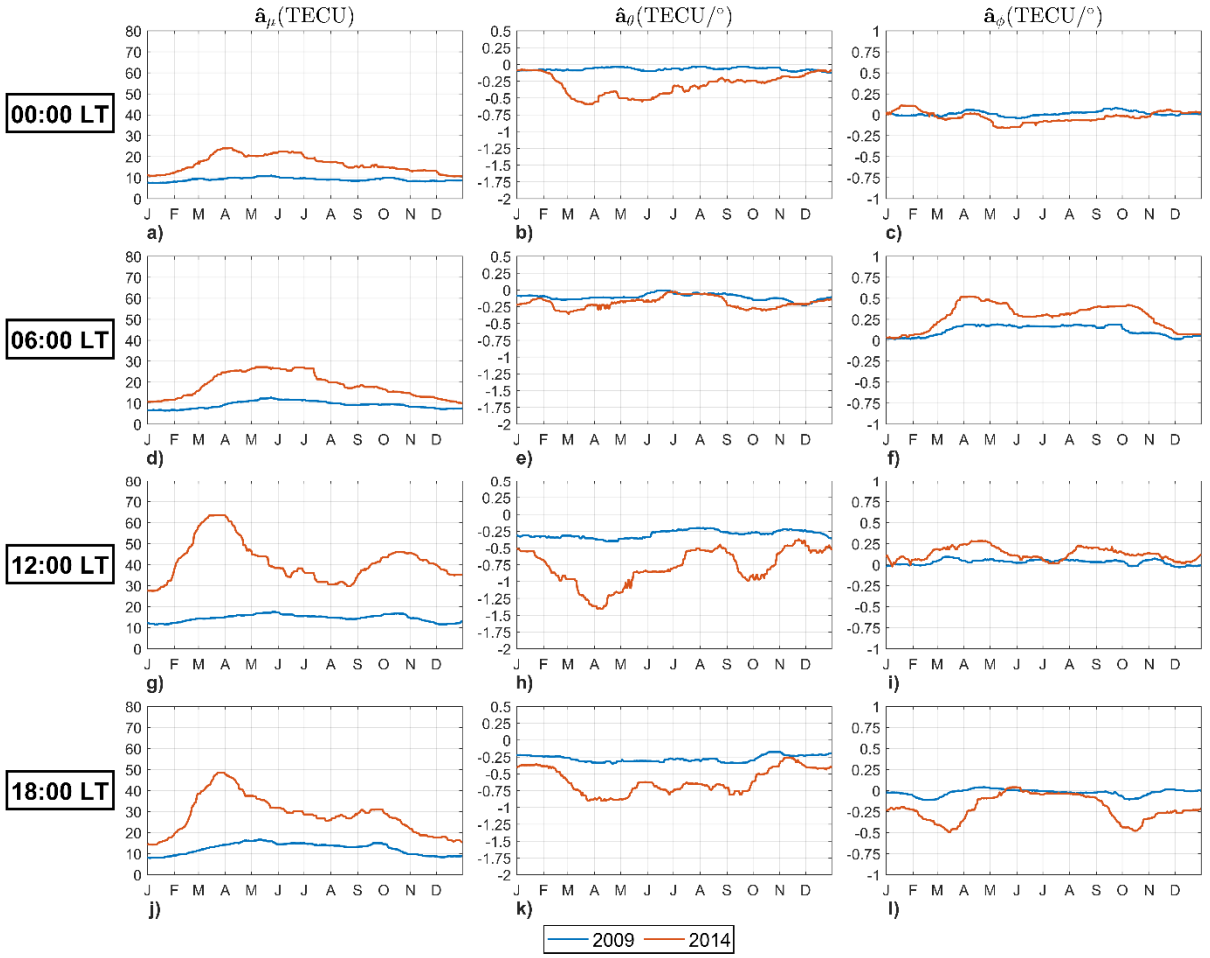


Figure 6. 27-day median values of the estimated planar trend coefficients shown in Figure 4.

values towards the south of the planar surface are higher than those towards north. This is an expected result for a midlatitude region in the northern hemisphere. The difference in the level of solar activity between both years causes generally a stronger inclination toward north in 2014. This inclination is particularly prominent in the spring equinox as seen in Figure 7e. $\hat{a}_\phi$ values estimated for 2009 and given in Figure 7c oscillate around zero with an amplitude of roughly 0.15 TECU/°. The weekly and monthly trends indicate the planar surface shows no east-west slant on the average during winter months and a slight inclination toward west between May and September. Similarly, the $\hat{a}_\phi$ values for 2014 (Figure 7f) also oscillate around zero due to the diurnal trend, yet the amplitude of oscillation becomes higher in equinox months indicating stronger east-west tilts at sunrise and sunset. Unlike in 2009, there is no significant inclination between May and September, however slight tilts towards west and towards east are noted in January and February, respectively.

In order to assess the performance of the planar trend model in representing the TEC in the midlatitude region chosen for this study, the performance measure given in Eq. 9 is calculated for 2009 and 2014 and presented in Figures 8a and 8b, respectively. For both years, the overall difference between the actual GIM-TEC values and those calculated using the estimated trend model coefficients remains below 0.1%, indicating a very good fit for the planar trend model in this region. The planar model represents the GIM-TEC data even better during summer months in both years with overall lower $e_{\hat{\mu}}$ levels. Several of the spikes in $e_{\hat{\mu}}$ values coincide with recorded geomagnetic storms listed in (IZMIRAN, n.d.). For instance, the spike close to 0.7% in February 2009 and the one close to 0.9% in October 2014 are both listed as strong geomagnetic storms. The deviation of the planar model from the actual GIM-TEC is slightly higher in equinox months resulting in several spikes in the $e_{\hat{\mu}}$ values, yet they rarely exceed 0.3%, overall indicating a very successful representation of the GIM-TEC data in both years.

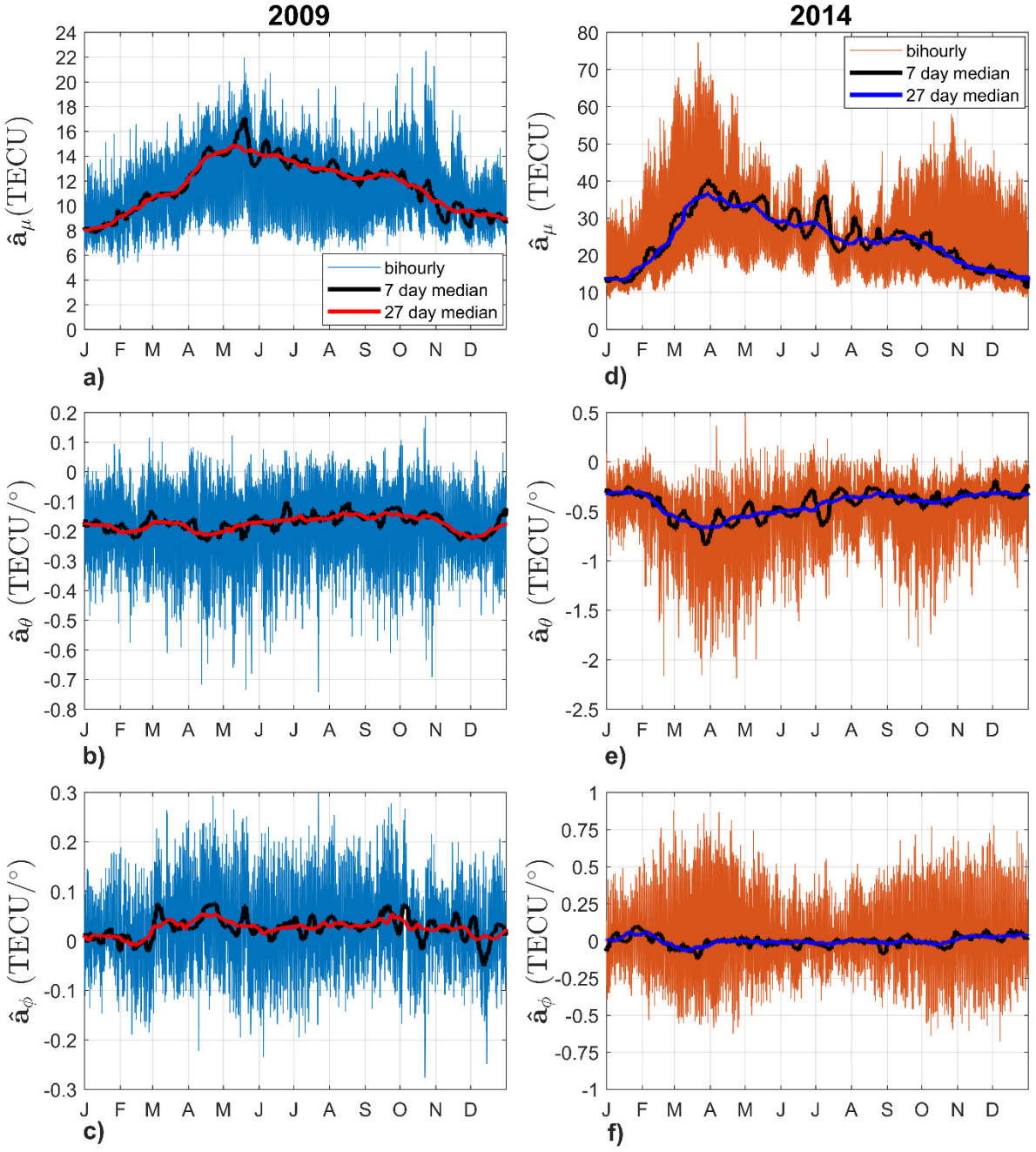


Figure 7. Planar trend model coefficients for the midlatitude region shown in Figure 1 estimated bihourly for one year: a) – c) Coefficients for 2009, d) – f) Coefficients for 2014.

4. CONCLUSIONS

In this study, the coefficients of a planar TEC trend model are estimated using JPL GIM-TEC The chosen area for this study is a 10° x 20° northern midlatitude region situated over Turkey and part of the Balkan countries. The estimation of the model coefficients is carried out in the LS sense. For the calculation of the model coefficients, the GIM-TEC data for the solar minimum and maximum years of the 24th solar cycle, namely 2009 and 2014, are considered. To better present the underlying trends, the weekly and monthly medians of the estimated coefficients are also analyzed. How well the planar model represents the TEC trend in the chosen region is assessed using a performance measure, in which the difference between the actual GIM-TEC values and those obtained using the estimated

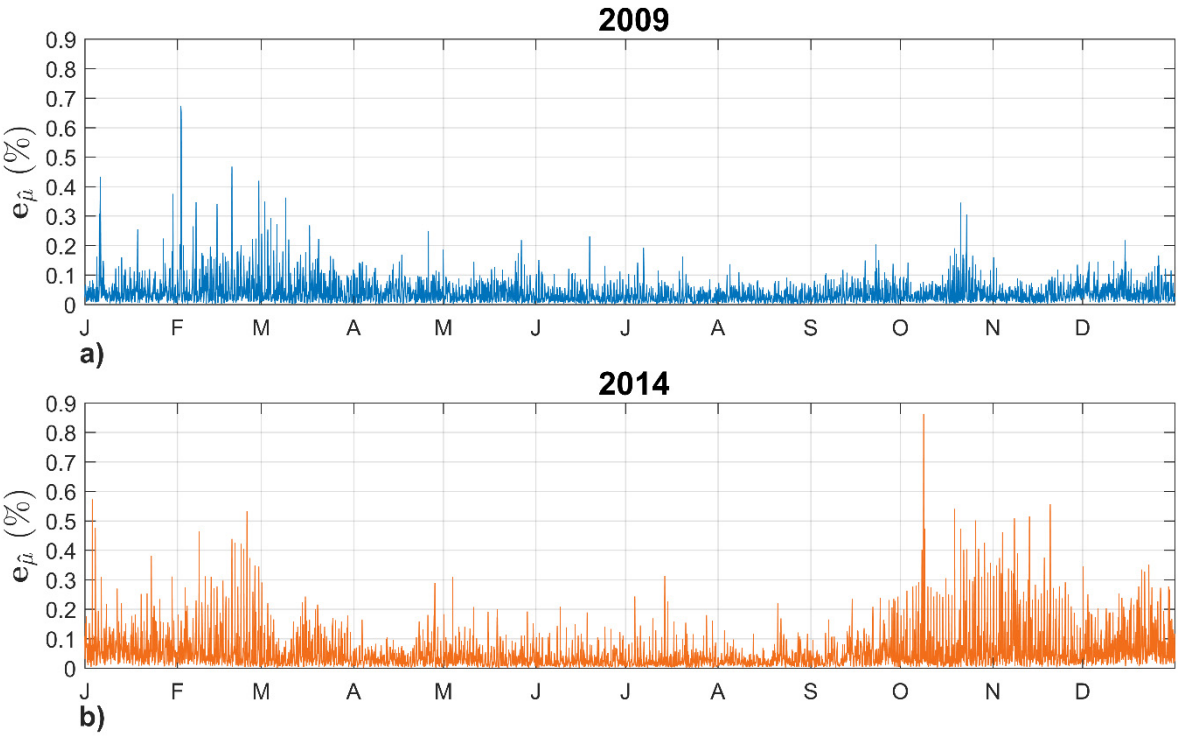


Figure 8. Percentage difference between GIM-TEC and estimated planar model: a) 2009, b) 2014.

model is calculated and presented in percentage for both years.

The planar trend model represents the chosen midlatitude region quite well in both 2009 and 2014. Although the levels of solar activity are very distinct between these two years, as apparent from the provided solar proxies, the differences between the TEC values calculated with the model and the actual GIM-TEC are substantially low, indicating a successful fit to the data for both years. In other words, the performance of the locally planar trend model for the midlatitude region does not depend on the level of solar activity; it provides a good estimation for the TEC trend under significantly different ionospheric conditions. The different TEC characteristics between 2009 and 2014 merely affect the numerical values and the spread of the estimated model coefficients. Both the average TEC values and coefficients representing the inclination in the north-south and east-west are in general higher for 2014 than those estimated for 2009. Yet in both extreme cases, the percentage difference between actual and estimated TEC mostly remains below 0.1% for both years, except during equinoxes and magnetically disturbed days. The performance measure for the planar trend model will be tested for different midlatitude regions and with different choices of region dimensions, and the results with be reported in future works.

The 7-day median eliminates the effects of the diurnal cycle and sudden deviations from the trends which are mostly caused by geomagnetic storms and reveal the 27-day oscillation in the TEC trend. This trend is especially visible in the coefficients for 2014 as their spread and values are higher when compared to 2009. The 27-day median, on the other hand, suppresses this oscillation and represents the dominant trend within the months of the years. Both in 2009 and 2014, seasonal and semiannual patterns are observed.

For 2009, the estimated average value of the trend model peaks around May and fall equinox, whereas both peaks in 2014 occur in the spring and fall equinoxes. Negative north-south inclination coefficients ($\hat{a}_\theta$) are estimated for both years as expected, since the chosen northern hemisphere region traces the maximum solar radiation along the equator. The highest tilts and spread occur at noon hours. Following the sunrise and sunset, the east-west tilt coefficient $\hat{a}_\phi$ oscillates around zero. For 2014, the values exceed ± 0.5 TECU/° during equinoxes and are lower during summer months. For 2009, the levels stay around ± 0.15 TECU/° throughout the year.

The temporal and spatial variability of the ionosphere is known to have significant effects on GNSS positioning. A more comprehensive and

elaborate TEC trend model will result in a better understanding of the ionosphere and thus help provide desired ionospheric corrections for applications such as precise point positioning (PPP), real-time kinematic (RTK) and network RTK. To that end, coefficients for a variety of midlatitude regions over a series of years will be estimated in future studies. The validity of the locally planar trend model will be evaluated for a full solar cycle and with different median filter windows, providing further insight on the temporal trend of the ionosphere. The results will then be used in building and improving statistical models toward prediction of TEC.

ORCID

Şölen KUMBAY YILDIZ https://orcid.org/0000-0003-4042-2374

REFERENCES

Cnossen, I. and Franzke, C. (2014). The role of the sun in long-term change in the f_oF_2 peak ionosphere: New insights from EEMD and numerical modeling. *Journal of Geophysical Research: Space Physics, 119*(10), 8610–8623. doi: 10.1002/2014JA020048

CDDIS. (n.d). *Ionosphere Total Electron Content (TEC) maps,* Retrieved November 20, 2019, from ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex/

Danilov, A. (2015). Seasonal and diurnal variations in f_oF_2 trends. *Journal of Geophysical Research: Space Physics, 120*(5), 3868-3882. doi: 10.1002/2014JA020971

Deviren, M. N., Arikan F. and Arikan O. (2013, April). *Investigation of ionospheric trend over Turkey using sliding window statistical analysis method*. 21st Signal Processing and Communications Applications Conference *(SIU), Haspolat, Turkey*. doi: 10.1109/SIU.2013.6531465

Fotiadis, D. N. and Kouris, S. S. (2006). A functional dependence of f_oF_2 variability on latitude. *Advances in Space Research, 37*(5), 1023-1028. doi: 10.1016/j.asr.2005.02.054

IZMIRAN. (n.d). *Catalogue of geomagnetic storms,* Retrieved November 20, 2019, from http://www.geocities.com/Athens/Olympus/9446/main.htm

Laštovička, J. (2005). On the role of solar and geomagnetic activity in long-term trends in the atmosphere-ionosphere system. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 67*(1-2), 83-92. doi: 10.1016/j.jastp.2004.07.019

Laštovička, J., Urbar, J. and Kozubek, M. (2017). Long-term trends in the total electron content. *Geophysical Research Letters, 44*(16), 8168–8172. doi: 10.1002/2017GL075063

Laštovička, J. (2017). A review of recent progress in trends in the upper atmosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 163*, 2-13. doi: 10.1016/j.jastp.2017.03.009

Lean, J., Emmert, J., Picone, J., & Meier, R. (2011). Global and regional trends in ionospheric total electron content. *Journal of Geophysical Research: Space Physics, 116*(A2). doi: 10.1029/2010JA016378

Mikhailov, A. and Marin, D. (2001). An interpretation of the f_oF_2 and h_mF_2 long-term trends in the framework of the geomagnetic control concept. *Annales Geophysicae, 19*(7), 733-748. doi: 10.5194/angeo-19-733-2001

OMNIWeb. (n.d). *Solar and geomagnetic indices,* Retrieved November 20, 2019, from https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html/

Rishbeth, H. and Mendillo, M. (2001). Patterns of F_2-layer variability. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 63*(15), 1661-1680. doi: 10.1016/S1364-6826(01)00036-0

Toker, C., Arikan F. and Arikan O. (2014, April). *Mathematical modeling of the plasma frequency-height profile of the ionosphere for HF communications*. 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference *(SIU), Trabzon, Turkey*. doi: 10.1109/SIU.2014.6830416

Toker, C., Gokdag Y. E., Arikan F. and Arikan O. (2012, April). *Application of modified particle swarm optimization method for parameter extraction of 2-D TEC mapping,* European Geophysical Union General Assembly, Vienna, Austria.

Turel, N. and Arikan, F. (2010). Probability density function estimation for characterizing hourly variability of ionospheric total electron content. *Radio Science, 45*(6), 1661-1680. doi: 10.1029/2009RS004345

Hassas Nokta Konumlama İçin Robust Kalman Filtresi Yöntemlerinin Analizi

(Analysis of Robust Kalman Filter Methods for Precise Point Positioning)

Berkay BAHADUR *, Metin NOHUTCU

Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Çankaya, Ankara

*Sorumlu yazar: berkaybahadur@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 09.03.2020 Kabul Tarihi (Accepted): 29.05.2020

ÖZ

Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) çözümlerinde bilinmeyenlerin tahmini için genellikle ideal kestirici olarak Kalman filtresi kullanılır. PPP için fonksiyonel ve stokastik modellerin uygun bir şekilde tanımlanması Kalman filtresinden daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi anlamına gelmektedir. Ancak ölçülerin ve bilinmeyen parametrelerin stokastik davranışlarını modelleyebilmek oldukça güçtür. Dahası ölçüler ve dinamik modeldeki kaba hatalar, düzeltilemeyen küçük faz kesiklikleri ve modellenemeyen donanım hataları Kalman filtresi performansını kötü yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukların filtre sonucuna etkisini en aza indirebilmek için robust Kalman filtresi yöntemleri kullanılmaktadır. Literatürde GNSS (Global Navigation Satellite System) uygulamalarında kullanılmış çeşitli robust Kalman filtresi yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmanın temel amacı PPP çözümlerine uygulanabilecek başlıca robust Kalman filtresi yöntemlerini tanıtmak ve ilgili yöntemlerin PPP konum belirleme performansına olan etkisini araştırmaktır. Bu amaçla çalışma kapsamında farklı robust yöntemler içeren beş farklı PPP filtreleme yaklaşımı oluşturulmuştur. Daha sonra 1-10 Eylül 2019 tarihleri arasında on IGS (International GNSS Service) istasyonunda toplanmış gözlem verileri beş farklı yaklaşımla ayrı ayrı işlenmiştir. İlgili yaklaşımlara ait PPP çözümleri konum doğruluğu ve yakınsama süresi açısından değerlendirilmiş ve sonuçlar robust Kalman filtresi kullanımının geleneksel Kalman filtresi ile kıyaslandığında PPP konum doğruluğunu iyileştirdiğini göstermiştir. Öte yandan sonuçlar incelendiğinde PPP performansının uygulanan robust Kalman filtresi modeline göre önemli değişiklikler gösterdiği görülmüştür. Son olarak, bu çalışmada iyileştirilmiş IGG III (Institute of Geodesy and Geophysics) fonksiyonunu içeren uyarlı robust Kalman filtresi hem statik hem de kinematik PPP çözümleri için en başarılı sonuçları üretmiştir.

Anahtar Kelimeler: *GNSS, GPS, Hassas Nokta Konumlama, PPP, Robust Kalman Filtresi, IGG III*

ABSTRACT

For estimating unknown parameters in Precise Point Positioning (PPP) solutions, the Kalman filter is usually used as an optimal estimator. Defining appropriate functional and stochastic models for PPP stands for acquiring more reliable results from the Kalman filter. However, it is very challenging to model the stochastic behavior of measurements and unknown parameters. Besides, gross errors in measurements and dynamic model, undetected small cycle slips and unmodelled hardware biases degrades the Kalman filter performance. Robust Kalman filter methods are utilized to minimize the negative influences of these drawbacks on the filter results. In the literature, there exist several robust Kalman filter methods that have been employed in GNSS (Global Navigation Satellite System) applications. The main objective of this study is to introduce the essential robust Kalman filter methods that can be applied to PPP solutions and to investigate their effects on the PPP positioning performance. For this purpose, five different PPP filtering approaches which include various robust methods were constructed as a part of this study. Then, the observation data collected at ten IGS (International GNSS Service) stations during ten days between September 1-10, 2019 were processed separately with these five different approaches. The PPP solutions obtained from the related approaches were assessed in terms of positioning error and convergence time and the results showed that the employment of robust Kalman filter improves the positioning accuracy of PPP compared with the traditional Kalman filter. Moreover, when the results were analyzed, it was observed that the PPP positioning performance alters significantly depending on the applied robust Kalman filter model. Finally, the adaptive robust Kalman filter method containing improved IGG III (Institute of Geodesy and Geophysics) function provided most successful solutions for both static and kinematic PPP solutions in this study.

Keywords: *GNSS, GPS, Precise Point Positioning, PPP, Robust Kalman Filter, IGG III*

1. GİRİŞ

Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) son yıllarda GNSS (Global Navigation Satellite System) topluluğu içinde oldukça ilgi çekici bir konu olmuştur. PPP, yalnızca tek bir alıcı kullanarak herhangi bir referans istasyona ihtiyaç duymadan yüksek konum doğruluğu sağlayabilmektedir. PPP tekniğinde uydu yörünge ve saat hataları küresel bir ağdan (ör. International GNSS Service, IGS) elde edilmiş hassas ürünler yardımıyla ortadan kaldırılır. Öte yandan çift-frekanslı kod ve faz ölçülerinin iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonları aracılığıyla iyonosfer etkisi büyük oranda giderilir. Bu sayede PPP tekniği kullanılarak santimetre veya milimetre seviyesinde

Atıf/To cite this article: Bahadur, B. ve Nohutcu, M. (2020). Hassas Nokta Konumlama İçin Robust Kalman Filtresi Yöntemlerinin Analizi. *Harita Dergisi,* 164, 29-42.

konum doğruluğuna erişmek mümkündür (Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins ve Webb, 1997; Kouba ve Héroux, 2001). Yüksek doğruluk sağlamasına ek olarak referans istasyon ihtiyacını ortadan kaldırması sonucu uygulamada getirdiği kolaylıklar nedeniyle PPP günümüzde birçok GNSS uygulamasında yoğun olarak kullanılmaktadır (Shi, Yuan, Cai ve Wang, 2017; Yigit ve Gurlek, 2017; Hernández-Pajares, Roma-Dollase, Garcia-Fernàndez, Orus-Perez ve García-Rigo, 2018; Krietemeyer, Ten Veldhuis, Van der Marel, Realini ve Van de Giesen, 2018; Paziewski, Sieradzki ve Baryla, 2018).

PPP ile doğru ve güvenilir çözüme ulaşabilmek için tahmin süreçlerinde fonksiyonel ve stokastik modellerin uygun bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. İlk olarak Zumberge ve diğerleri (1997) tarafından ortaya atılan ve ardından Kouba ve Héroux (2001) tarafından uygulanan fark alınmamış (undifferenced) iyonosferden bağımsız kod ve faz gözlemleri, PPP tekniği açısından en çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan fonksiyonel modeldir. Tahmin süreçlerinde kullanılan stokastik modeller üzerine ise birçok çalışma mevcuttur ve stokastik davranışların uygun bir şekilde belirlenmesi çözüm performansını önemli ölçüde etkilemektedir. PPP çözümlerinde bilinmeyen parametrelerin tahmini için genellikle ideal kestirici olarak Kalman filtresi kullanılmaktadır (Gelb, 1974; Kouba, Lahaye ve Tétreault, 2017). Kalman filtresinde ölçülerin ve bilinmeyen parametrelerin stokastik özelliklerinin iyi bir şekilde tanımlanması, daha doğru ve güvenilir bir çözüme ulaşılması anlamına gelmektedir. Ancak, bu stokastik özellikleri problemin doğasına uygun şekilde belirlemek oldukça güçtür. Diğer taraftan kaba hatalar, düzeltilemeyen küçük faz kesiklikleri (cycle slips) ve modellenemeyen donanım hataları da Kalman filtresinin performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Yang, 2006). Bir ölçünün içerdiği kaba hata o noktada bir sıçramaya neden olduğu gibi ayrıca ardı sıra gelen Kalman filtresi çözümlerini de etkileyecektir. Tüm bunların filtre sonucuna etkisini en aza indirebilmek için robust istatistiğe dayanan robust Kalman filtresi yöntemleri kullanılmaktadır (Yang, Song ve Xu, 2002; Yang, 2006). İlave olarak, uyarlı (adaptive) Kalman filtresi de ölçüler ile tahmini sistem dinamiklerinin bilinmeyen parametrelerin kestirimine olan katkısını dengelemek için sıklıkla başvurulan bir yöntemdir (Mohamed ve Schwarz, 1999).

Son zamanlarda yapılan birçok araştırma robust Kalman filtresi ve/veya uyarlı robust Kalman filtresi yöntemlerinin GNSS uygulamalarında başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir. Örneğin, Yang, He ve Xu (2001) çalışmalarında kullandıkları uyarlı robust Kalman filtresi yönteminin aykırı ölçülere ve öngörülemeyen model hatalarına geleneksel Kalman filtresi uygulamalarına göre daha dayanıklı olduğunu göstermişlerdir. Ding, Wang, Rizos ve Kinlyside (2007) kovaryans-temelli uyarlı Kalman filtresi modeli geliştirmiş ve bu modelin GPS/INS entegrasyonunda Kalman filtresi performansını önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna varmışlardır. Yine, Guo ve Zhang (2014) eşdeğer kovaryans matrisi ve uyar faktörü içeren yeni bir uyarlı robust Kalman filtresi yöntemi geliştirmişler ve bu yöntemin statik ve kinematik PPP çözümlerinde geleneksel Kalman filtresine göre daha yüksek konum doğruluğu sağladığını göstermişlerdir. Zhang, Zhao, Zhao ve Zhou (2018) ise araştırmalarında t-test istatistiklerini kullanarak geliştirdikleri iyileştirilmiş bir uyarlı robust Kalman filtresiyle GPS ve BeiDou gözlemlerini içeren PPP çözümünü, konum doğruluğu ve yakınsama süresi açısından iyileştirdiklerini ortaya koymuşlardır. Burada sunulan çalışmalara ilave olarak literatürde navigasyon amaçlı yürütülen birçok robust Kalman filtresi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda öne sürülen yöntemin başarısını ölçebilmek için geleneksel Kalman filtresinin sonuçlarıyla çeşitli açılardan kıyaslama yoluna gidilmiştir. Şimdiye dek robust yöntemlerin kendi aralarında performans değerlendirmesi yapılmamış ve hangisinin daha güvenilir ve doğru sonuç ürettiğine dair kayda değer bir çalışma bulunmamaktadır. Daha öncede belirtildiği üzere kullanılan tahmin yöntemi ve stokastik modellerin doğruluğu PPP tekniğinin konum belirleme performansını etkileyen önemli faktörlerin başında gelmektedir. Tüm bunlar göz önüne alınarak bu çalışmanın temel amacı PPP çözümlerine uygulanabilecek başlıca robust Kalman filtresi yöntemlerini tanıtmak ve farklı robust Kalman filtresi yöntemlerinin PPP performansına olan etkisini değerlendirmektir. Bu amaçla, farklı filtreleme yöntemleri kullanılarak PPP çözümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar konum doğruluğu ve yakınsama süresi açısından değerlendirilmiştir.

2. PPP İÇİN TEMEL MODELLER

Bu kısımda PPP çözümü için gerekli olan fonksiyonel ve stokastik modeller açıklanacaktır. Ayrıca bilinmeyen parametrelerin tahmini için kullanılacak genişletilmiş Kalman filtresi de geleneksel yaklaşıma uygun olarak sunulacaktır.

a. PPP Ölçü Modeli

Daha önce de ifade edildiği üzere standart PPP tekniğinin ölçü modelini çift-frekanslı kod ve faz ölçülerinin iyonosferden bağımsız (İB) lineer kombinasyonları oluşturmaktadır. Bu kombinasyonlar sayesinde GNSS sinyalleri üzerindeki iyonosfer etkisi büyük oranda ortadan kaldırılmış olur. Diğer taraftan PPP tekniğinde uydu yörünge ve saat hatalarını gidermek için genellikle IGS tarafından üretilen hassas uydu ürünleri kullanılmaktadır. IGS tarafından üretilen hassas uydu ürünleri İB lineer kombinasyonlar baz alınarak üretilirler. IGS ürünlerinde sunulan hassas uydu saat düzeltmeleri uydu saat hatalarına ek olarak uydu kod donanım hatalarını da içermektedir. Bu nedenle, PPP ölçü modelinde uydu kod donanım hataları uydu saat hatasına yüklenir ve hassas ürünler yardımıyla düzeltilir. Alıcı kod donanım hataları ise aralarındaki yüksek korelasyon nedeniyle alıcı saat hataları ile birlikte kestirilirler. IGS ürünleri arasında faz donanım hataları için ayrı ürünler bulunmamaktadır. Bundan dolayı, uydu ve alıcı faz donanım hataları genellikle belirsizlik parametresiyle birlikte tek bir bilinmeyen olarak tahmin edilir (Kouba ve Héroux, 2001; Steigenberger ve diğerleri, 2015). Sonuçta, çift-frekanslı kod (P) ve faz (L) gözlemleri için İB kombinasyon eşitlikleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$P_{IF,r}^{s,j} = \rho_r^{s,j} + \widetilde{cdt}_r^s - \widetilde{cdT}^{s,j} + T_r^{s,j} + \varepsilon\left(P_{IF,r}^{s,j}\right) \quad (1)$$

$$L_{IF,r}^{s,j} = \rho_r^{s,j} + \widetilde{cdt}_r^s - \widetilde{cdT}^{s,j} + T_r^{s,j} + \lambda_{IF}^s \widetilde{N}_{IF}^{s,j} + \varepsilon(L_{IF,r}^{s,j}) \quad (2)$$

burada

$$\widetilde{cdt}_r^s = (cdt_r^s + b_{IF,r}^s) \quad (3)$$

$$\widetilde{cdT}^{s,j} = (cdT^{s,j} + b_{IF}^{s,j}) \quad (4)$$

$$\widetilde{N}_{IF}^{s,j} = N_{IF}^{s,j} + (B_{IF,r}^s - b_{IF,r}^s) - (B_{IF}^{s,j} - b_{IF}^{s,j}) \quad (5)$$

ayrıca r, s ve j sırasıyla alıcıyı, GNSS indeksini ve uydu numarasını, $\rho_r^{s,j}$ geometrik mesafeyi, c ışık hızını, $T_r^{s,j}$ troposferik gecikmeyi, $N_{IF}^{s,j}$ ve λ_i^s sırasıyla belirsizlik parametresi ve İB lineer kombinasyonunun dalga boyunu, ε gürültüyü, cdt_r^s ve $cdT^{s,j}$ sırasıyla alıcı ve uydu saat hatasını, $b_{IF,r}^s$ ve $b_{IF}^{s,j}$ İB lineer kombinasyon için alıcı ve uydu kod donanım hatalarını, $B_{IF,r}^s$ ve $B_{IF}^{s,j}$ ise İB lineer kombinasyon için alıcı ve uydu faz donanım hatalarını ifade etmektedir. Son olarak, $\widetilde{cdt}_r^s$ ve $\widetilde{cdT}^{s,j}$ saat hatalarına ek olarak donanım hatalarını da içerdikleri için sırasıyla yeniden düzenlenmiş alıcı ve uydu saat hatalarını; $\widetilde{N}_{IF}^{s,j}$ ise İB lineer kombinasyonu için düzenlenmiş belirsizlik parametresini ifade etmektedir.

Yukarıda verilen eşitlikler standart PPP yaklaşımının fonksiyonel modelini oluşturmaktadır. Burada, üç konum bileşeni, bir alıcı saat hatası, bir troposferik gecikme ve gözlemlenen her uydu için bir belirsizlik parametresi bilinmeyen parametreler olarak nitelendirilir ve tahmin sürecinde kestirilir. PPP çözümünde diğer uydu jeodezisi tekniklerinde olduğu gibi troposferin kuru ve ıslak kısımları ayrı ayrı değerlendirilir (Davis, Elgered, Niell ve Kuehn, 1993). Troposferik gecikmenin kuru bileşeni standart modeller yardımıyla düzeltilebilirken, ıslak bileşeni modellemek su buharı değişimlerindeki düzensizlikler nedeniyle oldukça güçtür. Bu nedenle PPP çözümünde yalnızca troposferik sinyal gecikmesinin ıslak bileşeni bilinmeyen olarak kestirilir.

b. Genişletilmiş Kalman Filtresi ve Stokastik Model

Standart En Küçük Kareler (EKK) yaklaşımına ek olarak, ortak bilinmeyenlere sahip birden fazla ölçü grubu ardışık dengeleme kullanılarak da kestirilebilir. Bu sayede ölçü sayısının artmasıyla birlikte artan işlem yükü azaltılmaya çalışılır. Ancak ardışık EKK dengelemesi bilinmeyen parametrelerin zamanla değişmediği kabulüne dayanmaktadır. Ardışık EKK dengelemesi bilinmeyen parametrelerin zamana bağlı değişimi göz önüne alınarak Kalman filtresi olarak genelleştirilebilir (Leick, Rapoport ve Tatarnikov 2015).

Lineer olmayan bir sistemde genişletilmiş Kalman filtresi için bilinmeyenler ve gözlem eşitlikleri şu şekilde ifade edilebilir (Kalman, 1960; Gelb, 1974):

$$\boldsymbol{x_k} = f(\boldsymbol{x_{k-1}}) + \boldsymbol{w_k} \quad (6)$$

$$\boldsymbol{y_k} = h(\boldsymbol{x_k}) + \boldsymbol{v_k} \quad (7)$$

burada $\boldsymbol{x_k}$ ve $\boldsymbol{y_k}$ sırasıyla bilinmeyen parametreleri içeren durum vektörü ve gözlem vektörünü; $f(\boldsymbol{x})$ ve $h(\boldsymbol{x})$ sırasıyla sistem dinamik ve gözlem modellerini; $\boldsymbol{w_k}$ ve $\boldsymbol{v_k}$ ise sistem ve gözlem modelleri için korelasyonsuz beyaz gürültü vektörlerini ifade etmektedir.

Durum vektörü ($\boldsymbol{x}$) ve onun kovaryans matrisi ($\boldsymbol{P_x}$), herhangi bir (t_k) epoğunda gözlem vektörü

($\boldsymbol{y}$) yardımıyla genişletilmiş Kalman filtresi kullanılarak aşağıdaki şekilde tahmin edilebilir:

$$\overline{\boldsymbol{x}}_k = \boldsymbol{F}_{k,k-1}\widehat{\boldsymbol{x}}_{k-1} \quad (8)$$

$$\boldsymbol{P}_{\overline{x}_k} = \boldsymbol{F}_{k,k-1}\boldsymbol{P}_{\widehat{x}_{k-1}}\boldsymbol{F}_{k,k-1}^T + \boldsymbol{Q}_{k,k-1} \quad (9)$$

$$\boldsymbol{K}_k = \boldsymbol{P}_{\overline{x}_k}\boldsymbol{H}_k^T(\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{P}_{\overline{x}_k}\boldsymbol{H}_k^T + \boldsymbol{R}_k)^{-1} \quad (10)$$

$$\widehat{\boldsymbol{x}}_k = \overline{\boldsymbol{x}}_k + \boldsymbol{K}_k(\boldsymbol{y}_k - h(\overline{\boldsymbol{x}}_k)) \quad (11)$$

$$\boldsymbol{P}_{\widehat{x}_k} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{K}_k\boldsymbol{H}_k)\boldsymbol{P}_{\overline{x}_k} \quad (12)$$

burada $\widehat{\boldsymbol{x}}_k$ ve $\boldsymbol{P}_{\widehat{x}_k}$, t_k epoğunda kestirilen durum vektörünü ve onun kovaryans matrisini; $\boldsymbol{F}_{k,k-1}$ ve $\boldsymbol{Q}_{k,k-1}$ sırasıyla geçiş matrisini ve sistem gürültüsünü ($\boldsymbol{w}_k$) t_{k-1} epoğundan t_k epoğuna taşıyan kovaryans matrisini ifade eder. Ayrıca, $\overline{\boldsymbol{x}}_k$ ve $\boldsymbol{P}_{\overline{x}_k}$ öncül olarak tahmin edilmiş durum vektörü ve onun kovaryans matrisini göstermektedir. $\boldsymbol{H}_k$ kısmi türevlerden (Jacobian) oluşan dizayn matrisini, $\boldsymbol{R}_k$ ölçülerin kovaryans matrisini ve son olarak $\boldsymbol{K}_k$ Kalman kazanç matrisini ifade etmektedir.

PPP çözümü için durum vektörü bir önceki bölümde tanıtılan ölçü modelinde yer alan bilinmeyen parametrelerden oluşur. Pozisyon bileşenleri statik değerlendirmede sabit kabul edilirken, kinematik değerlendirmede hareketin zamana göre değişimi mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Alıcı saat hatası ve troposferik gecikme Kalman filtresinde rastlantısal yürüyüş (random walk) olarak tahmin edilir. Belirsizlik parametreleri ise ilgili uyduya ait gözlem kesilmediği sürece sabit olarak kabul edilir ve tam sayı özelliğini kaybettiği için ondalık bir sayı olarak kestirilir (Cai ve Gao, 2013).

Kalman filtresinde ölçülerin stokastik davranışı ölçülerin kovaryans matrisi ($\boldsymbol{R}_k$) ile ifade edilir. Standart PPP yaklaşımı için fark alınmamış (undifferenced) gözlemler kullanıldığından ölçüler birbiriyle ilişkisiz kabul edilir ve ölçülerin kovaryans matrisi yalnızca köşegen elemanları, diğer bir deyişle ölçülerin varyans değerlerini içerecek şekilde oluşturulur. GNSS ölçüleri için kod gözlemlerinin faz gözlemlerine göre daha düşük hassasiyete sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla standart GNSS uygulamalarında kod ölçüleri ile faz ölçüleri arasındaki ağırlık oranı en az 1:100 olacak şekilde belirlenir (Zhang ve diğerleri, 2018). Son olarak, PPP çalışmalarında kod ve faz ölçülerine standart olarak uyduların yükselim açısına bağlı bir fonksiyona göre ağırlık verilmektedir (Cai ve Gao, 2013). Bu çalışmada, ağırlıklandırmada kullanılan varyans değerleri literatürde yaygın biçimde kullanılan fonksiyonların başında gelen kosinüs fonksiyonuna bağlı olarak belirlenmiştir (Guo ve Zhang, 2014; Zhang ve diğerleri, 2018):

$$\sigma^2 = a^2 + b^2 cos^2 E$$

burada σ^2 ilgili gözlem için varyans değerini, E yükselim açısını, a ve b ise deneysel katsayı değerlerini göstermektedir. Örneğin, a ve b katsayıları faz ölçüleri için 0.003 m olarak seçilebilir (Guo ve Zhang, 2014).

3. ROBUST KALMAN FİLTRE MODELLERİ

Geleneksel Kalman filtresi, gözlemlerin içerisinde yer alan aykırı değerlere oldukça duyarlıdır ve bu durum sonuçları etkileyen önemli bir faktördür. Diğer taraftan, dinamik model hataları da özellikle kinematik çözümlerde Kalman filtresi performansını etkileyen önemli etkenler arasında yer almaktadır. Bunların filtre performansı üzerine etkisini en aza indirmek ve Kalman filtresinden en ideal çözümü elde edebilmek için robust istatistik yöntemleri Kalman filtresine entegre edilir (Yang ve diğerleri, 2001; Guo ve Zhang, 2014). Geleneksel Kalman filtresinde ölçü ağırlıkları ya da bir başka deyişle ölçülerin varyans-kovaryans matrisi öncül kabullere uygun olarak sabit kabul edilir. Öte yandan, ölçülerin ağırlıkları elde edilen düzeltme değerlerine göre yeniden ayarlanabilir. Bu şekilde gerçekleştirilen kestirime robust Kalman filtresi adı verilir. Robust kalman filtresinde, geleneksel yaklaşımda olduğu gibi ölçüleri reddetmek ya da kabul etmek yerine ölçülere 0 ile 1 arasında değişen ağırlıklar atanmaktadır. Bu yeniden ağırlıklandırma işlemi ise robust kestirim adı verilen sürekli fonksiyonlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir (Koch ve Yang, 1998).

Genel yaklaşım olarak, robust Kalman filtresinin geleneksel Kalman filtresinden farkı Kalman kazanç matrisinin hesaplanma şeklidir. Robust Kalman filtresinde Kalman kazanç ($\overline{\boldsymbol{K}}_k$) matrisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\overline{\boldsymbol{K}}_k = \frac{1}{a_k}\boldsymbol{P}_{\overline{x}_k}\boldsymbol{H}_k^T(\frac{1}{a_k}\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{P}_{\overline{x}_k}\boldsymbol{H}_k^T + \overline{\boldsymbol{R}}_k)^{-1} \quad (13)$$

burada $\overline{\boldsymbol{R}}_k$ ölçüler için robust istatistiğe dayanan eşdeğer kovaryans matrisi, a_k ise uyar faktörünü ifade etmektedir. Eşdeğer kovaryans matrisi aracılığıyla ölçüler yeniden ağırlıklandırılır ve bu sayede ölçülerin içindeki aykırı değerlerin çözüme etkisi ortadan kaldırılır. Uyar faktörü ise ölçüler ile sistem dinamiğine ait öncül değerlerin filtre sonuçlarına olan katkısını dengelemek ve böylece

beklenmeyen model hatalarının önüne geçmek için kullanılır. Bu çalışma kapsamında PPP çözümü için değerlendirilecek olan robust tahmin modelleri bu bölümde açıklanacaktır.

a. IGG III Fonksiyonu

PPP çalışmalarında uygulanan robust Kalman filtresi yöntemleri arasında IGG III (Institute of Geodesy and Geophysics) fonksiyonu eşdeğer kovaryans matrisi hesaplamak için kullanılan en yaygın fonksiyonların başında gelmektedir. Yapılan çalışmalar, IGG III fonksiyonunu temel alan robust Kalman filtresi yöntemlerinin PPP çalışmalarında başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir (Guo ve Zhang, 2014; Cao, Li, Zhang, Pan ve Kuang, 2018; Fu ve diğerleri, 2019). IGG III fonksiyonunda ölçülerin varyans değerleri şu şekilde hesaplanır (Yang ve diğerleri, 2002):

$$\bar{\boldsymbol{R}}_i = \boldsymbol{R}_i / \gamma_i \tag{14}$$

$$\gamma_i = \begin{cases} 1 & |\tilde{v}_i| \le k_0 \\ \frac{k_0}{|\tilde{v}_i|}\left(\frac{k_1 - |\tilde{v}_i|}{k_1 - k_0}\right) & k_0 < |\tilde{v}_i| \le k_1 \\ 0 & |\tilde{v}_i| > k_1 \end{cases} \tag{15}$$

burada γ_i varyans etki faktörünü, $\tilde{v}_i$ standartlaştırılmış düzeltme değerini, k_0 ve k_1 iki eşik değerini ifade eder. Genellikle k_0 1 ile 3 arasında; k_1 ise 3 ile 8 arasında bir değer olarak seçilir. Standartlaştırılmış düzeltme değerleri:

$$\tilde{v}_i = \frac{v_i}{\sqrt{\hat{\sigma}_0^2 Q_{v_i}}} \tag{16}$$

şeklinde hesaplanır. Burada, v_i ve Q_{v_i} ilgili ölçüye ait düzeltme ve onun varyans değerini gösterir. $\hat{\sigma}_0^2$ birim ölçünün varyans değerini ifade eder ve genelleştirilmiş en küçük kareler yaklaşımına göre şu şekilde hesaplanır:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{Q}_{\boldsymbol{\varepsilon}}^{-1} \boldsymbol{\varepsilon}}{n} \tag{17}$$

burada $\boldsymbol{\varepsilon}$ öncül düzeltme vektörünü (innovations) ifade eder ve Kalman filtresi için $\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{y}_k - h(\bar{\boldsymbol{x}}_k)$ şeklinde hesaplanır. İlgili kovaryans matrisi ise $\boldsymbol{Q}_{\boldsymbol{\varepsilon}} = \boldsymbol{H}_k \boldsymbol{P}_{\bar{x}_k} \boldsymbol{H}_k^T + \boldsymbol{R}_k$ şeklinde bulunur.

Yukarıdaki eşitliklerden anlaşılacağı üzere IGG III fonksiyonu üç kısma ayrılır: düzeltme yeteri kadar küçükse eşdeğer varyans orijinal varyans değeri olarak seçilir; düzeltme değer kabul edilebilir düzeyde yüksek ise orijinal varyans bir etki faktörü ile yumuşatılarak kullanılır ve son olarak düzeltme kabul edilemeyecek kadar yüksekse eşdeğer varyans sonsuza yaklaştırılır bir diğer deyişle oldukça yüksek bir değer atanarak etkisiz hale getirilir.

b. t-test İstatistik Bazlı Sınıflandırma Fonksiyonu

Bu robust yaklaşımda, IGG III modelinde olduğu gibi kritik eşik değerleri için sabit değerler seçmek yerine t-test istatistik değerlerine bağlı ağırlıklandırma benimsenmiştir. t-test bazlı sınıflandırma fonksiyonu şu şekilde hesaplanır (Zhang ve diğerleri, 2018):

$$\bar{\boldsymbol{R}}_i = \boldsymbol{R}_i / \gamma_i \tag{18}$$

$$\gamma_i = \begin{cases} 1 & T_i \le t_0(a_0, \tau) \\ \frac{t_0}{T_i}\left(\frac{t_1 - T_i}{t_1 - t_0}\right) & t_0(a_0, \tau) < T_i \le t_1(a_1, \tau) \\ 0 & T_i > t_1(a_1, \tau) \end{cases} \tag{19}$$

burada γ_i varyans etki faktörünü, t_0 ve t_1 ise a_0 ve a_1 güven derecelerine göre hesaplanmış t-test katsayılarını gösterir ve genelde sırasıyla 0,1 ve 0,01 olarak kullanılır. $\tau = n - 1$ ise serbestlik derecesini ifade eder. T_i sınıflandırmada kullanılacak t-test istatistiğini belirtir ve şu şekilde hesaplanır:

$$T_i = \frac{\left|\tilde{v}_i - \frac{1}{n-1}\sum_{\substack{k=1 \\ k \ne i}}^{n} \tilde{v}_k\right|}{\left|\frac{1}{n-2}\sum_{\substack{k=1 \\ k \ne i}}^{n}\left(\tilde{v}_i - \frac{1}{n-1}\sum_{\substack{k=1 \\ k \ne i}}^{n} \tilde{v}_k\right)\right|} \tag{20}$$

burada $\tilde{v}_i$ i indeksli ölçü için standartlaştırılmış düzeltme değerini ve n toplam ölçü sayısını ifade eder.

c. Öncül Düzeltme Bazlı Uyar Faktör Fonksiyonu

Ölçü sayısının bilinmeyen sayısından az olsa dahi çalışabilmesi ve yoğun bir hesap yükü getirmemesinden ötürü, öncül düzeltmeler (innovations) sıklıkla uyar faktörü belirlemek için kullanılır. Öncül düzeltme bazlı uyar faktörü (a_k) şu şekilde hesaplanır (Guo ve Zhang, 2014):

$$a_k = \begin{cases} 1 & |\tilde{v}_k| \le c_0 \\ \frac{k_0}{|\tilde{v}_k|}\left(\frac{k_1 - |\tilde{v}_k|}{k_1 - k_0}\right) & c_0 < |\tilde{v}_k| \le c_1 \\ 0 & |\tilde{v}_k| > c_1 \end{cases} \tag{21}$$

burada c_0 ve c_1 sabit eşik değerleridir ve bu değerler genellikle c_0 için 1,5 ve 3, c_1 için ise 3 ile 8 arasında seçilir. $\tilde{v}_k$ öncül düzeltme

değerlerinden hesaplanan istatistik değeridir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\tilde{v}_k = \frac{\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon}}{\sqrt{tr(\boldsymbol{Q}_{\boldsymbol{\varepsilon}})}} \quad (22)$$

burada $\boldsymbol{\varepsilon}$ öncül düzeltme vektörünü ve onun kovaryans matrisini belirtir. tr ise ilgili kovaryans matrisin köşegen elemanlarının toplamı anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, uyar faktörü 0 ile 1 arasında bir değer olarak belirlenir ve ölçüler ile sistem dinamiğine ait öncül değerlerinin filtre tahminine olan katkısını dengelemek için kullanılır. Yukarıdaki eşitliklerden de görüleceği üzere uyar faktörü ölçü hatalarından etkileneceği için uyar faktörü hesaplanmadan önce ölçüler içinde aykırı değerlerin olmadığından emin olmak gerekmektedir.

4. TEST VE ANALİZLER

Bu çalışma kapsamında robust Kalman filtresi yöntemlerinin PPP performansı üzerine olan etkisini inceleyebilmek için çeşitli test ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bir önceki bölümde tanıtılan robust modeller çerçevesinde beş değişik yaklaşım oluşturulmuş ve bu yaklaşımlar temelinde PPP çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlerden elde edilen sonuçlar ve gerçekleştirilen analizler bu bölümde kapsamlı bir şekilde sunulacaktır. Sonuç ve analizlere ek olarak oluşturulan yaklaşımların detayları, PPP çözümlerine kullanılan veri seti ve işlem strateji yine detaylarıyla bu bölümde açıklanacaktır.

PPP performansını test edebilmek için oluşturulan yaklaşımlar aşağıda sıralanmıştır:

Yaklaşım 1: Geleneksel Kalman filtresi uygulanmıştır (GKF).

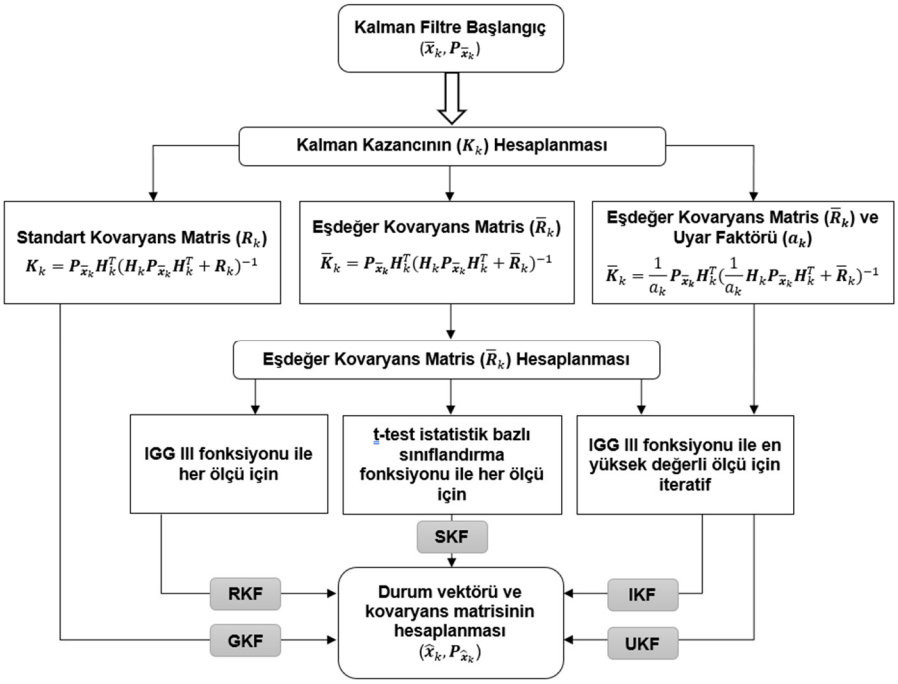
Yaklaşım 2: IGG III fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir ölçü için düzeltme değerlerine göre oluşturulan eşdeğer kovaryans matrisini içeren robust Kalman filtresi uygulanmıştır (RKF).

Yaklaşım 3: t-test bazlı sınıflandırma fonksiyonu kullanılarak oluşturulan eşdeğer kovaryans matrisi robust Kalman filtresinde kullanılmıştır (SKF).

Yaklaşım 4: IGG III fonksiyonu kullanılmıştır. Ancak Yaklaşım 2'den farklı olarak her ölçü için düzeltme değerlerine göre eşdeğer kovaryans matris oluşturmak yerine en büyük düzeltme değerine sahip ölçüden başlanarak iteratif bir prosedür uygulanmıştır. Her bir iterasyonda en büyük standartlaştırılmış düzeltme değerine sahip ölçü için IGG III fonksiyonu kullanılarak eşdeğer varyans değeri oluşturulmuştur. Bu şekilde büyük düzeltme değerine sahip ölçülerin diğer ölçülere etkisini en aza indirmek amaçlanmıştır. Bu yaklaşım çalışma boyunca iyileştirilmiş IGG III fonksiyonu olarak adlandırılacaktır (IKF).

Yaklaşım 5: İyileştirilmiş IGG III fonksiyonu ile birlikte öncül düzeltmeler baz alınarak uyar faktörü belirlenmiştir ve bu şekilde uyarlı robust Kalman filtresi uygulanmıştır (UKF).

Şekil 1 çalışma kapsamında oluşturulan beş farklı PPP değerlendirme yaklaşımını ve işlem detaylarını göstermektedir.



Şekil 1. Çalışma kapsamında oluşturulan beş farklı değerlendirme yaklaşımına ait akış şeması.

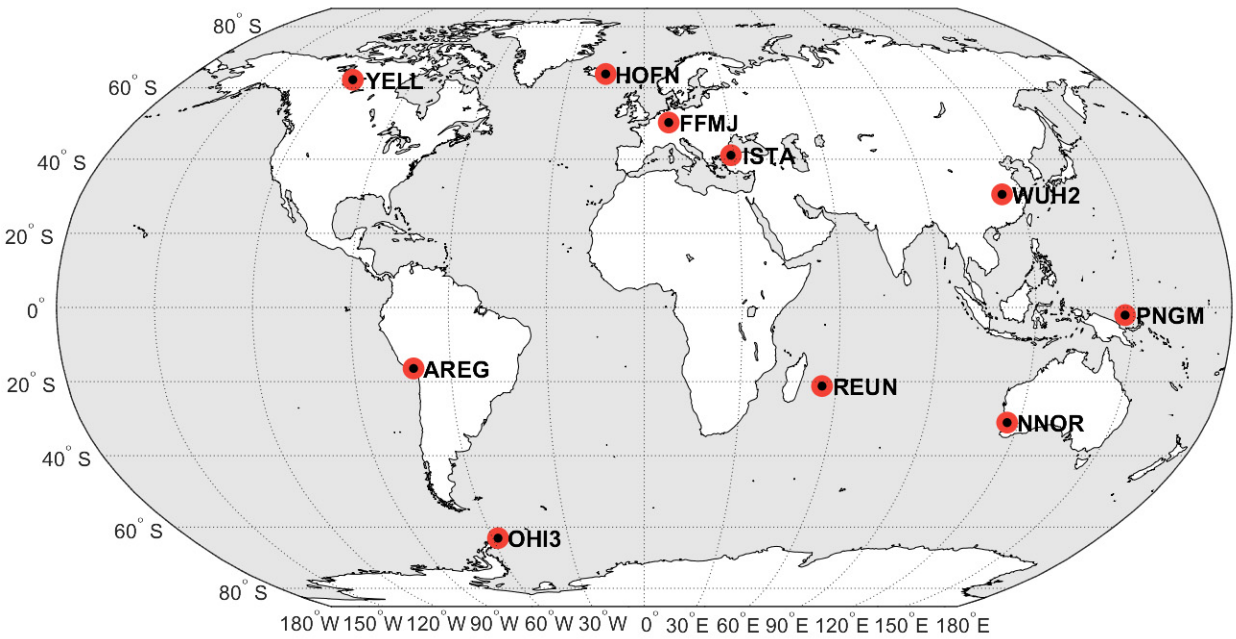
PPP çözümleri için 1-10 Eylül 2019 tarihleri arasındaki 10 günlük dönem için toplamda 10 farklı IGS istasyondan toplanmış 24 saatlik gözlem dosyaları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan 10 istasyon coğrafi konumları göz önünde bulundurularak ve enlem ve/veya boylamda mümkün olduğunca eşit dağılım sağlayacak şekilde rasgele seçilmiştir. İlgili istasyonlar coğrafi konumları ile birlikte Şekil 2'de sunulmuştur. Gözlem dosyalarının veri aralığı 30 saniyedir. Ayrıca, PPP çözümleri için GFZ (Geo Forschungs Zentrum Potsdam) tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat ürünleri kullanılmıştır. GFZ yörünge ürünlerinin veri aralığı 300 saniye, saat ürünlerinin veri aralığı ise 30 saniyedir.

Uygulama kapsamında PPP çözümlerini gerçekleştirmek üzere PPPH yazılımının genişletilmiş bir versiyonu kullanılmıştır. PPPH, çoklu-GNSS çözümü gerçekleştirebilen tamamen açık-kaynak kodlu bir GNSS analiz yazılımıdır (Bahadur ve Nohutcu, 2018). PPPH bir önceki bölümlerde açıklanan standart PPP ölçü modeline uygun olarak farklı navigasyon sistemlerini içeren çoklu-GNSS PPP çözümleri gerçekleştirebilmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen çözümler için PPPH yazılımında uygulanan temel işlem stratejileri Tablo-1'de detaylı olarak sunulmuştur.

PPP çözümlerinden elde edilen sonuçlar konum doğruluğu ve yakınsama süresi açısından değerlendirilmiştir. Sonuçları konum doğruluğu açısından değerlendirebilmek için IGS haftalık çözümlerinde sunulan hassas istasyon koordinatları gerçek istasyon koordinatları olarak kabul edilmiştir. İlgili PPP çözümünden elde edilen istasyon koordinatları ile gerçek istasyon koordinatları arasındaki fark alınarak konum hatası hesaplanmıştır. Konum hataları lokal koordinat sisteminde kuzey, doğu ve yukarı (K, D, Y) bileşenlerin yanı sıra üç boyutlu (3B) toplam konum hatası olarak hesaplanmıştır. Yakınsama süresi ise 3B konum hatasının 10 cm altına düştüğü ve yakınsadığından emin olmak için sonraki 15 dakika boyunca 10 cm üstüne çıkmadığı an olarak tanımlanmıştır. Son olarak karesel ortalama hata (KOH), yine lokal koordinat sisteminde ilgili çözüme ait ilk bir saat (PPP için ortalama yakınsama süresi) içindeki epoklar dışında kalan tüm epoklar dikkate alınarak IGS tarafından sunulan istasyon koordinatlarından olan farkların karelerinin ortalamasının karekökü şeklinde hesaplanmıştır:

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}{n}} \tag{23}$$

burada ε ilgili epoktaki hata bileşenini ve n değeri ise ilk bir saat dışarıda bırakıldıktan sonraki gözlem epoğu sayısını göstermektedir. Örneğin 30 saniye aralıklı bir günlük gözlem verisi için n 2760 değerine eşittir.



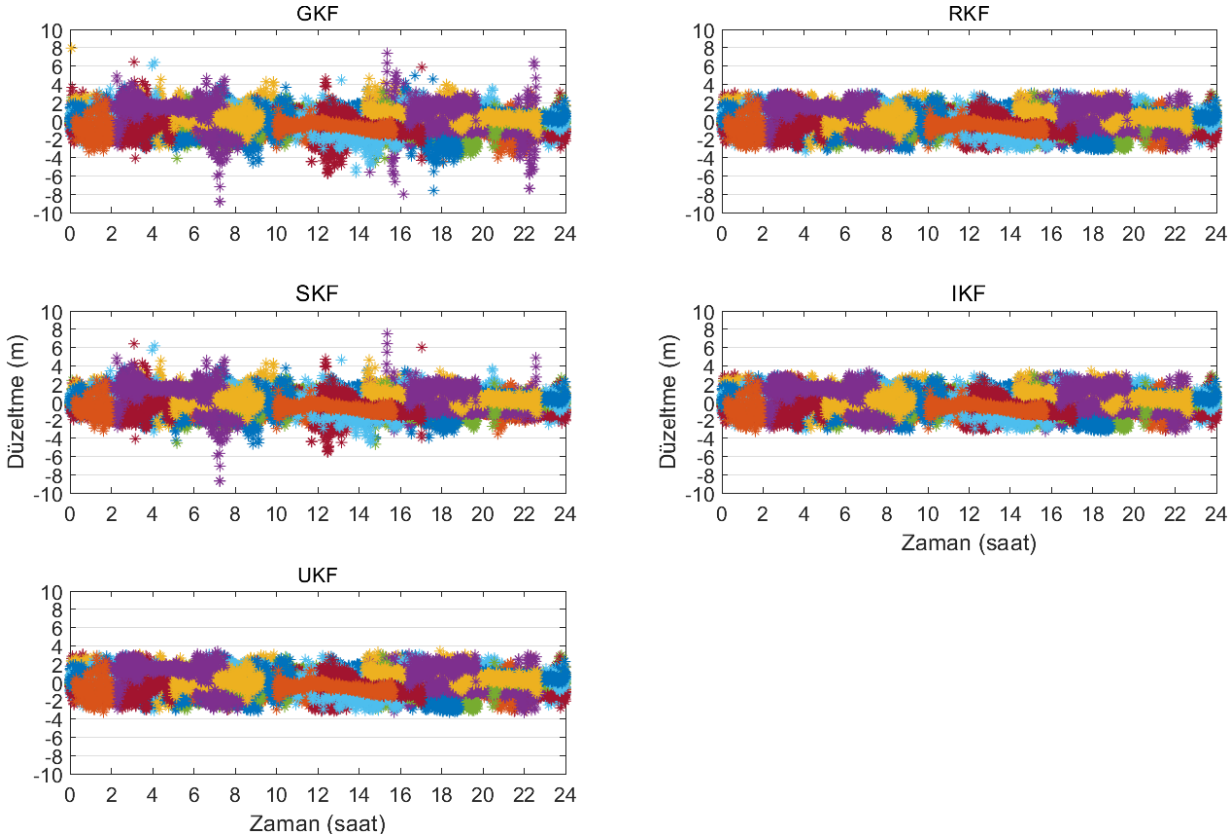
Şekil 2. Uygulamada kullanılan IGS istasyonlarının coğrafi konumları.

Tablo 1. Çalışma kapsamındaki PPP çözümleri için uygulanan temel işlem stratejileri.

Kullanılan yazılım	PPPH
Uydu yörünge ve saat bilgisi	GFZ final ürünü
Sistem	GPS
Gözlemler	Fark alınmamış iyonosferden bağımsız faz ve kod gözlemleri
Uydu anten faz merkezi düzeltmesi ve değişimi	IGS mutlak anten modeli, Galileo ve BeiDou için veri mevcut değilse standart değerler (Rizos ve diğerleri, 2013)
Alıcı anten faz merkezi düzeltmesi ve değişimi	IGS mutlak anten modeli (Antex), Galileo ve BeiDou için veri mevcut değilse GPS değerler
Rölativistik düzeltmeler	Uygulandı (Kouba, 2015)
Faz dönüklüğü düzeltmesi	Uygulandı (Wu, Wu, Hajj, Bertiger ve Lichten, 1993)
Katı yer gelgiti ve okyanus yüklemesi	Uygulandı (Petit ve Luzum, 2010)
Yükselim açısı	8°
Gözlem ağırlıkları	Yükselim açısına göre, korelasyonsuz
Gözlemlerin standart sapmaları	Faz gözlemi: 0,003 m (başucu doğrultusunda) Kod gözlemi: 0,3 m (başucu doğrultusunda)

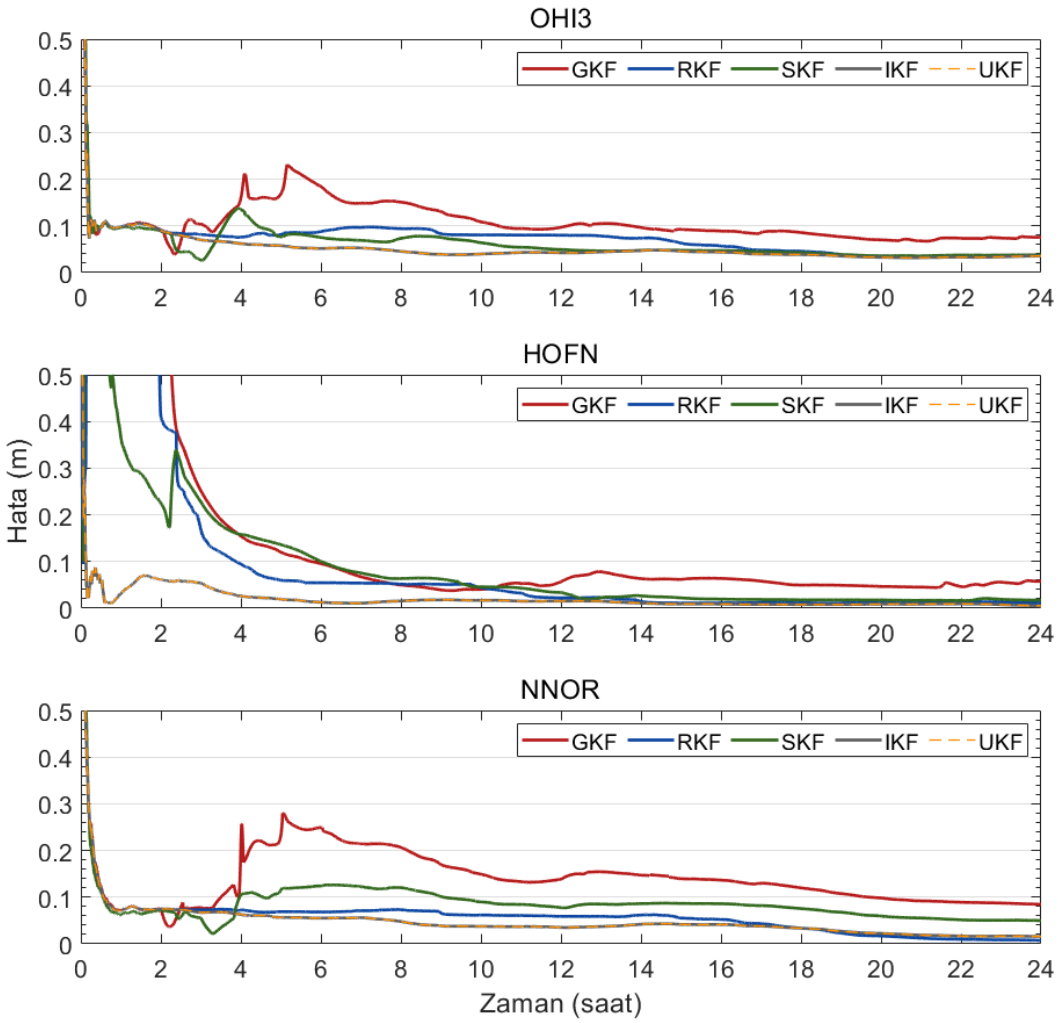
Filtre performansını değerlendirebilmek için kullanılabilecek bir diğer ölçüt ise ölçülere gelen düzeltme değerleridir. Düzeltme değerleri aslında ölçülerin tanımlanan sistem modeline ne kadar iyi uyduğuna dair bir göstergedir. Eğer düzeltme değerleri büyükse ölçüler ile model arasında uyumsuzluk mevcuttur ve bu durum bilinmeyen parametrelerin daha düşük doğrulukla tahmin edilmesine neden olur. Şekil 3, beş farklı PPP yaklaşımı için OHI3 istasyonuna ait 1 Eylül tarihli gözlem verisi kullanılarak gerçekleştirilen statik PPP çözümlerinden elde edilen kod ölçülerine ait standartlaştırılmış düzeltme değerlerini sunmaktadır. Ölçülerdeki aykırı değerler ya da modeldeki tutarsızlıklar doğrudan düzeltme değerlerine yansımakta ve düzeltme değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır. Şekilden görüleceği üzere geleneksel Kalman filtresi ölçülerdeki aykırı değerlere ve model hatalarına karşı herhangi bir önlem içermediği için ilgili tutarsızlıklar doğrudan düzeltme değerlerine yansımıştır. Robust yaklaşımlarda ise eşdeğer kovaryans matrisler aracılığıyla ölçülerin ağırlıkları yeniden tanımlanmaktadır. İlgili ağırlık fonksiyonları sayesinde ölçüler arasındaki tutarsızlıkların ve modelden kaynaklanan hataların tahmin sürecine etkisi en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Robust yaklaşımların düzeltme değerleri büyük oranda ilgili tutarsızlıkların etkilerinden arındırılmıştır ve bu durum Şekil 3'de açıkça görülmektedir. Ancak, t-test bazlı sınıflandırma fonksiyonu içeren üçüncü yaklaşıma ait düzeltme değerlerinde belirli oranda aykırı değerlerin etkisinin giderilmediğini gözlemlenmektedir. Bu durum, ilgili yaklaşımın ölçü ve modeldeki tutarsızlıkları tespit etmede belirli noktalarda zorluklar yaşadığına işaret etmektedir.

Şekil 4, her bir yaklaşım için OHI3 istasyonuna ait 1 Eylül tarihli ve HOFN ve NNOR istasyonlarına ait 2 Eylül tarihli gözlem dosyaları kullanılarak gerçekleştirilen statik PPP çözümlerinden elde edilen 3B konum hatalarının zamana bağlı değişimlerini göstermektedir. Şekilden görüleceği üzere seçilen filtreleme yöntemi PPP çözümü sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Ölçü tutarsızlıkları ve model hataları uygun bir şekilde tespit edilmediğinde çözümü kötü yönde etkilemekte ve hatalı şekilde yakınsamasına neden olmaktadır. GKF yaklaşımının uygulandığı PPP çözümleri bu noktada herhangi bir önlem içermediği için en kötü konum belirleme performansını göstermektedir. OHI3 ve NNOR istasyonlarına ait sonuçlar incelendiğinde aykırı ölçüler ve model hatalarının bulundukları epok ve sonrasında konum belirleme performansını kötü yönde etkilediği görülmektedir. Bu iki istasyon için SKF yaklaşımının uygulandığı çözümlerde tutarsızlıkların çözüme etkisi önemli ölçüde giderilmiş olmasına rağmen halen aykırı değerlerin tespiti noktasında sonucu etkileyecek düzeyde problemlerin olduğu gözlenmektedir. RKF yaklaşımına ait çözümlerde ise ilgili yaklaşımın büyük oranda tutarsızlıkların etkisini ortadan kaldırdığı görülmektedir. Bu istasyonlara ait çözümlerden IKF ve UKF yaklaşımlarını uygulayan çözümlerin en iyi konum belirleme performansına sahip olduğu görülmektedir. HOFN istasyonuna ait çözüme gelindiğinde ise IKF ve UKF yaklaşımları dışındaki tüm çözümlerin aykırı değerlerden etkilendiği görülmektedir. Bu durum ilgili yaklaşımlara ait PPP çözümlerinde yakınsama süresini ciddi oranda uzatmış ve konum belirleme performansını kötü yönde etkilemiştir. Bunun temel nedeni başlangıçta özellikle PPP çözümünün yakınsaması için gerek duyulan ilk bir saat içindeki ölçü ve model hatalarının filtre performansına olumsuz etkisidir.



Şekil 3. 1 Eylül tarihi için OHI3 istasyonunun beş farklı PPP çözümünden elde edilen kod gözlemlerine ait düzeltme değerleri (Farklı uydular farklı renklerle gösterilmiştir.).

Tablo 2, yukarıda tanıtılan 10 günlük dönem için 10 farklı IGS istasyonuna ait gözlem dosyalarının statik modda işlenmesi sonucu beş farklı PPP yaklaşımı için ayrı ayrı hesaplanmış ortalama konum hatası, KOH değerleri ve yakınsama sürelerini göstermektedir. Konum hatası ve KOH değerleri lokal koordinat sistemine ek olarak 3B (üç boyutlu) olarak da tabloda sunulmuştur. Konum hatası tüm istasyonlar göz önüne alınarak 24 saat sonunda elde edilen değerlerin mutlak ortalaması şeklinde hesaplanmıştır. Tablodan görüleceği üzere GKF yaklaşımı ölçü ve model hatalarına maruz kalması sebebiyle en yüksek konum hatası ve KOH değerlerine sahiptir. Özellikle PPP çözümü boyunca ani sıçramalar ve bunların filtre performansına süregelen etkisi nedeniyle bu çözümden yüksek KOH değerleri elde edilmiştir. Robust yaklaşımları içeren yaklaşımlar GKF ile karşılaştırıldığında konum belirleme performansını kayda değer ölçüde iyileştirmiştir. Robust yaklaşımlar arasında en yüksek konum hatası değerleri SKF yaklaşımının uygulandığı PPP çözümlerine aittir. Bunun en önemli nedeni Şekil 3'de sunulan düzeltme değerlerinde de görüleceği üzere bu yaklaşımın aykırı değerlerin ve model hatalarının tespitinde diğer yöntemler kadar başarılı olmayışıdır. Ancak yine de SKF yaklaşımı PPP çözümlerini GKF yaklaşımına göre önemli ölçüde iyileştirmiştir. RKF yaklaşımı SKF çözümlerinden 3B konum hatası anlamında yaklaşık %25 daha iyi konum belirleme performansı sağlamıştır. En düşük konum hatası ve KOH değerleri IKF ve UKF yaklaşımlarının uygulandığı PPP çözümlerinden elde edilmiştir. Sonuçlardan, RKF yaklaşımında olduğu gibi tüm ölçüleri göz önüne alarak ağırlık fonksiyonu uygulamak yerine en büyük düzeltme değerine sahip ölçüden başlayarak iteratif bir yöntemle ölçülere ağırlık verilmesinin daha sağlıklı olduğu görülmektedir. Özellikle KOH değerleri IKF yaklaşımına ait PPP çözümlerinde RKF'ye göre ciddi oranda azalmıştır. İlgili yaklaşımların yakınsama performansları da konum hatası ve KOH değerlerine benzerlik göstermektedir. En kötü yakınsama performansı GKF yaklaşımına aitken, IKF ve UKF yaklaşımlarını uygulayan PPP çözümleri GKF çözümlerine kıyasla yakınsama süresini yaklaşık %56 oranında kısaltmıştır.



Şekil 4. Beş farklı filtreleme yaklaşımı için OHI3, HOFN ve NNOR istasyonlarının statik PPP çözümlerinden elde edilen 3B konum hatalarının zamana bağlı değişimleri.

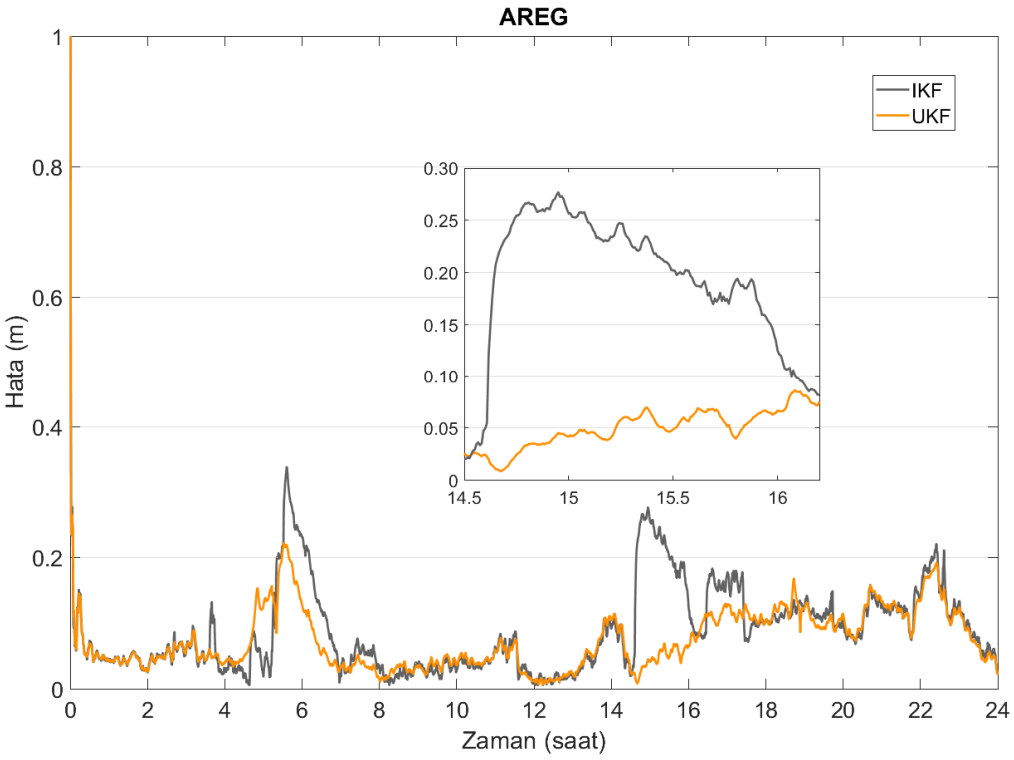
Tablo 2. Tüm istasyonların günlük gözlem dosyalarının statik modda işlenmesi sonucunda beş farklı PPP yaklaşımı için elde edilen ortalama konum hataları, KOH değerleri ve yakınsama süreleri.

Yaklaşım	Konum Hatası (mm)				KOH (mm)				Yakınsama Süresi (dk)
	K	D	Y	3B	K	D	Y	3B	
GKF	14,9	27,1	42,8	50,9	38,5	64,5	92,3	116,3	69,36
RKF	6,3	13,9	15,7	24,2	20,2	37,9	50,3	66,2	53,15
SKF	9,7	19,3	21,1	32,5	29,9	50,2	63,4	85,9	57,05
IKF	4,6	9,1	11,5	17,4	9,3	18,4	24,6	32,1	30,46
UKF	4,6	9,0	11,4	17,4	9,0	18,1	24,0	31,8	30,45

Tablo 2'den görüleceği üzere IKF ve UKF yaklaşımlarından elde edilen konum hatası, KOH değerleri ve yakınsam süreleri birbirlerine çok benzerdir. Bu iki yaklaşım arasındaki tek fark UKF yaklaşımında IKF yaklaşımına ek olarak uyar (adaptif) faktörün kullanılmasıdır. Uyar faktörü temel anlamda ölçülerin ve sistem modelinin bilinmeyen parametrelerin tahminine olan etkilerini dengelemek için kullanılır. Bu sayede özellikle sistem modelindeki hataların filtreleme performansı üzerine etkisi en aza indirilmiş olur. Daha önce belirtildiği gibi, yukarıda sunulan istatistiksel sonuçlar statik PPP çözümlerinden elde edilmiştir. Statik çözümlerde konum

bileşenleri sabit kabul edildiği için sistem modelinden kaynaklanan hataların sonuçlara yansıması oldukça güçtür. Diğer taraftan, kinematik PPP çözümlerinde dinamik modelden kaynaklı sistem hataları sonuçlar üzerinde önemli etkiye sahiptir. Dolayısıyla, IKF ve UKF yaklaşımlarının konum belirleme performansını daha kapsamlı bir şekilde değerlendirebilmek için aynı veri seti kullanılarak kinematik PPP çözümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5, IKF ve UKF yaklaşımları için AREG istasyonuna ait 1 Eylül tarihli günlük gözlem dosyası kullanılarak gerçekleştirilen PPP çözümlerinden elde edilen 3B konum hatalarının zamana bağlı değişimlerini göstermektedir. Şekilden görüleceği üzere uyar faktörü içeren UKF yaklaşımı dinamik sistem hatalarından IKF yaklaşımına göre daha az etkilenmektedir. Bu sayede UKF yaklaşımı IKF yaklaşımına kıyasla daha iyi konum belirleme performansına sahiptir.

Tablo 3, 10 günlük dönem için 10 farklı IGS istasyonuna ait gözlem dosyalarının kinematik modda işlenmesi sonucu IKF ve UKF PPP çözümlerinden elde edilen ortalama konum hatası ve KOH değerlerini göstermektedir. Kinematik PPP çözümlerinden elde edilen konum hatası ve KOH değerleri beklendiği üzere statik çözümlerden daha yüksektir. Tablodan görüleceği üzere uyar faktörü içeren UKF yaklaşımının konum belirleme performansı IKF yaklaşımına göre daha iyidir. Ortalama 3B konum hatası IKF yaklaşımı için 57,8 mm hesaplamışken, aynı değer UKF yaklaşımı için 51,6 mm olarak hesaplanmıştır. PPP çözümlerinde UKF yaklaşımının kullanılması, IKF yaklaşımına kıyasla 3B konum doğruluğunu yaklaşık %10 oranında iyileştirmiştir. Öte yandan, UKF çözümleri uyar faktörü sayesinde filtreleme aşamasında model hatalarından kaynaklı zamana bağlı salınımları en aza indirdiği için KOH değerleri IKF yaklaşımına kıyasla daha düşük hesaplanmıştır. Sonuç olarak, UKF ile IKF yaklaşımları arasında statik PPP çözümlerinde önemli bir fark yokken, kinematik çözümler açısından UKF çok daha iyi konum belirleme performansı sergilemektedir. Elde edilen sonuçlar UKF yaklaşımı uygulanan kinematik PPP çözümlerinin birçok konum belirleme uygulamasında ihtiyaç duyulan doğruluğu karşılayacak konumlama performansı üretebildiğini göstermiştir



Şekil 5. IKF ve UKF yaklaşımları için 1 Eylül tarihli AREG istasyonu gözlenmelerinin PPP çözümlerinden elde edilen 3B konum hatalarının gün içerisindeki değişimleri.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan tüm istasyon ve günler için IKF ve UKF yaklaşımlarına ait kinematik PPP çözümlerinden elde edilen ortalama konum hataları, KOH değerleri ve yakınsama süreleri.

Yaklaşım	Konum Hatası (mm)				KOH (mm)			
	K	D	Y	3B	K	D	Y	3B
IKF	23,9	27,8	34,9	57,8	83,8	96,1	120,2	175,2
UKF	20,3	23,2	32,3	51,6	51,3	61,7	107,1	133,7

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

PPP çözümlerinde yaygın olarak kullanılan Kalman filtresinin performansı çoğunlukla ölçülerdeki aykırı değerlerden ve model hatalarından etkilenmektedir. İlgili hataların konum belirleme performansına etkisini en aza indirebilmek için genellikle robust Kalman filtresi yöntemleri kullanılmaktadır. Robust Kalman filtresi ve/veya uyarlı robust Kalman filtresi geleneksel Kalman filtresinden farklı olarak eşdeğer kovaryans matris ve uyar faktörünü kullanmaktadır. Eşdeğer kovaryans matrisini oluşturmak için literatürde birçok farklı robust yaklaşım ve dolayısıyla ağırlık fonksiyonu mevcuttur. Kullanılan ağırlık fonksiyonu PPP tekniğinin sonuçlarını önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı farklı robust Kalman filtresi yöntemlerinin PPP performansına olan etkisinin araştırılması ve bu sayede ideal yaklaşımın belirlenmesidir.

Bu çalışma kapsamında yaygın kullanımı olan robust yöntemler ile beş farklı PPP yaklaşımı oluşturulmuş ve ilgili yaklaşımların PPP çözümlerine etkisi değerlendirilmiştir. Statik PPP çözümlerinde GKF, RKF, SKF, IKF ve UKF yaklaşımları için 3B konum hatası değerleri sırasıyla 50,9, 24,2, 32,5 17,4 ve 17,4 mm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, robust Kalman filtresi modellerinin geleneksel Kalman filtresine oranla çok daha iyi konum belirleme performansına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Robust Kalman filtresi yaklaşımları PPP performansını konum doğruluğuna ek olarak yakınsama süresi açısından da iyileştirmiştir. En iyi yakınsama performansına sahip IKF ve UKF yaklaşımları GKF yaklaşımına kıyasla PPP çözümlerinin yakınsama süresini yaklaşık %56 oranında kısaltmıştır. t-test bazlı sınıflandırma fonksiyonuna kıyasla IGG III fonksiyonu kullanıldığında PPP çözümlerinden daha yüksek doğruluğa sahip sonuçlar elde edilmektedir. RKF yaklaşımı uygulanan çözümler SKF çözümlerine kıyasla 3B konum hatası anlamında yaklaşık %25 daha iyi konum belirleme performansı sağlamıştır. t-test bazlı sınıflandırma fonksiyonunun aykırı değerlerin ve model hatalarının PPP çözümüne etkisini belirli ölçüde gideremediği sonuçlardan görülmektedir. Diğer taraftan, sonuçlar IGG III fonksiyonu kullanılarak her ölçü için ağırlıklandırma yapmak yerine, iteratif yeniden ağırlıklandırmalı yaklaşım ile ağırlık atanması durumunda PPP çözümlerinden daha iyi konum doğruluğu ve yakınsama performansı elde edildiğini ortaya koymuştur. Bu yaklaşım sayesinde normal denklem setinin yapısı korunmuş ve daha az doğruluğa sahip ölçülerin ağırlık fonksiyonunu etkilemesinin önüne geçilmiştir. Son olarak, iyileştirilmiş IGG III fonksiyonu ile birlikte uyar faktörünün kullanılması statik PPP çözümlerinde kayda değer bir etki yaratmazken kinematik PPP sonuçlarını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Kinematik PPP çözümlerinde UKF yaklaşımı IKF yaklaşımıyla kıyaslandığında konum doğruluğunu %10 oranında iyileştirmiştir. Dolayısıyla hem statik hem de kinematik PPP çözümleri göz önünde bulundurulduğunda iyileştirilmiş IGG III fonksiyonunu içeren uyarlı robust Kalman filtresi en başarılı sonuçları üretmiştir.

Bu çalışma, PPP çözümleri açısından uygulanan tahmin yöntemlerinin ne kadar önem arz ettiğini ortaya koymuştur. Literatürde farklı disiplinleri kapsayan çok sayıda robust kestirim yöntemi kullanılmıştır. Ancak, bu çalışmaya PPP çözümleri için literatürde en yaygın olarak kullanılan IGG III ve t-test bazlı sınıflandırma fonksiyonu temelinde oluşturulan beş farklı robust yaklaşım dahil edilmiştir. Farklı robust yaklaşımların PPP performansı açısından değerlendirilmesi ilerideki çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle, yeni GNSS sistemlerinin ortaya çıkmasıyla birlikte farklı sistemlere ait ölçülerin stokastik davranışlarının araştırılması ve buna uygun olarak ağırlık fonksiyonları içeren robust yaklaşımlar ile çözümlerin iyileştirilmesi günümüz GNSS çalışmaları açısından önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 118Y410 no'lu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

ORCID

Berkay BAHADUR https://orcid.org/0000-0003-3169-8862

Metin NOHUTCU https://orcid.org/0000-0001-9582-582X

K A Y N A K L A R

Bahadur, B. ve Nohutcu, M. (2018). PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis. *GPS Solutions, 22*(4), 113. doi: 10.1007/s10291-018-0777-z

Cai, C. ve Gao, Y. (2013). Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning. *GPS Solutions, 17*(2), 223-236. doi: 10.1007/s10291-012-0273-9

Cao, X., Li, J., Zhang, S., Pan, L. ve Kuang, K. (2018). Performance assessment of uncombined precise point positioning using Multi-GNSS real-time streams: Computational efficiency and RTS interruption. *Advances in Space Research, 62*(11), 3133-3147. doi: 10.1016/j.asr.2018.08.023

Davis, J.L., Elgered, G., Niell, A. E. ve Kuehn, C.E. (1993). Ground-based measurement of gradients in the “wet” radio refractivity of air. *Radio Science, 28*(6), 1003-1018. doi: 10.1029/93RS01917

Ding, W., Wang, J., Rizos, C. ve Kinlyside, D. (2007). Improving adaptive Kalman estimation in GPS/INS integration. *The Journal of Navigation, 60*(3), 517-529. doi: 10.1017/S0373463307004316

Fu, W., Huang, G., Yang, Y., Zhang, Q., Cui, B., Ge, M. ve Schuh, H. (2019). Multi-GNSS Combined Precise Point Positioning Using Additional Observations with Opposite Weight for Real-Time Quality Control. *Remote Sensing, 11*(3), 311. doi: 10.3390/rs11030311

Gelb, A. (Ed.). (1974). *Applied optimal estimation*. MIT press.

Guo, F. ve Zhang, X. (2014). Adaptive robust Kalman filtering for precise point positioning. *Measurement Science and Technology, 25*(10), 105011. doi: 10.1088/0957-0233/25/10/105011

Hernández-Pajares, M., Roma-Dollase, D., Garcia-Fernàndez, M., Orus-Perez, R. ve García-Rigo, A. (2018). Precise ionospheric electron content monitoring from single-frequency GPS receivers. *GPS Solutions, 22*(4), 102. doi: 10.1007/s10291-018-0767-1

Kalman, R.E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems.

Koch, K.R. ve Yang, Y. (1998). Robust Kalman filter for rank deficient observation models. *Journal of geodesy*, *72*, 436-441. doi: 10.1007/s001900050183

Kouba, J. ve Héroux, P. (2001). GPS precise point positioning using IGS orbit products. *GPS Solutions, 5*(2), 12-28. doi: 10.1007/PL00012883

Kouba, J. (2015). *A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products*. Erişim Adresi: https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/201271873-A-Guide-to-Using-the-IGS-Products

Kouba, J., Lahaye, F. ve Tétreault, P. (2017). *Precise point positioning*. Teunissen, P., Montenbruck, O. (Ed.), Springer handbook of global navigation satellite systems içinde. Berlin, Spring-Verlag.

Krietemeyer, A., Ten Veldhuis, M.C., Van der Marel, H., Realini, E. ve Van de Giesen, N. (2018). Potential of cost-efficient single frequency GNSS receivers for water vapor monitoring. *Remote Sensing, 10*(9), 1493. doi: 10.3390/rs10091493

Leick, A., Rapoport, L. ve Tatarnikov, D. (2015). *GPS satellite surveying*. John Wiley & Sons.

Mohamed, A.H. ve Schwarz, K. P. (1999). Adaptive Kalman filtering for INS/GPS. *Journal of Geodesy, 73*(4), 193-203. doi: 10.1007/s001900050236

Paziewski, J., Sieradzki, R. ve Baryla, R. (2018). Multi-GNSS high-rate RTK, PPP and novel direct phase observation processing method: Application to precise dynamic displacement detection. *Measurement Science and Technology, 29*(3), 035002. doi: 10.1088/1361-6501/aa9ec2

Petit, G. ve Luzum, B. (2010). *IERS Conventions 2010*, IERS Technical Note 36, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. 179 pp., ISBN 3-89888-989-6.

Rizos, C., Montenbruck, O., Weber, R., Weber, G., Neilan, R. ve Hugentobler, U. (2013). *The IGS MGEX experiment as a milestone for a comprehensive multi-GNSS service*. Proceedings of ION PNT, 289-295.

Shi, J., Yuan, X., Cai, Y. ve Wang, G. (2017). GPS real-time precise point positioning for aerial triangulation. *GPS solutions, 21*(2), 405-414. doi: 10.1007/s10291-016-0532-2

Steigenberger, P., Hugentobler, U., Loyer, S., Perosanz, F., Prange, L., Dach, R., Uhlemann, M., Gendt, G. ve Montenbruck, O. (2015) Galileo orbit and clock quality of the IGS Multi-GNSS Experiment. *Advances in Space Research, 55*(1), 269-281. doi: 10.1016/j.asr.2014.06.030

Wu, J.T., Wu, S.C., Hajj, G.A., Bertiger, W.I. ve Lichten, S.M. (1993). Effects of antenna orientation on GPS carrier phase. *Manuscripta Geodaetica., 18*(2), 91-98.

Yang, Y., He, H. ve Xu, G.C. (2001). Adaptively robust filtering for kinematic geodetic positioning. *Journal of Geodesy, 75*, 109-116. doi: 10.1007/s001900000157

Yang, Y., Song, L. ve Xu, T. (2002). Robust estimator for correlated observations based on bifactor equivalent weights. *Journal of Geodesy, 76*, 353-358. doi: 10.1007/s00190-002-0256-7

Yang, Y. (2006). *Adaptive navigation and kinematic positioning*. Surveying and mapping press, Beijing, 95-97.

Yigit, C.O. ve Gurlek, E. (2017). Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures. *Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8*(2), 893-904. doi: 10.1080/19475705.2017.1284160

Zhang, Q., Zhao, L., Zhao, L. ve Zhou, J. (2018). An improved robust adaptive Kalman filter for GNSS precise point positioning. *IEEE Sensors Journal, 18*(10), 4176-4186. doi: 10.1109/JSEN.2018.2820097

Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M. ve Webb, F.H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 102*(B3), 5005-5017. doi: 10.1029/96JB03860

Heyelan Duyarlılık Analizinde Eğitim Seti Boyutunun Harita Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması

(Investigation of The Effects of Training Set Size on Map Accuracy in Landslide Susceptibility Analysis)

İsmail ÇÖLKESEN[1], Emrehan Kutluğ ŞAHİN[2]

[1]Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli

[2]Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bolu

icolkesen@gtu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 17.12.2019 Kabul Tarihi (Accepted): 29.05.2020

ÖZ

İnsanlar tarafından yapılan altyapılara zarar veren ve birçok yönden insan hayatını olumsuz bir biçimde etkileyen heyelanlar tarihte en yıkıcı doğal afetlerden birisi olarak nitelendirilmektedir. Afet yönetimindeki büyük önemi nedeniyle doğruluğu yüksek ve güncel heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi küresel ve yerel ölçekli çalışmalar için esas teşkil etmektedir. Literatürde, heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde çeşitli stratejiler, algoritmalar, yöntemler ve bunların farklı kombinasyonlarının kullanımı önerilmektedir. Buna karşın heyelan duyarlığının değerlendirilmesinde birtakım sınırlamalar ve belirsizlikler mevcuttur. Duyarlılık metotlarının tahmin edebilme kabiliyeti genellikle geçmiş heyelan olaylarına ilişkin envanter verisine dayalıdır. Envanter verisini temsil eden örnekleme boyutunun (eğitim veri seti boyutu) duyarlılık haritası üretiminde ve tahmin doğruluğu üzerine etkileri heyelan duyarlılık haritası üretiminde önemli bir araştırma konusudur ve ihtiyaç duyulan örnek boyutunun yüzdesi veya oranı henüz ortaya koyulmamıştır. Bu çalışmanın temel amacı heyelan duyarlılık analizinde eğitim veri seti boyutunun tematik harita doğruluğuna olan etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaca uygun olarak, literatüre uygun olarak 12 farklı boyutta eğitim verisi oluşturulmuş ve söz konusu veri setleri ile duyarlılık haritaları üretilmiştir. Oluşturulan farklı boyuttaki eğitim veri setleri kullanarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmesinde lojistik regresyon (LR) ve rastgele orman (RO) algoritmaları kullanılmıştır. Performans analizinde genel doğruluklar, AUC (Area under the ROC Curve) ve ROC eğrileri (Receiver Operating Characteristic Curve) kullanılmış ve tahmin doğrulukları arasındaki farklılıklar Wilcoxon'ın işaretli sıralar testi yardımıyla değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, LR ve RO algoritmalarının tahmin performanslarının eğitim veri seti boyutuna duyarlı olduğunu, RO ve LR için istatistiksel olarak en uygun örnekleme oranının 70:30 ve 30:70 olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, ileri tahmin algoritması olan RO algoritmasının performansı klasik yöntem olan LR algoritmasına göre tüm durumlarda istatistiksel olarak daha üstün performans sergilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Heyelan Duyarlılığı Haritalama, Eğitim Veri Seti Boyutu, Rastgele Orman, Lojistik Regresyon.*

ABSTRACT

Landslides have been qualified as a one of the most destructive natural disasters in history that cause damage to man-made structures and negatively affect human life in many ways. Due to its great importance for hazard management, producing accurate and up-to-date landslide susceptibility maps is essential for many local- to global-scale studies. For this purpose, various strategies, algorithms, methods and their different combinations have been suggested in the literature. However, there are several limitations and uncertainties in assessing landslide susceptibility. The predictive capability of susceptibility methods mainly relies on the inventory of past landslide events. The effects of sampling size (training data size) on estimation accuracy is one of the important research topics in landslide susceptibility mapping. However, the percentage or proportion of sample size required for construction of susceptibility model has not been clearly defined and investigated by the researchers in the literature. The main purpose of this study is to investigate the effects of the training data set size on the thematic map accuracy in landslide susceptibility analysis. For this purpose, 12 different size training data sets were determined considering the sampling ratio used in landslide-related studies in the literature and susceptibility maps was produced with these sampling ratios. Logistic regression (LR) and random forest (RF) algorithms were applied to produce landslide susceptibility maps using different size training data sets. In the performance evaluations, overall accuracy, AUC (Area under the ROC Curve) and ROC curves (receiver operating characteristic curve) were used and the differences between estimation accuracy were evaluated with Wilcoxon's signed rank test. Results showed that prediction performances of LR and RO algorithms were sensitive to training dataset size and the most suitable sampling ratios were found to be 70:30 and 30:70 for RF and LR, respectively. Furthermore, the performance of the RF algorithm, known as advanced prediction algorithm, were found to be superior compared to those of traditional LR algorithm in all considered sampling ratios.

Keywords: *Landslide Susceptibility Mapping, Training Data Set Size, Random Forest, Logistic Regression.*

Atıf/To cite this article: Çölkesen, İ. ve Şahin, E.K. (2020). Heyelan Duyarlılık Analizinde Eğitim Seti Boyutunun Harita Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması. *Harita Dergisi,* 164, 43-60.

1. GİRİŞ

Heyelan duyarlılık analizinin esası bir bölgede gerçekleşen heyelan olayları ile heyelana etki edebilecek faktörlerin ilişkilendirilerek bölgenin tümü için heyelan duyarlı alanların tahmin edilmesi olarak ifade edilebilir. Bu açıdan ele alındığında heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması genel olarak heyelana etki eden faktörlerin belirlenmesi, yeterli sayıda örnekleme alanının tespiti, uygun bir tahmin algoritmasının seçimi ile modelleme ve doğruluk analizlerini içeren karmaşık işlem adımlarından oluşmaktadır.

Literatürde, heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde farklı analiz tekniklerinin kullanımı, bu tekniklerin karşılaştırılması ve harita doğruluğuna etkilerinin incelenmesi önemli bir araştırma konusu olarak ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda ele alınan heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunu doğrudan veya dolaylı yoldan etkileyebilecek etmenlerin başında duyarlılık analizlerinin temel girdisi olan veri seti ve duyarlılık tahmininde kullanılacak algoritma gelmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, heyelan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesinde temel olarak üç farklı yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Bunlar istatistiksel, nicel ve sezgisel yöntemlerdir (Chung ve diğerleri, 1995; Suzen ve Doyuran, 2004; Kavzoglu ve diğerleri, 2015a). Literatürde özellikle bulut teknolojileri ve veri tabanı tasarımındaki gelişmelere paralel olarak özellikle coğrafi bilgi sistemleri (CBS) destekli çeşitli veri işleme teknikleri yardımıyla heyelan duyarlılık analizlerinin yapılmasına yönelik çalışmalar mevcuttur (Yalcin ve diğerleri, 2011, Kavzoglu ve diğerleri, 2014). Kullanılan tahmin algoritmaları arasında çok değişkenli istatistik tabanlı bir algoritma olan lojistik regresyon algoritması heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Dai ve Lee, 2002; Bai ve diğerleri, 2011, Kavzoglu ve diğerleri, 2015b). Kullanılan temel tahmin algoritmalarının yanında yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, karar ağaçları ve toplu öğrenme algoritmaları gibi sezgisel algoritmalar ile duyarlılık haritalarının üretilmesi önemli bir araştırma konusu olmuştur (Gómez ve Kavzoglu, 2005; Yao ve diğerleri, 2008; Yilmaz, 2010; Colkesen ve diğerleri, 2016, Chen ve diğerleri 2017). Özellikle son yıllarda heyelan duyarlılık haritası üretimi işleminin bir regresyon işleminden ziyade heyelan olan ve olmayan alanların tespit edilmesi şeklinde ikili bir sınıflandırma problemi olarak ele alındığı görülmektedir. Bu kapsamda literatürde farklı sınıflandırma algoritmalarının heyelan duyarlılığı tespitinde kullanımına yönelik araştırmaların sayısında önemli bir artış görülmektedir. Örneğin, Hong ve diğerleri (2015) Çin'in Yihuang bölgesine ait heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kernel lojistik regresyon, karar ağaçları ve destek vektör makineleri sınıflandırıcılarını kullanmış ve karar ağacı sınıflandırıcısının diğer algoritmalardan daha iyi sonuç verdiğini ifade etmiştir. Tien Bui ve diğerleri (2016) sınıflandırma yaklaşımıyla heyelan duyarlılık haritası üretiminde destek vektör makineleri, yapay sinir ağları, kernel tabanlı lojistik regresyon ve lojistik model ağaç algoritmalarının kullanımını incelemiştir. Pham ve diğerleri (2016) Viet Nam'ın Luc Yen bölgesine ilişkin heyelan duyarlılık analizinde Naive Bayes ve rotasyon orman algoritmalarından oluşan hibrit bir sınıflandırma modeli kullanımını incelemiştir. Bui ve diğerleri (2016) yağışa bağlı heyelan alanlarının modellenmesinde toplu öğrenme algoritmalarından fonksiyonel ağaçlar, AdaBoost, Bagging ve MultiBoost sınıflandırma algoritmalarını kullanmıştır.

Kontrollü sınıflandırma, heyelan duyarlılık tahminlerini de içerisine alan birçok çalışmada en sık kullanılan veri analiz tekniğidir. Literatürde sınıflandırma veya tahmin doğruluğunun kullanılan eğitim veri setinin bir fonksiyonu olduğu, dolayısıyla eğitim veri setinin boyutunun ve kalitesinin model doğruluğu ile doğrudan ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Foody, 1999; Tsai ve Philpot, 2002; Foody ve Mathur, 2004). Bu nedenle kullanılacak algoritma faklı biçimlerde eğitim veri setine ihtiyaç duyabilmektedir (Foody, 1999). Diğer bir ifadeyle, oluşturulan eğitim veri seti bir algoritma için yüksek doğrulukta sonuçlar ortaya çıkarabilirken, diğer bir algoritmanın doğruluğunda azalmaya neden olabilmektedir. Literatürde eğitim veri setinin tespitine yönelik çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Mather (2004), eğitim veri setinin, her bir sınıf için (örneğin heyelan olan ve olmayan alanlar) en az kullanılan faktör sayısının 10 veya 30 katı (10p ve 30p kuralı) kadar örnek nokta veya piksel içermesi gerektiğini ifade etmiştir. Congalton ve Green (2008), eğitim veri seti boyutunun belirlenmesinde çoklu terimli olasılık (multinomial distribution) teorisine dayanan istatistiksel bir yaklaşım önermişlerdir. Duyarlılık analizinde kullanılacak algoritmaların tahmin kabiliyeti genellikle geçmiş heyelan olaylarına ilişkin envanter verisine dayalı olduğundan, heyelanla ilişkili çalışmalarda en fazla tartışılan konulardan birisi de eğitim ve doğrulama veri setinin kalitesidir. Bu noktada envanter verisini temsil eden örnekleme boyutunun (eğitim veri seti boyutu) duyarlılık haritası üretimine ve tahmin

doğruluğu üzerine etkileri heyelan duyarlılık haritası üretiminde göz önüne alınması gereken önemli bir husustur. Duyarlılık analizinde kullanılan algoritmalar, veri seti yardımıyla tahmin modeli oluşturulmasında farklı yaklaşımlar veya kabuller sonrasında seçilecek eğitim – test veri seti boyutu model doğruluğu üzerinde etkili olacaktır. Örneğin lojistik regresyon ve Naive Bayes algoritmaları gibi istatistiksel temellere dayanan parametrik bir algoritma kullanımında eğitim verisinin oluşturulmasında olasılık fonksiyonları kullanılmakta ve bir noktadaki duyarlılık seviyesi tahmin edilebilmektedir. Bu nedenle istatistiksel hesaplamalar yardımıyla tahminler gerçekleştirebilen parametrik algoritmalar için fazla sayıda örneğe ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu istatistiki esaslara dayalı tahmin algoritmalarının aksine son yıllarda daha az örnek kullanımıyla daha doğru tahminler yapabilen yapay sinir ağları, karar ağaçları ve destek vektör makineleri gibi makine öğrenme algoritmaları birçok çalışmada başarıyla kullanılmaktadır (Kavzoglu ve Colkesen, 2012; Şahin, 2017)).

Heyelan duyarlılık haritası üretiminde en uygun parametre setinin belirlenmesi (özellik seçimi), duyarlılık haritası üretimi ve sonuç haritalarının doğruluklarının değerlendirilmesi gibi birçok işlem adımında eğitim ve test verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllardaki literatür incelendiğinde eğitim ve test verisinin belirlenmesinde farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Örneğin, Chen ve diğerleri (2014) coğrafi bilgi sistemlerine dayanan istatistik bilgi değeri metodu ile Çin'in Chencang bölgesi için heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Çalışmada kullanılan eğitim ve test verisinin tespitinde 120 heyelan olan alanı içeren envanter haritasının %70'i (84 olan heyelan) eğitim verisi ve %30'luk kısmı (36 heyelan olan alan) test verisi olacak şekilde değerlendirilmiştir. Yang ve diğerleri (2015) çalışmasında heyelan duyarlılık haritası üretimi ve doğrulama işlemleri için heyelan envanter verisinin %80'lik kısmını (4.550 heyelan olan alan) eğitim verisi olarak kullanırken %20'lik kısmını (1.138 heyelan alanı) test verisi olarak kullanılmıştır. Bir diğer çalışmada, Pradhan ve Kim (2014) ise heyelan duyarlılık haritasının model üretim ve doğruluk safhalarında kullanılmak üzere 748 adet heyelan alanının %90'ını (673 heyelan alanı) eğitim verisi ve %10'unu (75 heyelan alanı) ise test verisi olarak değerlendirmeye almıştır. Youssef ve diğerleri (2015) çalışmalarında heyelan duyarlılık haritaları üretiminde üç farklı metot (iki değişkenli istatistiksel yaklaşım, frekans oranı ve ağırlıklı kanıt) kullanmışlardır. Söz konusu çalışmadaki bu üç metotla heyelan duyarlılık haritası üretimi ve her bir metodun performans karşılaştırmalarında kullanmak üzere heyelan envanter verisinin (106 heyelan alanı) %75'ini eğitim ve %25'ini ise test verisi olacak şekilde değerlendirmeye alınmıştır. Brenning (2005) heyelan duyarlılık haritası üretimi için lojistik regresyon, destek vektör makineleri ve önyüklemeli sınıflandırma ağaçları kullanmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen tüm analizlerde (harita üretimi, performans karşılaştırma ve doğrulama vb.) heyelan envanter verisi kapsamındaki olan ve olmayan heyelan alanlarının %50'si eğitim ve %50'si test verisi olacak şekilde kullanılmıştır. Duyarlılık haritası üretimindeki işlem adımları içerisinde kilit öneme sahip olan eğitim ve test veri seti tespiti ve farklı veri setinin duyarlılık haritası üzerindeki etkileri son yıllarda birçok çalışma için temel araştırma konusu olmuştur. Heckmann ve diğerleri (2014) yoğun yağış sonrası oluşan çamur akıntısı sonrası oluşabilecek duyarlılık haritası üretimi için model üretiminde lojistik regresyon metodu kullanılmıştır. Duyarlılık haritası üretiminde n=50'den başlayarak n=5000'e kadar 1000 adet örneklemden oluşan model üretilmiştir. Çalışma sonrasında denenen örnekler içerisinden n=300-350 arası değerlerde en iyi model üretimi tespit edilirken bu sayının artmasının doğruluk üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür. Petschko ve diğerleri (2014) çalışmasında Güney Avusturya'nın heyelan duyarlılık haritası modelleri üretiminde esnek bir istatistiksel metot olan genelleştirilmiş katkı modeli kullanılmıştır. Çalışmada litoloji sınıflarına dayanarak üretilen 16 model bulunmaktadır. Bu modellerin performanslarının tespitinde mekânsal ve rastgele alt kümeleme ile tekrarlanan *k*-katlı çapraz doğrulama tekniği kullanılarak değerlendirilmeye alınmıştır. Heyelan olan ve olmayan alanların kapsadığı envanter verisi üzerinden çapraz doğrulama tekniği ile 9 kez tekrarlanarak (5-katlı ve 20 tekrar) 12.652 örneklemden 50 örnekleme kadar eğitim veri seti üretilmiştir. Doğrulama sonuçları heyelan olan ve olmayan her bir alandaki 200 örneklem verisi (toplamda 400) bu çalışma için tavsiye edilen veri seti büyüklüğü olmuştur. Literatürden de görüleceği üzere, heyelan duyarlılık haritasının üretilmesine ilişkin yapılan çalışmalarda eğitim veri seti boyutunun harita doğruluğuna olan etkilerinin önemli bir araştırma konusu olduğu ve çalışmalarda envanter verisinin tamamının veya büyük bir kısmının model oluşumunda kullanıldığı görülmektedir.

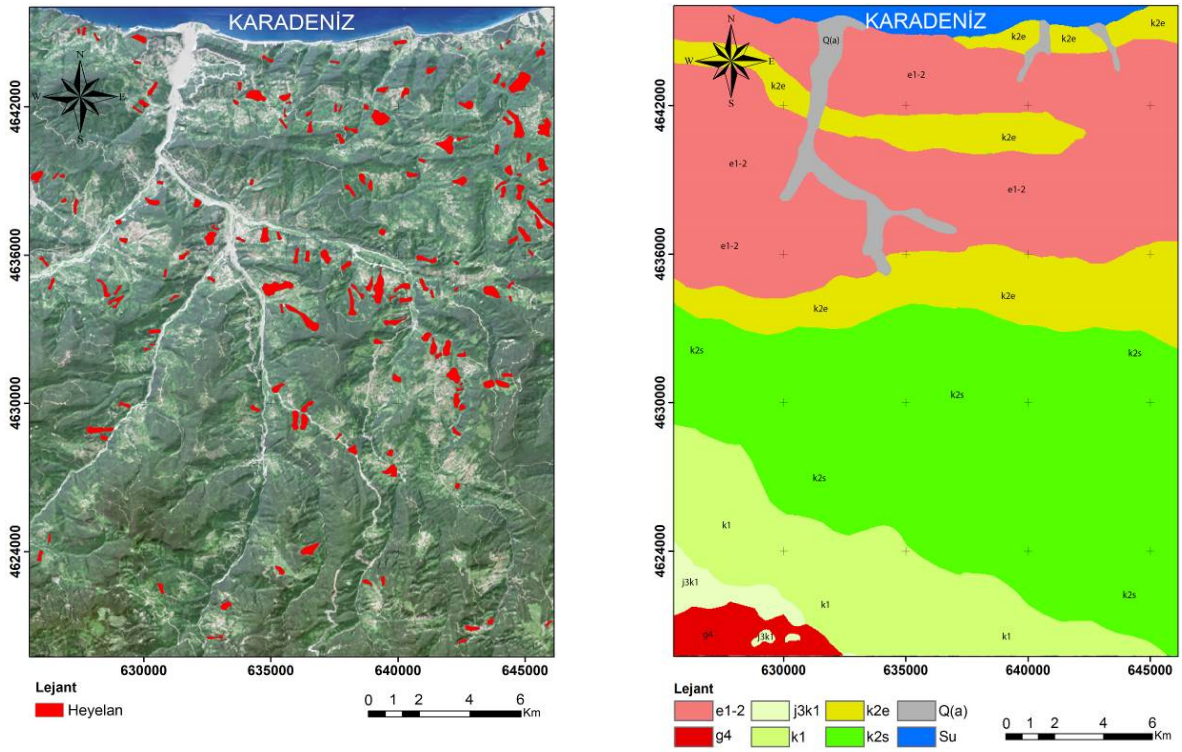
Bu çalışma kapsamında, heyelan duyarlılık haritası üretiminde farklı boyutlarda eğitim ve test

veri setinin kullanımının harita doğruluğuna etkileri araştırılarak en uygun veri seti boyutu incelenecektir. Çalışmada, seçilecek bir pilot bölge için öncelikle heyelan envanter verisi ve heyelana etki eden faktörler belirlenerek modellemeye esas veri seti oluşturulacaktır.

Çalışmanın amacına uygun olarak, envanter verisinin değişik yüzde ve oranlarda eğitim verisi olarak kullanılacağı farklı boyutlarda veri setleri oluşturulacaktır. Bunun yanında literatürde farklı modelleme problemlerinin çözümünde eğitim veri seti boyutunun belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan diğer teknikler (örneğin 10p, 30p kuralı ve çok terimli olasılık teorisi) değerlendirmeye alınarak heyelan duyarlılık analizinde uygulanabilirliği incelenecektir. Oluşturulan farklı boyutta veri setleri kullanılarak parametrik lojistik regresyon algoritması ve parametrik olmayan rastgele orman algoritması kullanılarak pilot bölgeye ilişkin ayrı ayrı heyelan duyarlılık haritaları üretilecektir. Doğruluk analizleri neticesinde, farklı boyutta eğitim veri seti kullanımının harita doğruluğu üzerindeki etkileri ortaya konulacaktır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ

Uygulama kapsamında, Türkiye Pafta bölümlenmesinde 1/100.000'lik pafta indeksinde E33 paftasına denk gelen alan çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Söz konusu çalışma alanı Türkiye'nin Orta Karadeniz bölgesinin Sinop ili sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 1a). Çalışma alanının Kuzey-Batısında Türkeli ilçesi, Kuzey Doğusunda Sinop Merkezi ve Güneyinde ise Boyabat ilçesi bulunmaktadır. Yaklaşık 2.330 km^2'lik bir alanı kapsayan çalışma bölgesi coğrafik olarak 34°00' ve 34°29' doğu meridyenleri ve 41°59' ve 41°29' kuzey paralelleri arasında kalmaktadır. Bölgenin coğrafi özellikleri, üzerinde bulunduğu jeolojik yapısı ve bölgenin mevcut meteorolojik koşulları göz önüne alındığında, çalışma alanının heyelan tehlikesine duyarlı bir bölge içerisinde yer aldığı ifade edilebilir. Özellikle 1998 yılında gerçekleşen ve Batı Karadeniz bölgesinde etkili olan aşırı yağışlar ve su baskınları, çalışma alanını da içerisine alan birçok ilde can ve mal kayıplarına neden olan heyelan vakalarının yaşanmasına sebep olmuştur. Yaşanan afetler binlerce konutu etkileyerek hafif ve ağır hasarlara sebep olurken birçok insanın da ölümüne neden olmuştur.



(a) (b)

Şekil 1. (a) Çalışma alanı ve konumu; (b) Çalışma alanına ait litoloji haritası.

Çalışmada kullanılacak verilerin temininde istenilen doğruluk ve güvenilirlik kapsamında veriyi üreten kurum ve kuruluşlarla irtibata geçilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda litoloji (Şekil 1b) ve heyelan envanter verisi (Şekil 1a) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden, sayısal yükseklik verisi Harita Genel Müdürlüğünden (HGM), Orman ve Su İşleri Bakanlığı'ndan, akarsu ve yol verisi elde edilmiştir. Eş yükseklik verisi halindeki veriler 1/25.000 ölçeklidir. Vektörel ortamdaki eş yükseklik verileri CBS ortamında 30m piksel boyutunda raster sayısal yükseklik modeli verisinin üretiminde kullanılmıştır. Bu nedenle farklı piksel boyutlarına sahip diğer veri türlerinde (örn. litoloji ve arazi örtüsü/kullanımı vb.) 30m piksel boyutuna indirgenmiş ya da yükseltilmiştir. Bu işlem verilerin sahip olduğu veri çözünürlüğü dikkate alındığında herhangi bir bilgi kaybı yaşanmadığı ayrıca belirtilmelidir.

Çalışma alanındaki heyelana etki eden faktörlerin tespitinde son yıllarda yapılan çalışmalarda heyelan duyarlılık haritaları üretiminde sıklıkla kullanılan faktörler dikkate alınmıştır. Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan en önemli veri kaynağı Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve söz konusu model yardımıyla oluşturulan bakı, plan, profil ve eğrilik haritası, drenaj yoğunluğu, eğim, eğim uzunluğu, akarsu güç indeksi, sediment taşıma indeksi ve topoğrafik nemlilik indeksini de içerisine alan verilerdir. SYM yardımıyla söz konusu veri setlerinin oluşturulmasında çeşitli raster analizlerinden faydalanılmıştır. Tablo 1'de çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan veri setleri ve SYM yardımıyla oluşturulan faktörlerin ismi, özelliği, elde edildiği yer ve veri yapısına ilişkin bilgiler verilmiştir. Kurumlardan elde edilen veya SYM'den üretilen tüm faktörler ortak bir konumsal referans sistemine taşınmıştır.

Heyelan envanter haritasının kapsadığı topoğrafik verinin heyelanın meydana gelmesinden sonra bölgede gelişen değişimleri de içereceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda, envanter veri seti içerisinde heyelan hadisesinin gerçekleştiği alanlarla birlikte heyelan oluşumu üzerinde etkisi olmayan doğal koşullara veya topoğrafik özelliklere sahip olan alanların varlığı söz konusu olabilmektedir. Bu durumun nedenle, analiz işlemleri sırasında kararı etkileyebilecek ve bozucu etkilere sebep olabilecek alanlar (yollar, göl ve göletler, su kenarları, heyelan akması vb.) envanter verisinden çıkarılarak veri setinde güncelleştirme işlemi yapılmıştır. 1/25.000 ölçeğinde üretilmiş heyelan envanter haritasında çalışma bölgesine ait 456 adet heyelan alanı bulunmaktadır. Vektör poligon türündeki heyelan verisi 30m çözünürlükte raster verisine dönüştürülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde takip edilen işlem adımları, genel olarak verilerin temini ve ön işlemler, çalışma alanlarına ilişkin heyelana etki eden faktörlerin belirlenmesi, envanter haritasının oluşturulması, heyelana etki eden faktörler içerisinden istatistiksel yaklaşımla optimum faktör sayısının tespiti, modellerin oluşumunda kullanılacak farklı boyutlarda eğitim ve doğrulama veri setlerinin oluşturulması, LR ve RO algoritmaları kullanılarak duyarlılık haritalarının üretilmesi ve doğruluk/duyarlılık analizlerini içerisine alan 6 temel işlem adımından oluşmaktadır. Söz konusu işlem adımları, gerçekleştirilen işlemler ve elde edilen sonuçlar bu bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

a. Özellik/Faktör Seçimi

Heyelan duyarlılık analizlerini de içerisine alan birçok tahmin probleminde, temel veri setini oluşturan faktörler arasında korelasyonlu, gürültü içeren ve tahmin doğruluğunu olumsuz olarak etkileyebilecek özelliklerin belirlenmesi ve temel veri seti içerisinden çıkarılması söz konusudur (Webb ve Copsey, 2011). Sınıflandırma veya regresyon analizinde girdi veri setindeki özellik sayısının artmasının teorik olarak oluşturulacak tahmin modelinin doğruluğunu arttıracağı öngörülmektedir. Ancak, veri seti içindeki bazı özellikler tahmin doğruluğunu olumsuz şekilde etkileyebilecek düzeyde gürültüye sahiptir. Bu sebeple yüksek gürültü oranına sahip özelliklerin belirlenerek veri seti içerisinden çıkarılması tahmin doğruluğunun iyileştirilmesi noktasında etkili olabilmektedir. Diğer taraftan, veri seti boyutunun azaltılması modelleme sırasında ihtiyaç duyulan hesap uzayının boyutu gözetildiğinde donanımsal alt yapının (bellek, ağ bant genişliği ve depolama alanı) niceliği üzerinde tasarrufa neden olarak hız, zaman ve iş gücünde tasarrufa neden olacaktır. Bu çalışmada değerlendirmeye alınacak faktör veri setleri içerisinden en uygun faktör seti kümesinin belirlenmesinde Pearson's korelasyon analizi kullanılmıştır. Faktör veri setleri korelasyon analizi yardımıyla değerlendirilmiş ve faktörlere ait önem dereceleri belirlenerek sonuçlar analiz edilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan faktörlerin kaynak ve türleri.

Faktör Özelliği	Faktör Adı	Kaynağı	Türü
Yüzey jeolojisi	Heyelan envanter verisi	Literatür	Poligon
	Litoloji		
Yüzey Topoğrafya bilgisi	Yükseklik	Sayısallaştırılmış çizgi	
	Plan Eğriliği		
	Profil Eğriliği	SYM	Raster
	Bakı		
	Eğim		
Yüzey-su ilişkisi	Akarsudan olan Uzaklık		
	Topoğrafik Nemlilik İndeksi	SYM	Raster
	Akarsu Güç İndeksi		
	Sediment Taşıma İndeksi		
Yüzey Vejetasyon Bilgisi	NDVI	Uydu görüntüsü	Raster
Yüzey Kullanım Bilgisi	Arazi kullanımı/örtüsü		

İki değişken için Pearson's korelasyon katsayısı hesabında değişkenlerin kovaryanslarının standart sapmalarına oranları hesaplanmaktadır (Biesiada ve Duch, 2007). *X* değerlerine sahip *x* özelliği ve *y* değerlerine sahip *Y* sınıfları rastgele değişkenler olarak tanımlandığı düşünüldüğünde korelasyon katsayısı Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanır.

$$\rho(X,Y)=\frac{E(XY)-E(X)E(Y)}{\sqrt{\sigma^2(X)\sigma^2(Y)}}=\frac{\sum_i\left(x_i-\overline{x_i}\right)\sum_i\left(y_i-\overline{y_i}\right)}{\sqrt{\sum_i\left(x_i-\overline{x_i^2}\right)\sum_i\left(y_i-\overline{y_i^2}\right)}} \quad (1)$$

Pearson's korelasyon katsayısı [-1,1] arasında değerler almaktadır. Örnek vermek gerekirse bulunan istatistik değer -1 veya 1'e eşit olması koşulunda iki değişken arasında mükemmel bir doğrusal ilişki olduğu, fakat İstatistik değer 0'a eşit ise de ikisi arasında ilişki olmadığını göstermektedir. Hesaplanan değer $0<\rho(X,Y)<1$ veya $0>\rho(X,Y)>-1$ aralığında değerler aldığında, özellikler arasında pozitif veya negatif ilişki olduğu söylenebilir $\rho(X,Y)$ büyük değerler aldıkça ilişkinin gücü artmaktadır.

b. Eğitim ve Doğrulama Veri Seti Üretimi

Heyelan envanter haritalarında bölge içerisinde gerçekleşen heyelanlar konumları ve büyüklükleri esas alınarak genellikle vektör-tabanlı poligonlar şeklinde belirlenmektedir. Bununla birlikte heyelan duyarlılık haritası üretiminde esas veri seti olarak kullanılan heyelan duyarlılık faktörleri genellikle raster veri yapısı formatındadır. Diğer bir ifadeyle heyelan duyarlılık haritası üretiminde vektör tabanlı konumsal analizlerden ziyade raster tabanlı (piksel tabanlı ya da grid tabanlı) analizler yardımıyla heyelan duyarlılıkları tahmin edilmektedir (Carrara, 1983; van Westen, 1993).

Çalışmada eğitim veri seti boyutundaki değişimlerin heyelan duyarlılık haritası doğruluğuna etkilerini incelemek amacıyla, envanter verisinin %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 ve %90 oranlarında rastgele örneklenerek 9 farklı eğitim veri seti oluşturularak değerlendirmeye alınmıştır. Test veya doğrulama veri seti olarak, envanter veri seti içerisinden eğitim veri seti için seçilen örnekler haricinde kalan pikseller kullanılmıştır. Bununla birlikte, eğitim seti büyüklüğü tespiti için kabul edilen çeşitli tekniklerden (ör. 10p, 30p kuralları ve çok terimli olasılık teorisi) yararlanılmıştır. Sonuç olarak 12 farklı boyutta eğitim ve doğrulama veri seti oluşturulmuştur.

Mather (2004), eğitim veri setinde, her bir sınıf için (örneğin heyelan olan ve olmayan alanlar) en az kullanılan faktör sayısının 10 veya 30 katı (10p ve 30p kuralı) kadar örnek nokta veya piksel içermesi gerektiğini ifade etmiştir. Örneğin, heyelana etki eden 10 faktör dikkate alınarak gerçekleştirilecek heyelan duyarlılık analizinde, tahmin modeli eğitiminde 10p kuralına göre heyelan olan alanları temsil eden minimum 100 örneğe ihtiyaç duyulurken, 30p kuralına göre minimum örnek sayısı 300'dür. Congalton ve Green (2008), eğitim veri seti boyutunun belirlenmesinde çoklu terimli olasılık teorisine dayanan istatistiksel bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşıma göre her bir sınıf için gerekli olan eğitim örneği sayısı (*n*),

$$n=B\Pi_i\left(1-\Pi_i\right)/b_i^2 \quad (2)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte istenen doğruluğu oransal olarak ifade eder (örneğin istenen güven aralığı %95, istenen hassasiyet $\alpha = 0,05$), Π_i her bir sınıfı temsil eden örneklerin tüm örnekler içindeki yüzdesini, *B* serbestlik derecesi 1 olan ki-kare olasılık tablosundan hesaplanan tablo değeri olup üst yüzdelik değeri şeklinde hesaplanır. Burada α güven aralığını ve *k* sınıf sayısını göstermektedir (Congalton ve Green, 2008). Örneğin heyelan olan ve heyelan olmayan alanların tespiti için gerçekleştirilecek iki sınıflı (*k=2*) bir duyarlılık analizinde, istenen güven aralığı %95, istenen hassasiyet %5 ve heyelan olan alanların çalışma alnının %30'unu kapsadığı $(\Pi_i = \%30)$ göz önüne alınsın. *B* tablo değeri, serbestlik derecesi 1 olan ki-kare olasılık tablosundan ve üst yüzdelik değeri $1-\alpha/k$ $(1-0,05/2 = 0,0975)$ için hesaplanır. Bu durumda, *B* ki-kare tablo değeri $\chi_{(1,0.975)} = 5,024$ 'tür. Eşitlik (2) yardımıyla gerekli olan örnek sayısı $n = 5,024(0,30)(1-0,30)/(0,05)^2 \cong 420$ şeklinde elde edilir. Dolayısıyla göz önüne alınan örnek problem için eğitim veri setinde heyelan olan alanları temsil edecek minimum örnek sayısı 420 olmalıdır.

c. Rastgele Orman Algoritması

Rastgele orman (RO) algoritması belirli bir sınıflandırma ve regresyon problemi çözümünde birçok karar ağacı modelinin bir arada kullanılmasını esas alan toplu öğrenme algoritmalarından birisidir (Breiman, 2001). RO model oluşumunda birden çok karar ağacını kullanması nedeniyle literatürde karar ormanı olarak da bilinmektedir. Algoritma, sınıf etiketi belli olmayan bir örneğe ilişkin tahmin işleminin gerçekleştirilmesinde ormanı oluşturan karar ağaçlarının her birinin yaptığı tahminlerin birleştirilmesi ve ilgili örnek için nihai kararın verilmesi prensibini esas almaktadır. Bu amaç doğrultusunda öncelikli olarak kontrollü sınıflandırma işleminin gerçekleştirmek üzere hazırlanan orijinal eğitim veri seti içerisinden kullanıcı tarafından belirlenen karar ağacı sayısı kadar rastgele altkümeler oluşturulur. Bu işlemdeki temel düşünce ormandaki her bir karar ağacı modelinin farklı eğitim veri setleri ile oluşturulması ve ormandaki çeşitliliğin sağlanmasıdır (Kuncheva ve Whitaker, 2003). Rastgele oluşturulan altkümelerin her birinin yaklaşık olarak %67'si karar ağacı modeli oluşumu için kullanılırken geriye kalan %33'lük kısmı oluşturulan ağaç modelinin performans analizini gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Sınıf etiketi belli olmayan bir örnek (piksel) için ormandaki her bir karar ağacı tarafından tahminler yapılır ve tahminlerin birleşilmesi neticesinde en fazla oyu alan sınıf etiketi ilgili örneğe atanır (Pal, 2005; Kavzoglu ve Colkesen, 2013). RO tahmin modelinde, karar ağaçlarının oluşturulması ve ağaç dallanmasında kullanılacak özniteliklerin tespitinde Gini indeksi kullanılır. RO algoritmasının uygulanması sürecinde kullanıcılar tarafından belirlenmesi gereken iki parametre mevcuttur. Bunlar, ormandaki ağaç sayısı (*m*) ve karar ağacı modellerinin oluşturulması için her bir düğüm noktasında değerlendirmeye alınacak örneklerin sayısı (*n*) olarak bilinmektedir.

ç. Lojistik Regresyon Algoritması

Lojistik regresyon (LR) algoritması matematiksel olarak kolay anlaşılabilir yapısı ve hızlı işlem süresi nedeniyle heyelan duyarlılık analizi araştırmaları gibi birçok regresyon probleminin çözümünde sıklıkla kullanılan istatistiksel tabanlı bir algoritmadır (Yilmaz, 2009). LR algoritmasının temelinde, bağımsız değişkenler (heyelan olayına etki eden faktörler) ile bağımlı değişken (heyelan olayının olması) arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi kurmayı sağlamaktır (Lee, 2005). Çoklu doğrusal regresyon modeli aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir,

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ldots + b_n x_n \qquad (3)$$

Doğrusal regresyon modelindeki *Y*, 0 ve 1 aralığındaki yanıt değişkeni, b_0 bağımlı değişken sabit sayısı, $b_1,\ldots,b_n$ regresyon katsayılarını ve $x_1,\ldots,x_n$ ise bağımsız değişkenlerin *1*'den *n*'e kadarki düzey değerlerini göstermektedir.

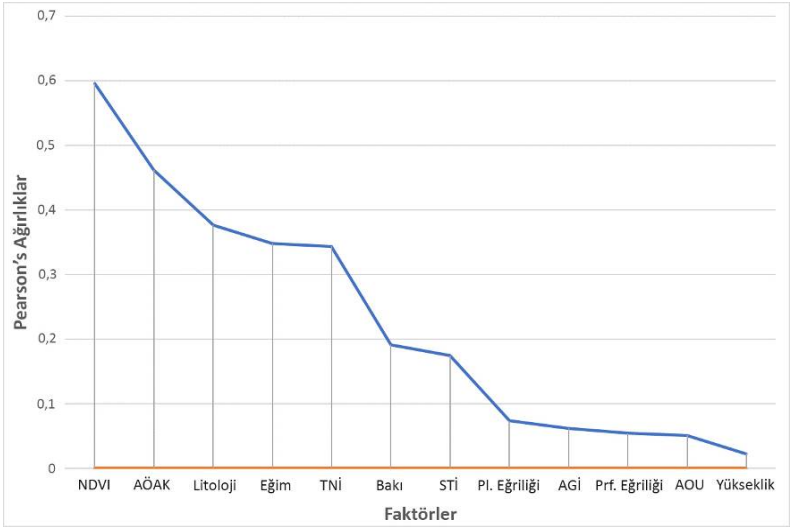
4. UYGULAMA

Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınacak faktör veri setleri içerisinden en uygun faktör seti kümesinin belirlenmesinde Pearson's korelasyon analizi kullanılmıştır. Bu kapsamda her faktör için elde edilen ağırlık aşağıda Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde verilen faktör ağırlıkları incelendiğinde en yüksek ağırlıklı faktörün NDVI verisi olduğu görülmektedir. Diğer etkin faktörler incelendiğinde sırasıyla Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı (AÖAK), litoloji, eğim ve Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TNİ) faktörleridir. Diğer taraftan, plan eğriliği, Akarsu Güç İndeksi (AGİ), profil eğriliği, Akarsudan Olan Uzaklık (AOA) ve yükseklik faktörleri ise 0,1 ağırlık katsayısının altında kalmıştır ve Pearson's analizine göre en az etkin faktörler olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde farklı sayıda

eğitim ve test verisinin üretimi ve etkinliğinin araştırılmasında tüm faktörlerin kullanılması uygun görülmüştür. Sonuç olarak faktör çıkarımı işlemi yapılmamış ve mevcut tüm faktörler kullanılarak duyarlılık analizi yapılacaktır.

a. Eğitim ve Doğrulama Verisi Üretimi

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde eğitim ve test verisi için 454 heyelan olan ve olası 67 adet heyelan olmayan alanlar poligon türünde tespit edilmiştir. Heyelan envanter haritası bünyesindeki heyelan olan alan sayının çalışma alanı için yeterli sayıda olması nedeniyle veri seti eğitim/test ile doğrulama verisi farklı sayılarda bölünmüştür. Çalışma amaçlarına uygun olarak eğitim veri seti boyutundaki değişimlerin heyelan duyarlılık haritası doğruluğuna etkilerini incelemek amacıyla, envanter verisinin %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 ve %90 oranında eğitim verisi olarak kullanılacağı 9 farklı eğitim veri seti oluşturulmuştur (Tablo 2). Heyelan envanter veri setindeki alanların 30m raster veri setine döndürülmesi sonrasında 59.628 adet piksel elde edilirken olmayan alan analizlerinde ise 50.105 adet 30m piksel üretilmiştir. Bu örnekleme oranlarına ek olarak 10p (10*12 faktör= heyelan olan sınıf için minimum 120 piksel ve heyelan olmayan sınıf için minimum 120 piksel), 30p ve çoklu terimli olasılık teorisine göre hesaplanan ve Delta olarak adlandırılan veri setlerine ilişkin örnek sayıları da tabloda verilmişidir.



Şekil 2. Pearson's korelasyon analizi sonrası elde edilen faktör ağırlıkları

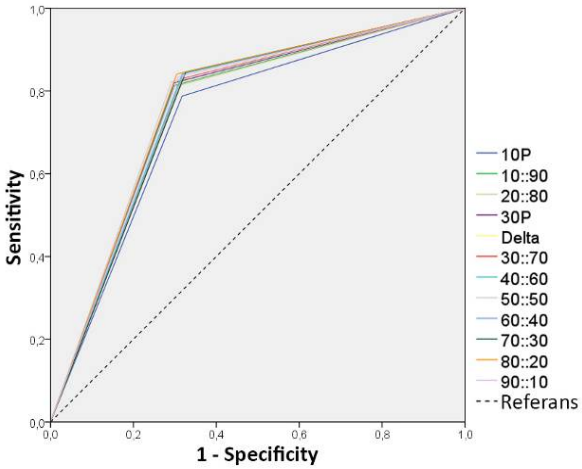
Tablo 2. Farklı oranlarda oluşturulmuş eğitim ve test verisindeki piksel sayıları.

Eğitim veri seti			Test veri seti		
	Olan	Olmayan		Olan	Olmayan
10P	120	120	**10P**	50938	58556
10%	5963	5011	**90%**	53665	45095
20%	11926	10021	**80%**	47702	40084
30P	360	360	**30P**	50698	58316
Delta	420	420	**Delta**	50638	58256
30%	17888	15032	**70%**	41740	35074
40%	23851	20042	**60%**	35777	30063
50%	29814	25053	**50%**	29814	25053
60%	35777	30063	**40%**	23851	20042
70%	41740	35074	**30%**	17888	15032
80%	47702	40084	**20%**	11926	10021
90%	53665	45095	**10%**	5963	5011

b. Lojistik regresyon ile heyelan duyarlılık haritası üretimi

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde farklı eğitim veri seti kullanımı ve etkilerinin araştırılmasını esas alan bu uygulama kapsamında tahmin modeli oluşturulmasında ele alınan ilk algoritma geleneksel yaklaşım olarak bilinen LR metodudur. Belirlenen farklı boyutlardaki eğitim veri setleri kullanılarak lojistik regresyon metodu ile heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. LR metodu literatürde ve birçok duyarlılık haritası çalışmasında sıklıkla kullanılan bir metot olmakla birlikte ayrıca literatüre önerilen yeni metotların performanslarının karşılaştırılmasında kullanılan bir metottur. Bu nedenle bu çalışmada son birkaç yıldır heyelan duyarlılık haritaları üretiminde kullanılan RO ve karar ağaçları gibi makine öğrenme algoritmalarının performanslarının karşılaştırılmasında LR metodu standart algoritma olarak değerlendirmeye alınmıştır.

ROC eğrileri model performansını test etmek için birçok alanda uygulanmaktadır. ROC eğrileri ile iki sınıf arasındaki ayrımı ve sınıflandırıcının performansını görselleştirmek mümkündür. Bu kapsamda tüm modellerin performanslarının değerlendirilmesi ve görsel olarak yorumlanması amacıyla ROC eğrilerinden yararlanılmıştır. Şekil 3'den de görüldüğü üzere çalışma alanına ait her bir eğitim-test veri seti ile model oluşumu sonrası LR ile üretilen modelin ROC çizgileri verilmiştir. Elde edilen ROC analizi sonrasında LR metodu için en iyi model performansı 80:20 (eğitim:test) oranı ile elde edilen model olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. LR algoritması ile elde edilen ROC eğrisi

Ayrıca üretilen duyarlılık haritalarını sonuç performans ve doğruluk ölçümleri için Genel Doğruluk (GD) ve kappa (K) değerlerine de bakılmıştır. Tablo 3'de verilen değerler incelendiğinde hem %10 artan ve azalan boyutlarda eğitim-test verisi sonuçları hem de 10p ve 30p kuralına (çok terimli olasılık teorisi) göre elde edilen değerler için sonuçlar verilmiştir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde LR metodu 10p ve 30p verisi ile üretilen eğitim-test veri seti için sırasıyla %73,50 ve %76,07 GD ve 0,470 ile 0,521 kappa değerlerine ulaşmıştır. Bu sonuç artan veri seti boyutu ile birlikte doğruluğun artığını göstermektedir. Diğer taraftan, eğitim seti boyutunun artığı test veri seti boyutunun azaldığı durumda ise LR metodu artan eğitim seti boyunca GD değerlerinde artan bir eğilim gösterdiği tespit edilmiştir. Fakat Tablo 3'deki değerler incelendiğinde bu artan eğilimin 30:70 eğitim sonrasında sabit bir ivmede olduğu tespit edilmiştir. Performans sonuçları incelendiğinde LR algoritması ile en yüksek doğruluk değerlerine (%77,36 GD ile 0,521 kappa değeri), envanter verisinin %30'nun eğitim verisi olarak kullanıldığı, geriye kalan %70'lik kısmının test verisi kullanıldığı (yani 30:70 örnekleme oranı) durum için elde edildiği tespit edilmiştir.

Tablo 3. LR algoritması kullanarak farklı eğitim-test verisi için elde edilen GD, kappa (K) ve AUC değerleri

Oran	GD	K	AUC	İşlem süresi (sn)	Olmayan	Olan
10P	73,50	0,470	,735	0,012	0,720	0,748
10:90	75,75	0,515	,758	0,011	0,743	0,770
20:80	75,75	0,515	,758	0,015	0,744	0,769
30P	76,07	0,521	,761	0,015	0,746	0,774
Delta	75,54	0,511	,755	0,016	0,735	0,772
30:70	77,36	0,547	,755	0,012	0,756	0,789
40:60	76,18	0,524	,762	0,018	0,741	0,779
50:50	76,50	0,530	,765	0,013	0,751	0,778
60:40	76,18	0,524	,762	0,016	0,740	0,780
70:30	75,97	0,519	,760	0,016	0,737	0,779
80:20	76,82	0,536	,768	0,016	0,750	0,784
90:10	76,29	0,526	,763	0,017	0,745	0,779

Üretilen heyelan duyarlılık haritaları modellerinin performanslarının değerlendirilmesi amacıyla bir diğer ölçüt olan AUC (Area Under the Curve) değerleri incelenmiştir Tablo 3'de verilen AUC değerleri incelendiğinde hesaplanan GD ve kappa değerlerine benzer şekilde LR algoritmasının tahmin performansının eğitim veri seti boyutundaki artışa paralel olduğu görülmektedir. Tablodaki tüm AUC performans değerleri incelendiğinde ise en yüksek değeri 80:20 eğitim seti ile %76,80 AUC değeri ile elde edildiği görülmektedir.

Performans değerlendirmeleri sonucunda her bir ölçüt için farklı sonuç ve performans etkileri ortaya çıktığı için optimum eğitim setinin tespitine karar verilmesi amacıyla Wilcoxon's Sıra Toplamı Testi uygulanmıştır. Böylelikle GD, kappa ve AUC değerlerinden sonra optimum setine dayalı model tespiti amacıyla modeller birbirleri ile karşılaştırılarak aralarındaki farkın istatistiksel anlamda farklı olup olmadıklarına karar verilmiştir (Tablo 4). İki doğruluk arasındaki fark için hesaplanan istatistik değerin kritik tablo değerinden (%95 güven aralığı için tablo değeri z=1,96) büyük olması durumunda doğruluklar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu, tersi durumda ise anlamsız olduğu söylenebilir. Aşağıdaki tabloda koyu olarak verilen değerler iki model sonucunun birbiri ile istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, tablo sonuçları incelendiğinde özellikle 30:70 eğitim seti ile diğer oranlar için ikili karşılaştırmalar sonucunda hesaplanan istatistik değerlerin, kritik tablo değerinden (z=1,96) az olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu eğitim seti ile diğer modeller arasında istatistiksel anlamda bir fark olmadığı söylenebilir. Diğer bir değişle bu model ile kurulan heyelan duyarlılık haritası ile eğitim veri seti oluşturulmasında artan sayıda oranların kullanıldığı diğer durumlarda üretilen haritalar arasında istatistiksel anlamda bir fark olmadığı ifade edilebilir.

Model performans sonuçlarına göre LR yöntemi ile üretilen optimum duyarlılık haritası Şekil 4'de verilmiştir. Üretilen duyarlılık haritası 5 duyarlılık sınıfında incelendiğinde (çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) çalışma alanının kuzey bölgelerinin heyelana karşı çok yüksek ve yüksek oranda duyarlığı olduğu görülmektedir. Çalışma bölgesinin güneyine doğru duyarlılık alanlarında düşüşler olduğu özellikle güney bölgelerinde en düşük duyarlılığa sahip olan alanların olduğu tespit edilmiştir.

c. Rastgele orman ile heyelan duyarlılık haritası üretimi

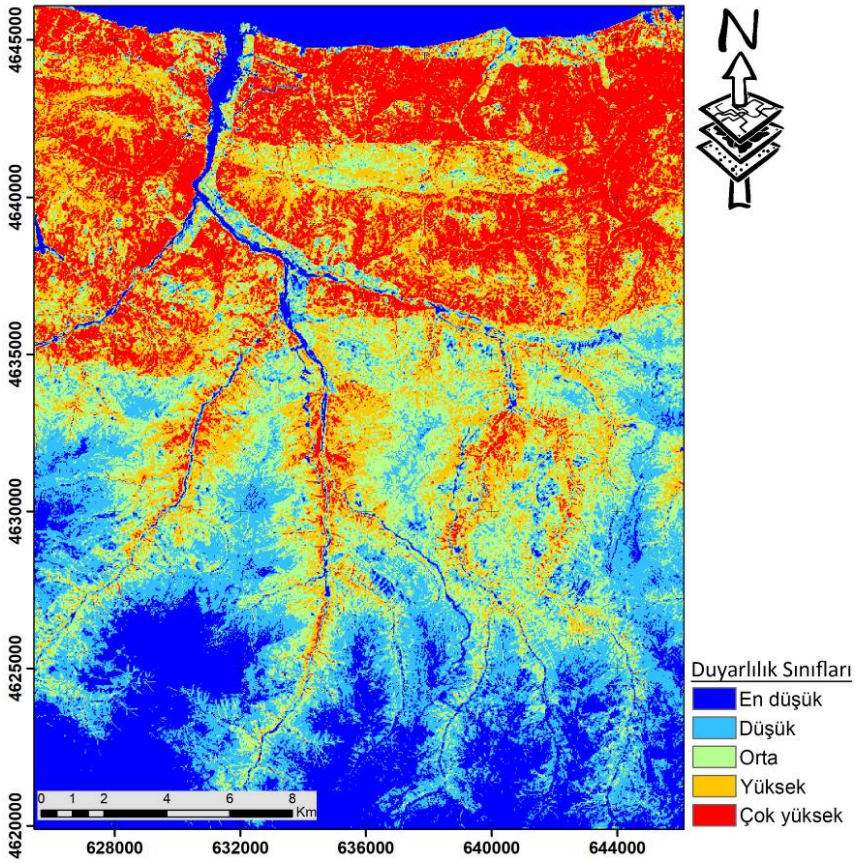
Heyelan duyarlılık haritası üretimi ve eğitim seti boyutunun harita doğruluğuna etkilerinin araştırılması amacıyla kullanılan bir diğer yöntem ise RO algoritmasıdır. Karar ağaçları, RO algoritmasında temel sınıflandırıcı olarak kullanılmaktadır. Çalışmada üretilen her bir eğitim veri seti için farklı boyutlarda ağaç sayısı belirlenmiştir (Tablo 5). Böylelikle daha doğru ve anlamlı sonuçlara ulaşabilmek mümkün olmuştur.

Çalışma kapsamında RO metodu ile üretilen tüm modellerin performanslarının değerlendirilmesi ve görsel olarak yorumlanması amacıyla ROC eğrisi analizi kullanılmıştır. Şekil 5'de görüldüğü üzere çalışma alanına ait her bir eğitim-test verisi sonrası RO ile üretilen modellerin ROC çizgileri verilmiştir. ROC analizi sonucunda RO metodu için 90:10 eğitim seti verisi ile en iyi model performansı elde edildiği tespit edilmiştir.

Tablo 4. LR algoritması için Wilcoxon's Sıra Toplamı Testi

	10:90	**20:80**	**30P**	**Delta**	**30:70**	**40:60**	**50:50**	**60:40**	**70:30**	**80:20**	**90:10**
10P	1,744	1,925	**2,650**	**1,992**	1,992	**2,513**	**2,494**	**2,440**	**2,360**	**3,025**	**2,654**
10:90		0,000	0,299	0,177	0,177	0,396	0,704	0,404	0,200	1,021	0,493
20:80			0,342	0,229	0,229	0,555	0,819	0,516	0,254	1,313	0,687
30P				0,585	0,585	0,122	0,442	0,122	0,124	0,911	0,258
Delta					0,000	0,905	1,152	1,000	0,667	1,852	1,121
30:70						0,905	1,152	1,000	0,667	1,852	1,121
40:60							0,469	0,000	0,426	1,342	0,218
50:50								0,522	0,762	0,522	0,333
60:40									0,535	1,604	0,258
70:30										1,633	0,728
80:20											1,291

Not: %95 güven aralığı için z değerinin 1,96'ten büyük olması tematik harita doğrulukları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade etmektedir.

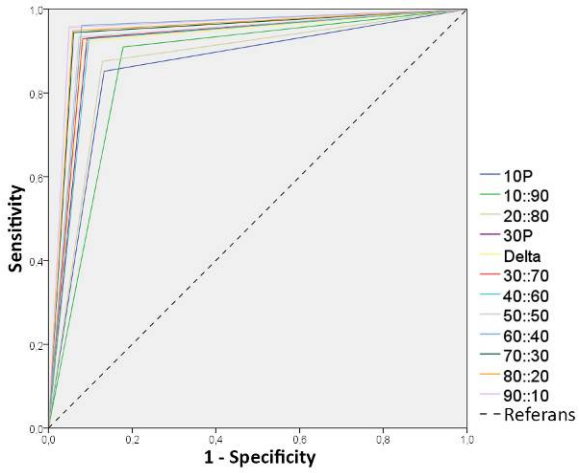


Şekil 4. 30:70 örnekleme oranı kullanılarak oluşturulan LR modeline ilişkin heyelan duyarlılık haritası.

Tablo 5. Rastgele orman algoritmasında her bir eğitim seti boyutu için tanımlanan ağaç sayısı

Eğitim-Test Veri Seti Oranı	Ağaç Sayısı (*n*)
10P	100
10:90	100
20:80	120
30P	120
Delta	130
30:70	150
40:60	150
50:50	150
60:40	200
70:30	200
80:20	210
90:10	250

Üretilen haritaların performanslarının değerlendirilmesi amacıyla RO metodu için ayrıca GD ve kappa sonuçlarına bakılmıştır. Tablo 6'de farklı oranlardaki eğitim-test veri setleri için elde edilen doğruluk sonuçları ile 10p, 30p ve çok terimli olasılık teorisi (Delta) yaklaşımlarına göre elde edilen doğruluk sonuçları verilmiştir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde RO metodu 10p ve 30p kuralına göre oluşturulan veri setleri ile sırasıyla %86,59 ve %90,88 GD ve 0,867 ile 0,909 kappa değerlerine ulaşmıştır. Elde edilen bu sonuç artan veri seti boyutu ile birlikte hesaplanan doğruluğun da arttığını göstermektedir. Diğer taraftan, eğitim veri seti boyutunun arttığı test veri seti boyutunun azaldığı durumda ise RO metodunun performansı artan bir eğilim göstermiştir. Tablo 6'deki değerler incelendiğinde LR metoduna benzer şekilde örnekleme oranı olarak 70:30 kullanılması sonrasında, boyuttaki artışla birlikte GD sonuçlarının sabit bir ivmede olduğu, sadece 90:10 verisi için %0,11 oranında bir düşüş olduğu görülmektedir. Performans sonuçları bir bütün olarak ele alındığında en yüksek doğruluk değerlerine (%94,64 GD ile 0,946 kappa) envanter verisinin 70:30 oranında eğitim ve test veri seti olarak örneklenmesi ile ulaşıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. RO algoritması ile elde edilen ROC eğrisi

Tablo 6. RO algoritması kullanarak farklı eğitim-test verisi için elde edilen GD, kappa (K) ve AUC değerleri

Oran	GD	K	AUC	İşlem süresi (sn)	Olmayan	Olan
10P	86,59	0,732	0,859	0,466	0,867	0,865
10:90	87,34	0,747	0,866	0,579	0,868	0,879
20:80	87,88	0,758	0,873	0,710	0,877	0,881
30P	90,88	0,818	0,920	0,626	0,909	0,909
Delta	92,38	0,848	0,920	0,669	0,923	0,924
30:70	90,34	0,807	0,924	0,674	0,902	0,905
40:60	91,09	0,822	0,916	0,781	0,911	0,911
50:50	93,03	0,861	0,930	0,890	0,930	0,930
60:40	93,56	0,871	0,941	0,947	0,934	0,937
70:30	94,64	0,893	0,942	1,046	0,946	0,947
80:20	94,64	0,893	0,945	1,144	0,946	0,947
90:10	94,53	0,891	0,954	1,224	0,946	0,945

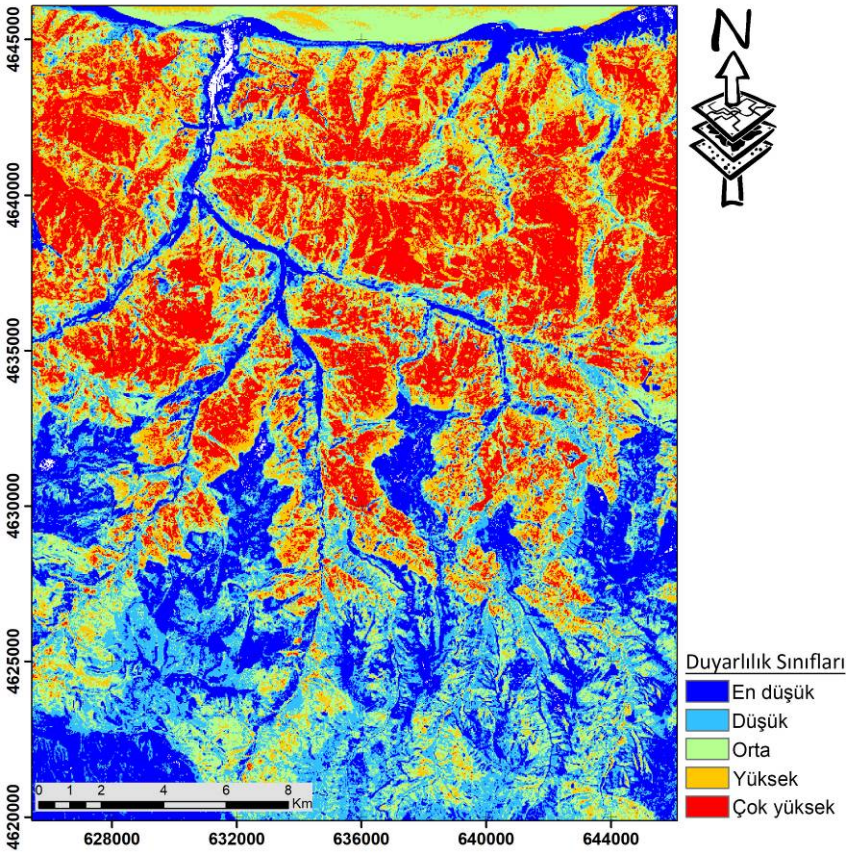
RO algoritmasının ROC analiziyle görsel olarak değerlendirilen performansı ayrıca AUC skorları dikkate alınarak da değerlendirilmiştir. Tablo 6'de verilen AUC değerleri incelendiğinde GD ve kappa sonuçlarına benzer şekilde RO algoritmasının performansının eğitim veri setindeki artışa paralel olarak iyileştiği görülmektedir. En yüksek AUC değerinin 90:10 olarak adlandırılan eğitim seti ile %95,40 olarak hesaplandığı görülmektedir. Tablo 7'de verilen Wilcoxon's Sıra Toplamı Testi sonuçları incelendiğinde 70:30 örnekleme oranı esas alınarak oluşturulan RO tahmin modeli ile daha küçük boyutta eğitim veri seti boyutları için üretilen RO modelleri arasındaki doğruluk farklılıklarının istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, 70:30 örnekleme oranından bir sonraki örnekleme boyutuları (80:20 ve 90:10) için hesaplanan Wilcoxon's testi sonuçları farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, RO algoritması için 70:30 örnekleme oranı ile üretilen eğitim veri seti ile optimum RO tahmin modeli oluşturulmuştur.

Optimum RO tahmin modeli tüm veri setine uygulanarak çalışma alanı için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 6). Söz konusu heyelan duyarlılık haritası eşit dağılım (quantile) prensibi ile 5 duyarlılık bölgesine ayrılmıştır. Duyarlılık haritası incelendiğinde, bölgenin özellikle kuzey ve orta kısımlarda heyelan olma riskinin çok yüksek ve yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan çalışma alanının güney kısımları çok düşük ve düşük derecede heyelan olma riski taşıyan alanlar olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 7. RO algoritması için Wilcoxon's Sıra Toplamı Testi

	10:90	20:80	30P	Delta	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10
10P	0,600	1,307	**6,184**	**6,184**	**6,189**	**5,381**	**6,736**	**7,452**	**7,514**	**7,921**	**8,547**
10:90		0,664	**5,522**	**5,213**	**5,511**	**5,222**	**6,124**	**7,462**	**7,526**	**7,633**	**8,041**
20:80			**4,279**	**4,279**	**4,587**	**4,472**	**5,682**	**6,533**	**6,746**	**6,948**	**7,777**
30P				0,000	0,508	0,378	1,270	**2,462**	**2,605**	**2,954**	**3,825**
Delta					0,894	0,372	1,336	**2,500**	**2,734**	**3,151**	**4,202**
30:70						0,868	0,775	0,066	**2,213**	**2,673**	**3,810**
40:60							0,982	**3,221**	**3,618**	**4,117**	**4,808**
50:50								1,622	**2,117**	**2,646**	**3,889**
60:40									**2,180**	0,756	**2,191**
70:30										0,688	0,117
80:20											1,706

Not: %95 güven aralığı için z değerinin 1,96'ten büyük olması tematik harita doğrulukları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade etmektedir.

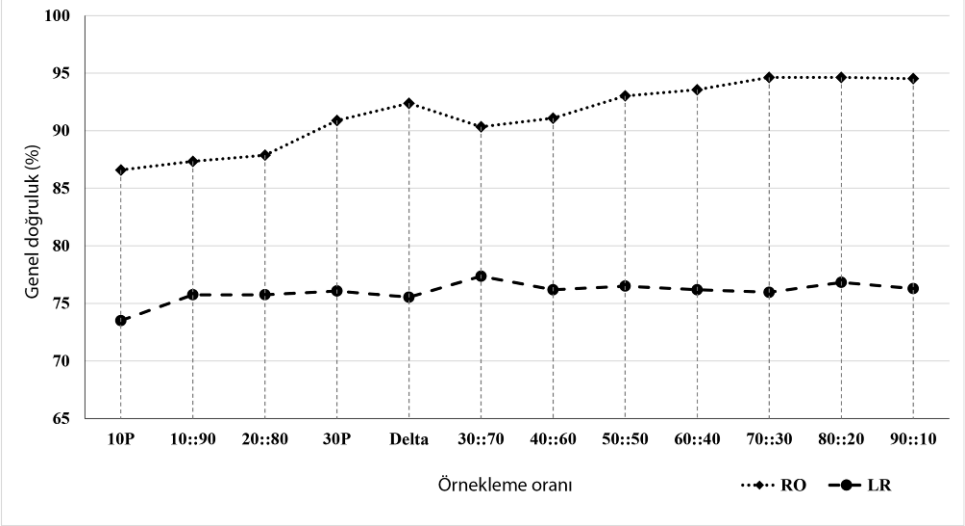


Şekil 6. RO algoritması ile 70:30 örneklem oranı için üretilen heyelan duyarlılık haritası.

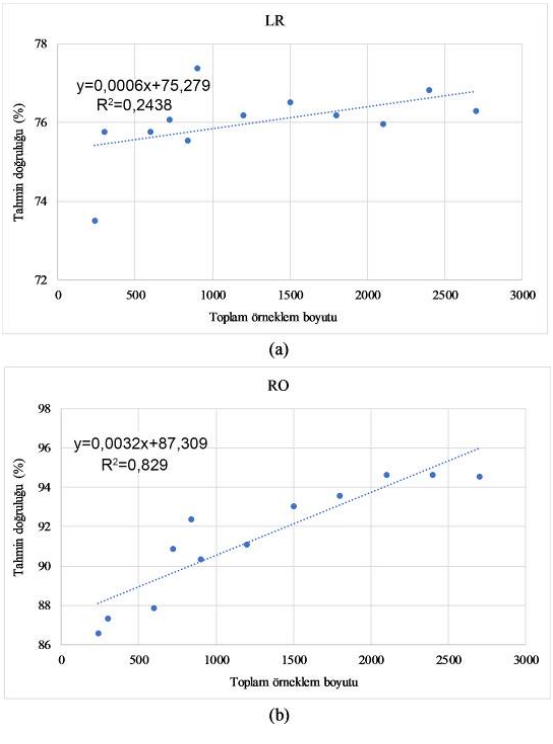
ç. LR ve RO performanslarının karşılaştırılması

Çalışma kapsamında ele alınan LR ve RO algoritmalarının farklı örnekleme oranları kullanımına ilişkin performanslarını bir arada değerlendirmek amacıyla her iki algoritma için hesaplanan genel doğruluk değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere çalışma kapsamında ele alınan 12 farklı örnekleme oranı için literatürde ileri tahmin algoritması olarak nitelendirilen RO algoritmasının klasik tahmin algoritması olan LR yöntemine göre sınırlı sayıda eğitim verisi kullanıldığı durumlarda (10P, 30P, Delta ve 10:90) tahmin doğruluğu açısından %13 daha iyi olduğu, özellikle fazla sayıda örneğin eğitim verisi olarak kullanıldığı (60:40, 70:30, 80:20 ve 90:10) durumlarda RO algoritması ile tahmin doğruluğundaki iyileşmenin yaklaşık %19 seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Tabloda verilen performans değişimleri incelendiğinde, artan eğitim veri seti boyutuna karşı LR algoritmasının performansında önemli bir değişiklik görülmezken, RO algoritmasının performansında %8'e varan seviyelerde artış olduğu görülmektedir. Bu durum LR algoritmasının eğitim veri seti boyutuna karşı daha az duyarlı olduğunu gösterirken, RO algoritmasının performansının istatistiksel olarak belirli bir noktaya kadar (70:30) arttığını, bu noktadan sonra performansının değişmediğini göstermektedir.

Örneklem boyutundaki değişimler ile tahmin algoritmaları arasındaki ilişki hesaplanan doğrusal ve logaritmik eğilim çizgileri kullanılarak ayrı ayrı incelenmiştir. Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri ile bunlara ilişkin R^2 değerleri hesaplanmıştır. Şekil 8'de LR ve RO algoritmaları için hazırlanan dağılım grafiği ve doğrusal regresyon eğrisi gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere LR algoritması için hesaplanan R^2 değeri 0,244 iken RO algoritması için hesaplanan istatistik değer 0,829'dur.



Şekil 7. Farklı örnekleme oranları için LR ve RF algoritmalarının performansı.



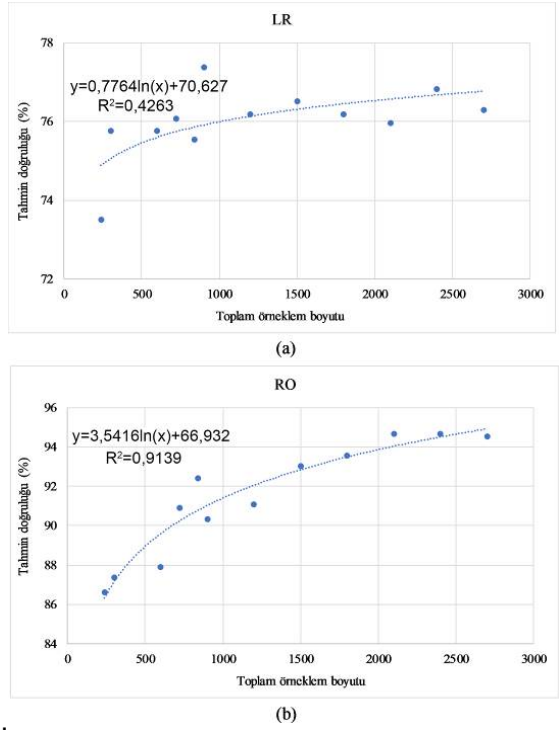
Şekil 8. LR ve RO algoritmaları için hesaplanan doğrusal eğilim grafikleri.

Elde edilen bu sonuç, RO algoritmasının tahmin performansı ile örneklem boyutu arasındaki doğrusal ilişkinin oldukça güçlü olduğunu göstermektedir. Örneğin RO ile hesaplanan doğru denklemi (Şekil 8b) $y = 0,0032x + 87,309$ şeklindedir. Burada, *x* modelin oluşturulması için kullanılacak eğitim veri setinde heyelan ve heyelan olmayan örneklerin toplam sayısını; *y* ise RO algoritması ile elde edilebilecek doğruluğu göstermektedir. Örneğin 10P kuralına göre oluşturulan eğitim veri setinde toplam 240 örnek bulunmaktadır. Denklem yardımıyla bu veri seti için RO algoritmasının tahmin performansı yaklaşık %88 olarak hesaplanırken, bu örneklem boyutunda algoritmanın hesaplanan performansı %87'dir. LR algoritması için hesaplanan doğru denklemi $y = 0,0006x + 75,279$ şeklindedir.

Örneğin 10P kuralına göre oluşturulan eğitim veri setinde toplam 240 örnek bulunmaktadır. Denklem yardımıyla bu veri seti için LR algoritmasının tahmin performansı yaklaşık %75 olarak tahmin edilirken, bu örneklem boyutunda algoritmanın hesaplanan performansı %73'tür. LR algoritması için hesaplanan doğru denklemi olması gerekenden istatistiksel olarak farklı sonuçlar vermektedir.

Şekil 9'da LR ve RO algoritmaları için dağılım grafiği ve hesaplanan logaritmik regresyon eğrisi gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere LR algoritması için hesaplanan R^2 değeri 0,426 iken RO algoritması için hesaplanan istatistik değeri 0,914'tür. Bu durum RO algoritmasının tahmin performansı ile örneklem boyutu arasındaki logaritmik ilişkinin de güçlü olduğunu göstermektedir. Örneğin RO ile hesaplanan doğru denklemi $y = 3,5416\ln(x) + 66,932$ şeklindedir. Burada, *x* modelin oluşturulması için kullanacak eğitim veri setinde heyelan ve heyelan olmayan örneklerin toplam sayısını; *y* ise RO algoritması ile elde edilebilecek doğruluğu göstermektedir. Örneğin 10P kuralına göre oluşturulan eğitim veri setinde toplam 240 örnek bulunmaktadır. Denklem yardımıyla bu veri seti için RO algoritmasının performansının %86,34 olacağı tahmin edilirken, bu örneklem boyutunda

algoritmanın hesaplanan performansı %86,59'dur. LR algoritması için hesaplanan doğru denklemi $y = 0,776\ln(x) + 70,627$ şeklindedir. Örneğin 10P kuralına göre oluşturulan eğitim veri setinde toplam 240 örnek bulunmaktadır. Denklem yardımıyla bu veri seti için LR algoritmasının tahmin doğruluğunun yaklaşık %75 olacağı kestirilirken, bu örneklem boyutunda algoritmanın hesaplanan performansı %73'tür. LR algoritması için hesaplanan doğru denklemi olması gerekenden istatistiksel olarak farklı sonuçlar vermektedir



Şekil 9. LR ve RF algoritmaları için hesaplanan logaritmik eğilim grafikleri.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde ve heyelana duyarlı alanların tahmin edilmesinde kullanılacak eğitim veri seti boyutu ve eğitim veri seti boyutundaki değişimlerin tahmin doğruluğu üzerindeki etkilerinin detaylı şekilde analiz edilmesi ve problem çözümüne yönelik bir metodoloji önerilmiştir. Bu amaçla ülkemizde heyelan alanlarının sıklıkla gözlemlendiği Türkiye'nin Orta Karadeniz bölgesinin Sinop ili sınırları içinde yer alan bölge için envanter çalışması yapılmış ve heyelana etki eden faktörler tespit edilmiştir. Ayrıca optimum faktör kümesinin tespiti için Pearson's korelasyonu metodu uygulanmıştır. Bunlara ilave olarak özellikle uzaktan algılama alanında sınıflandırma işlemi için gerekli olan minimum örnekleme nokta sayısının tespitinde kullanılan 10P, 30P ve Delta kabulleri de esas alınarak örneklem boyutu tespit edilmiştir. Toplamda 12 farklı örneklem boyutu ile eğitim ve test veri setleri oluşturulmuş ve tahmin doğruluğuna etkilerinin araştırılması maksadıyla LR ve RO algoritmaları değerlendirmeye alınmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde birbirinden farklı ve karmaşık yapıdaki birçok faktörün bir arada değerlendirilmesi ve tahmin modeli oluşumu söz konusudur. Çalışma kapsamında Pearson's korelasyonu ile yapılan analiz sonucunda değerlendirmeye alınan 12 faktörden NDVI, AÖAK, litoloji, eğim ve TNİ faktörlerinin model oluşumunda en etkin faktörler olduğu görülmüştür. Bu faktörlerin yanında bakı, STİ, plan eğriliği, AGİ, profil eğriliği, AOA ve yükseklik faktörleri ise Pearson's analizine göre en az etkin faktörler olarak tespit edilmiştir. Ancak tüm faktörlerin model oluşumuna etkisi olduğundan faktör çıkarımı veya en etkin faktör kümesi belirlemesi yoluna gidilememiş tüm faktörler model oluşumunda değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen bu sonuç literatürdeki birçok araştırma ile paralellik göstermektedir.

- Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde eğitim veri seti boyutu ile tahmin doğruluğu arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla 12 farklı eğitim veri seti boyutu tespit edilmiştir. Söz konusu eğitim veri seti boyutları için LR ve RO ayrı ayrı tahmin modelleri oluşturulmuş ve sonuçlar detaylı şekilde analiz edilmiştir. Uygulama sonucunda özellikle veri seti boyutunun tahmin doğruluğuna etkisi olduğu, özellikle gelişmiş tahmin algoritması olan RO algoritmasının performansının veri seti boyutundaki artışla dayalı olarak paralellik göstererek belirli bir seviyeye kadar arttığı görülmüştür. İstatistiksel analiz sonuçları da özellikle 70:30 oranına kadar RO algoritmasının performansında anlamlı değişimler olduğunu, bu noktadan sonra model performansının istatistiksel olarak benzer olduğunu göstermiştir. Elde edilen bu sonuç literatürde sıklıkla değerlendirmeye alınan 70:30 örnekleme boyutu ile de örtüşmektedir.

- Çalışmada LR algoritmasının performansının, gelişmiş veri madenciliği yöntemlerinden biri olan RF algoritmasına göre istatistiksel olarak oldukça düşük olduğu görülmüştür. Özellikle model oluşumunda sınırlı sayıda örnek kullanıldığı durumda %13, yüksek boyutlu örneklem

kullanılması durumunda yaklaşık %19'lara varan seviyelerde RO algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen bu sonuç, özellikle son yıllarda literatürde heyelan duyarlılık analizi ve heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi araştırmalarında veri madenciliği yöntemlerinin yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamasının temel nedenlerinden biri olup, sonuçlar literatür çalışmalarını destekler niteliktedir.

• Örneklem boyutundaki değişimler ile tahmin algoritmaları arasındaki ilişki hesaplanan doğrusal ve logaritmik eğilim çizgileri kullanılarak ayrı ayrı incelenmiştir. Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri ve R^2 değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, RO algoritması için doğrusal regresyon esas alındığında hesaplanan R^2 değerinin 0,829, LR algoritması için hesaplanan R^2 değerinin 0,244 olduğunu göstermektedir. Logaritmik regresyon analizi esas alındığında RO ve LR algoritmaları için hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0,914 ve 0,426'dir. Elde edilen bu bulgular, RO algoritması ile örneklem boyutu arasında güçlü bir doğrusal ilişki olduğunu, bunun aksine LR algoritması ile doğrusal bir ilişkinin olmadığı ifade edilebilir.

• Literatürde uzaktan algılama alanında istatistiksel metotların kullanımında örnekleme nokta sayısının tespitinde kullanılan 10P, 30P ve Delta kabulleri ile belirlenen örneklem boyutlarının heyelan duyarlılık analizinde harita doğruluğunun artışına bir etki sağlamadığı görülmüştür.

TEŞEKKÜRLER

Gebze Teknik Üniversitesi, BAP 2018-A101-11 nolu Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

ORCID

Emrehan Kutluğ ŞAHİN https://orcid.org/0000-0002-9830-8585
İsmail ÇÖLKESEN https://orcid.org/0000-0001-9670-3023

K A Y N A K L A R

Bai, S. B., Lu, G. N., Wang, J. A., Zhou, P. G. ve Ding, L. A. (2011). GIS-based rare events logistic regression for landslide-susceptibility mapping of Lianyungang, China. *Environmental Earth Sciences*, 62(1), 139-149. doi:10.1007/s12665-010-0509-3

Biesiada, J. ve Duch, W. (2007). *Feature Selection for High-Dimensional Data — A Pearson Redundancy Based Filter*. Berlin: Heidelberg.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. doi: 10.1023/A:1010933404324

Brenning, A. (2005). Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. Natu*ral Hazards and Earth System Sciences*, 5(6), 853-862. doi:10.5194/nhess-5-853-2005

Bui, D. T., Ho, T. C., Pradhan, B., Pham, B. T., Nhu, V. H. ve Revhaug, I. (2016). GIS-based modeling of rainfall-induced landslides using data mining-based functional trees classifier with AdaBoost, Bagging, and MultiBoost ensemble frameworks. *Environmental Earth Sciences*, 75(14). doi:110110.1007/s12665-016-5919-4

Carrara A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 15(3), 403-426. doi: 10.1007/Bf01031290

Chen, W., Li, W. P., Hou, E. K., Zhao, Z., Deng, N. D., Bai, H.Y. ve Wang, D. Z. (2014). Landslide susceptibility mapping based on GIS and information value model for the Chencang District of Baoji, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(11), 4499-4511. doi:10.1007/s12517-014-1369-z

Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., Bui, D. T., Duan, Z. ve Ma, J. A. (2017). A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *Catena*, 151, 147-160. doi:10.1016/j.catena.2016.11.032

Chung, C. J. F., Fabbri, A. G. ve Van Westen, C. J. (1995). *Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation*. A. Carrara, F. Guzzetti (Ed.) Geographical information systems in assessing natural hazards (s. 107–133) içinde. New York: Springer.

Colkesen, I., Sahin E. K. ve Kavzoglu, T. (2016). Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. *Journal of African Earth Sciences*, 118, 53-64. doi:10.1016/j.jafrearsci.2016.02.019

Congalton, R. G. ve Green, K. (2008). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data*. Principles and Practices. (2. Baskı) Boca Raton, FL: CRS Press/Taylor & Francis.

Dai, F. C. ve Lee, C. F. (2002). landslide characteristics and slope ınstability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42(3-4), 213-228. doi: 10.1016/S0169-555x(01)00087-3

Foody, G. M. ve Mathur, A. (2004). A relative evaluation of multiclass image classification by support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(6), 1335-1343. doi:10.1109/Tgrs.2004.827257

Gomez, H. ve Kavzoglu, T. (2005). Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78(1-2), 11-27. doi:10.1016/j.enggeo.2004.10.004

Heckmann, T., Gegg, K., Gegg, A. ve Becht, M. (2014). Sample size matters: investigating the effect of sample size on a logistic regression susceptibility model for debris flows. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(2), 259-278. doi:10.5194/nhess-14-259-2014

Hong, H. Y., Pradhan, B., Xu, C. Ve Tien Bui., D. (2015). Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines. *Catena*, 133, 266-281. doi:10.1016/j.catena.2015.05.019

Kavzoglu, T. ve Colkesen, I. (2013). An assessment of the effectiveness of a rotation forest ensemble for land-use and land-cover mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 34(12), 4224-4241. doi:10.1080/01431161.2013.774099

Kavzoglu, T. ve Colkesen, I. (2012). *The effects of training set size for the performance of support vector machines and decision trees.* Proceedings of 10th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences (ACCURACY2012), Florianópolis, SC, Brazil.

Kavzoglu, T., Sahin E. K. ve Colkesen, I. (2014). Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, 11(3), 425-439. doi:10.1007/s10346-013-0391-7

Kavzoglu, T., Sahin, E. K. ve Colkesen, I. (2015a). An assessment of multivariate and bivariate approaches in landslide susceptibility mapping: a case study of Duzkoy district. *Natural Hazards*, 76(1), 471-496. doi:10.1007/s11069-014-1506-8

Kavzoglu, T., Sahin, E. K. ve Colkesen, I. (2015b). Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm. *Engineering Geology*, 192, 101-112. doi:10.1016/j.enggeo.2015.04.004

Kuncheva, L. I. ve Whitaker, C. J. (2003). Measures of diversity in classifier ensembles and their relationship with the ensemble accuracy. *Machine Learning*, 51(2), 181-207. doi:10.1023/A:1022859003006

Lee, S. (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data journals. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7), 1477-1491. doi:10.1080/01431160412331331012

Mather, P. M. (2004). Computer Processing of Remotely-Sensed Images (3. baskı). Chichester: Wiley.

Petschko, H., Brenning, A., Bell, R., Goetz, J. ve Glade, T. (2014). Assessing the quality of landslide susceptibility maps- case study Lower Austria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(1), 95-118. doi:10.5194/nhess-14-95-2014

Pham, B. T., Bui, D. T., Dholakia, M. B., Prakash, I., Pham, H. V., Mehmood, K. ve Le, H. Q. (2016). A novel ensemble classifier of rotation forest and Naïve Bayer for landslide susceptibility assessment at the Luc Yen district, Yen Bai Province (Viet Nam) using GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 649-671. doi:10.1080/19475705.2016.1255667

Pradhan, A. M. S. ve Kim, Y. T. (2014). Relative effect method of landslide susceptibility zonation in weathered granite soil: a case study in Deokjeokri Creek, South Korea. *Natural Hazards*, 72(2), 1189-1217. doi:10.1007/s11069-014-1065-z

Suzen, M. L. ve Doyuran, V. (2004). A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. *Environmental Geology*, 45(5), 665-679. doi:10.1007/s00254-003-0917-8

Şahin, E. K. (2017). *Özellik Seçimi Algoritmaları Kullanılarak Heyelanda Etkili Faktörlerin Belirlenmesi ve Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi* (Doktora Tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tien Bui, D., Tuan, T. A., Klempe, H., Pradhan, B. ve Revhaug, I. (2016). Spatial prediction models for shallow landslide hazards: a comparative assessment of the efficacy of support vector machines, artificial neural networks, kernel logistic regression, and logistic model tree. *Landslides*, 13(2), 361-378. doi:10.1007/s10346-015-0557-6

Tsai, F. ve Philpot W. D. (2002). A derivative-aided hyperspectral image analysis system for land cover classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(2), 416-425. doi: 10.1109/36.992805

Van Westen, C. J. (1993). *Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation*. Enschede: ITC-Publication.

Webb, A. R. ve Copsey, K. D. (2011). *Statistical Pattern Recognition* (3. baskı). Chichester: John Wiley and Sons.

Yalcin, A., S. Reis, Aydinoglu, A. C. ve Yomralioglu, T. (2011). A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85(3), 274-287. doi:10.1016/j.catena.2011.01.014

Yang, Z. H., Lan, H. X., Gao, X., Li, L. P., Meng, Y. S. ve Wu, Y. M. (2015). Urgent landslide susceptibility assessment in the 2013 Lushan earthquake-impacted area, Sichuan Province. China. *Natural Hazards*, 75(3), 2467-2487. doi:10.1007/s11069-014-1441-8

Yao, X., Tham, L. G. ve Dai, F. C. (2008). Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: A case study on natural slopes of Hong Kong, China. *Geomorphology*, 101(4), 572-582. doi:10.1016/j.geomorph.2008.02.011

Yilmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers & Geosciences*, 35(6), 1125-1138. doi:10.1016/j.cageo.2008.08.007

Yilmaz, I. (2010). Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine. *Environmental Earth Sciences*, 61(4), 821-836. doi:10.1007/s12665-009-0394-9

Youssef, A. M., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R. ve Abdullahi, S. (2015). Landslide susceptibility assessment at Wadi Jawrah Basin, Jizan region, Saudi Arabia using two bivariate models in GIS. *Geosciences Journal*, 19(3), 449-469. doi:10.1007/s12303-014-0065-z

1:25.000 Ölçekli Standart Topoğrafik Harita Yazı Katmanı Değişim İncelemesi

(1:25.000 Scale Standard Topographic Map Annotation Layer Change Analysis)

Turgay ÇAP[1]*, Hüseyin Zahit SELVİ[2], İlkay BUĞDAYCI[2]

[1]Harita Genel Müdürlüğü, 06800, Çankaya, Ankara

[2]NEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Bölümü, 42090, Meram, Konya

*Sorumlu yazar: turgay.cap@harita.gov.tr

Geliş Tarihi (Received): 05.03.2020 Kabul Tarihi (Accepted): 29.06.2020

ÖZ

Harita yazılarının otomatik oluşturulması ve yerleştirilmesi Kartografya bilim dalının halen tam anlamıyla çözülememiş sorunları arasındadır. Bu nedenle yazı katmanlarının oluşturulması kartograf etkileşimli olarak devam etmektedir. Topoğrafik harita üretim sürelerinin azaltılması için yazı katmanının otomatik oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmamızda, Harita Genel Müdürlüğünde (HGM) aktif olarak kullanılmakta olan 1:25.000 Ölçekli Kartografik Harita Üretim Sistemi (Karto25) içerisinde, yarı otomatik ve kartograf etkileşimli olarak oluşturulan yazı katmanının ham veriden sonuç ürüne olan değişim süreci incelenmiştir. Ham yazı katmanının %91 oranında ciddi bir değişime uğrayarak sonuç ürüne dönüştüğü tespit edilmiştir. İleriki süreçte yapılacak olan otomatik yazı katmanı oluşturma çalışmalarına girdi sağlayacak olan eksiklikler somut olarak tespit edilerek çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Topografik harita üretimi, otomatik yazı yerleştirme, kartografyada otomasyon, ESRI Maplex*

ABSTRACT

Automatic creation and placement of map text have been still among the problems of the Cartography discipline that have not been fully resolved yet. For this reason, creation of annotation layer continues with cartographer interaction. Automatic creation of the annotation layer is of great importance in order to reduce the topographic map production time. The transformation process from the raw data to the final product of annotation layer, which is created semi-automatic and with the interaction of the cartographer within the "1:25.000 Scaled Cartographic Map Production System (Karto25)", that is actively used in General Directorate of Mapping (GDM), is examined in this study. It has been determined that the raw annotation layer has undergone a serious change at the rate of 91% while turning into a final product. The deficiencies that will provide input for the automatic annotation layer to be made in the future process are determined concretely and proposal of solution are presented.

Keywords: *Topographic mapping, automated label placement; automated cartography, ESRI Maplex*

1. GİRİŞ

Son yıllarda harita üretim süreleri azalmakta ve üretim otomasyonuna ilgi sürekli artmaktadır. Tam otomatik harita üretimine yönelik ticari yazılımlar sürekli yeni araçlar geliştirmektedir. Harita üretiminde en fazla zamanı alan alanlardan birisi harita yazılarıdır. Harita yazıları özniteliklerden ve coğrafi ad dizinlerinden otomatik olarak oluşturulmaktadır. Otomatik oluşturulan yazıların harita üzerine yerleştirilmesi problemi ise tam olarak çözülebilmiş değildir. Tecrübeli bir kartografın yapmış olduğu haritalar, halen otomasyonla üretilen haritaların kalite olarak önünde yer almaktadır. Harita nefasetini en çok etkileyen ve harita okuyucusu ile köprü vazifesini gören yazı katmanının otomatik yerleştirme algoritmaları kullanılarak yapılması haritacılık alanında çözüm beklenen sorunlardan biridir.

Son birkaç on yılda, kartografya alanında yazı yerleştirme işlemini otomatikleştirmek için birçok girişimde bulunulmuştur. Yazı yerleştirme algoritmaları en basit sorunların çözümünden (Basoglu, 1982; Hirsch, 1982; Yoeli, 1972;) sofistike araçlarla gerçekleştirilen en karmaşık çözemlere doğru tarih içerisinde olgunlaşmıştır. Wolff ve Strijk (2009) bu konuda yapılan çalışmaların ayrıntılı bir derlemesini yapmışlardır. Harita üretiminde kullanılan gelişmiş etiketleme araçlarına örnek olarak Maplex Etiketleme Motoru (ESRI, 2020) ve Label-EZ (Maptext, 2020) verilebilir. Yazı yerleştirme algoritmalarının temel amacı, kartografları iki manuel görevden kurtarmaktır (Rylov ve Reimer, 2015):

- Harita yazılarının obje özniteliklerinden doğru bir şekilde etiketlenmesi,
- Önceden tanımlanmış yazı karakterleri ve kuralları kullanarak yazıların harita üzerinde yerleştirilmesi.

Sonuç olarak, önceden belirlenmiş kurallar ve yazı sınıflarıyla otomatik yazı yerleşimi harita

Atıf/To cite this article: Çap, T., Selvi, H.Z. ve Buğdaycı, İ. (2020). 1:25.000 Ölçekli Standart Topoğrafik Harita Yazı Katmanı Değişim İncelemesi. *Harita Dergisi,* 164, 61-76.

üretim süresini ve maliyetini azaltmaktadır. Ticari ve açık kaynak etiketleme paketleri uzun süredir mevcut olmasına rağmen, baskıya esas bir haritada profesyonel bir nefaset ve okunabilirlik düzeyi elde etmek için kartograf müdahalesine ihtiyaç vardır. Ayrıca, otomatik etiketleme araçlarının topoğrafik harita üretim standartlarına uyacak şekilde parametrelendirilmesi genellikle de zordur (Revell, Regnauld ve Bulbrook, 2011; Regnauld, Lessware, Wesson ve Martin, 2013).

Stachon (2007) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, ESRI Maplex etiketleme motoru ile otomatik oluşturulmuş yazı katmanının sonuç üründe ne kadar değiştiği değerlendirilmiştir. Bunun için nokta, çizgi, alan objelere ait yazıların otomatik yerleştirilmiş halleri 2 yıllık kartografik tecrübesi olan deneklere verilerek harita oluşturmaları istenmiştir. Otomatik yerleştirilen yazıların %85'nin konumunun kartograflar tarafından değiştirildiği ölçülmüştür.

Bu çalışmada, Harita Genel Müdürlüğünde (HGM) aktif olarak kullanılmakta olan 1:25.000 Ölçekli Kartografik Harita Üretim Sistemi (Karto25) içerisinde, yarı otomatik ve kartograf etkileşimli olarak oluşturulan yazı katmanının değişim süreci incelenmiştir. İleriki süreçte yapılacak olan otomatik yazı katmanı oluşturma çalışmalarına girdi sağlayacak olan eksikliklerin somut olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Karto25 üretim sisteminde, ESRI ArcGIS Desktop 10.2 yazılımı ve bu yazılım içerisinde ArcObject kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiş olan araçlar bulunmaktadır. Ham yazı katmanı oluşturulması için ise aynı yazılıma ait Maplex Etiketleme Motoru kullanılmaktadır. Başlangıçta ham olarak oluşturulan yazı katmanı, kartograflar tarafından düzenlenerek sonuç ürün haline getirilmektedir. Ham yazı katmanı sonuç ürüne ne kadar yakın olursa, üretimde geçen süre bir o kadar az olmaktadır.

Tüm Türkiye'yi kapsayan 5528 adet 1:25.000 ölçekli paftayı içeren K816 serisi, çalışma kapsamında incelenmiştir. 10-15 yıllık deneyime sahip 4 farklı kartograf tarafından yapılan düzenlemeler sonucunda oluşturulan haritadaki değişim oranları değerlendirilmiştir. Ayrıca Karto25 üretim sisteminde 2019 yılında üretimi tamamlanmış az, orta ve çok yoğunluklu 9 farklı pafta seçilerek, K816 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita serisinin en uygun şekilde temsil edilmesi sağlanmıştır.

Devam eden ikinci bölümde harita yazıları tanımı, önemi ve özellikle yazı yerleştirme esasları üzerinde durulmuştur. Harita yapımında kullanılan nokta, çizgi ve alan objelere ait yazı yerleştirme kuralları, HGM yönergeleri ve literatürde kabul görmüş diğer kurallar irdelenerek ortaya konulmuştur. Üçüncü bölümde yapılan yazı değişim incelemesine ait istatistiki sonuçlar değerlendirilmiştir. Yazı katmanını oluşturan her yazı sınıfı tek tek ele alınmış, eksiklikler tespit edilmiştir. Son bölümde ise yapılan çalışmaya ait sonuçlar ortaya konmuş, otomatik yazı katmanı oluşturmak için yapılacak işlemler önerilmiştir.

2. HARİTA YAZILARI

Harita, gerçek dünyayı kullanıcının zihninde canlandırmak amacıyla kullanılan bir araçtır. Bu durumda harita, gerçek dünyayı modellerken coğrafi nesnelerin,

- Konumsal (geometrik) bilgilerini,
- Tanımlayıcı (öznitelikseL) bilgilerini,
- Birbirleri arasındaki ilişkilerini kullanıcılara sunmalıdır (HGM, 2003).

Ayrıca gerçek dünyada var olmayan, ancak gösterilmesi gerekli olan bazı özellikler de harita üzerinde çeşitli şekillerde yer alır (Münhaniler, yol numaraları, eğim alanları). Detaya ait olan ve özel işaretlerle gösterilemeyen ancak mutlaka gösterilmesi gereken bilgilerin gösteriminde yazı kullanılır. Normalde yazı bir haritanın dilidir ve obje adreslemede en çok kullanılan bilgidir (Çobanoğlu, 2016).

Harita üzerindeki bütün yazılar (harfler ve rakamlar), hangi tür harita olursa olsun, kartografın ve harita kullanıcısının iletişim kurmalarını mümkün kılar. Haritalardaki yazılar, objelerin etiketlenmesi (tanıtılması, dillendirilmesi) yanında, ölçek, özel işaretler gibi bilgileri de kullanıcıya iletmek için kullanılır. Her türlü yazılı belgede, yazıya ait bütün elemanlar yani harf ve rakamlar, anlatılmak isteneni sağlayan bir işarettir. Bu durum haritalar için de geçerlidir (HGM, 2000).

Yazı türlerinin (fontların) seçimi, isimlerin hazırlanması ve uygun konumlara yerleştirilmesi haritanın harflendirilmesi olarak da adlandırılır (Robinson vd., 1995). Çok sayıda isim olması durumunda kartografik tasarımın en zor ve zaman alıcı aşamasıdır. Bilgi teknolojilerinin kartografik tasarımda kullanımı yazı konusunda kolaylık sağlasa da halen yazıların yerleştirilmesinde kartografların ekran başında düzeltmeler yapmaları gerekmektedir. Bu alanda kartografyada otomasyon henüz tatmin edici düzeyde değildir (Bildirici, 2018).

a. Yazıların Yerleştirilmesi

Harita okuma, yazıların yerleşiminden büyük ölçüde etkilenir. Uygun bir yerleşimle, yazının neye ait olduğu ve neyi tanımladığı ortaya konur. Yazının yazıldığı yer, yazının büyüklüğü ve tipi kadar önem taşır. Yazının kartograf ve harita kullanıcısı arasındaki en önemli iletişim kaynağı olduğu asla unutulmamalıdır.

Yazıların harita içine dikkatli bir şekilde yerleştirilmesi, okunabilirliği ve haritanın genelindeki nefaseti artırır. Yazıların yerleştirilmesinde, çok çeşitli kurallar olup, bunlar yazının temsil ettiği obje türüne veya grafiğe bağlı olarak değişir. Yazı ait olduğu obje türlerine göre gruplandıracak olursa;

- Nokta objelere ait yazılar,
- Çizgi objelere ait yazılar,
- Alan objelere ait yazılar,
- Başlık, lejant ve grafiklere ait yazılar olmak üzere dört grup elde edilir.

Nokta, çizgi ve alan objeler için etkili bir yazı yerleştirme işleminin nasıl yapılacağı önde gelen kartograflar (Imhof, 1975; Wood, 2000; Brewer, 2005) tarafından tanımlanmıştır.

Yazının haritadaki en önemli fonksiyonu konumsal, yani yer gösteren bir işleve sahip olmasıdır. Bu işlev üç şekilde gerçekleşir:

- Şehirler gibi nokta objelerin konumlarını göstermek,
- Dağ sıraları, nehirler gibi çizgisel objelerin yön ve büyüklüklerini göstermek,
- Deniz, kıta, ülke gibi büyük objelerin şekil ve kapsama alanlarını göstermek.

Harita yazılarının yerleştirilmesinin çok zaman alması ve çözümünün zor olması nedeniyle bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Otomatik yazı yerleştirme alanında yapılan başlıca çalışmalar incelendiğinde; nokta objeler için Yoeli (1972), Christensen, Marks ve Shieber (1995), van Kreveld, Strijk, ve Wolff (1999); çizgi objeler için Barrault ve Lecordix (1995), Edmondson, Christensen, Marks ve Shieber (1996), Chirie (2000), Wolff, Knipping, van Kreveld, Strijk, ve Agarwal (2001); alan objeler için van Roessel (1989), Barrault (2001), Rylov ve Reimer (2017) öncelikli olarak sayılabilir.

(1) Nokta Objelere Ait Yazılarda Yerleşim

1:25.000 Ölçekli topoğrafik harita üretiminde nokta objelerin yazılarının yerleştirilmesinde literatürde de sıklıkla rastlanan aşağıdaki kurallar kullanılmaktadır (Imhof, 1972; Bertin, 1983; Robinson, Morrison, Muehrcke, Kimerling ve Guptill 1995; HGM, 2003):

- Yazılar paftanın alt veya üst kenarına paralel olacak şekilde, yatay olarak yazılmalıdır.
- Yazıların harfleri arasında boşluk bırakılmamalıdır.
- Yazılar uygun derecede objeye yakın olmalıdır.
- Yazılar öncelikli olarak objenin sağ üstüne yazılmalıdır.
- Eğer yazılar ve objeler çok karışıyorsa veya objeler içine yazı yazılamıyorsa, yazı oku kullanılabilir.
- Yazı oku ile ifade edilemeyecek kadar yazısı yoğun olan harita bölgelerinde, objelere numara verip, numara açıklamaları lejantta ayrıca belirtilebilir.
- Kıyıya sınırı olan yerleşim yerlerinin yazıları denize yazılmalıdır.
- Yazı ya tamamen karaya ya da tamamen deniz üzerine yazılmalıdır.
- Yazılar birbirine çok yakın olmamalıdır.
- Yazılar ne çok yaygın olarak ne de bir bölgeye çok yoğunlaşmış olarak yazılmalıdır.
- Obje ve ilişkili yazı birbirini tereddüte imkân vermeyecek derecede çok net olarak belirtmelidir.
- Yazılar arka plandaki objeleri örtmemeli ve kapatmamalıdır.
- İki yazı üst üste gelmemelidir.

(2) Çizgi Objelere Ait Yazılarda Yerleşim

1:25.000 Ölçekli topoğrafik harita üretiminde çizgi objelerin yazılarının yerleştirilmesinde aşağıdaki kurallar

kullanılmaktadır (Imhof, 1962; Imhof, 1975; Yoeli, 1972; Wood, 2000; Brewer, 2005, HGM, 2003):

- Yazılar, ideal bir yerleştirme olarak, çizgi objelerin üstüne ve yatay bir şekilde yazılmalıdır.

- Çizgi obje boyunca yazılacak ismin, objenin yukarısına yazılması daha uygundur. Çünkü küçük harflerde alt uzantılar, üst uzantılardan (ş, ç, ğ, j) daha azdır.

- Yazı, çizgi objenin eğimi ile uyumlu olmalıdır.

- Çok karmaşık ve aşırı eğimli yazı yazımından kaçınılmalı, çizgi objenin eğimi az, düz olan yerlerine yazı yazımı tercih edilmelidir.

- Yazılar objeyi takip edecek şekilde yazılmalıdır.

- Yazı çizgi objeye makul bir uzaklıkta olmalı ne çok uzak ne de çok yakın olmalıdır.

- Çizgi objelere ait yazılarda boşluk kullanılmamalıdır.

- Yazılar obje boyunca uygun aralıklarla tekrar edilebilir.

- Yazı objeyi kapatacak şekilde üstüne yazılmamalıdır.

- Eğer çizgisel bir objeye yazılacak yazının dikey olması gerekiyorsa, yazı yönü haritanın sol tarafında yukarı doğru, sağ tarafında ise aşağı doğru olmalıdır.

- Yazıları çizgi objenin başlangıç veya bitiş noktalarına çok yakın yazmaktan kaçınılmalıdır.

- Yatay hizalanmış yazılar dikey yazılanlara tercih edilmelidir.

(3) Alan Objelere Ait Yazılarda Yerleşim

1:25.000 Ölçekli topoğrafik harita üretiminde alan obje yazılarının yerleştirilmesinde aşağıdaki kurallar kullanılmaktadır (Imhof, 1975; Robinson ve diğerleri, 1995; HGM, 2003):

- Yazı ilgili objenin içine sığıyorsa öncelikle içine yazılması tercih edilmelidir.

- Alan içine yazılan yazılar mümkün olduğunca ağırlık merkezine yerleştirilir.

- Alan obje içinde yer alan doku yazı okunaklılığını azaltıyorsa, yazı alanın dışına yazılmalıdır.

- Alan objelere ait yazılar gerektiğinde harf araları açılarak objenin kapladığı alan temsil edilmelidir.

- Eğik olarak yazılması gereken yazılara verilecek eğim yumuşak olmalıdır.

- Heceleme yapılmamalıdır.

- Eğer yazı yatay yazılamıyorsa, yataydan belirgin bir biçimde farklı yazılarak, kullanıcının yazıda bir hata olduğu veya yanlış yazıldığını düşünmesi engellenmelidir.

- Objeye ait yazıların ilk ve son harfleri obje sınırına fazla yakın olmamalıdır.

- Yazılar soldan sağa doğru okunacak şekilde yazılmalı, dik olarak yazılmamalıdır.

- Yazılar, asla bir kısmı ters yöne dönük olarak yazılmamalıdır.

- Yazılar haritanın yönelimi ile aynı yapıda olmalıdır. Büyük ölçeklerde harita alt ve üst kenarına, küçük ölçeklerde grid çizgilerine paralel olmalıdır.

- Yazı gerekmedikçe eğik yazılmamalıdır.

- Objenin şeklini belirtmek için yazılan yazılar, bölgenin sınırları içinde yer almalıdır.

- Yazı alanı kaplayacak şekilde harfleri aralıklı yazılmalı, fakat asla alanın sınırları ile çakışarak karışıklığa meydan vermemelidir.

3. KARTO25 YAZI KATMANI DEĞİŞİM İNCELEMESİ

Karto25 üretim sisteminde, yazı katmanı başlangıçta ham olarak oluşturulmakta üretim sürecinde ise son halini almaktadır. Yazı katmanını oluşturan 17 yazı sınıfının her biri farklı yöntemlerle üretilmektedir. HGM'nin temel veritabanı, 1:25.000 ölçekli topoğrafik verileri barındıran TOPOVT'dir ve kartografik üretim sistemlerinin kaynağını oluşturmaktadır. TOPOVT

topoğrafya (dağ, tepe, sırt, mevki, körfez vb.) ve yerleşim yeri yazılarını yazı katmanı olarak (annotation) barındırmaktadır. Diğer coğrafi objeler ise harita yazısı olacak bilgilerini özniteliklerinde tutmaktadır. Bu nedenle yazı sınıflarının kimisi TOPOVT'den doğrudan dönüşüm ile kimisi ise öznitelikten etiketleme yöntemiyle oluşmaktadır. TOPOVT'de olmayan ve öznitelikten gelmeyen yazılar ise manuel olarak eklenmektedir. Tablo 1'de yazı katmanını oluşturan yazı sınıflarının nasıl oluşturulduğu gösterilmektedir:

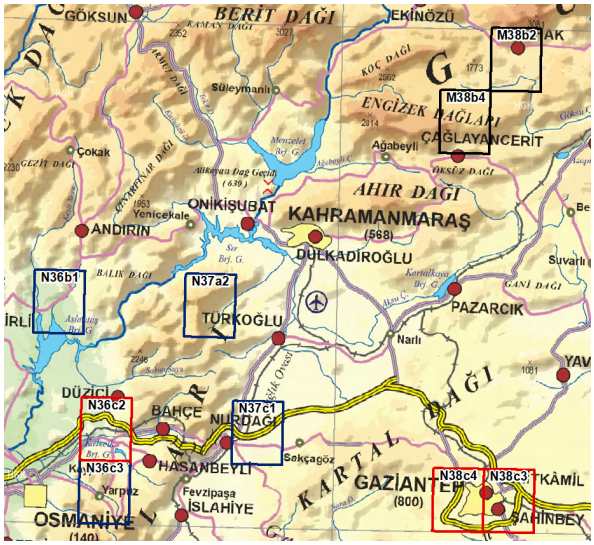
Tablo 1. Yazı sınıfları ve oluşturulma yöntemleri.

Yazı Sınıfları	**Oluşturulma Yöntemi**
Yerleşim Yerleri	TOPOVT'den Dönüşüm
Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	TOPOVT'den Dönüşüm
Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	TOPOVT'den Dönüşüm ve Etiketleme
Dağ İsimleri	TOPOVT'den Dönüşüm
Bitki Örtüsü ve Metresi	Etiketleme-Otomatik Yerleştirme
Bina ve Tesis Yazıları	Etiketleme-Otomatik Yerleştirme
Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	Etiketleme-Otomatik Yerleştirme
Yükseklik Yazısı	Etiketleme-Otomatik Yerleştirme
Dere İsimleri	Etiketleme-Otomatik Yerleştirme
Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Etiketleme-Otomatik Yerleştirme
Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	Etiketleme-Otomatik Yerleştirme
Ülke İsimleri	Manuel Ekleme
Resmi Bina Numarası	Manuel Ekleme
Mahalle Numarası	Manuel Ekleme
Münhani Yükseklik Yazısı	Etiketleme veya Manuel Ekleme
Yol Numarası	Manuel Ekleme
Gider Yazısı	Manuel Ekleme

Tablo.1'de belirtilen yazı sınıfları, harita yazılarının gruplandırılmasıyla oluşturulmuştur. Her yazı sınıfı kendisi için tanımlanmış yazı tipi, büyüklüğü, rengi ve durumu kullanır. Bu kurallar, HGM Kartografik Gösterim Yönergesinin Ek-C 1:25.000, 1:50.000 ve 1:100.000 Ölçekli Topoğrafik Harita Yazılarında Kullanılan Font ve Puntolar bölümünde tanımlanmaktadır (HGM, 2018).

Karto25 üretim sisteminde, Tablo 1'de verilen oluşturulma yöntemleriyle elde edilen ham yazı katmanı düzenlenmek üzere kartografa teslim edilir. Mevcut Karto25 üretim sürecinde bir pafta, bir veri düzenleme ve iki kontrol olmak üzere en az 3 kartografın düzenlemesinden geçmektedir. Çok yoğun veya büyükşehir merkezi içeren paftalarda kontrolcülere bir kartograf daha eklenebilmektedir. Bu durumda ham halde kartografa teslim edilen yazı katmanı oldukça fazla değişime uğrayarak sonuç ürün oluşmaktadır.

Yapılan çalışmada ham ve sonuç yazı katmanları karşılaştırılarak aradaki değişim ölçülmüştür. Karşılaştırma için 2019 yılında üretimi tamamlanan 2 az, 4 orta ve 3 adet çok yoğun veri içeren toplamda 9 pafta seçilmiştir. Ham verisinde 500 yazıdan az yazı içeren paftalar; Az Yoğun (AY), 500 ile 800 arasında yazı içerenler Orta Yoğun (OY), 800'den fazla yazı içerenler ise Çok Yoğun (ÇY) pafta olarak nitelendirilmiştir. Seçilen paftalar, Şekil 1'deki harita üzerinde; az yoğun paftalar siyah, orta yoğun paftalar mavi, çok yoğun paftalar ise kırmızı renkle olacak şekilde gösterilmiştir.

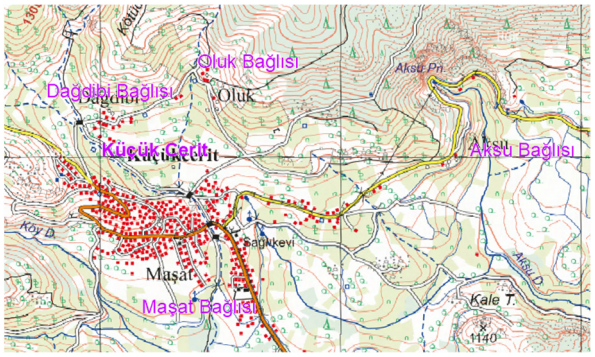


Şekil 1. Seçilen paftaların harita üzerinde gösterimi

Ham ve sonuç yazı katmanları, her yazıya ait obje numarası (OBJECTID) öznitelikleri referans alınarak yazı sınıfları bazında karşılaştırılmıştır. Ham veride bulunup sonuç veride bulunmayan obje numaralı yazılar silinmiş olarak, sonuç veride olup ham veride bulunmayan obje numaralılar ise eklenmiş yazı olarak değerlendirilmiştir. Obje numarası aynı olan yazıların dış çerçevesine ait orta nokta (centroid) koordinatları yardımıyla yer

değiştiren ve aynı kalan sayıları ile aralarındaki ortalama bağıl konum değişimi hesaplanmıştır. Aynı obje numarasına sahip objelerin açı (Angle) öznitelikleri karşılaştırılarak değişen ve aynı kalan açılar ile ortalama açı değişim miktarları hesaplanmıştır. Silinmeyen yazılardaki yazı içerik değişimi ise yazı uzunluğu (SHAPE_Length) ve yazı çerçeve alanları (Shape_Area) arasındaki farklar karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Ayrıca değişim miktarlarına ait yüzde değerleri de sunularak istatistiki sonuçların daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir.

Yazı değişimleri; ham veri yazılarının eflatun, sonuç yazıların ise orijinal baskı renginde gösterildiği örnekler üzerinde incelenecektir. Şekil 2'de ham veriye ait Yerleşim Yeri sınıfı yazılarının, konum ve içerik değişiklikleri gösterilmektedir. TOPOVT'de bağlısı olarak ifade edilen yerleşim yerleri, sonuç üründe değişik font ve büyüklük kullanılarak ifade edilmiştir.

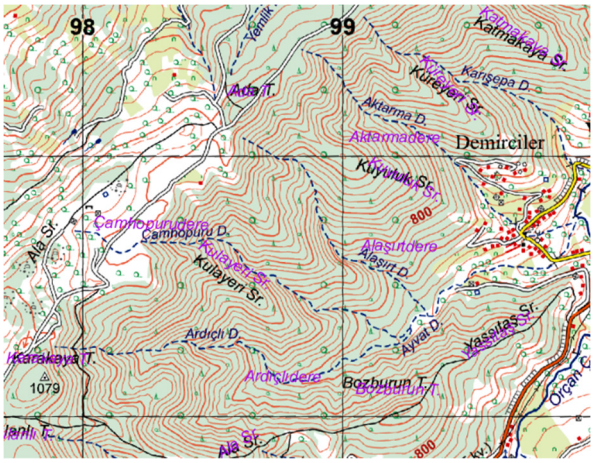


Şekil 2. Yerleşim yerleri yazı sınıfındaki konum ve içerik değişimi

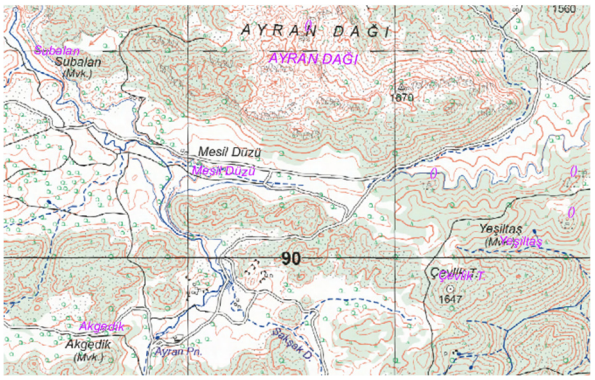
Şekil 3'de Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri yazı sınıfına ait konum, içerik, açı ve yazı sınıfı değişimi gösterilmektedir. Örneğin ham verideki Ardıçdere mevkisi yazı sınıfı değiştirilerek aynı bölgede bulunan dereye isim olarak verilmiş ve uygun bir konuma yerleştirilmiştir. Ada T. ise okunurluğunun artırılması amacıyla yol objesine göre ötelenerek konumu değiştirilmiştir.

Şekil 4'de bulunan Ayran Dağı yazısı nitelediği dağın kapsama alanını daha iyi ifade edebilmesi için harfler arasındaki boşluğu artırmıştır. Bu şekilde hem içeriği hem de konumu değişmiştir. Aynı zamanda mevki (Mvk.) yazıları üzerindeki değişimler de görülmektedir.

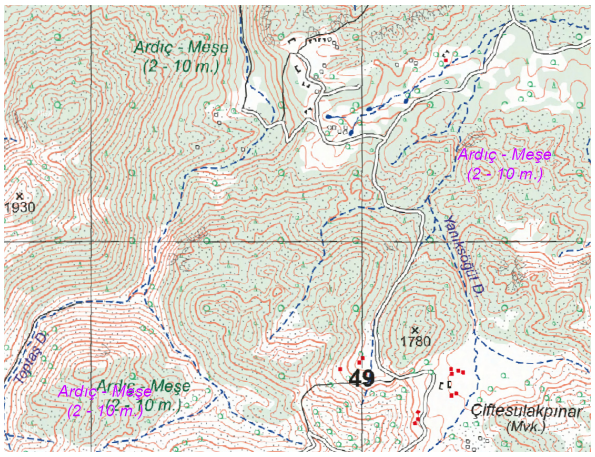
Şekil 5'de ham veride bulunan iki adet bitki örtüsü (orman) yazısı konum değişimi yapılarak sonuç ürüne taşınmıştır. Bitki örtüsünün kapsama alanı arttıkça yazılarındaki konum değişimi de artmaktadır.



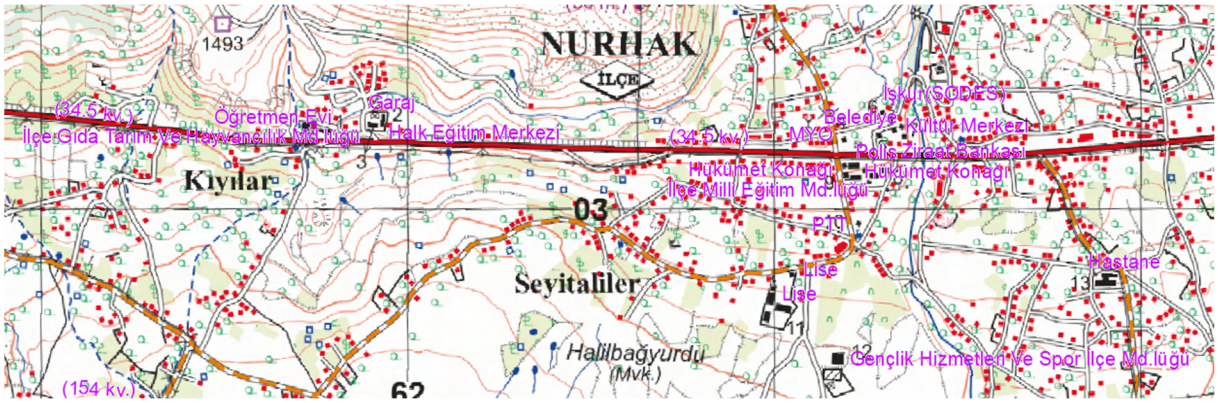
Şekil 3. Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri yazı sınıfındaki konum, içerik, açı ve yazı sınıfı değişimi



Şekil 4. Dağ İsimleri yazı sınıfındaki konum ve içerik değişimi



Şekil 5. Bitki Örtüsü ve Metresi yazı sınıfındaki konum değişimi



Şekil 6. Bina ve Tesis Yazıları yazı sınıfındaki konum, içerik, yazı sınıfı değişimi

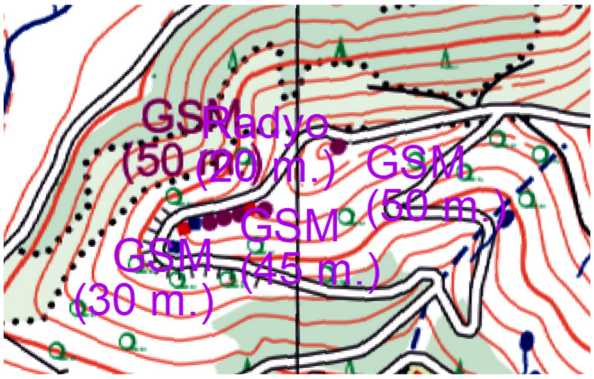
Şekil 6'da Nurhak ilçe merkezinde bulunan resmi binalar ve tesislere ait yazılar için uygun yer bulunamaması nedeniyle Şekil 7'deki gibi numaralandırılarak ifade edilmiştir. Bu işlem esnasında konum, içerik ve yazı sınıfı değişimi işlemleri uygulanmıştır. Numaralandırma işlemi sol üste bulunan Öğretmenevi'nden (1) başlamış, sağ altta bulunan Hastane (13) binasında sonlanmıştır.

NURHAK İLÇESİNİN RESMİ BİNALARI

1. Öğretmenevi
2. Halk Eğitim Merkezi
3. Gıda ve Hayvancılık Md.lüğü
4. MYO
5. Belediye
6. İŞKUR
7. Kültür Merkezi
8. Milli Eğitim Md.lüğü
9. Hükümet Konağı
10. PTT
11. Lise
12. Gençlik Hizmetleri ve Spor Md.lüğü
13. Hastane

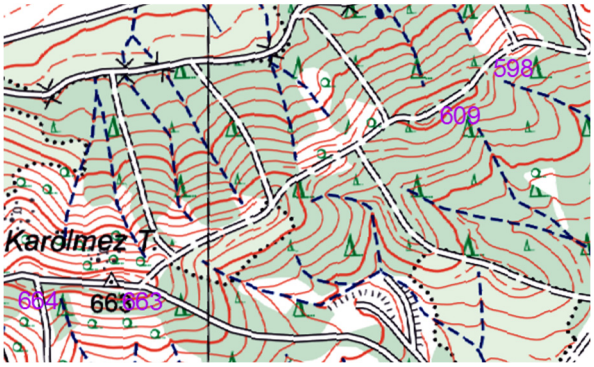
Şekil 7. Resmi bina numaralandırması

Şekil 8'de ham veride bulunan dört anten yazısına silme ve konum değiştirme işlemleri uygulanmış ve sadece en yükseğinin yazısı yazılmıştır.

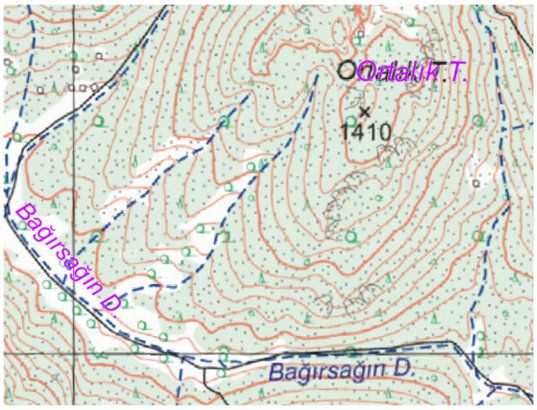


Şekil 8. Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri yazı sınıfındaki silme ve konum değişimi

Şekil 9'da bulunan nirengi noktası yazısının yeri değiştirilmiştir. Diğer yükseklik yazıları ise ilişkili oldukları objelerin (kot noktalarının) elenmesi nedeniyle silinmiştir.



Şekil 9. Yükseklik Yazısı yazı sınıfındaki silme ve konum değişimi



Şekil-10 Dere İsimleri yazı sınıfındaki konum değişimi

Şekil 10'da Dere İsimleri yazı serisindeki konum ve açı değişimi görülmektedir. Ayrıca tepe isminin konum değişikliği ile ham veride olmayan bir kot noktası objesinin ve yazısının sonuç veriye eklendiği görülmektedir.

Az yoğunlukta olan paftalara ait değişim bilgileri Tablo 2 ve 3'de sunulmuştur. Yoğunluğun az olması ham yazı katmanının daha başarılı bir performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Değişim oranının %76-80 aralığında, ekleme ve silme oranlarının ise %19-20 dolayında olduğu görülmektedir. Yoğun paftalarda da silme ve veri ekleme oranlarının bu oranlara yaklaştıracak çözümler üretilmesi gerektiği açıktır. Genel olarak silinen ve eklenen yazı oranlarının %50'yi aşması durumunda o yazı sınıfının ham veri oluşumunda bir aksaklık olduğu değerlendirilebilir. Ham yazı katmanı oluşumunda eklemekten ziyade daha az zaman alan silmenin tercih edilmesi gerekmektedir. Bu silme oranı da en makul düzeyde tutulmalıdır.

Tablo 2. M38b4 Paftası Yazı Katmanı Değişimi.

Nu.	PAFTA ADI : M38b4		YAZI SAYILARI						DEĞİŞİM YÜZDELERİ			AÇI DEĞİŞİMİ			KONUM	İÇERİK
	AZ YOĞUN Yazı Sınıfları	Nokta Çizgi Alan	ham	sonuç ürün	yer değiştiren	aynı kalan	eklenen	silinen	Ham veri değişimi	Silinen veri yüzdesi	Eklenen veri yüzdesi	açısı aynı kalan	açısı değişen	Ort. Açı değişimi (derece /yüzde)	Ort. Bağıl Konum Değişimi (m.)	yazı içeriği değiştirilen adet/yüzde
1	Yerleşim Yerleri	N,A	35	35	30	3	2	2	91		6	33	0		139	11 / 33
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	A	117	115	76	39		2	67	2		37	78	1 / 68	46	1 / 1
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	N,A	30	28	21	7		2	77	7		28	0		53	
4	Dağ İsimleri	A	2	2	2	0						0	2	1 / 100	134	2 / 100
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	A	44	16	14	0	2	30	100	68	13	14	0		620	
6	Bina ve Tesis Yazıları	N,A	30	13	10	2	1	18	93	60		10	2	2 / 17	68	2 / 17
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	N	4	4	3	1			75			4	0		120	1 / 25
8	Yükseklik Yazısı	N	36	53	7	25	19	4	31	11	36	32	0		12	
9	Dere İsimleri	Ç	57	49	42	7		8	88	14		13	36	34 / 73	188	3 / 6
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Ç														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	A	1	1	1	0						1	0		196	1 / 100
12	Ülke İsimleri	A														
13	Resmi Bina Numarası	N,A														
14	Mahalle Numarası	A														
15	Münhani Yükseklik Yazısı	Ç		42			42				100					
16	Yol Numarası	Ç														
17	Gider Yazısı	Ç		1			1				100					
	TOPLAM/ORTALAMA:		356	359	206	84	67	66	76	19	19	172	118	9 / 41	158	21 / 7

Tablo 3. M38b2 Paftası Yazı Katmanı Değişimi.

Nu.	PAFTA ADI : M38b2		YAZI SAYILARI						DEĞİŞİM YÜZDELERİ			AÇI DEĞİŞİMİ			KONUM	İÇERİK
	AZ YOĞUN Yazı Sınıfları	Nokta Çizgi Alan	ham	sonuç ürün	yer değiştiren	aynı kalan	eklenen	silinen	Ham veri değişimi	Silinen veri yüzdesi	Eklenen veri yüzdesi	açısı aynı kalan	açısı değişen	Ort. Açı değişimi (derece /yüzde)	Ort. Bağıl Konum Değişimi (m.)	yazı içeriği değiştirilen adet/yüzde
1	Yerleşim Yerleri	N,A	19	17	16	1	0	2	95	11	0	16	1	42 / 6	135	5 / 29
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	A	117	116	85	31	0	1	74	1	0	30	86	4 / 74	54	3 / 3
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	N,A	30	29	23	6	0	1	80	3	0	29	0		67	
4	Dağ İsimleri	A														
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	A	32	10	9	0	1	23	100	72	10	9	0		1964	
6	Bina ve Tesis Yazıları	N,A	39	19	12	1	6	26	97	67	32	3	10	2 / 77	560	1 / 8
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	N	5	4	4	0	0	1	100	20	0	4	0		105	2 / 50
8	Yükseklik Yazısı	N	40	41	6	28	7	6	30	15	17	34	0		13	
9	Dere İsimleri	Ç	51	41	38	1	2	12	98	24	5	8	31	38 / 79	286	2 / 5
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Ç														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	A														
12	Ülke İsimleri	A														
13	Resmi Bina Numarası	N,A		13			13				100					
14	Mahalle Numarası	A														
15	Münhani Yükseklik Yazısı	Ç		43			43				100					
16	Yol Numarası	Ç														
17	Gider Yazısı	Ç		2			2				100					
	TOPLAM/ORTALAMA:		333	335	193	68	74	72	80	22	22	133	128	22 / 49	398	13 / 5

Orta yoğunluğa sahip N37c1 paftasına ilişkin yazı katmanı değişimi Tablo 4'de sunulmuştur. Yerleşim yeri yazı sınıfında ham veride bulunan 24 yazıdan, 20'sinin yeri değiştirilmiş, 4'ü silinmiş, 3 yeni yazı eklenmiş ve sonuç ürün olarak 23 yazı oluşmuştur. Bu verilere göre yerleşim yeri yazı sınıfında ham yazıların %17'si silinmiş, toplam %100'ünün yeri değişmiştir. Sonuç ürünün ise %13'ü yeni yazı olarak eklenmiştir. Silinen yazı oranı %50'nin üzerinde olan Bitki Örtüsü ve Metresi, Bina ve Tesis Yazıları, Yükseklik Yazısı yazı sınıflarının ham yazı katmanı oluşturulma sürecinin irdelenmesi gerektiği açıktır. Özellikle Yükseklik Yazısı yazı sınıfının silinme oranı %76 (210 adet) olarak ölçülmesi, burada gereksiz bir iş gücünün harcandığını göstermektedir. Ham veri değişim oranı %91 olması ham verinin çok yüksek oranda değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bunun sebebi olarak 3 farklı kartograf tarafından düzenleme yapılması ve yazıların en iyi konumunun tercih edilmesi söylenebilir. Münhani Yükseklik Yazısı, Yol Numarası, Gider Yazısı yazı sınıflarına ait yazıların sonradan elle eklendiği görülmektedir. En fazla açı değişiminin Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri yazı serisinde, en az açı değişiminin Yerleşim Yerleri yazı serisinde olduğu görülmüştür. Yine en fazla konum değişimi Yerleşim Yerleri yazı serisinde, en fazla içerik değişimi ise Dere Yazısı yazı serisinde gerçekleşmiştir. Toplam sayılara bakıldığında, 700 ham yazıdan, 281'inin yeri değiştirilmiş, 357'si silinmiş, 62'sinin konumu değişmemiş olup, 394 yazıdan oluşan sonuç ürün elde edilirken 51 yeni yazı eklemesi yapılmıştır. Toplam ortalamalara bakıldığında ham veri değişimi %91, silinen veri yüzdesi %51, sonuç ürün için eklenen yazı yüzdesi %13, açı değişimi %55, içerik değişimi %13 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4. N37c1 Paftası Yazı Katmanı Değişimi.

Nu.	PAFTA ADI : N37c1		YAZI SAYILARI						DEĞİŞİM YÜZDELERİ			AÇI DEĞİŞİMİ			KONUM	İÇERİK
	ORTA YOĞUN Yazı Sınıfları	Nokta Çizgi Alan	ham	sonuç ürün	yer değiştiren	aynı kalan	eklenen	silinen	Ham veri değişimi	Silinen veri yüzdesi	Eklenen veri yüzdesi	açısı aynı kalan	açısı değişen	Ort. Açı değişimi (derece /yüzde)	Ort. Bağıl Konum Değişimi (m.)	yazı içeriği değiştirilen adet/yüzde
1	Yerleşim Yerleri	N,A	24	23	20	0	3	4	100	17	13	20	0		300	7 / 35
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	A	118	105	86	13	6	19	89	16	6	2	97	2 / 98	69	7 / 7
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	N,A	38	34	29	2	3	7	95	18	9	0	31	1 / 100	87	0 / 0
4	Dağ İsimleri	A	1	1	1	0	0	0	100			0	1	17 / 100	125	1 / 100
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	A	26	15	11	0	4	15	100	58	27	11	0		238	0 / 0
6	Bina ve Tesis Yazıları	N,A	166	86	75	1	10	90	99	54	12	47	29	4 / 38	291	11 / 14
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	N	6	3	3	0	0	3	100	50	0	3	0		139	
8	Yükseklik Yazısı	N	276	66	22	44		210	84	76		66	0		23	
9	Dere İsimleri	Ç	44	41	33	2	6	9	95	20	15	4	31	17 / 89	259	18 / 51
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Ç														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	A	1	1	1							1	0		29	1 / 100
12	Ülke İsimleri	A														
13	Resmi Bina Numarası	N,A														
14	Mahalle Numarası	A														
15	Münhani Yükseklik Yazısı	Ç		7			7				100					
16	Yol Numarası	Ç		7			7				100					
17	Gider Yazısı	Ç		5			5				100					
	TOPLAM/ORTALAMA:		700	394	281	62	51	357	91	51	13	154	189	8 / 55	156	45 / 13

Tablo 5. N36c3 Paftası Yazı Katmanı Değişimi.

Nu.	PAFTA ADI : N36c3		YAZI SAYILARI						DEĞİŞİM YÜZDELERİ			AÇI DEĞİŞİMİ			KONUM	İÇERİK
	ORTA YOĞUN Yazı Sınıfları	Nokta Çizgi Alan	ham	sonuç ürün	yer değiştiren	aynı kalan	eklenen	silinen	Ham veri değişimi	Silinen veri yüzdesi	Eklenen veri yüzdesi	açısı aynı kalan	açısı değişen	Ort. Açı değişimi (derece /yüzde)	Ort. Bağıl Konum Değişimi (m.)	yazı içeriği değiştirilen adet/yüzde
1	Yerleşim Yerleri	N,A	13	13	13	0	1		100	0	8	13	0		216	2 / 15
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	A	132	131	108	20	3	4	85	3	2	88	40	2 / 31	92	6 / 5
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	N,A	43	46	29	13	4	1	70	2	9	21	21	3 / 50	70	0 / 0
4	Dağ İsimleri	A	3	3	1	2			33			3	0		61	0 0
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	A	24	16	11	1	4	12	96	50	25	6	6	2 / 50	1667	0 / 0
6	Bina ve Tesis Yazıları	N,A	16	9	8	0	1	8	100	50	11	0	8	5 / 100	387	1 / 13
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	N	6	0	0	0		6	100	100						
8	Yükseklik Yazısı	N	318	53	11	36	6	271	89	85	11	4	43	2 / 91	14	0 / 0
9	Dere İsimleri	Ç	114	51	46	5	0	63	96	55	0	6	45	16 / 88	264	6 / 12
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Ç														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	A														
12	Ülke İsimleri	A														
13	Resmi Bina Numarası	N,A														
14	Mahalle Numarası	A														
15	Münhani Yükseklik Yazısı	Ç		47			47				100					
16	Yol Numarası	Ç														
17	Gider Yazısı	Ç		3			3				100					
	TOPLAM/ORTALAMA:		669	372	141	77	69	365	88	55	19	141	163	5 / 54	346	15 / 7

Orta yoğunlukta olan N36c3 paftasına ait değişim bilgileri Tablo 5'de sunulmuştur. Bu paftada Anten ve Baca Yazıları yazı serisinde bütün yazılar silinmiş ve bu türde bir yazı yazılmamıştır. Bu durum ham veride etiketlemesi yapılmaması gereken bir objenin etiketlendiği ve yeni ayarlarda düzeltilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Bitki Örtüsü ve Metresi yazı sınıfında ortalama konum değişimi 1667 m. ölçülmüştür. Ayrıca silinmemiş yazılarda %54 oranında açı değişimi ve %7 oranında içerik değişimi olurken, tüm yazılarda %86 oranında ham veri değişimi, %56 oranında veri silme, %21 oranında veri ekleme olduğu görülmektedir.

Orta yoğunlukta olan N37a2 paftasına ait değişim bilgileri Tablo 6'da sunulmuştur. Bu paftaya özel olarak Dere İsimleri serisi yazılarda sadeleştirme yerine, artış gözlenmektedir. Yazıların yeniden yazılması yerine silinmesi zaman açısından daha kısa sürmesi nedeniyle ham veride daha çok yazı bulunması prensibi tercih edilmiştir. Etiketin az sayıda kalması bu prensibe uymadığından bu pafta özelinde Dere İsimleri serisi yazıların irdelenmesi gerekmektedir. Ayrıca Yerleşim Yerleri yazılarının %83 oranında içerik değişikliğine uğramış olması dikkat çekmektedir. Pafta genelinde; %93 değişim, %33 silme, %26 ekleme oranları mevcutken, silinmemiş yazılarda ise %76 açı değişim, %15 içerik değişim oranları bulunmaktadır.

Tablo 6. N37a2 Paftası Yazı Katmanı Değişimi.

Nu.	PAFTA ADI : N37a2		YAZI SAYILARI						DEĞİŞİM YÜZDELERİ			AÇI DEĞİŞİMİ			KONUM	İÇERİK
	ORTA YOĞUN Yazı Sınıfları	Nokta Çizgi Alan	ham	sonuç ürün	yer değiştiren	aynı kalan	eklenen	silinen	Ham veri değişimi	Silinen veri yüzdesi	Eklenen veri yüzdesi	açısı aynı kalan	açısı değişen	Ort. Açı değişimi (derece /yüzde)	Ort. Bağıl Konum Değişimi (m.)	yazı içeriği değiştirilen adet/yüzde
1	Yerleşim Yerleri	N,A	30	30	29	0	1	1	100	3	3	27	2	38 / 7	146	24 / 83
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	A	203	183	180	20	3	3	90	1	2	6	194	6 / 97	65	29 / 15
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	N,A	59	35	32	1	2	26	98	44	6	0	33	1 / 100	64	0 / 0
4	Dağ İsimleri	A														
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	A	36	21	17	1	3	18	97	50	14	18	0		873	0 / 0
6	Bina ve Tesis Yazıları	N,A	30	15	11	1	3	18	97	60	20	5	7	5 / 58	152	2 / 17
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	N	4	3	2	1		1	75	25		3	0		96	3 / 100
8	Yükseklik Yazısı	N	104	51	19	8	24	77	92	74	47	27	0		50	0 / 0
9	Dere İsimleri	Ç	76	92	59	4	29	13	95	17	32	8	55	27 / 87	413	1 / 2
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Ç														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	A														
12	Ülke İsimleri	A														
13	Resmi Bina Numarası	N,A														
14	Mahalle Numarası	A														
15	Münhani Yükseklik Yazısı	Ç		60			60				100					
16	Yol Numarası	Ç														
17	Gider Yazısı	Ç		5			5				100					
	TOPLAM/ORTALAMA:		542	495	349	36	130	157	93	29	26	94	291	16 / 76	232	59 / 15

Tablo 7. N36b1 Paftası Yazı Katmanı Değişimi.

Nu.	PAFTA ADI : N36b1		YAZI SAYILARI						DEĞİŞİM YÜZDELERİ			AÇI DEĞİŞİMİ			KONUM	İÇERİK
	ORTA YOĞUN Yazı Sınıfları	Nokta Çizgi Alan	ham	sonuç ürün	yer değiştiren	aynı kalan	eklenen	silinen	Ham veri değişimi	Silinen veri yüzdesi	Eklenen veri yüzdesi	açısı aynı kalan	açısı değişen	Ort. Açı değişimi (derece /yüzde)	Ort. Bağıl Konum Değişimi (m.)	yazı içeriği değiştirilen adet/yüzde
1	Yerleşim Yerleri	N,A	32	69	30	0	39	2	100	6	57	30	0		222	17 / 57
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	A	88	84	65	12	7	11	86	13	8	0	77	1 / 100	54	2 / 3
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	N,A	5	8	5	0	3	0	100		38	0	5	1 / 100	83	
4	Dağ İsimleri	A														
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	A	103	15	10	0	5	93	100	90	33	8	2	2 / 20	712	1
6	Bina ve Tesis Yazıları	N,A	123	50	46	2	2	75	98	61	4	13	35	7 / 73	235	11 / 23
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	N	8	4	3	1	0	4	88	50	0	1	3	2 / 75	63	4 / 100
8	Yükseklik Yazısı	N	58	41	11	18	12	29	69	50	29	3	26	2 / 90	30	
9	Dere İsimleri	Ç	139	56	45	3	8	91	98	65	14	2	46	20 / 96	369	8 / 17
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Ç														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	A	5	1	1	0	0	4	100			0	1	2 / 100	79	
12	Ülke İsimleri	A														
13	Resmi Bina Numarası	N,A														
14	Mahalle Numarası	A														
15	Münhani Yükseklik Yazısı	Ç		37			37				100					
16	Yol Numarası	Ç														
17	Gider Yazısı	Ç		1			1				100					
	TOPLAM/ORTALAMA:		561	366	216	36	114	309	94	55	31	57	195	4 / 77	205	43 / 17

Orta yoğunlukta olan N36b1 paftasına ait değişim bilgileri Tablo 7'de sunulmuştur. Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri yazı serisinde %100, Dere İsimleri yazı serisinde ise %96 gibi yüksek oranlarda açı değişimi yapılmasının gereklilikten ziyade pafta üretiminde bulunan bir veya daha fazla kartografın veri düzenleme alışkanlığından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. %57 Oranında Yerleşim Yerleri yazı serisinin içerik değişimine uğraması da TOPOVT'den gelen yazıların bu pafta özelinde fazla düzeltildiği sonucu çıkarılmaktadır.

Çok yoğun paftalarda (Tablo 8,9) Resmi Bina Numarası yazı serisinin çoğunlukla Bina ve Tesis Yazı serisinin yazı sınıfı ve içeriği değiştirilerek oluşturulduğu görülmektedir. Kartograflar için bu çok zaman alıcı ve yorucu işlemdir. Bu nedenle ham veri oluşturulurken resmi bina numaraları için bir çözüm geliştirme gerekliliği bulunmaktadır.

Çok yoğun olan N36c2 paftasına ait değişim bilgileri Tablo 10'da sunulmuştur. Bu paftanın özelliği yazı adedi olarak çok yoğun bir pafta olmasına rağmen resmi bina numaralandırması yapılmamış olmasıdır. Ortalama açı değişimi en fazla Dere Yazısı yazı serisinde, en fazla ortalama konum değişimi ise Bitki Örtüsü ve Metresi yazı serisinde olmuştur. Silinmeyen yazıların içerik değişimi ise %13 olarak ölçülmüştür. Toplamda silinen yazı oranı %61, eklenen yazı oranı %18, değişim oranı ise %96 olmuştur. Aynı şekilde yükseklik yazı serisinde çok yüksek oranda ve sayıda silme yapılması zaman kaybına yol açmaktadır.

Tablo 8. N38c3 Paftası Yazı Katmanı Değişimi.

Nu.	PAFTA ADI : N38c3		YAZI SAYILARI						DEĞİŞİM YÜZDELERİ			AÇI DEĞİŞİMİ			KONUM	İÇERİK
	ÇOK YOĞUN Yazı Sınıfları	Nokta Çizgi Alan	ham	sonuç ürün	yer değiştiren	aynı kalan	eklenen	silinen	Ham veri değişimi	Silinen veri yüzdesi	Eklenen veri yüzdesi	açısı aynı kalan	açısı değişen	Ort. Açı değişimi (derece /yüzde)	Ort. Bağıl Konum Değişimi (m.)	yazı içeriği değiştirilen adet/yüzde
1	Yerleşim Yerleri	N,A	133	72	64	1	7	68	99	51	10	65	0		262	13 / 20
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	A	83	75	59	15	1	9	82	11	1	56	18	2 / 24	74	5 / 7
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	N,A	23	17	17	0	0	6	100	26		17	0		74	1 / 6
4	Dağ İsimleri	A														
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	A	9	3	1	0	2	8	100	89	67	1	0		110	
6	Bina ve Tesis Yazıları	N,A	1051	63	56	4	3	710	73	68	5	33	27	14 / 45	276	11 / 18
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	N	30	5	4	1		25	97	83		5	0		70	5 / 100
8	Yükseklik Yazısı	N	31	41	15	14	12	2	55	6	29	29	0		56	29 / 100
9	Dere İsimleri	Ç	43	33	28	1	4	14	98	33	12	5	24	16 / 83	361	2 / 7
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Ç														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	A														
12	Ülke İsimleri	A														
13	Resmi Bina Numarası	N,A		358	277	3	78				22	280	0		182	280 / 100
14	Mahalle Numarası	A														
15	Münhani Yükseklik Yazısı	Ç		30			30				100					
16	Yol Numarası	Ç		13			13				100					
17	Gider Yazısı	Ç		13			13				100					
	TOPLAM/ORTALAMA:		1403	723	521	39	163	842	97	60	23	491	69	11 / 12	163	346 / 62

Tablo 9. N38c4 Paftası Yazı Katmanı Değişimi.

Nu.	PAFTA ADI : N38c4		YAZI SAYILARI						DEĞİŞİM YÜZDELERİ			AÇI DEĞİŞİMİ			KONUM	İÇERİK
	ÇOK YOĞUN Yazı Sınıfları	Nokta Çizgi Alan	ham	sonuç ürün	yer değiştiren	aynı kalan	eklenen	silinen	Ham veri değişimi	Silinen veri yüzdesi	Eklenen veri yüzdesi	açısı aynı kalan	açısı değişen	Ort. Açı değişimi (derece /yüzde)	Ort. Bağıl Konum Değişimi (m.)	yazı içeriği değiştirilen adet/yüzde
1	Yerleşim Yerleri	N,A	87	74	57	5	12	25	94	29	16	62	0		212	9 / 15
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	A	86	74	66	9	0	11	90	13		60	15	4 / 20	58	4 / 5
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	N,A	25	18	16	2	0	7	92	28		18	0		75	
4	Dağ İsimleri	A										0	0			
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	A	17	10	6	2	2	9	88	53	20	8	0		151	
6	Bina ve Tesis Yazıları	N,A	629	95	81	1	13	483	90	77	14	65	17	20 / 21	219	52 / 63
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	N	32	23	23	0	0	9	100	28		23	0		123	15 / 65
8	Yükseklik Yazısı	N	33	45	22	11	12	0	67	0	27	33	0		49	32 / 97
9	Dere İsimleri	Ç	33	28	26	1	1	6	97	18	4	3	24	20 / 89	281	3 / 11
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Ç														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	A														
12	Ülke İsimleri	A														
13	Resmi Bina Numarası	N,A		198	64	0	134				68	64	0		198	64 / 100
14	Mahalle Numarası	A														
15	Münhani Yükseklik Yazısı	Ç		12			12				100					
16	Yol Numarası	Ç		4			4				100					
17	Gider Yazısı	Ç		6			6				100					
	TOPLAM/ORTALAMA:		942	587	361	31	196	550	97	58	33	336	56	15 / 14	152	179 / 46

Tablo 10. N36c2 Paftası Yazı Katmanı Değişimi.

Nu.	PAFTA ADI : N36c2		YAZI SAYILARI						DEĞİŞİM YÜZDELERİ			AÇI DEĞİŞİMİ			KONUM	İÇERİK
	ÇOK YOĞUN Yazı Sınıfları	Nokta Çizgi Alan	ham	sonuç ürün	yer değiştiren	aynı kalan	eklenen	silinen	Ham veri değişimi	Silinen veri yüzdesi	Eklenen veri yüzdesi	açısı aynı kalan	açısı değişen	Ort. Açı değişimi (derece /yüzde)	Ort. Bağıl Konum Değişimi (m.)	yazı içeriği değiştirilen adet/yüzde
1	Yerleşim Yerleri	N,A	36	42	35	1	6		97		14	36	0		208	16 / 44
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	A	172	124	122	2		48	99	28	0	59	65	13 / 52	113	2 / 2
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	N,A	5	4	4			1	100	20		4	0		84	0 / 0
4	Dağ İsimleri	A														
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	A	55	11	5	0	6	50	100	91	55	3	2	2 / 40	324	0 / 0
6	Bina ve Tesis Yazıları	N,A	181	66	58	0	8	123	100	68	12	16	42	10 / 72	469	15 / 26
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	N	18	7	7	0		11	100	61		2	5	2 / 71	80	7 / 100
8	Yükseklik Yazısı	N	257	55	26	26	3	205	90	80	5	3	49	2 / 94	30	0 / 0
9	Dere İsimleri	Ç	148	60	48	8	4	92	95	62	7	5	51	18 / 91	305	7 / 13
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri	Ç														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri	A	4	3	2	1		1	75			0	3	2 / 100	67	1 / 33
12	Ülke İsimleri	A														
13	Resmi Bina Numarası	N,A														
14	Mahalle Numarası	A														
15	Münhani Yükseklik Yazısı	Ç		34			34				100					
16	Yol Numarası	Ç		6			6				100					
17	Gider Yazısı	Ç		8			8				100					
	TOPLAM/ORTALAMA:		876	420	307	38	75	531	96	61	18	154	189	8 / 55	156	45 / 13

Yazı Sınıfları ilgili oldukları obje sınıflarına göre etiketleme kurallarına tabi tutulurlar. Tablo 2-10'da Nokta, çizgi, alan adıyla yer alan kolon, yazı sınıflarının hangi tür obje türlerini ilgilendirdikleri hakkında bilgi vermektedir. Örneğin, Bitki Örtüsü ve Metresi yazı sınıfı Bitki_alan obje sınıfındaki objelerin etiketlenmesi sonucu oluşturulan yazıları kapsamaktadır. Bu kuralın istisnası, TOPOVT'den dönüşüm yolu ile üretilen yazı sınıflarıdır. Bu yazı sınıfları etiketleme işlemine tabi tutulmadan doğrudan dönüştürülerek paftaya eklenmektedir. Bu yazılar genellikle belirli bir alanı nitelemeleri nedeniyle alan detay gibi düşünülmüştür. Yerleşim yerleri ise yerine göre alan, yerine göre ise nokta obje gibi isimlendirilmektedir. Bina ve Tesis Yazıları ile Resmi Bina Numaraları yazı sınıfları alan ve nokta objeleri temsil etmelerine rağmen nokta obje gibi isimlendirilirler.

Tablo 11'deki 9 paftanın ortalama sonuçları değerlendirildiğinde, pafta yoğunluğu arttıkça ham veri değişiminin de arttığı gözlenmektedir. Bu nedenle yoğun paftalardaki yazıları sadeleştirecek çözümlerin, pafta yazılarının birincil konumlarına en yakın yerlere yerleştirilmesini sağlayacağı açıktır.

Tablo 11'deki ortalama sonuçlara göre, ham verinin ortalama değişim oranı oldukça yüksek görünmekte olup %90 olarak ölçülmüştür. Ham veri olarak oluşturulan yazıların %45'inin ise sonuç ürüne gelirken silindiği anlaşılmaktadır. Sonuç üründeki yazıların ise %23'ünün yeni yazı olarak eklendiği görülmüştür. Yazı serileri özelinde bakılacak olursa; Yerleşim Yerleri, Bitki Örtüsü ve Metresi, Bina ve Tesis Yazıları, Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri ve Dere İsimleri yazı serileri %90 üzerinde oldukça yüksek bir değişime uğramışlardır. Bu nedenle bu yazı serilerinin etiketlemesi ve otomatik yerleştirilmesinde iyileştirilme yapılması gerektiği açıktır.

Bitki Örtüsü ve Metresi, Bina ve Tesis Yazıları ve Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri yazı serileri ise %50 üzerinde silinen yazıya sahip bulunmaktadır. Silinme yüzdesinin fazla olması başlangıçta gereksiz etiketlemenin fazla yapıldığı anlamına gelmektedir. Yükseklik Yazısı, Göl-Gölet-Baraj ve Deniz İsimleri, Resmi Bina Numarası, Münhani Yükseklik Yazısı, Yol Numarası ve Gider Yazısı yazı serilerinin yükseklik yazıları hariç tamamen manuel eklendiği, yükseklik yazılarının ise %25 oranında yeniden yazıldığı görülmektedir. Manuel eklenen yazıların otomasyona dâhil edilmesi zaman tasarrufu anlamında önemli görülmektedir. Yükseklik yazılarının sonuç ürüne daha yakın yazılması için çözüm üretilmesi gerektiği sonucu da çıkarılmaktadır.

Tablo 11. Yazı Katmanı Değişimi Ortalama Değerleri

		Ham Veri Değişimi Yüzdesi										Silinen Veri Yüzdesi										Eklenen Veri Yüzdesi									
Nu.	Yazı Sınıfları	n37 c1	n36 c2	n36 c3	n37 a2	n38 c3	m38 b2	m38 b4	n36 b1	n38 c4	ORT	n37 c1	n36 c2	n36 c3	n37 a2	n38 c3	m38 b2	m38 b4	n36 b1	n38 c4	ORT	n37 c1	n36 c2	n36 c3	n37 a2	n38 c3	m38 b2	m38 b4	n36 b1	n38 c4	ORT
1	Yerleşim Yerleri	100	97	100	100	99	95	91	100	94	97	17		0	3	51	11		6	29	17	13	14	8	3	10	0	6	57	16	14
2	Tepe, Sırt, Geçit ve Mevki İsimleri	89	99	85	90	82	74	67	86	90	85	16	28	3	1	11	1	2	13	13	10	6	0	2	2	1	0		8		3
3	Mevki Yazısı ve Hudut Taşı Numarası	95	100	70	98	100	80	77	100	92	90	18	20	2	44	26	3	7		28	19	9		9	6				38		15
4	Dağ İsimleri	100		33							67																				
5	Bitki Örtüsü ve Metresi	100	100	96	97	100	100	100	100	88	98	58	91	50	50	89	72	68	90	53	69	27	55	25	14	67	10	13	33	20	29
6	Bina ve Tesis Yazıları	99	100	100	97	73	97	93	98	90	94	54	68	50	60	68	67	60	61	77	63	12	12	11	20	5	32			14	15
7	Anten - Baca Yazıları ve Yükseklikleri	100	100	100	75	97	100	75	88	100	93	50	61	100	25	83	20		50	28	52										
8	Yükseklik Yazısı	84	90	89	92	55	30	31	69	67	67	76	80	85	74	6	15	11	50	0	44		5	11	47	29	17	36	29	27	25
9	Dere İsimleri	95	95	96	95	98	98	88	98	97	95	20	62	55	17	33	24	14	65	18	34	15	7	0	32	12	5		14	4	11
10	Önemli dere, Çay, Irmak ve Nehir İsimleri																														
11	Göl, Gölet, Baraj ve Deniz İsimleri		75						100		88																				
12	Ülke İsimleri																														
13	Resmi Bina Numarası																									22	100			68	63
14	Mahalle Numarası																														
15	Münhani Yükseklik Yazısı																					100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	Yol Numarası																					100	100			100				100	100
17	Gider Yazısı																					100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	TOPLAM:	91	96	88	93	97	80	76	94	97	90	51	61	55	29	60	22	19	55	58	45	13	18	19	26	23	22	19	31	33	23
	YOĞUNLUK DURUMU:	OY	ÇY	OY	OY	ÇY	AY	AY	OY	ÇY		OY	ÇY	OY	OY	ÇY	AY	AY	OY	ÇY		OY	ÇY	OY	OY	ÇY	AY	AY	OY	ÇY	

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Hrt.Gn.Md.lüğünde aktif olarak kullanılmakta olan Karto25 sisteminde, yarı otomatik ve kartograf etkileşimli olarak oluşturulan yazı katmanının değişim süreci incelenmiştir. İleriki süreçte yapılacak olan otomatik yazı katmanı oluşturma çalışmalarına girdi sağlayacak olan eksikliklerin somut olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. ESRI Maplex Etiketleme Motoru yardımıyla başlangıçta ham olarak oluşturulan yazı katmanı, kartograflar tarafından düzenlenerek sonuç ürün haline getirilmektedir. Tecrübeli 4 farklı kartograf tarafından yapılan düzenlemeler sonucunda oluşturulan haritalardaki değişim oranları değerlendirilmiştir. 2019 yılında üretimi tamamlanmış az, orta ve çok yoğunluklu 9 farklı paftada, ham veri değişimi, silinen ve eklenen yazılar, konum, açı ve içerik değişimlerine ilişkin adet ve yüzde değerleri pafta bazında ortaya konulmuştur.

Karto25 üretim sisteminde ham yazı katmanının yerleşiminden kartografların çok da memnun olmadığı ve %90 oranında değişikliğe gittiği görülmektedir. Pafta yoğunluğu arttıkça ham veri değişimi daha da artmaktadır. Bu nedenle otomatik yazı yerleştirme anlamında ham yazı katmanının arzu edilen seviyede olmadığı açıktır. Bunun yanında, ham yazı katmanının yazı doğruluğu bakımından çok faydalarının olduğu, öznitelikten yazıya geçerken birtakım sadeleştirmeleri otomatik yaptığı, eskiden tek tek elle yazılan yazıları kartografın önüne yazılmış olarak getirerek ciddi bir zaman tasarrufu sağladığı da yadsınamaz bir gerçektir.

9 pafta genelinde silinen veri yüzdesi %45, eklenen veri yüzdesi ise %23 olarak ölçülmüştür. Genel olarak silinen ve eklenen yazı oranlarının %50'yi aşması durumunda o yazı sınıfının ham veri oluşumunda bir aksaklık olduğu değerlendirilebilir. Manuel eklenen yazıların otomasyona dâhil edilmesi de zaman tasarrufu anlamında önemli görülmektedir.

Yerleşim Yerleri yazı sınıfında çoğunlukla konum ve içerik değişimi olurken açı değişiminin ise nadiren yapıldığı, Tepe Sırt yazı serisinde genellikle açı ve konum değişiminin birlikte yapıldığı içerik değişiminin ise daha az gerçekleştirildiği, Mevki yazılarında sadece konum değişikliğinin yapıldığı, Dağ isimlerinde harf aralıkları ve yazı büyüklüğü değiştirilerek konum değişikliğinin yapıldığı, Bitki örtüsü yazılarında yüksek miktarda sadece konum değişikliğinin yapıldığı, Bina Tesis yazılarında daha ziyade içerik değişiminin ağırlıklı olarak yapıldığı, Anten ve Baca yazılarında silme ve konum değişikliğinin çoğunlukla yapıldığı, yükseklik yazılarında içerik ve konum değişikliğinin çok az görüldüğü genellikle ekleme veya silme işleminin yapıldığı, Dere isimlerinde konum ve açı değişikliğinin daha fazla yapıldığı, resmi bina ve mahalle numarası münhani, ülke, gider ve yol numarası yazılarının sonradan ekleme yöntemiyle yapıldığı görülmüştür.

Ham yazı katmanı karşılaştırmasından çıkarılan sonuçlar ışığında aşağıdaki çalışmalar yapılarak Karto25 sisteminin iyileştirilmesi önerilebilir;

- Bütün yazı serilerinin etiketleme ve yazı yerleştirme ayarları tekrar ele alınmalı, özellikle çok değişim gösteren yazı serileri dikkatli incelenmelidir.

- Yazısı çok silinen yazı serilerinde etiketleme yapılırken daha fazla sadeleştirme ve gruplama yapılması gereklidir.

- Yazısı tamamen elle eklenen yazı serilerinin ham veri içerisinde olmasını sağlayacak çözümler üretilmelidir.

- Kartografı en çok yoran ve tecrübe gerektiren bina tesis yazıları serisi için yazı sadeleştirme tablosu oluşturulması ve etiketlerin sadeleştirilerek yazıya dönüştürülmesi gerekmektedir.

- Resmi bina numaralandırması ve mahalle numaralandırılması için otomasyon yapılması gerekmektedir.

- TOPOVT'den dönüşümle gelen yazıların otomatik yerleştirilmesine olanak sağlayacak veri modelinin TOPOVT tarafında gerçekleştirilmesi elzemdir.

- Yazı yakınlıkları ele alınarak gruplandırma yapılması gerekmektedir. Eklenen ve silinen yazılarda kartografların gruplandırma yaptığı gözlemlenmiştir. Besihaneler, Fabrikalar, Sanayi Sitesi vb.

- Münhani yazılarının ya hiç etiketlenmeden ya da tamamen silinip yeniden yazıldığı gözlemlenmiştir. Kot noktaları yoğunluğuna bağlı olarak münhani yazılarının oluşturulması gerektiği görülmektedir.

- Kot noktalarının TOPOVT tarafından gereğinden fazla geldiği ve çok fazla eleme yapıldığı görülmektedir. Bu sorun ya TOPOVT tarafında ya da ön hazırlık aşamasında sadeleştirilmesine müteakip etiketleme yapılması gerektiği görülmektedir.

- Yazı yazım kurallarındaki genel kuralların uygulanmasına katkı sağlamayan değişimlerin önüne geçmek ve tekrarlı düzeltme işlemlerini engellemek için yazı katmanının deneyimli bir kartograf tarafından yazılması ve en fazla bir kartograf tarafından da kontrol edilmesinin daha sağlıklı olacağı değerlendirilmektedir.

Yazı katmanı otomasyonu sadece Kartografalar tarafından çözülebilecek bir sorun olmadığı görülmektedir. TOPOVT tarafında da gerekli yapısal düzenlemelerin yapılarak çözüm üretilmesi gerektiği açıktır.

TEŞEKKÜR

İstatistiki verilerin toplanmasında yardımlarını esirgemeyen Mert Doğan BOĞA ve Merve ÖZ'e; çalışmanın yayına dönüştürülmesindeki destekleri ile Prof.Dr. İ.Öztuğ BİLDİRİCİ'ye teşekkür ederiz.

ORCID

Turgay ÇAP https://orcid.org/0000-0002-5599-217X

Hüseyin Zahit SELVİ https://orcid.org/0000-0001-7486-0992

İlkay BUĞDAYCI https://orcid.org/0000-0001-8361-1306

K A Y N A K L A R

Barrault, M. (2001). A methodology for placement and evaluation of area map labels. *Computers, Environment and Urban Systems*, *25*(1), 33-52. Erişim Adresi: http://geocenter.survey.ntua.gr/main/courses/geoinfo/admcarto/lecture_notes/name_placement/bibliography/barrault_2001.pdf

Barrault, M. ve Lecordix, F. (1995). An automated system for linear feature name placement which complies with cartographic quality criteria. *12. Autocarto Konferasında sunulan bildiri, Charlotte, NC, ACSM/ASPRS*.

Basoglu, U. (1982). A new approach to automated name placement. *5. Autocarto Konferasında sunulan bildiri,* Crystal City, Virginia, 103-122.

Bertin, J. (1983). *Semiology of graphics; diagrams networks maps* (No. 04; QA90, B7.).

Bildirici, İ. Ö. (2018). *Kartografya: Harita Tasarımı ve Kullanımı için Gerekli Bilim, Sanat ve Teknik.* Atlas Akademi Yayınevi, Konya, 81-86.

Brewer, C. A. (2005). *Designing better maps: A guide for gis users.* Redlands, Calif.

Chirie, F. (2000). Automated name placement with high cartographic quality: city street maps. *Cartography and Geographic information science*, *27*(2), 101-110. doi: 10.1559/152304000783547902

Christensen, J., Marks, J. ve Shieber, S. (1995). An empirical study of algorithms for point-feature label placement. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, *14*(3), 203-232. doi: 10.1145/212332.212334.

Çobanoğlu, İ. S., (2016). *Kartografya ve Uygulamaları Ders Notları*, Harita Genel Müdürlüğü, Ankara, 159-178.

Edmondson, S., Christensen, J., Marks, J., ve Shieber, S. (1996). A general cartographic labelling algorithm. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, *33*(4), 13-24. doi: 10.3138/U3N2-6363-130N-H870

ESRI, (2020). *What is the Maplex Label Engine?*, Erişim Adresi: https://desktop.arcgis.com /en/arcmap/10.3/map/working-with-text/what-is-maplex-.htm

Harita Genel Müdürlüğü (HGM), (2000). *1:25.000 Ölçekli Topografik Harita Yazı Kuralları El Kitabı*, Ankara, 9-28.

HGM, (2003). *1:25 000, 1:50 000 ve 1:100 000 Ölçekli Kartografik Vektör ve Sayısal Harita Yazı Kuralları Teknik Talimnamesi*, Ankara, 2. Bölüm.

HGM, (2018). *1:25 000, 1:50.000 ve 1:100.000 Ölçekli Kartografik Gösterim Yönergesi, Harita Genel Müdürlüğü*, Ankara

Hirsch, S. A. (1982). An algorithm for automatic name placement around point data. *The American Cartographer*, *9*(1), 5-17. doi: 10.1559/152304082783948367.

Imhof, E. (1962). Die Anordnung der Namen in der Karte, Annuaire International de Cartographie II, 93–129.

Imhof, E. (1972). Die Gefüge, Methodisches und Übersicht, Thematische Kartographie, 3.

Imhof, E. (1975). Positioning names on maps. *The American Cartographer*, *2*(2), 128-144. doi: 10.1559/152304075784313304.

Maptext, (2020). Label-EZ, Erişim Adresi: www.maptext.com/labelez.

Regnauld, N., Lessware, S., Wesson, C. ve Martin, P. (2013, Ağustos). Deriving products from a Multi Reso-lution database using automated generalisation at ordnance survey. *26. Uluslararası Kartografya Konferansında sunulan bildiri,* Dresden (pp. 25-30).

Revell, P., Regnauld, N. ve Bulbrooke, G. (2011, Temmuz). OS Vectormap District: Automated Generalisation, Text Placement and Conflation in Support of Making Public Data Public. *25. Uluslararası Kartografya Konferansında sunulan bildiri* (s. 3-8). Erişim Adresi: https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/D3-Generalisation/CO-358.pdf

Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J. ve Guptill, S. C. (1995). Elements of cartography, John Wiley ve Sons. *Inc., New York,* ABD.

Rylov, M., ve Reimer, A. (2017). A practical algorithm for the external annotation of area features. *The Cartographic Journal*, 54(1), 61-76. doi: 10.1179/1743277414Y.0000000091

Rylov, M. ve Reimer, A. (2015). Pairwise Line Labeling of Geographic Boundaries: An Efficient and Practical Algorithm. *Cartographic Perspectives*, (79), 5-21. doi: 10.14714/CP79.1212

Stachon, Z. (2007, Ağustos), Usability Of Automated Name Placement, *23. Uluslararası Kartografya Konferansı sunulan bildiri*, Moskova: Roskartografia, 8 s. Erişim Adresi: https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2007/documents/doc/THEME%203/oral%203/3.3.5.%20USABILITY%20OF%20AUTOMATED%20NAME%20PLACEMENT.doc

Van Kreveld, M., Strijk, T. ve Wolff, A. (1999). Point labeling with sliding labels. *Computational Geometry*, *13*(1), 21-47. doi: 10.1016/S0925-7721(99)00005-X

Van Roessel, J. W. (1989). An algorithm for locating candidate labeling boxes within a polygon. *The American Cartographer*, *16*(3), 201-209. doi:10.1559/152304089783814034

Wolff, A., Knipping, L., van Kreveld, M. J., Strijk, T. ve Agarwal, P. K. (2001). A simple and efficient algorithm for high-quality line labeling, *Innovations in GIS VII: GeoComputation*, 11: 147-159. Erişim Adresi: https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/2561/2001-44.pdf

Wolff, A., T. Strijk. (2009). The Map-Labeling Bibliography. Erişim Adresi: https://i11www.iti.kit.edu/~awolff/map-labeling/bibliography/maplabauthor.html

Wood, C. H. (2000). A descriptive and illustrated guide for type placement on small scale maps. *The Cartographic Journal*, *37*(1), 5-18. doi: 10.1179/000870400787320851

Yoeli, P. (1972). The logic of automated map lettering. *The Cartographic Journal*, *9*(2), 99-108. doi: 10.1179/caj.1972.9.2.99.

OpenStreetMap Yerleşim-içi Yollarına Ait Etiket Bilgilerinin Karşılaştırılmasıyla Gönüllülerin Katkı Sağlama Eğilimlerinin İncelenmesi

(Analyzing the Contribution Trends of Volunteers by Comparing Tag Metadata of OpenStreetMap Residential Roads)

Müslüm HACAR

Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kartografya Anabilim Dalı, 34220, Esenler/İstanbul

mhacar@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 22.04.2020 Kabul Tarihi (Accepted): 29.06.2020

ÖZ

Coğrafi bilgilerin gönüllüler tarafından üretilmesi ve paylaşılması son yıllarda giderek artmaktadır. Gönüllülük esaslı faaliyetlerin akademik bir çalışma ile ele alınıp incelenmesi, katkı sağlanan verilerin gelişimini olumlu yönde etkileyecektir. En popüler gönüllü coğrafi bilgi platformu olan OpenStreetMap aracılığıyla gönüllü katılımcılar, çevrimiçi bir arayüzden faydalanarak katkı sunmaktadır. Katılımcılar, coğrafi veri oluşturma, bu verilere ait semantik etiket bilgilerini üretme ve var olan veri ve etiket bilgilerini güncelleme işlemleriyle büyük gezegen verisini (planet.osm) giderek daha kapsayıcı hale getirmeye çalışmaktadır. Birçok araştırmacı OpenStreetMap verilerinin kalitesini inceleyen ölçüler hakkında çeşitli çalışmalar yapmışken, az sayıda çalışma veriyi üreten gönüllü katılımcıların davranışlarını incelemiştir. Bu çalışmada, yerleşim alanlarındaki OpenStreetMap yol (highway=residential) verilerine ilişkin çeşitli etiket bilgileri karşılaştırılarak, gönüllü katılımcıların yerleşim alanlarında veri girişi eğilimleri üzerine bir araştırma yapılmıştır. Gönüllülerin semantik katkılarının istatistiki değerleri kullanılarak karşılaştırmalı grafikler üzerinden çeşitli ilişkiler kurulmuş ve yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, OpenStreetMap gönüllülerinin residential (yerleşim-içi) yolların isimlerine daha fazla katkı sağladıklarını göstermiştir. Bununla birlikte, proje amacının gönüllüler tarafından anlaşıldığı ve o yönde aktiviteler gerçekleştirdikleri tespit edilmiştir. Buna karşın, gerçekleştirilen tüm katkılar semantik çeşitlilik bakımından oldukça iyi olsa da semantik bilgilerin tamlığı bakımından değerlendirildiğinde yeterli değildir.

***Anahtar Kelimeler**: OpenStreetMap, gönüllü coğrafi bilgi, yerleşim-içi yollar, katılımcı davranışı*

ABSTRACT

Generating and sharing of geographic information by volunteers has been increasing in recent years. Analyzing volunteer-based activities in an academic study will positively affect the development of the contributed data. Through OpenStreetMap, the most popular volunteer geographic information platform, volunteer contributors take advantage of an online interface. Contributors are trying to make the big planet data (planet.osm) more inclusive with the processes of creating geographic data, generating the semantic tag information of this data and updating the existing data and label information. While many researchers have argued in several studies about the measures analyzing the quality of OpenStreetMap data, few studies have investigated the behaviours of volunteer contributors. In this paper, a study about the contribution trends of volunteers in residential areas was conducted by comparing several tag information of OpenStreetMap residential roads. Using the statistical values of the volunteers' semantic contributions, various relationships have been established and interpreted on comparative charts. The results show that OpenStreetMap volunteers adopt contributing to the names of residential roads as a priority task. Besides, it was determined that the purpose of the project was understood by the volunteers and they carried out activities in that direction. Although the contributions are quite good in terms of semantic diversity, they are not sufficient when considering the completeness of semantic information.

***Keywords**: OpenStreetMap, volunteered geographical information, residential roads, contributor behaviour*

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle beraber mekânsal veri üretimi de hızla artmaktadır. Özellikle çeşitli özel ve kamu kurum ve kuruluşlarında istihdam edilen yetişmiş uzman personel tarafından, küresel konumlama sistemi (GPS), optik/radar uydu sistemleri ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımıyla gerçekleştirilen uygulamalar, konumsal veri üretimini ve kartografik sunumunu oldukça kolaylaştırmıştır. 2000'li yılların başına kadar masaüstü yazılımlarla sürdürülen bu süreç, web teknolojilerinin gelişimiyle Google Maps ve Bing Maps gibi çevrimiçi arayüzlerin de harita sunumunda kullanılmasını sağlamıştır (Garrett, 2005).

Kısa bir zaman sonra gönüllüler ve uzman olmayan kişiler de çevrimiçi arayüzler aracılığıyla harita üretimine katkı sağlamaya başlamışlardır (Goodchild, 2007; Heipke, 2010; Zhao, Jia, Qin, Shan ve Jiao, 2015). Gönüllülerin harita faaliyetlerine katılımı herkesin katkıda bulunabildiği özgür ansiklopedi Vikipedi benzeri bir işlevle gerçekleşmektedir (Wikipedia, 2020).

Atıf/To cite this article: Hacar, M. (2020). OpenStreetMap Yerleşim-içi Yollarına Ait Etiket Bilgilerinin Karşılaştırılmasıyla Gönüllülerin Katkı Sağlama Eğilimlerinin İncelenmesi. *Harita Dergisi,* 164, 77-87.

Vikipedi'de oluşturulan makaleler, düzenleme işlevi ile tüm kullanıcılara açıktır. Kullanıcılar gerek gördüklerinde eksik bir kavram için herkesin görüntüleyebileceği ve değiştirebileceği bir açıklama ekleyebilmekte veya mevcut bir ifadeyi değiştirebilmektedir. Mekânsal veri üretimi için de benzer bir şekilde oluşturulmuş platformlara gönüllü coğrafi bilgi (volunteered geographical information – VGI) projeleri denmektedir. Bu platformlarda gönüllülerin katılımı kitlesel bir işbirliği içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda birbirinden bağımsız gönüllülerin her biri eşit düzeyde ve çeşitlilikte mekânsal veri üretebilme ve var olan veriyi güncelleme hakkına sahiptir. Diğer bir ifadeyle, gönüllü katılımcıların sınırsız veri sağlama ve birbirilerinin katkıları üzerinde düzenleme ve kontrol hakları bulunmaktadır. OpenStreetMap, Wheelmap, WorldMap, Wikimapia gibi projeler gönüllülerin katkılarıyla coğrafi bilgiyi sunan platformlardan bazılarıdır. Wheelmap projesi yürüme engelli bireylerin tekerlekli sandalye kullanımına uygun coğrafi varlıkları harita üzerinde görmelerini sağlayan bir platformdur (Mobasheri, Deister ve Dieterich, 2017). 2010 yılından beri gönüllülerin kitlesel katkılarına açıktır. WorldMap, Harvard Üniversitesi çalışanları tarafından Afrika kıtası için hızlı bir şekilde gönüllülerin yardımıyla coğrafi veri üretilmesini sağlayan bir projedir (Guan ve diğerleri, 2012). İlk sürümü 2008 yılında uygulanmış ve bu tarihten itibaren diğer kıta ülkelerine de yayılarak gelişimini sürdürmüştür. Wikimapia projesi ise 2006 yılında iki Rus girişimci tarafından kurulmuştur (Ballatore ve Jokar Arsanjani, 2019). Vikipedi'den ilham alarak bir coğrafi veri ansiklopedisi oluşturmayı amaçlamışlardır. Gönüllü ve açık erişime sahip öncül projelerden biri de OpenStreetMap (OSM) projesidir. Ağırlıklı olarak yol ve yol çevresinde yer alan veya yollarla ilgili olan tüm coğrafi varlıklar için kullanılmaktadır. Ancak projede coğrafi veri çeşitliliği ile ilgili bir sınır getirilmemiştir (OpenStreetMap Wiki, 2020). Örneğin, *highway* (araç-yolu) ve *building* (bina) gibi sıklıkla kullanılan ve herkes tarafından kabul gören çok sayıda semantik etiket vardır. Fakat bu etiketlerin isimlendirilmesi ve bunların alt kategorilere ayrılışı ile ilgili hiçbir kural yoktur. OSM'nin ilk yıllarında *highway* ile eş anlama gelecek farklı alternatifleri arasından '*highway*' etiketinin daha çok kullanılmasıyla, bu etiket yazılı olmayan bir standarda dönüşmüştür. Dolayısıyla, katılımcılar dünya üzerinde herhangi bir konuma ait geometrik ve semantik coğrafi veriyi özgürce üretebilmektedir. Veriler, gezegen verisi (*planet.osm*) olarak haftalık periyotlarda erişime açılmaktadır.

OSM gönüllülerinin tamamının aktif bir şekilde geometrik ve semantik veri üretimi ve düzenlemesine katkı sağladığı düşünülmemelidir. Özellikle OSM projesinin başlangıcında birçok katılımcı sadece üye olmakla yetinmiş, bir kısmı da katkı sunmuştur. Neis ve Zipf (2012) tarafından yapılan çalışmada, gönüllülerin sadece %38'inin en az bir katkı sunduğu, %5'inin ise gerçek anlamda OSM gönüllüsü olarak aktif bir şekilde katkı sunduğu görülmüştür. Buna karşın, üye katılımındaki artışla, 1 Nisan 2020 tarihinde paylaşıma açık olan gezegen verisinin sıkıştırılmış versiyonu 49,9 GB, XML formatında ayıklanmış versiyonu ise 1205,8 GB olarak sürekli güncellenen büyük veri şeklinde sunulmaktadır (OSM: Planet.osm, 2020).

Bir çeşit kitlesel işbirliğine dayanan gönüllülük faaliyetleri sonucunda oluşturulan bu büyük coğrafi verinin kalitesinin belirlenmesini sağlayan geometrik, semantik veya kartografik bir iç denetim (gönüllülerin birbirilerinin katkılarını düzenleme yetkisi dışında) ve sınırlayıcı kurallar bulunmamaktadır. Bu nedenle Mooney ve Corcoran (2012a), kullanıcıların özellikle yüksek geometrik doğruluk ve hassasiyet gerektiren harita uygulamalarında, kullanacakları OSM verisinin kalitesini belirlemelerinin gerekli olduğunu düşünmektedir.

OSM verisinin kalitesinin belirlenmesi için yapılan ilk çalışmalar, bir referans verisi kullanılarak doğruluğun (accuracy) ve tamlığın (completeness) belirlenmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Haklay (2010), İngiltere'ye ait OSM verisinin, Ordnance Survey tarafından üretilen büyük ölçekli verilerle karşılaştırılmasına dayanan bir kalite analizine odaklanmıştır. Yazar, OSM geometrik veri doğruluğunun yaklaşık 6 m olduğunu ve iki veri kümesi arasında yaklaşık % 80 örtüşme olduğunu tespit etmiştir. Girres ve Touya (2010) Fransa sınırları içerisine giren OSM verilerinin kalitesi üzerinde çalışmıştır. Geometrik, öznitelik, semantik ve zamansal doğruluk, mantıksal tutarlılık, tamlık, kullanım gibi mekânsal veri kalitesini belirleyen değerlendirme öğelerini kullanmışlardır. Mondzech ve Sester (2011) ATKIS ve OSM verilerini karşılaştırarak yaya navigasyonu bakımından OSM kalitesini değerlendirmiştir. Veriseti ne kadar tamsa o kadar kısa rotalar oluşacağı varsayımıyla çalışmayı gerçekleştirmiştir. Almanya'daki bazı şehirleri incelemiş ve uzun rotaların oluştuğu verisetlerinin eksik verilerden oluştuğu tespitini yapmıştır. Corcoran, Mooney ve Bertolotto (2013) İrlanda'daki üç OSM yol ağının zamansal gelişimini analiz etmiştir. Çalışmada elde ettikleri sonuçları, kentsel alanların yoğunluğunun

merkezden (sıklaştırma (*densification*)) dışarı doğru seyreden (genişletme (*exploration*)) gelişimi üzerinden değerlendirmiştir. Zhang ve Malczewski (2018) Kanada sınırları içerisinde yer alan OSM yol ağı verilerinin kalitesini değerlendirmiştir. Tamlık, konumsal, öznitelik ve semantik doğruluk gibi mekânsal veri değerlendirme ölçülerini kullanarak gerçekleştirdikleri analiz sonucunda, kentsel yol ağlarına kırsal alanlardan daha fazla katılım sağlandığını tespit etmişlerdir.

OSM verisinin, bir referans verisi kullanılmadan da kalitesinin değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur. Referans verisinin kullanılması bir çizimin veya semantik bilginin doğru olup olmadığı bilgisini verebilir, ancak, gönüllülerin detay sınıfı ve etiket seçimleri veya genel eğilimleri üzerine bilgi edinme imkânı sunmaz (Mooney ve Corcoran, 2012a). Referans verisi kullanılmadan gerçekleştirilen çalışmalar, genel olarak, OSM verilerinde yer alan nesneleri, geometrik ve semantik ölçüler yardımıyla inceler ve ilgili verilerin gelişimi veya katılımcıların davranışları üzerine çıkarımlar yapmayı sağlar. Mooney, Corcoran ve Winstanley (2010) gerçekleştirdikleri çalışmada hidrografya ve ormanlık alanları temsil eden çokgenlerin oluşumunu inceleyerek referans verisi olmadan OSM verisinin kalitesini değerlendirmişlerdir. Gönüllüler için uydu görüntülerinden hidrografya detayların ve sınırların çiziminin, ormanlık alan sınırlarını çizmekten daha kolay olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca, OSM'nin *source* (kaynak) ve *description* (açıklama) etiket değerlerini de çeşitli ülke örnekleri üzerinden incelemiş ve neredeyse tüm ülkeler için nesnelerin %5'inin altında mevcut olduğunu belirlemişlerdir. Mooney ve Corcoran (2012a, 2012b) ülkelere göre sıklıkla güncellenen (en az 15 kez) verileri incelemiştir. Sık değişen (güncellenen) nesnelerin belli ortak özellikleri olsa da bir korelasyona sahip olmadıkları görülmüştür. OSM verisinin %90'ı aşan kısmının üçten az sayıda değişime uğradığını (güncellendiğini) ve bu durumun OSM katılımcılarının (gönüllülerinin) işbirliğini inceleyenlerin işini zorlaştırdığını belirtmiştir. Ayrıca yazarlar, bir nesneyi oluşturan katılımcı sayısındaki artışla nesneye atanan etiket sayıları arasında güçlü bir ilişki olmadığını tespit etmişlerdir. Jilani, Corcoran ve Bertolotto (2014) makine öğrenmesi yardımıyla görece güvenirliği fazla olan Londra'ya ait OSM yol verisinin bir kısmını referans (test) kabul ederek Londra ve East Sussex şehirlerindeki tüm OSM yol verisinin yol sınıflarını ifade eden "*highway*=*" etiket değerlerini tahmin eden bir model geliştirmiştir. 21 yol sınıfı etiket değeri ile geliştirdikleri bu öğrenme modelinde, sınıfların tahmini için yolların geometrik ve topolojik özellikleri kullanılmıştır. Uygulama sonucunda, yerleşim-içi yol (*residential*), yaya yolu (*pedestrian*), birincil yol (*primary*), otoyol (*motorway*) ve bunların bağlantı yollarının (*primarylink* ve *motorwaylink*) %50'den fazlası doğru tahmin edilirken, bisiklet yolu (*cycleway*), fayton yolu (*bridleway*), patika (*path*), ikincil yol (*secondary*) ve bağlantı yolunun (*secondarylink*) %40'dan azı doğru tahmin edilmiştir. Zhao ve diğerleri (2015) 2009-2012 yılları arasında Pekin'e ait OSM yol ağlarının zamansal gelişimini geometrik, topolojik ve merkeziyet ölçüleri açısından incelemiştir. Uygulama bölgesinde, OSM gönüllülerinin katkı yapmaya şehir sınırlarında başladıklarını ve çizimlerinin kent merkezine doğru bir yöne sahip olduğunu belirlemiştir. Hacar, Kılıç ve Şahbaz (2018) 2007-2017 yılları arasında Ankara'ya ait OSM yol ağlarının zamansal olarak gelişimini merkeziyet ölçüleriyle incelemiştir. Ayrıca, yıllara göre OSM verisinin zamansal tamlık parametresini, yolların kıvrımlılık durumunu ve gönüllülerin ilgili veri için gerçekleştirdikleri faaliyetlerin yoğunluğunu ölçmüştür. Çalışma sonucunda, katılımcıların deneyimleri ile yapmış oldukları katkılar arasında ilişkiler kurulmuştur. Katılımcıların deneyimi arttıkça daha detaylı katkılar yaptıkları belirlenmiştir.

Kentsel alanlardaki veri yoğunluğu nedeniyle bu bölgelerde katkı sağlayacak gönüllülerin OSM Wiki web sitesindeki 'Map Features' kılavuzunu kullanması, bu özgür platformda daha dikkatli ve doğru katkı sağlamalarına yardımcı olmaktadır (OSM: Map Features, 2020). Kılavuzda özellikle sıklıkla tercih edilen, yıllardır kullanıcılar tarafından kabul görmüş etiket isimleri özel tanımlarıyla listelenmektedir. Kullanıcılar bu listeden, katkı sağlamak istedikleri coğrafi nesneye ait ilgili özelliğe uygun etiketleri seçerek diğer kullanıcılarla uyumlu veri girişi gerçekleştirebilmektedir. Davidovic, Mooney ve Stoimenov (2016) 30 farklı kentsel alanda gerçekleştirdikleri çalışmada, OSM katılımcılarının katkı sağlarken OSM Wiki web sayfasını ne kadar dikkate aldıklarını araştırmıştır. Çalışma sonucunda gönüllülerin, 'Map Features' sayfasındaki kılavuzla genel bir uyum içinde olduğu ortaya çıkarken, farklı şehirlerde aynı türdeki coğrafi nesnelerin farklı etiketlerle oluşturulduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma, belli bir bölgedeki OSM verilerinin doğrudan değerlendirildiği önceki çalışmalardan farklı olarak, gönüllülerin oluşturduğu tüm semantik etiketleri herhangi bir alansal sınır getirmeksizin, *highway=residential* etiketi özelinde birbirileriyle karşılaştırmakta ve elde edilen istatistiksel sonuçlara göre gönüllülerin

davranışlarını (katkı sağlama eğilimleri) incelemektedir. Bu makalede, konu ile ilgili bilimsel çalışmaların incelendiği bu bölümün ardından, OSM'de yer alan veri yapıları (geometrik ve semantik) hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bölüm 3'te semantik etiketlerin genel istatistiksel göstergeleri üzerinden kullanılan veri incelenmiştir. Ayrıca aynı bölümde bu makalede izlenen yaklaşıma dair açıklamalara yer verilmiştir. Bölüm 4'te semantik etiketler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçları yorumlamak için çeşitli grafiklerden faydalanılmıştır. Son bölümde, gönüllülerin semantik etiketleri kullanım eğilimleri ile ilgili çeşitli değerlendirmeler ve çıkarımlar yapılmıştır.

2. OSM VERİ YAPISI

OSM kapsamında veriler gönüllüler tarafından oluşturulur. Bir gönüllülük faaliyeti olarak düşünüldüğünde, oluşturulan coğrafi veri için ürün (*product*) kelimesini kullanmak yerine, katkı (*contribution*) ve çizim (*drawing* ya da *map*) kelimelerini kullanmak daha doğru olabilir. Bununla birlikte, oluşturulan temel coğrafi veri, çeşitli tematik harita üretim süreçlerinde altlık olarak kullanılabilmektedir. Bu bakımdan ise, altlık olarak kullanılan OSM verisinin bir ürün olduğu düşünülebilir. Bu çalışmada OSM verileri genel olarak gönüllülerin eğilimleri açısından incelendiği için yazının kalan kısmında katkı ve çizim kavramlarının kullanılması tercih edilmiştir.

OSM verisi genel olarak geometrik ve semantik verilerden oluşmaktadır. Katkı sağlayıcıların, *node* (nokta), *way* (yön, çizgi) ve *relation* (ilişki) OSM elemanlarını (*element*) kullanarak nokta, çizgi ve çokgen geometrili coğrafi nesneleri çizmeleri ve bu coğrafi nesnelerin öznitelik bilgilerini içeren semantik etiketleri oluşturmaları beklenmektedir.

a. Geometrik Veriler

Node elemanı, uzayda enlem ve boylama sahip bir noktadır. Yeryüzünde nokta geometrili nesne ile temsil edilebilecek varlıkların (ağaç, elektrik direği, telefon kulübesi gibi) çiziminde kullanılmaktadır.

Way elemanı, en az bir etikete veya ilişkiyesahip sıralanmış *node* listesidir. En az iki en çok 2000 *node* ile oluşturulabilir. Yeryüzünde çizgi geometrili nesne ile temsil edilebilecek varlıkların (yol, dere, altyapı hattı gibi) çiziminde kullanılmaktadır. Ayrıca, way elemanı kullanılarak çizilmiş bir çizginin bitiş noktası başlangıç noktasına birleştirildiğinde *closed* (kapalı) *way* olarak nitelendirilmekte ve çokgen çiziminde kullanılmaktadır. Ancak böyle bir çizim yaklaşımı, içerisinde boşluk bulunan çokgenlerin (park çokgeninin içerisinde yer alan havuz çokgeni gibi) çizimi için yeterli değildir.

Relation elemanı, coğrafi nesnelerin çizimi için kullanılan elemanların veya sahip oldukları semantik etiketlerin arasındaki coğrafi veya anlamsal ilişkileri içeren bir OSM elemanıdır. Genellikle, yeryüzünde çokgen geometrili nesne ile temsil edilebilecek varlıkların (bina, park, idari sınır gibi) çiziminde kullanılabildiği gibi içerisinde boşluk bulunan çokgenlerin çiziminde de kullanılabilmektedir. Ayrıca farklı geometrili nesneler için de kullanılabilmektedir. Örneğin, nokta gösterimli duraklar (*node*) ile otobüs hattının geçtiği yolları (*way*) içeren rotaların oluşturulması *relation* elemanının kullanılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir (OSM: Relation, 2020).

b. Semantik Veriler

Geometrik olarak çizimi yapılan OSM coğrafi verilerine öznitelik bilgisi atamak mümkündür. OSM'deki coğrafi nesnelere öznitelik bilgilerinin eklenmesi, semantik etiketlerin (*tag*) kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Etiketler *key* (anahtar) ve *value* (değer) olmak üzere iki bileşen içermekte ve *key=value* şeklinde gösterilmektedir. *Key* bileşeni, klasik coğrafi veri tabanı tablolarındaki her bir sütun isminin (öznitelik başlığı) yerine kullanılmaktadır. Örneğin, bir yol nesnesinin ulaşım ağları bakımından hangi sınıfta yer aldığını gösteren *highway* (araç-yolu), sıklıkla kullanılan *key* bileşenlerinden biridir. *Value* bileşeni, veri tabanı tablolarındaki sütunların içerisinde yer alan her bir öznitelik bilgisinin yerine kullanılmaktadır. Örneğin, yine bir yol nesnesinin *key* bileşenlerinden olan *highway* için *motorway* (otoyol) , *primary* (birincil), *secondary* (ikincil) veya *residential* (yerleşim-içi) sıklıkla kullanılan etiket değerlerinden (*value* bileşeni) bazılarıdır (Tablo 1).

Tablo 1. *Highway* bileşeni için sık kullanılan etiket değerleri (OpenStreetMap Wiki, 2020).

Etiket değeri	**Açıklama**
residential	Yerleşim alanları içerisindeki binalara doğrudan ulaşım sağlayan yollar
motorway	Karayolları, Devlet yolları
primary	Birincil ana arter yollar
secondary	İkincil ana arter yollar
tertiary	Küçük yerleşim yerlerini birbirine bağlayan yollar
track	Tarımsal ve orman alanlarında ulaşım sağlayan yollar
service	Bir istasyona, alışveriş merkezine, endüstriye vb., ulaşım sağlayan yollar
path	Patika yollar
cycleway	Bisiklet yolu
unclassified	Genel kullanıma açık ama sınıflandırılmamış yollar

3. VERİ VE YÖNTEM

a. Çalışma Bölgesi ve Veriler

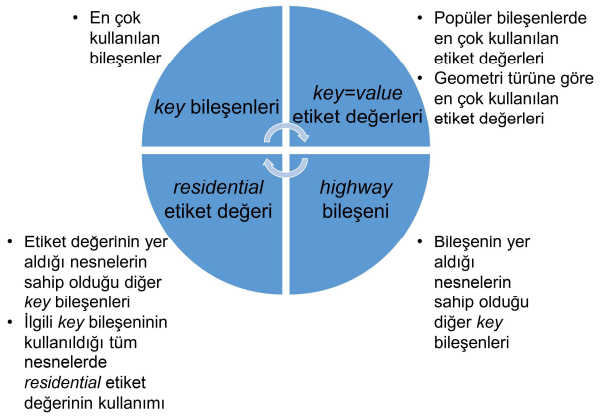
Çalışma bölgesi olarak özel bir alan değil, dünyanın tamamı referans alınmıştır. Bu çalışmada, Mart 2020 tarihinde mevcut olan tüm OSM verileri kullanılmıştır. Gezegen verisi olarak anılan *planet.osm* dosyası sürekli güncellenen bir büyük veridir. Dolayısıyla bireysel araştırmalar için bu dosya üzerinde detaylı sorgulamalar gerçekleştirip, istatistiksel tablolara dönüştürme işleri, yüksek performanslı bilgisayarlara ve zamana gereksinim duymaktadır. Bu çalışmada, etiket değerlerinin istatistiki değerleri TagInfo çevrimiçi servisinden alınmıştır (TagInfo, 2020). Bu servis, gezegen verisi için her gün UTC zaman diliminde saat 23:59'da istatistiki değerleri güncellemektedir. Semantik etiketlere ait istatistiksel tablolar TagInfo web sayfası üzerinden .html, .json, ve .db formatlarında indirilebilmektedir. Tablo 2'de OSM gezegen verisine sunulan katkıların genel istatistikleri görülmektedir. OSM verilerinde semantik bilginin kullanımını anlamak için bu tabloda dikkat çeken tüm bilgiler incelenmelidir. Görülüyor ki, *building* (bina) bileşeni gönüllülerin en çok katkı sağlamaya yöneldikleri semantik bilgi olmuştur. *Source* bileşeninin de en çok katkı sağlanan verilerden biri olduğu görülmektedir. Özellikle, bu bileşenin yüksek oranda kullanılması, OSM verilerinin metaverisini güçlendirecek ve bu verilere olan güveni arttıracaktır. Yine de bina nesneleri gibi diğer tüm nesneler için kaynak bilgisinin metaveri olarak işlenmesi gerektiğinden, *source* bileşen sayısının bina bileşeninin çok üstünde olması gerektiği söylenebilir. Tabloda dikkat çeken bir diğer bilgi özgün etiket değerlerinde bir düzenin olmayışıdır. Bileşenin ihtiyaç duyduğu semantik bilgiler dikkate alındığında, bu beklenen bir durumdur. Örneğin, coğrafi varlıklara ait özel isimler o varlıklara özgü oldukları için katkı sağlanan *name* (isim) bileşeni en çok özgün değere sahip olandır. Diğer bir ifadeyle nesnelerin isimleri, onları gruplamak, sıralamak, sınıflandırmak veya kümelemek için kullanılan bir bilgi değildir. Bu nedenle *name* bileşeninin sahip olduğu değerlerin özgün olması beklenir. Diğer taraftan, *highway* bileşeninin özgün etiket değeri sayısı belirgin bir şekilde azdır. Bu bileşen, yolların sınıflandırılması için kullanıldığından bu sayının diğer semantik bilgilerin sayısına göre az olması beklenen bir durumdur.

Tablo 2. Sık kullanılan key bileşenlerine ait istatistikler (TagInfo, 2020).

***key* bileşeni**	**Kullanım sayısı ve yüzdesi**		**Özgün etiket değeri sayısı**
building	378583409	%5.90	11000
source	202250632	%3.15	242907
highway	164030956	%2.56	819
addr: house number	99293604	%1.55	1159059
addr: street	92358515	%1.44	2597195
name	74357881	%1.15	25950316
addr: city	71167560	%1.11	248671
addr: post code	65996901	%1.03	1057606

b. Önerilen Yaklaşım

Bu çalışmada, TagInfo servisi kullanılarak elde edilen istatistiki değerler karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. İstatistiksel verilerin karşılaştırılması için Şekil 1'de detaylarıyla temsil edilen yaklaşım benimsenmiştir.



Şekil 1. İstatistiksel verilerin karşılaştırılması için izlenen diyagram.

Bu yaklaşıma göre, OSM verilerindeki semantik bilgiler en genel çerçeveden hedef etiket değerine doğru bir yönde incelenmektedir. Buna göre ilk olarak OSM gezegen verisetinde en çok kullanılan *key* bileşenleri ve bu bileşenler ile birlikte en çok kullanılan etiket değerleri belirlenerek semantik verilerin ağırlıkları hakkında ön bilgi edinilir. İlave olarak, her bir geometri türü için en çok kullanılan etiket değerleri incelenir. Geometri türüne özgü etiket değerleri mevcut ise, hedef etiket değerinin ileriki istatistiki kıyaslamalarını yorumlamak için faydalı olabilecektir. Yaklaşım, *highway key* bileşenini inceleyerek devam eder. *Highway* bileşenin yer aldığı nesnelerin sahip olduğu diğer *key* bileşenleri incelenir. Böylece, *highway* ile ilgili nesnelere katkı sunan gönüllülerin en çok hangi semantik bilgilere yöneldikleri belirlenir. Son olarak çalışmanın hedef etiket değeri olan *highway* bileşeninin yerleşim-içi değeri incelenir. Bu etiket değerinin yer aldığı nesnelerin, yerleşim-içi yolların sahip olduğu diğer *key* bileşenleri belirlenir. Böylece gönüllülerin yerleşim-içi yollardaki semantik katkılarının eğilimi gözlemlenir. Ayrıca, bu bileşenlere sahip tüm OSM nesneleri içerisinde yerleşim-içi yol nesnelerinin sayısı belirlenir. Bu karşılaştırmayla, yerleşim-içi yollara sunulan katkıların diğer tüm nesneler içerisindeki yeri belirlenmektedir. Görüldüğü gibi bu çalışma kapsamında benimsenen yaklaşım, istatistiki değerlerin belli bir mantık çerçevesinde karşılaştırılması ve yorumlanması esasına dayanmaktadır. OSM projesi devam ettikçe gönüllülerin katkı sağlama eğilimi değişebilmektedir.

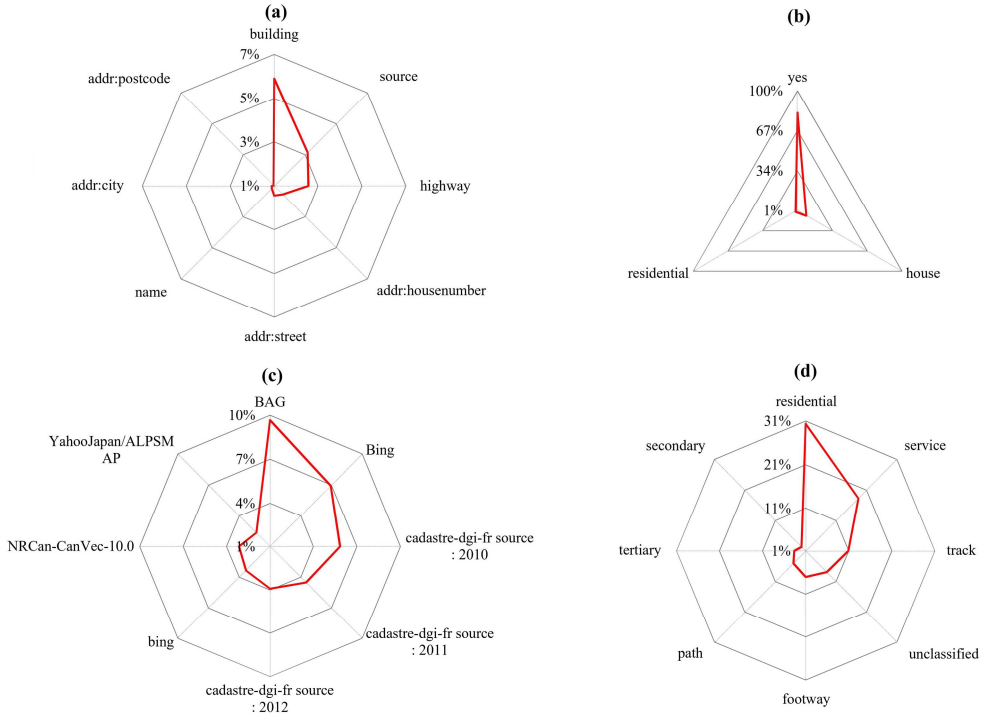
4. ETİKETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, yerleşim-içi yolların (*highway=residential*) semantik etiketleri incelenmiş ve bu etiketleri oluşturan OSM gönüllülerinin davranışları üzerine araştırmalar yapılmıştır. Yapılan değerlendirmede, gönüllülerin *highway=residential* etiket değerine sahip OSM verileri için kullandıkları tüm etiketler ve değerleri araştırılmıştır. Diğer bir ifadeyle, yerleşim-içi yol nesneleri için kullanılan diğer etiketler de incelenerek katkı sağlayanların hangi etiketleri kullanmaya yöneldikleri belirlenmiş ve kitlesel eğilimleri değerlendirilmiştir.

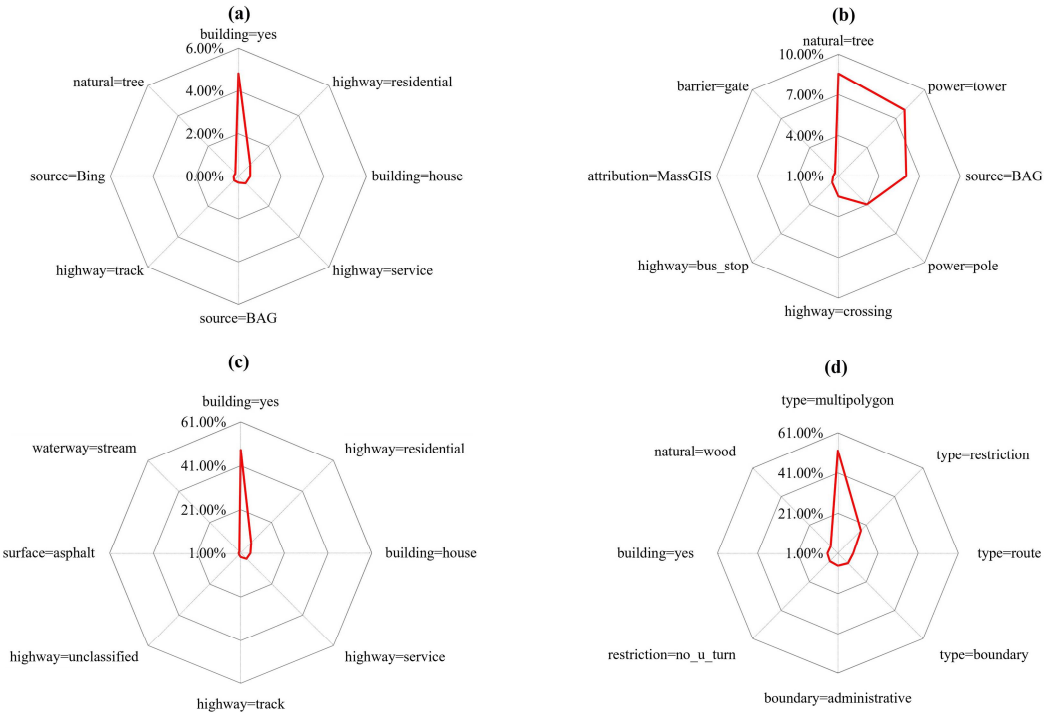
OSM'de şu ana kadar 75767 farklı *key* bileşeni kullanılmıştır. Bununla birlikte, bu *key* bileşenlerine 108392345 farklı etiket değeri eklenmiştir (TagInfo, 2020). Gönüllüler sonsuz çeşitlilikte öznitelik bilgisini OSM verilerine ekleyebilmektedirler. Ancak bazı özniteliklerin görece daha çok kullanılması, OSM içerisinde resmi olmayan standartlar olarak varsayılmalarını sağlamıştır (OSM: Map Features, 2020). Örneğin Şekil 2 ve Şekil 3'te OSM'de en çok kullanılan etiketler görülmektedir (TagInfo, 2020). Grafiklerdeki etiketlerin kullanım değerleri yüzde cinsinden saat yönünde azalmaktadır. Gönüllülerin sağladığı katkıların büyük oranda gerçekleştiği durumlar için geniş yarıçaplı, tersi durumlar için dar yarıçaplı radyal grafik gösterimler kullanılmıştır. Dolayısıyla grafiklerdeki kırmızı çizginin grafik merkezinden uzaklığı, aynı kapsamdaki diğer kavramlar içerisindeki oranını göstermektedir. OSM gönüllüleri etiket verilerini girerken en çok bina *key* bileşenini kullanmışlardır (Şekil 2a, Tablo 2). Bununla birlikte tüm OSM etiketleri göz önünde tutulduğunda en çok bir çokgenin bina olduğu bilgisini veren *building=yes* etiket değerini kullanarak katkı sağlamışlardır (Şekil 3a). Bina bileşeni için ayrıca konut (*house*) etiket değerini de sıklıkla kullanmışlardır (Şekil 2b). *Way* elemanı için bina etiketinin yanı sıra *highway key* bileşeni de sıklıkla kullanılmıştır (Şekil 3c). Ayrıca, *highway* için en çok *highway=residential* etiket değeri kullanılmıştır (Şekil 2d). Bu etiket aynı zamanda tüm etiket değerleri içinde en çok katkı sağlanan ikinci etikettir (Şekil 3a). *Node* için ise *natural=tree* etiketi kullanılmıştır (Şekil 3b). Bu durum, OSM'ye katkı sağlayanların en çok yerleşim alanlarıyla ilgili semantik bilgileri (ev, yol, ağaç gibi) oluşturduklarını göstermektedir.

OSM'deki yol sınıfları *highway key* bileşeni ile belirtilir. Katkı sağlayan gönüllüler sonsuz türde yol etiket değeri oluşturabilmektedir. Ancak, yukarıda da belirttiğimiz gibi, bazı yol sınıfları çok kullanıldığı için resmi olmayan bir standart olarak kabul görmektedir (OSM: Map Features, 2020). Örneğin, ana ve ara güzergâh dışındaki *residential* (yerleşim-içi) yollar, *highway key*

bileşeninin bir etiket değeridir. Bu tür yol nesnelerini çizen veya var olan çizim üzerinden güncelleme işlemi yapan gönüllüler, *highway* bileşeni için *residential* etiket değerini kullanırlar.

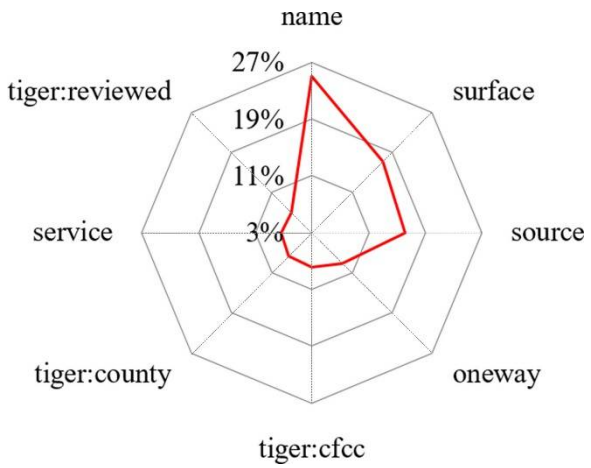


Şekil 2. En çok kullanılan (a) *key* bileşenleri ile (b) *building*, (c) *source* ve (d) *highway* bileşenleri için etiket değerleri.



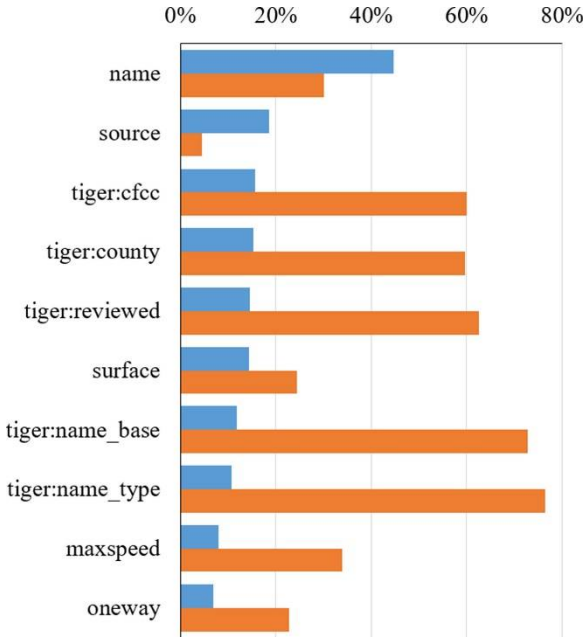
Şekil 3. Nesne geometrilerine göre en çok kullanılan etiketler; a) tüm geometriler, b) *node*, c) *way* ve d) *relation*.

Residential etiket değerine sahip yollar üzerine gerçekleştirilecek bir değerlendirmede öncelikle *highway key* bileşeninin istatistiksel olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Highway bileşeninin kullanımının %3'ün altında olmasına rağmen, 75000'in üzerindeki bileşen çeşitliliği düşünüldüğünde, az bir değer olarak düşünülmemelidir. Şekil 2a incelendiğinde gönüllülerin *highway key* bileşenini, *building* ve *source* bileşenlerinin ardından, sıklıkla kullandığı görülmektedir. Ayrıca, *highway key* bileşenini barındıran coğrafi nesneler Şekil 4'teki grafikte görülen *key* bileşenlerine de sahiptir. Grafikte, *highway* bileşenini barındıran nesneler için, diğer bileşenlerin kullanım yüzdesi saat yönünde azalmaktadır. Örneğin, *highway* bileşenini içeren nesnelerin yaklaşık olarak %25'i *name key* bileşenine de sahiptir. Diğer bir ifadeyle, araç-yolları içinde en çok katkıda bulunulan semantik bilgi yolların isimleridir. Bununla birlikte, yolların zemin (*surface*) türü bilgisi, yollar hakkında elde edilen bilgilerin kaynağının yer aldığı *source* ve yolların tek/çift yönlü olduğunu belirten *oneway* bileşeni de yollara sıklıkla sağlanan semantik bilgiler arasındadır.



Şekil 4. *Highway key* bileşenine sahip *way* elemanlarının sahip olduğu diğer *key* bileşenleri.

Highway key bileşeni için en çok çizilen yollar *residential* etiket değerine sahip yollardır. Bu nedenle, bu *key* bileşeninde en çok *residential* semantik etiket değeri kullanılmıştır (Şekil 2d). *Residential* etiketine sahip yollar için gerçekleştirilen diğer semantik katkılar incelendiğinde, bu türdeki coğrafi nesnelerin ihtiyaç duyduğu semantik bilgiler görülebilirken, OSM gönüllülerinin de *residential* yollar için katkı sağlama eğilimleri hakkında çeşitli değerlendirmeler yapılabilir. Şekil 5'te *highway key* bileşeni için *residential* etiket değerine sahip OSM yollarının sahip olduğu diğer *key* bileşenlerinin dağılımı görülmektedir. Buna göre, *residential* etiket değerine sahip *way* elemanlarının %44,6'sı *name key* bileşenine de sahiptir. Diğer bir ifadeyle, OSM gönüllüleri *residential* yollarda en çok yolların isimlerini belirlemek için katkı sağlamaya yönelmişlerdir. Bununla birlikte, *name key* bileşeninin kullanıldığı tüm OSM nesnelerinin (Tablo 2) %30,1'i *residential* etiket değerine sahiptir. Bu bilgiler ışığında, *residential* yol nesneleri içinde *name* bileşeninin ve *name* bileşeni olan tüm OSM nesneleri içerisinde *residential* yol nesnelerinin önemli bir paya sahip oldukları düşünülebilir.



Şekil 5. *Residential* yollarda *key* bileşenlerinin (mavi) ve ilgili bileşenin kullanıldığı tüm OSM nesnelerinde *residential* etiketinin kullanım oranı (turuncu).

Benzer şekilde, *residential* etiket değerine sahip *way* elemanlarının %18,5'i source *key* bileşenine de sahiptir (Şekil 5.). Diğer bir ifadeyle, OSM gönüllüleri *residential* yolların en az %80'inde yolların üretildiği kaynakları (altlık harita, GPS, navigasyon veya kamu entegrasyonu, vb.) belirtmemiştir. Coğrafi verilerin önemli bir metaverisi olan kaynak bilgisi eksik olduğu durumlarda kullanılacak verinin amaca uygun yeterlilikte olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu durum, *residential* etiket değerine sahip yollarla tematik çalışmalar yürütecek kullanıcıların, bütünlük ve kalite analizi yapmasının gerekli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, source *key* bileşeninin kullanıldığı tüm OSM nesnelerinin (Tablo 2) %4,6'sı *residential* etiket değerine sahiptir.

Zemin (*surface*), hız limiti (*maxspeed*) ve tek-yön (*oneway*) *key* bileşenleri de *residential* etiket değerine sahip *way* elemanlarının sıklıkla sahip olduğu semantik etiketlerdendir. Bu etiket çeşitliliği OSM'nin sunduğu özgür etiketleme ve gönüllülük imkânı düşünüldüğünde olağandır. Çeşitlilik kadar etiket değerleri için de yeterli katkının sağlanması önemlidir. Ancak katkıların yeterli olup olmadığı etiketin önem derecesine bağlı olarak görecelidir. Örneğin, Şekil 5'e göre *residential* etiket değerine sahip yollarda hız limiti konusunda gerçekleştirilen katkılar (%7,9), zemin bilgisi konusunda gerçekleştirilenlerden (%14,3) daha azdır. Gönüllülerin bu eğilimi, *residential* etiket değerine sahip yollarda hız limitinin görece daha az önemli olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, yerleşim alanlarının genelinde (okul, kreş, hastane bölgeleri vb. dışında) sürüş hız limitinin sabit değerde olması olabilir (Örneğin, Türkiye için 50km/h).

Çalışmada, gönüllülerin kitlesel davranışlarını belli bir istatistiksel yaklaşımla değerlendirdiğimizde, önümüze farklı yorumlarda bulunulabilecek çok sayıda argüman çıkmaktadır. Ayrıca unutmamak gerekir ki, kartografik çizimin doğası gereği içinde her zaman öznellik de vardır. Dolayısıyla çıkarımda bulunduğunuz şey bazen öznel argümanlara dayandığı için farklı bakış açılarıyla farklı şekillerde yorumlanabilir. Örneğin yukarıda yolların hız limiti ve zemin bilgilerinin verildiği örnekte, gönüllülerin herkesin farkında olduğu bir bilgiyi katkı olarak sunmaya daha az yöneldikleri yorumu yapılabilir. Buna karşın, gönüllülerin gördükleri semantik özellikler için daha fazla katkı sağladıkları yorumu da yapılabilir.

Residential etiket değerine sahip yollar için en çok kullanılan *key* bileşenlerinin görüldüğü Şekil 5'te dikkat çeken bir diğer gösterge ise, Amerika Birleşik Devletleri'ne (ABD) ait verilerin özel olarak adlandırıldığı *tiger* semantik etiketlerinin yoğunluğudur. TIGER coğrafi verileri ABD Nüfus İdaresi (*U.S. Bureau of Census*) tarafından yayımlanmaktadır. ABD'nin çoğu eyaletinde OSM ile entegrasyon sağlandığı için verilerin büyük bir kısmı 2007 yılında OSM'ye katkı olarak sunulmuştur. Kurum güncelleştirme çalışmalarını yıllık olarak yayınlamaktadır (OSM: TIGER, 2020). *Residential* etiket değerine sahip yollarda %15'i aşan oranda *tiger key* bileşenlerinin kullanılması ve bu bileşenlerin kullanıldığı elemanların %60'ı aşan oranda *residential* etiketine sahip olması, ABD'deki katkı sağlayıcıların açık veri konusunda öncü olduğunu ve *residential* etiket değerine sahip yolları önemsediğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışmada, gönüllülük açısından azımsanamayacak kadar büyük faaliyetlerde bulunulan OSM verileri, gönüllülerin semantik katkı sağlama eğilimleri incelenmiştir. Gönüllülerin davranışsal özellikleri, istatistiksel verilerin değerlendirilmesi sonucu yapılan bazı genellemelerle oluşturulmuştur.

Gönüllü katılımcılar sadece geometrik veriyi değil, semantik veriyi de önemsemektedir. Gerçekleştirilen katkıların tümü değerlendirildiğinde OSM'nin semantik çeşitlilik (*key* bileşenleri) bakımından oldukça iyi olduğu, ancak, semantik bilgilerin (etiket değerlerinin) tamlığı bakımından yeterli olmadığı görülmüştür.

OSM projesi yollar ve yolları ilgilendiren tüm coğrafi nesneleri kapsamaktadır. OSM'ye katkı sağlayanların en çok yerleşim alanlarıyla ilgili semantik bilgileri (ev, yol, ağaç gibi) oluşturdukları gözlemlenmiştir. Bu durum, proje amacının gönüllüler tarafından anlaşıldığını ve o yönde aktiviteler gerçekleştirdiklerini göstermektedir.

OSM'deki tüm yol nesnelerinin 1/4'ü kadarında, *residential* etiket değerine sahip yol nesnelerinin yarıya yakınında yol isimleri mevcuttur. Bununla birlikte, zemin türü (*surface*), çizim kaynağı (*source*) ve yolun yönünü (*oneway*) belirten etiketler değerlendirildiğinde, diğer türdeki yollara *residential* etiket değerine sahip yollarla eş değer katkının sağlandığı söylenebilir. Sonuç olarak, tüm yollar dikkate alındığında, gönüllülerin *residential* etiket değerine sahip yolların isimlerine katkı sağlamayı öncelikli bir görev olarak benimsedikleri söylenebilir.

Residential etiket değerine sahip yolların %81.5'inin çiziminde, kullanılan kaynak belirtilmemiştir. Bu durum, tematik çalışmalar yürütecek kullanıcıların, bütünlük ve kalite analizi yapmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

Gönüllülerin *residential* etiket değerine sahip yollar için, herkesin farkında olduğu bir bilgiyi katkı olarak sunmaya daha az yöneldiğini gösteren bazı bulgulara ulaşılmıştır. Bu bulguların daha detaylı istatistiksel çalışmalarla desteklenmesi için ileriki çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

ORCID

Müslüm HACAR https://orcid.org/0000-0002-8737-8262

K A Y N A K L A R

Ballatore, A. ve Jokar Arsanjani, J. (2019). Placing Wikimapia: an exploratory analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, *33*(8), 1633-1650. doi: 10.1080/13658816.2018.1463441

Corcoran, P., Mooney, P. ve Bertolotto, M. (2013). Analysing the growth of OpenStreetMap networks. *Spatial Statistics*, *3*, 21-32. doi: 10.1016/j.spasta.2013.01.002

Davidovic, N., Mooney, P. ve Stoimenov, L. (2016). *An analysis of tagging practices and patterns in urban areas in OpenStreetMap*. Bildiri Kitabı: AGILE 2016 Conference, Helsinki, Finland, (s. 14–17).

Garrett, J. J. (2005). Ajax: A New Approach to Web Applications, Adaptive Path,San Francisco, CA. Erişim adresi: https://www.scriptol.fr/ajax/ajax_adaptive_path.pdf (15 Haziran 2020).

Girres, J. F. ve Touya, G. (2010). Quality assessment of the French OpenStreetMap dataset. *Transactions in GIS*, *14*(4), 435-459. doi: 10.1111/j.1467-9671.2010.01203.x

Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, *69*(4),211-221. doi: 10.1007/s10708-007-9111-y

Guan, W. W., Bol, P. K., Lewis, B. G., Bertrand, M., Berman, M. L. ve Blossom, J. C. (2012). WorldMap–a geospatial framework for collaborative research. *Annals of GIS*, *18*(2), 121-134. doi: 10.1080/19475683.2012.668559

Hacar, M., Kılıç, B. ve Şahbaz, K. (2018). Analyzing OpenStreetMap road data and characterizing the behavior of contributors in Ankara, Turkey. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. *7*(10), 400. doi: 10.3390/ijgi7100400

Haklay, M. (2010). How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *37*(4), 682-703. doi: 10.1068%2Fb35097

Heipke, C. (2010). Crowdsourcing geospatial data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *65*(6), 550-557. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2010.06.005

Jilani, M., Corcoran, P. ve Bertolotto, M. (2014, Kasım). *Automated highway tag assessment of OpenStreetMap road networks*. Bildiri Kitabı: 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, Dallas/Fort Worth, TX, ABD, (s. 449-452). doi: 10.1145/2666310.2666476

Mobasheri, A., Deister, J. ve Dieterich, H. (2017). Wheelmap: the wheelchair accessibility crowdsourcing platform. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, *2*(1), 1-7. doi: 10.1186/s40965-017-0040-5

Mondzech, J. ve Sester, M. (2011). Quality analysis of OpenStreetMap data based on application needs. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, *46*(2), 115-125. doi: 10.3138/carto.46.2.115

Mooney, P. ve Corcoran, P. (2012a). The annotation process in OpenStreetMap. *Transactions in GIS*, *16*(4), 561-579. doi: 10.1111/j.1467-9671.2012.01306.x

Mooney, P. ve Corcoran, P. (2012b). Characteristics of heavily edited objects in OpenStreetMap. *Future Internet*, *4*(1), 285-305. doi: 10.3390/fi4010285

Mooney, P., Corcoran, P. ve Winstanley, A. C. (2010, Kasım). *Towards quality metrics for OpenStreetMap*. Bildiri Kitabı: 18th SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems, San Jose, CA, ABD, (s. 514-517). doi: 10.1145/1869790.1869875

Neis, P. ve Zipf, A. (2012). Analyzing the contributor activity of a volunteered geographic information project - The case of OpenStreetMap. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *1*(2), 146-165. doi: 10.3390/ijgi1020146

OpenStreetMap Wiki. (2020). Welcome to OpenStreetMap. Erişim adresi: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page (20 Nisan 2020).

OpenStreetMap Wiki. (2020). Map Features. Erişim adresi: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features (20 Nisan 2020).

OpenStreetMap Wiki. (2020). Planet.osm. Erişim adresi: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Planet.osm (20 Nisan 2020).

OpenStreetMap Wiki. (2020). Relation. Erişim adresi: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Relation (20 Nisan 2020).

OpenStreetMap Wiki. (2020). TIGER. Erişim adresi: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/TIGER (20 Nisan 2020).

TagInfo. (2020). OpenStreetMap Taginfo. Erişim Adresi: https://taginfo.openstreetmap.org/ (20 Nisan 2020).

Wikipedia. (2020). About Wikipedia. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:About (15 Haziran 2020).

Zhang, H. ve Malczewski, J. (2018). Accuracy Evaluation of the Canadian OpenStreetMap Road Networks. *International Journal of Geospatial and Environmental Research*. *5*(2). Erişim Adresi: https://dc.uwm.edu/ijger/vol5/iss2/1/

Zhao, P., Jia, T., Qin, K., Shan, J. ve Jiao, C. (2015). Statistical analysis on the evolution of OpenStreetMap road networks in Beijing. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *420*, 59-72. doi: 10.1016/j.physa.2014.10.076

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 sütün 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, abstact, 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); (ı), (ıı), (ııı); (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 ortalanarak yazılmalı (örneğin, Şekil 1. CBS tasarımı.); tablo isimlerinden ve şekillerden önce, şekil isimlerinden ve tablolardan sonra bir satır boşluk bırakılmalı; tablolar ve şekiller sayfaya ortalanmalıdır. Tablolar ve şekillerin boyutu tek sütundan büyük olduğu durumlarda, sayfanın tamamına ortalı olarak yazılabilir. Bu durumda tablo ve şekiller metini bölmemeli sayfanın en altında ya da en üstünde yer almalıdır.

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

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

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

g. Öz ve abstract bölümlerinde kaynak atıfı 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 cümlenin 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 cümlenin 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 Physchology 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.I.1 Data Specification on Coordinate Reference Systems – Technical Guidelines* (D2.8.I.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)

Xxxxxxxx Xxxxxxxxx Xxxxxx (Makale Başlığı-Türkçe)

(Xxxxxx Xxxxxxxxx Xxx) (Makale Başlığı- İngilizce)

(1 satır boşluk)

Xxxx XXXX (Yazar ismi)
Xxxxx Xxxx Xxxx, Xxxxx Xxxxx (Adres)
xxxxxxxx@xxxxxx (e-posta)

(1 satır boşluk)

0.5 cm
0.5 cm
0.5 cm
0.5 cm

ÖZ

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx xxxxx xxxxx xxxxxxxxxx; xxxxxx xxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx.

(1 satır boşluk)

***Anahtar Kelimeler**: xxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxx xxxxx*

(1 satır boşluk)

ABSTRACT

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxxxxxx xx xxxxxxxxxxxxx. Xxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxx xxxx xxxx.

(1 satır boşluk)

***Keywords**: xxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxx xxxxx.*

(1 satır boşluk)

3 cm

0.5 cm

2 cm

1. GİRİŞ

(1 satır boşluk)

Xxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxx xx xxxx xxxxx /1/.

(1 satır boşluk)

a. Xxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxx xxxx xxxxxx xxxxx xxxx xxxx

(1 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx

(1) Xxxxxx Xxx Xxxx Xxxxxxxx Xxxxxx Xxxx Xxxxx Xxxxx Xxxx.

(2 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

2. XXXXX XXXXX XXXX (Ana bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

a. Xxxxxxxxxx Xxxxxx Xxxxx Xxxxxxx Xxxxxxx

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxx xxx xxxxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

(1 satır boşluk)

(1) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx Xxxxxxx Xxxxxx Xxxxxxx

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxx 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)

Xxxx xxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxx xxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx.

(1 satır boşluk)

(b) Xxxx Xxxxx Xxxxx Xxxx

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxxxxxxx.

(1 satır boşluk)

(I) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx xxxxx xxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx

(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

(1 satır boşluk)

(aa) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxxxx

(5 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx.

(1 satır boşluk)

b. Xxxxxxxxxx Xxxxxx

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxx xxx xxxxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

3 cm

xx

1.25 cm

(MAKALE ÖRNEĞİ)

(1) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxxxxxxxx.

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xXxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx.

(2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf)

(1 satır boşluk)

(a) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx x xxxxxxxxxxxxx.

(1 satır boşluk)

(b) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxx xxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxx xxxx xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx x xxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxxx.

(1 satır boşluk)

(I) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx

(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxx xxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxx xxxx.

(1 satır boşluk)

Tablo 1. Xxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxx

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxxxx xxxx xxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxx xxxxx xxxxx xxxxxx.

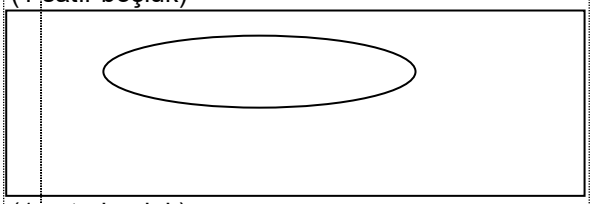
(1 satır boşluk)

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i - x_{i(RASAT)}}{n}} \qquad (1)$$

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxxxx xxxx xxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx xxx xxxxx xxxxx .

(1 satır boşluk)



(1 satır boşluk)

Şekil 1. Xxxxxx xxxx xxxxxxxx xxxxxx

(1 satır boşluk)

Xxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxx xxxxx xx xxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxx.

(1 satır boşluk)

3. SONUÇ

(1 satır boşluk)

Xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxx xxxxx.

(1 satır boşluk)

K A Y N A K L A R

(1 satır boşluk)

Süreli Yayınlar:

Yazar, A. A., Yazar, B. B. ve Yazar, C. C. (Yıl). Yazının başlığı. *Süreli Yayının Başlığı, Cilt,* s-s. doi:xx.xxxxxxxxx (veya Erişim Adresi:)

Kitap:

Yazar, A. A. (Yıl). *Eserin başlığı*. Yer: Yayıncı.

Yazar, A. A. (Yıl). *Eserin başlığı*. Erişim adresi: http://www.xxxxxxxxxx

Yazar, A. A. (Yıl). *Eserin başlığı*. doi:xxxxxxxxxxx

Editor, A. A. (Ed.). (Yıl). *Eserin başlığı*. Yer: Yayıncı.

Yazar, A. A. ve Yazar, B. B. (Yıl). *Bölüm ya da giriş başlığı*. 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). *Doktora ya da yüksek lisans tezinin başlığı* (Yüksek lisans tezi/Doktora tezi). … veri tabanından erişildi (Erişim ya da Sipariş No.).

Yazar, A. A. (Yıl). *Doktora ya da yüksek lisans tezinin başlığı* (Yayımlanmamış doktora tezi/yüksek lisans tezi). Kurum adı, Yer bilgisi.

Teknik raporlar ve araştırma raporları:

Yazar, A. A. (Yıl). *Çalışmanın başlığı* (Rapor No. xxx). Yer bilgisi: Yayıncı.

Toplantı ve sempozyumlar:

Sunan, A. A. (Yıl, Ay). *Bildiri ya da poster başlığı*. Kuruluş Adının toplantısında sunulan bildiri ya da poster, Yer bilgisi.

330
320
310
300
290
280