

Harita Dergisi



OCAK 2022
Sayı:167

ISSN 1300-5790
E-ISSN 2667-4084

Bezcioglu, M., Karadeniz, B., Yiğit, C.Ö., Dindar, A.A., Bezir, F., Avci, Ö.: **Gerçek Zamanlı GNSS VADASE Yaklaşımının Dinamik Deplasmanları Yakalayabilme Kabiliyetinin İncelenmesi** (Investigation of Real-Time GNSS VADASE Approach Capability of Capturing Dynamic Displacements)

Bahadur, B.: **Gerçek Zamanlı Troposferik Gecikme Kestirimi için Çoklu-GNSS Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin Kullanımı** (Employment of Multi-GNSS Precise Point Positioning for Real-Time Tropospheric Delay Estimation)

Kalle, F., Selvi, H.Z., Buğdaycı, İ.: **Topografik Veri Tabanı Güncellemelerinin 1:25.000 Ölçekli Topografik Haritalara Aktarımına Yönelik Bir İnceleme** (A Study of Transferring Topographic Database Updates to 1:25.000 Scale Topographic Maps)

Kaçmaz, G., Gürbüz, E.: **Arazi Örtüsü Değişiminin Arazi Yüzey Sıcaklığına Etkisinin Uzaktan Algılama ve CBS Entegrasyonu ile Belirlenmesi: Aksaray İli Örneği** (Determination of the Effect of Land Cover Change on Land Surface Temperature through Remote Sensing)



HARİTA DERGİSİ

Ocak 2022

Yıl: 88 Sayı: 167

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

Sahibi

Harita Genel Müdürlüğü Adına
Tuğgeneral Hurşit AĞIRCAN

Sorumlu Müdür

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

Editör

Yük.Müh.Alb. Selçuk CEYLAN

Editör Yardımcıları

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

Yönetim Kurulu

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

Yönetim Yeri Adresi

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

Tel: (312) 595 21 21-20

Faks: (312) 320 14 95

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

e-posta: haritadergisi@harita.gov.tr

Basım Yeri

Harita Genel Müdürlüğü Matbaası
ANKARA

ISSN 1300 – 5790

E-ISSN 2667 – 4084

Bu dergide yayımlanan makaleler,
yazarlarının özel fikirlerini yansıtır.

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

İ Ç İ N D E K İ L E R

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

**Gerçek Zamanlı GNSS VADASE Yaklaşımının Dinamik
Deplasmanları Yakalayabilme Kabiliyetinin İncelenmesi**
(Investigation of Real-Time GNSS VADASE Approach
Capability of Capturing Dynamic Displacements)

Mert BEZCİOĞLU, Barış KARADENİZ,
Cemal Özer YİĞİT, Ahmet Anıl DİNDAR, Fırat BEZİR, Özgür
AVCI 1 – 11

**Gerçek Zamanlı Troposferik Gecikme Kestirimi için Çoklu-
GNSS Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin Kullanımı**
(Employment of Multi-GNSS Precise Point Positioning for Real-
Time Tropospheric Delay Estimation)

Berkay BAHADUR 12 – 23

**Topografik Veri Tabanı Güncellemelerinin 1:25.000 Ölçekli
Topografik Haritalara Aktarımına Yönelik Bir İnceleme** (A
Study of Transferring Topographic Database Updates to
1:25.000 Scale Topographic Maps)

Fatih KALLE, Hüseyin Zahit SELVİ, İlkay BUĞDAYCI 24 – 37

**Arazi Örtüsü Değişiminin Arazi Yüzey Sıcaklığına
Etkisinin Uzaktan Algılama ve CBS Entegrasyonu ile
Belirlenmesi: Aksaray İli Örneği** (Determination of the Effect
of Land Cover Change on Land Surface Temperature through
Remote Sensing and GIS Integration: Case of Aksaray
Province)

Gamze KAÇMAZ, Esra GÜRBÜZ 38 – 54

Bilim Kurulu

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

**Harita Dergisi'nin 167. Sayısında Makalelerin
Değerlendirilmesinde Hakemlik Yapan
Akademisyenler**

Prof.Dr. Bahadır AKTUĞ (AÜ)
Prof.Dr. Ali Melih BAŞARANER (YTÜ)
Prof.Dr. Cevat İNAL (KTÜN)
Prof.Dr. Fevzi KARSLI (KTÜ)
Prof.Dr. Şinasi KAYA (İTÜ)
Prof.Dr. Doğan Uğur ŞANLI (YTÜ)
Prof.Dr. Cemal Özer YİĞİT (GTÜ)
Doç.Dr. Saygın ABDİKAN (HÜ)
Doç.Dr. Ümit Haluk ATASEVER (ERÜ)
Doç.Dr. Deniz GERÇEK (İYTE)
Doç.Dr. Mustafa Tevfik ÖZLÜDEMİR (İTÜ)
Doç.Dr. Hüseyin Zahit SELVİ (NEÜ)
Doç.Dr. Alihsan ŞEKERTEKİN (ÇÜ)
Dr.Öğr.Üyesi Osman ORHAN (MEÜ)
Dr.Öğr.Üyesi Mahmut Oğuz SELBESOĞLU (İTÜ)
Dr.Müh.Alb. Abdullah DEĞER (HGM)
Dr.Müh.Alb. Yavuz Selim ŞENGÜN (HGM)
Dr.Müh.Alb. Orhan FIRAT (HGM)
Dr.Müh.Yb. Osman Nuri ÇOBANKAYA (HGM)
Dr.Müh.Yb. Mustafa CANIBERK (HGM)

Gerçek Zamanlı GNSS VADASE Yaklaşımının Dinamik Deplasmanları Yakalayabilme Kabiliyetinin İncelenmesi

(Investigation of Real-Time GNSS VADASE Approach Capability of Capturing Dynamic Displacements)

Mert BEZCİOĞLU¹, Barış KARADENİZ¹, Cemal Özer YİĞİT¹, Ahmet Anıl DİNDAR²,
Fırat Bezir², Özgür AVCI³

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

²Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli

³Sistem A.Ş., Sürekli İzleme ve Referans İstasyonu Sistemleri Bölümü, Ataşehir, İstanbul
mbezcioglu@gtu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 02.11.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 12.01.2022

ÖZ

Bu çalışmada, tek GNSS (Global Navigation Satellite Systems) alıcısı kullanarak, internet bağlantısı ile hassas uydü yörünge ve saat hatası gibi bilgilere ihtiyaç duymadan dinamik hareketleri anlık olarak tespit etme yeteneğine sahip olan VADASE (Variometric Approach for Displacement Analysis Stand-alone Engine) yaklaşımının performansı ve bu yöntemle çoklu-GNSS gözlemlerinin katkısı araştırılmıştır. VADASE tekniğinin dinamik hareketleri yakalayabilme kabiliyetini değerlendirmek için, tek eksenli bir sarsma tablası kullanılarak olası yapı hareketlerini temsil eden 5 mm genliğe ve 0.25 Hz ile 3.5 Hz arasında değişen frekans değerlerine sahip harmonik salınımlar üretilmiştir. Ayrıca, yöntemin sismik dalga formlarını tespit edebilme performansını araştırmak amacıyla 1995 Kobe depremi simüle edilmiştir. 20 Hz örneklem aralığında GPS (Global Positioning Systems) ve GPS/Glonass/Galileo/BeiDou gözlemlerine dayalı olarak elde edilen VADASE sonuçları, frekans ve zaman alanlarında bağıl konum belirleme, Hassas Nokta Konumlama (PPP) ve GNSS-bağımsız bir sensör olan LVDT (Linear Variable Differential Transformer) verileri ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonuçları göz önüne alındığında, bulgular harmonik salınım frekanslarının tahmininde VADASE yaklaşımının güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca harmonik salınım ve deprem simülasyonu deneyleri, çoklu-GNSS gözlemleri ile VADASE yaklaşımının dinamik hareketleri daha hassas bir şekilde yakalanabildiğini ve çoklu-GNSS gözlemlerinin sadece-GPS gözlemlerinin dinamik davranışları belirleme performansını ortalama olarak %30 oranında iyileştirdiğini net bir şekilde ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçları, yüksek-frekanslı gerçek zamanlı VADASE tekniğinin yapı sağlığı izleme ve GPS/GNSS-sismoloji uygulamaları için dinamik hareketleri etkin bir şekilde izleyebildiğini, yöntemin deprem ve yapı sağlığı erken uyarı amaçlı ve hızlı risk değerlendirmesinde güvenilir bir şekilde kullanılabileceği ve diğer sensörlerle entegre edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: GPS, GNSS, VADASE, PPP, Dinamik Deplasman, Gerçek-Zamanlı İzleme.

ABSTRACT

This study investigates the performance of the VADASE (Variometric Approach for Displacement Analysis Stand-alone Engine) approach, which is capable of detecting dynamic motions utilizing a single GNSS (Global Navigation Satellite Systems) receiver without requiring precise satellite orbit and clock products in real-time, and the contribution of multi-GNSS observations to this technique. In order to evaluate the efficiency of the VADASE technique in detecting dynamic motions, harmonic oscillations at 5 mm amplitude and frequency values ranging from 0.25 Hz to 3.5 Hz, representing possible structural movements, were produced using a single axis shake table. Moreover, 1995 Kobe earthquake was simulated to investigate the performance of the VADASE method in capturing seismic waveforms. VADASE results based on GPS (Global Positioning Systems) and GPS/Glonass/Galileo/BeiDou observations at 20 Hz sampling rate were compared to relative positioning, Precise Point Positioning (PPP) and GNSS-independent sensor Linear Variable Differential Transformer (LVDT) data in both frequency and time domains. Considering the results of the analysis, the findings show that the VADASE approach can be used reliably in the estimation of harmonic oscillation frequencies. Moreover, harmonic oscillation and earthquake simulation experiments have clearly revealed that the VADASE approach with multi-GNSS observations can capture dynamic motions more precisely, and multi-GNSS observations improve the dynamic behavior detection performance of only-GPS observations by 30% on average. The outcomes of the study show that the high-rate real-time VADASE approach can effectively monitor dynamic motions for structural health monitoring and GPS/GNSS-seismology applications, and can be reliably used for earthquake and structural health early warning and rapid risk assessment, and also, it can be integrated with other sensors.

Keywords: GPS, GNSS, VADASE, PPP, Dynamic Displacement, Real-time Monitoring.

1. GİRİŞ

Son yıllarda alıcı donanımlarda meydana gelen teknolojik gelişmeler ile birlikte yüksek-frekanslı GNSS (Global Navigation Satellite System) tekniği ortaya çıkmış ve bu yöntemin yapılan çalışmalarla birlikte kuvvetli yer hareketi kaynaklı sismik dalgaların tespit edilmesi, deprem erken uyarı sistemleri ve yapı sağlığı izlemeleri alanlarında oldukça güçlü bir yöntem olduğu kabul edilmiştir (Kouba 2003; Larson ve diğerleri, 2003; Larson 2009; Allen ve Ziv 2011; Bock ve diğerleri, 2011; Geng ve diğerleri, 2013; Hoechner ve diğerleri, 2013; Melgar ve diğerleri, 2015; Kaloop ve diğerleri, 2020; Yigit ve diğerleri, 2020). Yüksek-frekanslı GNSS gözlemleri, yaygın olarak rölatif/bağıl konum belirleme ve/veya PPP (Precise Point Positioning) yöntemleri kullanılarak işlenmektedir (Avallone ve diğerleri, 2016; Xu ve diğerleri, 2019; Zumberge, ve diğerleri, 1997). Bağıl konum belirleme yöntemi ile GNSS gözlemlerinde mevcut olan sistematik hataların çoğu elimine edilmesine rağmen yöntemin sabit bir referans istasyonuna bağımlı olması, büyük/mega depremler sırasındaki güçlü yer sarsıntıları nedeniyle referans istasyonunun da yer değiştirmesi sebebiyle gezici istasyonlardan elde edilen deplasman bilgilerinin hatalı olmasına yol açmaktadır. Bu durum, tek bir GNSS alıcısı ile konum bilgisinin belirlenmesini sağlayan ve rölatif konum belirleme yöntemine oldukça güçlü bir alternatif olan PPP tekniğini gerekli kılmıştır (Psimoulis ve diğerleri, 2015; Shu ve diğerleri, 2017). Literatürdeki çalışmalar, yüksek-frekanslı PPP tekniğinin kısa süreli dinamik davranışların belirlenmesinde milimetre mertebesinde doğruluk sağladığını, GNSS-sismolojisi ve yapı sağlığı izlemeleri gibi yüksek zamansal çözünürlük gerektiren alanlardaki etkinliğini net bir şekilde vurgulamışlardır (Avallone ve diğerleri, 2011; Hefty ve Gerhatova 2012; Xu ve diğerleri, 2013; Yigit 2016; Yigit ve Gurlek 2017; Geng ve diğerleri, 2018; Yigit ve diğerleri, 2021). PPP yaklaşımında, GNSS gözlemlerindeki uydu saati hatalarını ortadan kaldırmak ve uydu konumlarını modellemek için IGS (International GNSS Service) tarafından kullanıcılara sunulan "Ultra-Rapid", "Rapid" veya "Final" ürünler kullanılmaktadır. Bu ürünler kullanıcılara son GNSS gözleminde yaklaşık olarak 2 saat ile 18 gün arasında değişen gecikmelerde sunulmakta ve dolayısıyla gerçek zamanlı uygulamalar için kullanımını imkânsız kılmaktadır (Wang ve diğerleri, 2018). IGS tarafından 2013 yılında hayata geçirilen IGS RTS (Real Time Service) sayesinde kullanıcılar, belirli NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) yayıncıları aracılığıyla ile gerçek zamanlı olarak

RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) akışlarından elde edilebilen IGS gerçek zamanlı saat ve yörünge düzeltmeleri elde ederek gerçek zamanlı PPP uygulamaları gerçekleştirme imkanına sahiptir (Chen ve diğerleri, 2018; Wang ve diğerleri, 2018). Bununla birlikte, RTS ürünlerinde bazı sınırlamalar vardır. RTS ürünleri, büyük miktarda yer gözlemi kullanılarak elde edildikleri için çok fazla bilgi işlem kaynağı gerektirir ve kullanıcı ile iletişim zayıf olduğunda, gerçek zamanlı yörünge ve saat düzeltmeleri alınamadığında gerçek-zamanlı PPP (RT-PPP) uygulamaları ciddi şekilde etkilenmektedir (Nie ve diğerleri, 2018). Colosimo ve diğerleri (2011) tarafından ortaya atılan VADASE (Variometric Approach for Displacement Analysis Stand-alone Engine) yaklaşımı ise ham GNSS ölçümlerinden anlık olarak elde edilen yayın efemerisi/yörünge (broadcast ephemeris) bilgilerini kullanarak GNSS alıcısının hızını belirleyebilmekte ve RT-PPP tekniğinden farklı olarak herhangi bir internet bağlantısı gerektirmemektedir. Böylece VADASE yaklaşımı, kullanıcılar için gerçek zamanlı olarak hız veya yer değiştirme bilgisi sağlamaktadır. Literatürde, VADASE yaklaşımı kinematik-GNSS uygulamaları performansını, sismik dalgaları tespit edebilme yeteneğini ve bu yaklaşıma benzer farklı veri işleme stratejileri ile olan karşılaştırılmasını içeren çalışmalar bulunmaktadır (Branzanti ve diğerleri, 2015; Benedetti ve diğerleri, 2014; Fratarcangeli ve diğerleri, 2018; Hung ve diğerleri, 2017; Geng ve diğerleri, 2016; Li ve diğerleri, 2014; Zang ve diğerleri, 2020; Zhang ve diğerleri, 2021). VADASE yaklaşımının dinamik hareketleri algılama performansını incelemek için Fortunato ve diğerleri (2019), Android tabanlı bir akıllı telefon ile 1 Hz örneklem aralığında GPS/Galileo gözlemleri toplamış ve toplanan gözlemler VADASE yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, VADASE yönteminin düşük frekanslı hareketleri algılayabildiğini açık bir şekilde göstermiştir.

Literatür incelendiğinde görülmektedir ki, VADASE yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilen değerlendirmeler gerçek-zamanlı değil, GNSS gözlemleri elde edildikten sonra gerçek-zamanlı koşullar altında sonradan değerlendirmedir. Buna ek olarak yukarıda tartışılan çalışmaların çoğu genellikle 1 Hz örneklem aralığına sahiptir ve bu durum 1 Hz örneklem aralığından daha sık bir zamansal çözünürlükte VADASE tekniğinin gerçek zamanlı ve 0.5 Hz'den daha yüksek frekans değerine sahip yapı hareketlerini veya kuvvetli yer hareketlerinden kaynaklanan deprem dalgalarını yakalama kabiliyetinin araştırılması gereken bir alan olduğunu göstermektedir. Ayrıca

erişilen literatür çalışmalarında VADASE yaklaşımı, GPS veya GPS/Galileo uydu kombinasyonlarına dayalı olarak test edilmiş, Glonass ve BeiDou gözlemlerinin VADASE yöntemine olan katkısından söz edilmemiştir. Bu çalışma kapsamında literatürde bulunanlardan farklı olarak, 20 Hz örneklem aralığına sahip GPS ve GPS/Glonass/Galileo/BeiDou gözlemlerine dayalı VADASE yaklaşımının çeşitli dinamik davranışları tespit edebilme yeteneği değerlendirilmiştir. Çalışmada olası yapısal hareketleri temsil ettiği düşünülen 5 mm genlik değerine ve 0.25 Hz ile 3.5 Hz frekans değerleri arasında değişen frekans değerine sahip harmonik salınımlar, tek eksenli bir sarsma tablası kullanılarak üretilmiştir. Bu deneylere ek olarak, olası bir deprem/tsunami erken uyarı sisteminde VADASE yaklaşımının gerçek-zamanlı performanslarını değerlendirmek için 1995 Kobe depremi simülasyonu yine aynı sarsma tablasında üretilmiştir. Bu deney seti sayesinde VADASE tekniğinin kuvvetli yer hareketlerini tespit etme performansı, herhangi bir gerçek zamanlı simülasyon olmaksızın anlık olarak test edilmiştir. Her iki deney setinde de yüksek-frekanslı GNSS tekniğinde verilerin işlenmesi için kabul gören bağıl konum belirleme ve PPP teknikleri, VADASE yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bağımsız tek bir GNSS alıcısı ile konum belirlemeye olanak sağlayan ve bir yönden VADASE yaklaşımına benzeyen PPP çözümleri, gerçek-zamanlı ürünler kullanılarak elde edilmiş ve bu sayede adil bir karşılaştırma mümkün kılınmıştır. Çalışma kapsamında tasarlanan her iki deneyde de çoklu-GNSS gözlemlerinin VADASE yaklaşımına olan katkısı değerlendirilmiştir. Bu çalışmayı, mevcut literatürde tartışılan çalışmalarından farklı kılan bir diğer özellik, yöntemin doğruluğunun GNSS'den bağımsız bir sensör olan ve mekanik olarak bağlandığı bir nesnenin hareketlerini algılayıp, milimetre mertebesinde bir hassasiyetle deplasman bilgisi üretebilen LVDT (Linear Variable Differential Transformer) verilerine dayanarak ortaya çıkarılmış olmasıdır.

2. METODOLOJİ

Dinamik hareketlerin tespiti için çalışma kapsamında kullanılan tek GNSS alıcılı yaklaşımların teknik detayları bu bölümde tartışılacaktır. PPP tekniğinin matematiksel modeli temel olarak kod ve faz gözlemlerine dayanmaktadır;

$$P_r^s(t_r) = \rho_r^s(t^s) + c(\delta t_r - \delta t^s) + T_r^s(t_r) + I_r^s(t_r) + m_r^s(t_r) + \varepsilon_{r,p}^s \quad (1)$$

$$L_r^s(t_r) = \rho_r^s(t^s) + \lambda_i N_r^s + c(\delta t_r - \delta t^s) + T_r^s(t_r) - I_r^s(t_r) + m_r^s(t_r) + \varepsilon_{r,L}^s \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2)'de, r ve s , sırasıyla, alıcı ve uyduyu ifade ederken, P ve L , kod ve faz ölçülerini ifade etmektedir. Söz konusu bu uzunlukları ölçmek için hedef uydudan sinyalin alıcıya gönderildiği (t^s) ve alıcıda bu sinyal alındığı an (t_r) bilinmelidir. ρ , sinyalin alıcıya iletim zamanındaki uydunun anten faz merkezi ile bu sinyalin alıcının anten faz merkezine ulaştığı andaki geometrik mesafeyi metre cinsinden tanımlamaktadır. δt^s ve δt_r ise uydu ve alıcı saat hatalarını belirtmektedir. $\varepsilon_{r,p}^s$ ve $\varepsilon_{r,L}^s$ faz ve kod ölçüleri için modellenmemiş artık hataları ve ilgili sistem gürültüsünü metre cinsinden ifade ederken, N ve λ , başlangıç faz belirsizliğini ve taşıyıcı frekansın dalga boyunu metre cinsinden ifade etmektedir. c , ışığın boşluktaki hızı, I ve T ise metre biriminde iyonosferik ve troposferik gecikmedir. Eşitlik (1) ve (2)'de yer alan m terimi ise kod ve faz gözlemlerindeki multipath hatasıdır (Cai ve Gao, 2008).

Colosimo ve diğerleri (2011) tarafından ortaya atılan ve gerçek-zamanlı olarak herhangi bir internet bağlantısı gerektirmeden GNSS alıcısını bir hız ölçer olarak kullanan VADASE yaklaşımı, alıcı tarafından toplanan taşıyıcı faz gözlemlerinin ardışık epoklardaki tekli farklarına (Δ) dayanmaktadır. Varyometrik yaklaşımın fonksiyonel modeli, gözlemlerin sürekli olduğu varsayımıyla Eşitlik (3)'de ifade edilmiştir.

$$\alpha[\lambda\Delta\phi_r^s]_{L1} + \beta[\lambda\Delta\phi_r^s]_{L2} = (e_r^s \cdot \Delta\xi_r + c\Delta\delta t_r) + ([\Delta\rho_r^s]_{OR} - c\Delta\delta t^s + \Delta T_r^s + [\Delta\rho_r^s]_{Etol} + \Delta p_r^s) + \Delta m_r^s + \Delta\varepsilon_r^s \quad (3)$$

Eşitlik (3)'de, α ve β terimleri $L1$ ve $L2$ gözlemleri ile oluşturulan iyonosfer-bağımsız $L3$ kombinasyonun katsayılarını, r ve s sırasıyla uydu ve alıcıyı, ϕ_r^s taşıyıcı dalga faz gözlemlerini λ taşıyıcı dalga faz sinyallerinin dalga boyunu, ρ_r^s uydu ve alıcı arasındaki geometrik mesafeyi, c boşluktaki ışık hızını, δt^s ve δt_r uydu ve alıcı saat hatalarını, T_r^s ise troposferik gecikmeyi ifade etmektedir. Bu terimlere ek olarak, p_r^s ifadesi diğer hata kaynaklarının toplamını ifade ederken, ε_r^s ve m_r^s sırasıyla gözlemlerde meydana gelen gürültü ve multipath etkilerini temsil etmektedir. e_r^s , t anındaki uydu ve alıcı arasındaki birim vektörü tanımlarken $\Delta\xi_r$ terimi alıcının iki ardışık epok arasındaki deplasman değerini ifade etmektedir. $[\Delta\rho_r^s]_{OR}$, Dünya'nın günlük hareketi ve

uydu yörünge hareketi nedeniyle geometrik mesafenin değişimini, $[\Delta\rho_r^s]_{Etol}$ ise okyanus yüklemesi ve katı yer yuvarı etkisi nedeniyle geometrik mesafenin değişimini tanımlamaktadır. $(e_r^s \cdot \Delta\xi_r + c\Delta t_r)$ terimi üç boyutlu deplasman (ξ_r) ve alıcı saat hatası değişimi (Δt_r) bileşenlerini içerirken, $([\Delta\rho_r^s]_{OR} - c\Delta t_r^s + [\Delta\rho_r^s]_{Etol} + \Delta p_r^s)$ terimi ise yayın yörünge ve saat modellemeleri ile hesaplanabilen parametreleri içermektedir. Eşitlik (3)'de gösterilen matematiksel model ile yüksek-frekanslı GNSS alıcısının hız bilgileri $mm \times s^{-1}$ mertebesinde hesaplanabilir ve bu elde edilen hız bileşenlerinin integrali alınarak dinamik deplasman bilgilerine dönüşüm gerçekleştirilir (Li ve diğerleri, 2014).

3. DENEY TASARIMI

Çalışmanın bu bölümünde çeşitli dinamik hareketleri izlemek için GPS ve çoklu-GNSS VADASE gözlemlerinin gerçek zamanlı olarak elde edilmesi ve gerçekleştirilen dinamik hareketlerin tasarımı özetlenmiştir. Çalışma kapsamındaki deneyler 13 Temmuz 2021 tarihinde Gebze Teknik Üniversitesi kampüsünde iki farklı zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Hem harmonik salınım hem de deprem simülasyonu testlerinde, toplam deplasmanı 190 mm ile sınırlı olan ve hareketleri 100 Hz örneklem aralığında bir LVDT sensörü ile doğrulanan tek eksenli bir sarsma tablası kullanılmıştır. Sarsma tablasının üzerine iki adet GNSS anteni monte edilmiştir (Şekil 1). Bu antenlerden biri gerçek-zamanlı VADASE çözümü gerçekleştirme yeteneğine ve 20 Hz örneklem aralığına sahip Leica GR30 alıcısı için gözlem toplarken, diğer anten, alıcı ile bütünleşik olan ve yine 20 Hz örneklem aralığına sahip CHC I80 jeodezik GNSS alıcısıdır. Bu iki alıcıya ek olarak, üçüncü bir CHC I80 GNSS alıcısı, sarsma tablasından yaklaşık olarak 70 m uzağa rölatif konum belirleme çözümü gerçekleştirmek üzere konumu bilinen bir nokta olarak kurulmuştur. Leica GR30 alıcısından gerçek-zamanlı olarak deplasman bilgileri elde edilirken, CHC I80 alıcısında elde edilen veriler ile bağıl konum belirleme ve geleneksel-PPP çözümü gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık olarak bir saat süren ilk zaman diliminde, söz konusu alıcılar sadece-GPS gözlemleri toplarken, ikinci zaman diliminde GPS/Glonass/Galileo/BeiDou uydu kombinasyonları ile gözlem toplanmıştır. Deneylerin iki farklı zaman diliminde gerçekleştirilmesinin sebebi, tek bir Leica GR30 alıcısı kullanılmasından dolayıdır. Fakat uydu kombinasyonun farklılığının olabildiğince az olması için ikinci deney, birinci deney sona erdikten 30 dakika sonra gerçekleştirilmiş, deneylerde geleneksel-PPP tekniğindeki

başlangıç faz belirsizliğinin yakınsaması için alıcılar açık bir konumda yaklaşık olarak 30 dakika hareketsiz olarak bekletilmiştir. Her iki zaman diliminde de Tablo 1'de ifade edilen, aynı frekans ve genlik değerine sahip harmonik salınımlar ve detayları ilerleyen bölümlerde açıklanacak olan 1995 Kobe depremi simülasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan sarsma tablası ve GNSS alıcıları

VADASE çözümleri ile doğrudan deplasman bilgisi elde edilirken, bağıl konum belirleme ve PPP çözümlerinde alıcının koordinatları Uluslararası Yersel Referans Çerçevesinde (ITRF) belirlenmiştir. Bununla birlikte, dinamik hareketlerin tespit edilmesinin doğası gereği, yer merkezli kartezyen koordinatın doğrudan kullanımı, yapının yatay yer değiştirme tepkilerini analiz etmek için uygun değildir. Bu sorunu çözmek için jeosentrik koordinatlar, toposentrik koordinat sistemine dönüştürülmelidir. Ayrıca, toposentrik sistem bileşenleri sırasıyla kuzey ve doğuyu gösterdiğinden, sarsma tablasının yatay düzlemdeki deplasman bilgilerinin GNSS alıcısı ile elde edilmesi için, çalışmada tartışılan üç farklı GNSS-tabanlı yöntemde elde edilen deplasman bilgileri iki boyutlu benzerlik dönüşümü uygulanarak sarsma tablasının yönüne dönüştürülmüştür. Bu işlemler detaylı olarak Yigit (2016) ve Yigit ve diğerleri (2021)'de bahsedilmiştir.

Tablo 1. Harmonik salınım deneylerinin genlik ve frekans bilgileri

Durum	Salınım Frekansı	Salınım Genliği
1	0.25 Hz	5 mm
2	0.60 Hz	5 mm
3	1.50 Hz	5 mm
4	2.00 Hz	5 mm
5	3.50 Hz	5 mm

4. HARMONİK SALINIM DENEYİ SONUÇLARI

Tek bir GNSS alıcısı kullanarak internet bağlantısı gerektirmeden gerçek zamanlı deplasman bilgileri sunan VADASE yaklaşımı ve bu yöntemle çoklu-GNSS gözlemlerinin katkıları çalışmanın bu bölümünde değerlendirilecektir. VADASE yaklaşımının performansını incelemek için tasarlanan iki deney setinde de LVDT verileri referans olarak kullanılmıştır. VADASE yaklaşımının yüksek-frekanslı GNSS gözlemlerini işlemek için yaygın olarak kullanılan bağıl konum belirleme ve PPP tekniklerine bir alternatif olup olamayacağını test etmek için de bağıl konum belirleme ve PPP çözümleri VADASE tekniği ile ayrıca karşılaştırılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi, LVDT verileri 100 Hz örneklem aralığına sahip olduğundan karşılaştırmayı adil kılmak için ham LVDT verileri 20 Hz örneklem aralığına düşürülmüştür. VADASE ve PPP tekniklerinden elde edilen deplasman bileşenleri yöntemlerin doğası gereği uzun süreli ve düşük frekanslı dalgalanmalar içermektedir. Öte yandan, 20-250 sn gibi kısa bir süre içinde dinamik yer değiştirmeye odaklanılıyorsa, uzun vadeli ve düşük frekanslı dalgalanma önemsizdir. Bununla birlikte, tek bir GNSS alıcısından elde edilen deplasman zaman serilerindeki düşük frekanslı dalgalanmaları ortadan kaldırmak için yüksek geçirgenli bir filtre kullanılabilir (Yigit, 2016). Bu çalışma kapsamında uzun süreli dalgalanmaları ve düşük frekanslı bileşenleri elemine etmek için kesme frekansı 0.20 Hz olan 5. dereceden yüksek geçirgenli Butterworth filtresi kullanılmıştır. Aynı filtre, frekans ve zaman alanı karşılaştırmalarını daha güvenilir ve adil kılmak için, gerekli olmamasına rağmen bağıl konumlama tekniğine de uygulanmıştır.

Deneylerden 2.0 Hz frekans ve 5 mm genliğe sahip olan 4. durum, VADASE yaklaşımının harmonik salınımları yakalamadaki etkinliğini incelemek için örnek olarak seçilmiş ve LVDT, bağıl yöntem, PPP ve VADASE yaklaşımlarından GPS ve çoklu-GNSS kombinasyonlarından elde edilen zaman serileri ve zaman serilerinden elde edilen Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) spektrumu Şekil 2'de ifade edilmiştir. İlgili şekilden görüleceği üzere, zaman serileri birbirleri ile oldukça tutarlı ve tüm yöntemlerden elde edilen salınım frekansları eşittir. Ek olarak, donanım kaynaklı gürültüler ilgili şekilden de net olarak fark edilebilmektedir. Bağıl-GPS ve PPP-GPS zaman serilerinde harmonik salınımların tepe noktalarındaki farklılıklar ve VADASE-GPS sonuçlarının LVDT ile oldukça benzer zaman serisi üretmesi bunu açıkça göstermektedir. Buna karşılık, baskın frekansa karşılık gelen genlik değerlerinde küçük farklar

olduğu göze çarpmaktadır. VADASE ve LVDT arasındaki farklar her iki uydu kombinasyonu için de 0.6 mm iken, bu farklar bağıl yöntem ile GPS için 1.7 mm, çoklu-GNSS için ise 1.9 mm'dir. VADASE ve PPP arasındaki farklar ise her iki uydu kombinasyonu için sırasıyla 1.5 mm ve 1.6 mm'dir. VADASE yönteminden elde edilen genlik değerlerinin LVDT ile elde edilenlere daha yakın olmasının sebebi donanım kaynaklı gürültü ile açıklanmaktadır. Yukarıda da açıklandığı üzere bağıl yöntem ve PPP için CHC I80, VADASE yöntemi için ise Leica GR30 GNSS alıcısı kullanılmıştır. Bu alıcıların sahip olduğu gürültü değerleri bu farkların oluşmasına sebep olmaktadır.

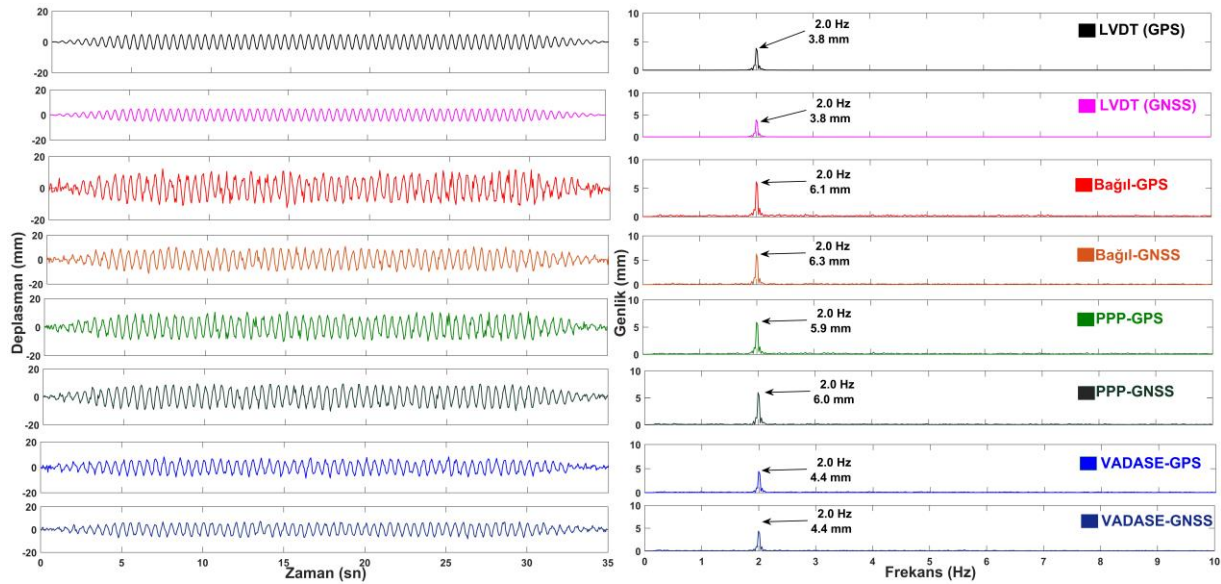
Tablo 1'de belirtilen her bir durum için çalışma kapsamında tartışılan yaklaşımlardan elde edilen zaman serilerinin FFT spektrumu analizleri Tablo 2'de özetlenmiştir. Tüm GNSS-tabanlı yöntemlerin her iki uydu kombinasyonunda da salınım frekansını başarılı bir şekilde yakaladığı görülmektedir. Bununla birlikte, baskın frekansa karşılık gelen genliklerde milimetre düzeyinde farklılıklar bulunmaktadır. VADASE yaklaşımı ile elde edilen genlik değerleri ile referans LVDT sensöründen elde edilen farklılıklar GPS gözlemleri için 0.4 mm ile 2.7 mm arasında değişirken, çoklu-GNSS gözlemleri için bu farklar 0.6 mm ile 2.8 mm'dir. Her iki uydu kombinasyonu için VADASE ile bağıl yöntem arasındaki farklar 1.9 mm'nin altında kalırken, VADASE ile PPP tekniği arasındaki farklar ise 1.6 mm değerinin altında kalmıştır. Bu sonuçlar, VADASE tekniği kullanarak mühendislik yapılarının doğal frekanslarının belirlenebileceğini açık bir şekilde göstermektedir.

Frekans alanındaki karşılaştırmalara ek olarak VADASE yönteminin zaman alanındaki performansını incelemek için, GNSS-tabanlı yöntemlerden elde edilen zaman serilerinin referans LVDT sensörü ile olan farklarının karesel ortalama hata (KOH) değerleri hesaplanmış ve elde edilen KOH değerlerinin görselleştirilmesi Şekil 3'te ifade edilmiştir. Şekil incelendiğinde, çoklu-GNSS gözlemlerinin tüm tartışılan yöntemlere etkisi açıkça görülmektedir. Sarsma tablası ile üretilen tüm durumlarda, VADASE-GPS ile LVDT arasındaki maksimum farklar 12.4 mm'ye kadar ulaşırken, çoklu-GNSS gözlemleri ile gerçekleştirilen VADASE gözlemlerinde maksimum hata değeri 9.3 mm'dir. Bununla birlikte, çoklu-GNSS gözlemleri ile elde edilen VADASE çözümlerimim KOH değerleri ile VADASE-GPS çözümlerinin KOH değerleri karşılaştırıldığında %25'e varan iyileşme söz konusudur. Bu iyileşme değerleri bağıl yöntem

için yaklaşık olarak %35'e, PPP tekniği içinse %25'e kadar uzanmaktadır. Ayrıca zaman alanı analizi sonuçları, VADASE yaklaşımının bağıl yöntem ve PPP tekniklerinden daha üstün bir performans gösterdiğini açıkça vurgulamaktadır. Bunun sebebi, daha önce de bahsedildiği gibi alıcı donanımı kaynaklı gürültüler ile ifade edilmektedir.

Tüm deneylerden elde edilen KOH değerlerinin çubuk grafikleri incelendiğinde açıkça görülmektedir ki bağıl yöntem ve VADASE yaklaşımları sırasıyla en yüksek ve en düşük KOH değerlerini verirken, PPP tekniği bu yöntemlerin ortasında sonuç üretmiştir. Bunun nedeni, bağıl yöntemin çözümünde yöntemin doğası gereği kullanılan iki adet CHC I80 GNSS alıcısının gürültüsü sonucu etkilerken, PPP tekniğinde bir adet CHC I80 GNSS alıcısının gürültüsü sonucu

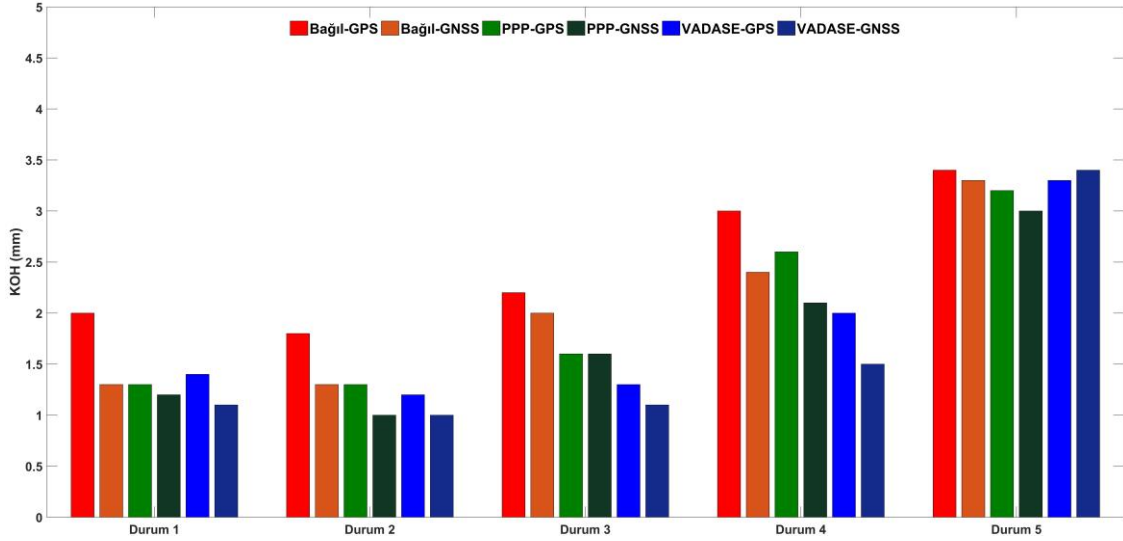
etkilemektedir. VADASE yaklaşımının hem bağıl çözümden hem de PPP çözümünden iyi olmasının temel nedeni Leica GR30 alıcısının CHC I80 alıcısından daha az gürültü olması ve yöntemin doğası gereğidir. Zaman alanındaki sonuçlar, yüksek gürültülü GNSS alıcıları ile harmonik salınımların belirlenmesi çalışmalarında tek GNSS alıcısı ile deplasman bilgisi elde etmeye olanak sağlayan VADASE yönteminin etkinliğini açıkça göstermektedir. Ayrıca, harmonik salınım deneyleri mega/büyük depremler nedeniyle referans GNSS istasyonu verilerinin erişilemez veya kullanılamaz olması durumunda, mühendislik yapılarının doğal frekanslarını ve deplasmanlarını belirlemek için VADASE yaklaşımının güvenli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 2. Örnek durum zaman serileri (sol) ve FFT spektrumları (sağ)

Tablo 2. Tüm durumlar için FFT spektrumu değerleri

	LVDT (G)		LVDT (GNSS)		Bağıl-GPS		Bağıl-GNSS		PPP-GPS		PPP-GNSS		VADASE-GPS		VADASE-GNSS	
	Frek. (Hz)	Gen. (mm)	Frek. (Hz)	Gen. (mm)	Frek. (Hz)	Gen. (mm)	Frek. (Hz)	Gen. (mm)	Frek. (Hz)	Gen. (mm)	Frek. (Hz)	Gen. (mm)	Frek. (Hz)	Gen. (mm)	Frek. (Hz)	Gen. (mm)
Durum 1	0.25	4.7	0.25	4.3	0.25	4.2	0.25	4.0	0.25	4.0	0.25	3.6	0.25	4.3	0.25	3.7
Durum 2	0.60	4.2	0.60	4.1	0.60	4.2	0.60	4.2	0.60	4.3	0.60	4.1	0.60	4.4	0.60	4.1
Durum 3	1.50	4.2	1.50	4.2	1.50	5.4	1.50	6.0	1.50	5.4	1.50	5.7	1.50	4.3	1.50	4.7
Durum 4	2.00	3.8	2.00	3.8	2.00	6.1	2.00	6.3	2.00	5.9	2.00	6.0	2.00	4.4	2.00	4.4
Durum 5	3.50	3.2	3.50	3.2	3.50	5.8	3.50	5.7	3.50	5.8	3.50	5.5	3.50	5.9	3.50	6.0



Şekil 3. Tüm durumlar için GNSS tabanlı yöntemler ve LVDT arasındaki farkların KOH değerleri

5. DEPREM SİMÜLASYONU SONUÇLARI

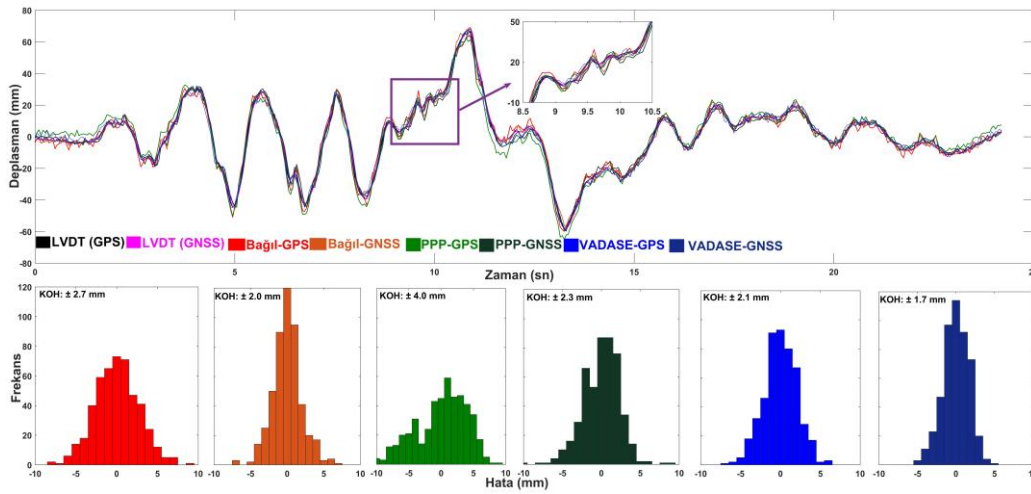
Çalışmanın bu bölümünde, olası erken uyarı sistemlerinde kullanıma potansiyeli olan VADASE yaklaşımının şiddetli yer sarsıntıları kaynaklı sismik dalgaları tespit edebilme yeteneği değerlendirilmiştir. Yöntemin performansının incelenmesi için sarsma tablası üzerinde 6.9 Mw Kobe depremi üretilmiştir. LVDT verileri, harmonik salınım deneylerine benzer bir şekilde sismik dalga formlarının tespit edilmesinde VADASE yaklaşımının etkinliğini doğrulamak için referans olarak kullanılmıştır.

"Büyük Hanshin Depremi" olarak da bilinen Kobe depremi, 16 Ocak 1995'te saat 20:46 UTC'de Hyogo vilayetinin güney kesiminde 6.9 MW büyüklüğünde meydana gelmiştir. Bu çalışmada, Kobe depremi sırasında Kakogawa-KKGW istasyonunda kaydedilen doğal dalga formları kullanılmıştır. Depremi merkez üssünden kayıt istasyonuna olan mesafe yaklaşık olarak 20 km'dir. Çalışmada kullanılan kayıt yüksek genlikli ve kısa sürelidir (yaklaşık 20 saniye). İvme verilerinden hesaplanan deplasman değerleri, sarsma tablası limitlerine uyması için 0.35 çarpanıyla küçültülmüştür.

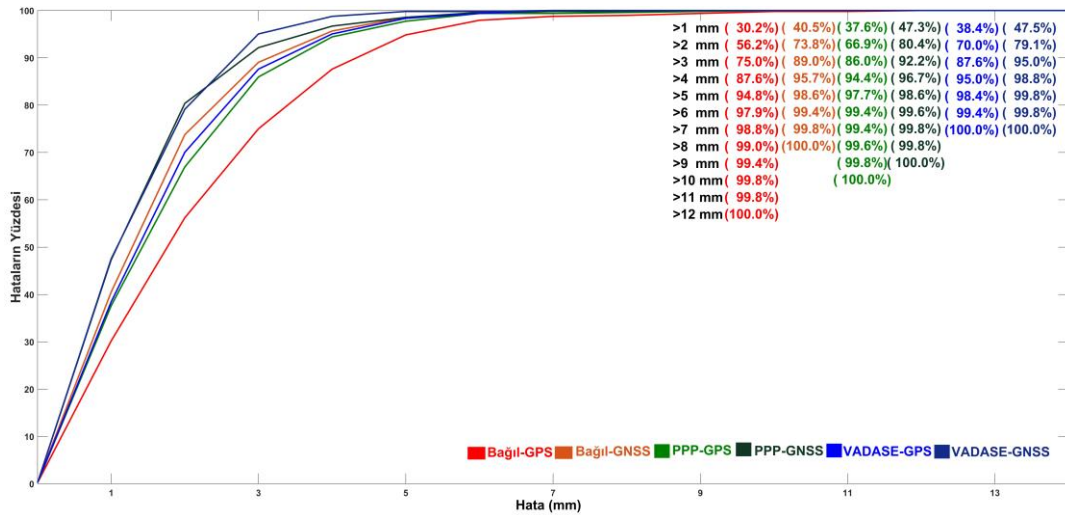
Şekil 4, Kobe depreminden seçilen bir kaydın simülasyonu ile GNSS-tabanlı yöntemlerden elde edilen deplasman zaman serilerinin yanı sıra, LVDT ve çalışma kapsamında tartışılan yöntemler arasındaki farkların histogramlarını içermektedir. Her iki uydu kombinasyonu ile elde edilen yöntemlerin LVDT ile iyi bir uyum sergilediği açıkça görülmektedir. Elde edilen farkların histogramlarına bakıldığında, bağıl yöntem ve VADASE yaklaşımlarının histogramlarının Gauss

hata dağılımına uygun olduğu ve KOH değerlerinin GPS ve çoklu-GNSS için sırasıyla 2.7 mm, 2.0 mm, 2.1 mm ve 1.7 mm olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar çoklu-GNSS gözlemlerinin katkısını açıkça göstermektedir. PPP-GPS tekniğinin histogramı Gauss hata dağılımından biraz uzaklaşsa da tespit edilen dalga formu dikkate alındığında yöntemin başarılı olduğu ve VADASE sonuçlarına benzer bir şekilde çoklu-GNSS gözlemlerinin PPP sonuçlarını iyileştirdiği açıktır.

LVDT ve çalışma kapsamında tartışılan üç yöntemden elde edilen Kobe depremi dalga formları arasındaki hataların yüzdesel dağılımı, her iki uydu kombinasyonu için, Şekil 5'te görselleştirilmiştir. Şekil 5'te görülebileceği gibi, VADASE yaklaşımı diğer yöntemlerden biraz daha etkilidir. Bağıl-GPS ve bağıl-GNSS için LVDT'den olan farklar sırasıyla 12 mm ve 8 mm'nin altında kalırken, bu farklar PPP-GPS ve PPP-GNSS için 10 mm ve 9 mm'dir. VADASE yaklaşımında ise her iki uydu kombinasyonunun LVDT'den olan farkları 7 mm'nin altında kalmıştır. Bu sonuçlar bağıl ve PPP yöntemlerine çoklu-GNSS'in katkısını açıkça vurgularken, VADASE yönteminin depremler sırasında zeminde oluşan sismik dalga formlarını gerçek-zamanlı olarak başarılı bir şekilde yakalayabileceğini net bir şekilde göstermiştir. Kobe depremi simülasyonu deneyi sonuçları, depremler sırasında meydana gelebilecek can kayıplarını önlemeyi amaçlayan deprem/tsunami erken uyarı sistemlerinde, gerçek-zamanlı tek bir GNSS alıcısı ile izleme gerçekleştirme olanağı sağlayan VADASE yaklaşımının güvenli bir şekilde kullanılabileceğini açıkça işaret etmiştir.



Şekil 4. Kobe depremi simülasyondan elde edilen zaman serileri (üst) ve LVDT ile GNSS sensörleri arasındaki hataların histogram ve KOH değerleri (alt).



Şekil 5. Kobe depremi için LVDT ile GNSS sensörleri arasındaki hataların yüzdesel dağılımı

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, tek bir GNSS alıcısı ile herhangi bir internet bağlantısı gerektirmeden dinamik hareketlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlayan VADASE yaklaşımının kısa süreli dinamik hareketleri ve sismik dalga formlarını tespit etme performansını ve çoklu-GNSS gözlemlerinin yönleme olan katkısını sunmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, 5 mm genlik değerine ve 0.25 Hz ile 3.5 Hz arasında salınım frekansına sahip 5 adet harmonik salınım deneyi ve 6.9 Mw büyüklüğündeki 1995 Kobe depreminin simülasyonu tek eksenli bir sarsma tablasında üretilmiştir. Tasarlanan deney setlerinde VADASE tekniği ile gerçek-zamanlı olarak elde edilen elde edilen dinamik hareketlerin doğrulanması bağıl

yöntem, PPP ve GNSS-bağımsız LVDT sensörleri ile sağlanmıştır. Frekans alanındaki harmonik salınım deneylerinin analizi, 3.5 Hz'e kadar olan frekansların, GPS ve çoklu-GNSS gözlemleri kullanılarak VADASE yaklaşımıyla başarılı bir şekilde tespit edilebileceğini ortaya koymuştur. Ancak, tespit edilen baskın frekansa karşılık gelen genlik değerleri mm düzeyinde farklılıklar vardır. Bu farklılıkların 2.8 mm'nin altında kaldığı düşünülürse tekniğin başarısı oldukça açıktır. VADASE tekniğinin harmonik salınımları algılama etkinliğini daha da detaylı incelemek için, frekans alanında gerçekleştirilen analizlere ek olarak zaman alanında da birtakım analizler gerçekleştirilmiştir. Bu alandaki bulgular, VADASE yaklaşımının bağıl yöntem ve PPP tekniklerinden biraz daha iyi performans gösterdiğini ve

yaklaşımına çoklu-GNSS gözlemlerinin zaman alanındaki katkısını açıkça vurgulamıştır. VADASE tekniğinin dinamik deplasmanların tespitinde bağıl yöntem ve PPP tekniğinden kısmen daha iyi performans göstermesi ve referans LVDT sensörüne daha yakın sonuçlar vermesinin nedenlerinden biri de VADASE için ayrı, bağıl yöntem ve PPP tekniği için ayrı alıcı ve anten donanımı kullanılmasıdır. Kullanılan iki farklı alıcı ve antenin sahip olduğu donanım kaynaklı gürültü seviyelerinin farklı olması, dinamik deplasmanların tespitini etkilemektedir. Harmonik salınım deneylerinin sonuçları, yapı sağlığı izleme sistemlerinin VADASE yaklaşımı ile işletilebileceğini ve bu yöntemle mühendislik yapılarının doğal frekanslarının belirlenebileceğini açıkça göstermiştir. VADASE yaklaşımının kuvvetli yer hareketlerinin neden olduğu sismik dalga formlarını tespit etme performansı 6.9 Mw büyüklüğüne sahip 1995 Kobe depremi simülasyonu ile incelenmiştir. Bu deneyde, VADASE yaklaşımı harmonik salınım testlerine benzer bir şekilde bağıl yöntem ve PPP tekniğinden biraz daha iyi performans gösterirken, çoklu-GNSS gözlemlerinin VADASE yaklaşımına olan katkısı doğrulanmıştır. Deprem simülasyon deneyi, deprem/tsunami erken uyarı sistemlerinin VADASE yaklaşımı ile işletilebileceğini ortaya koymuştur. Genel olarak bu çalışmanın sonuçları, gerçek zamanlı izleme gerektiren ve meydana gelebilecek can kayıplarını önlemeyi amaçlayan erken uyarı ve/veya yapı sağlığı izleme sistemlerinde VADASE yaklaşımının rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışma sırasında sağlamış oldukları donanım ve yazılım destekleri için Sistem A.Ş. ve Leica-Geosystems AG firmalarına ve Net_Diff yazılımı için Dr. Yize Zhang'a teşekkür ederiz.

ORCID

Mert BEZCİOĞLU		https://orcid.org/0000-0001-7179-8361
Barış KARADENİZ		https://orcid.org/0000-0002-5093-5467
Cemal Özer YİĞİT		https://orcid.org/0000-0002-1942-7667
Ahmet Anıl DİNDAR		https://orcid.org/0000-0003-3168-8322
Fırat BEZİR		https://orcid.org/0000-0002-4146-1992
Özgür AVCI		https://orcid.org/0000-0002-1667-2587

KAYNAKLAR

- Allen, R. M. ve Ziv, A. (2011). Application of real-time GPS to earthquake early warning. *Geophysical Research Letters*, 38(16), 1–7. doi:10.1029/2011GL047947
- Avallone, A., Latorre, D., Serpelloni, E., Cavaliere, A., Herrero, A., Cecere, G., ... Selvaggi, G. (2016). Coseismic displacement waveforms for the 2016 August 24 Mw 6.0 Amatrice earthquake (central Italy) carried out from high-rate GPS data. *Annals of Geophysics*, 59(FASTTRACK5), 0–11. doi:10.4401/ag-7275
- Avallone, A., Marzario, M., Cirella, A., Piatanesi, A., Rovelli, A., Di Alessandro, C., ... Mattone, M. (2011). Very high rate (10 Hz) GPS seismology for moderate-magnitude earthquakes: The case of the Mw 6.3 L'Aquila (central Italy) event. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(2). doi:10.1029/2010JB007834
- Benedetti, E., Branzanti, M., Biagi, L., Colosimo, G., Mazzoni, A. ve Crespi, M. (2014). Global navigation satellite systems seismology for the 2012 Mw 6.1 emilia earthquake: Exploiting the vadase algorithm. *Seismological Research Letters*, 85(3), 649–656. doi:10.1785/0220130094
- Bock, Y., Melgar, D. ve Crowell, B. W. (2011). Real-time strong-motion broadband displacements from collocated GPS and accelerometers. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(6), 2904–2925. doi:10.1785/0120110007
- Branzanti, M., Colosimo, G. ve Mazzoni, A. (2015). Variometric approach for real-time GNSS navigation: First demonstration of Kin-VADASE capabilities. *Advances in Space Research*. doi:10.1016/j.asr.2016.09.026
- Cai, C. ve Gao, Y. (2008). Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations, 6(1), 13–22. doi:10.1017/S0373463313000039
- Chen, L., Zhao, Q., Hu, Z., Jiang, X., Geng, C., Ge, M. ve Shi, C. (2018). GNSS global real-time augmentation positioning: Real-time precise satellite clock estimation, prototype system construction and performance analysis. *Advances in Space Research*, 61(1), 367–384. doi:10.1016/j.asr.2017.08.037

- Colosimo, G., Crespi, M. ve Mazzoni, A. (2011). Real-time GPS seismology with a stand-alone receiver: A preliminary feasibility demonstration. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(11), 1–14. doi:10.1029/2010JB007941
- Fortunato, M., Ravanelli, M. ve Mazzoni, A. (2019). Real-time geophysical applications with Android GNSS raw measurements. *Remote Sensing*, 11(18), 1–13. doi:10.3390/rs11182113
- Fratarcangeli, F., Savastano, G., D'Achille, M. C., Mazzoni, A., Crespi, M., Riguzzi, F., ... Pietrantonio, G. (2018). VADASE reliability and accuracy of real-time displacement estimation: Application to the Central Italy 2016 earthquakes. *Remote Sensing*, 10(8), 1–20. doi:10.3390/rs10081201
- Geng, J., Bock, Y., Melgar, D., Crowell, B. W. ve Haase, J. S. (2013). A new seismogeodetic approach applied to GPS and accelerometer observations of the 2012 Brawley seismic swarm: Implications for earthquake early warning. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. doi:10.1002/ggge.20144
- Geng, T., Xie, X., Fang, R., Su, X., Zhao, Q., Liu, G., ... Liu, J. (2016). Real-time capture of seismic waves using high-rate multi-GNSS observations: Application to the 2015 Mw 7.8 Nepal earthquake. *Geophysical Research Letters*, 43(1), 161–167. doi:10.1002/2015GL067044
- Hefty, J. ve Gerhatova, L. (2012). Potential of Precise Point Positioning using 1 Hz GPS data for detection of seismic-related displacements. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 9(3), 303–313.
- Hoechner, A., Ge, M., Babeyko, A. Y. ve Sobolev, S. V. (2013). Instant tsunami early warning based on real-time GPS-Tohoku 2011 case study. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13(5), 1285–1292. doi:10.5194/nhess-13-1285-2013
- Hung, H. K., Rau, R. J., Benedetti, E., Branzanti, M., Mazzoni, A., Colosimo, G. ve Crespi, M. (2017). GPS Seismology for a moderate magnitude earthquake: Lessons learned from the analysis of the 31 October 2013 ML 6.4 Ruisui (Taiwan) earthquake. *Annals of Geophysics*, 60(5). doi:10.4401/ag-7399
- Kaloop, M. R., Yigit, C. O., El-Mowafy, A., Bezcioglu, M., Dindar, A. A. ve Hu, J. W. (2020). Evaluation of multi-GNSS high-rate relative positioning for monitoring dynamic structural movements in the urban environment. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 2239–2262. doi:10.1080/19475705.2020.1836040
- Kouba, J. (2003). Measuring seismic waves induced by large earthquakes with GPS. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 47(4), 741–755. doi:10.1023/A:1026390618355
- Larson, K. M. (2009). GPS seismology. *Journal of Geodesy*, 83(3–4), 227–233. doi:10.1007/s00190-008-0233-x
- Larson, K. M., Bodin, P. ve Gombert, J. (2003). Using 1-Hz GPS data to measure deformations caused by the denali fault earthquake. *Science*, 300(5624), 1421–1424. doi:10.1126/science.1084531
- Li, X., Guo, B., Lu, C., Ge, M., Wickert, J. ve Schuh, H. (2014). Real-time GNSS seismology using a single receiver. *Geophysical Journal International*, 198(1), 72–89. doi:10.1093/gji/ggu113
- Melgar, D., Crowell, B. W., Geng, J., Allen, R. M., Bock, Y., Riquelme, S., ... Ganas, A. (2015). Earthquake magnitude calculation without saturation from the scaling of peak ground displacement. *Geophysical Research Letters*, 42(13), 5197–5205. doi:10.1002/2015GL064278
- Nie, Z., Gao, Y., Wang, Z., Ji, S. ve Yang, H. (2018). An approach to GPS clock prediction for real-time PPP during outages of RTS stream. *GPS Solutions*, 22(1), 1–14. doi:10.1007/s10291-017-0681-y
- Psimoulis, P., Houlié, N., Meindl, M. ve Rothacher, M. (2015). Consistency of PPP GPS and strong-motion records: Case study of Mw9.0 Tohoku-Oki 2011 earthquake. *Smart Structures and Systems*, 16(2), 347–366. doi:10.12989/sss.2015.16.2.347
- Shu, Y., Shi, Y., Xu, P., Niu, X. ve Liu, J. (2017). Error analysis of high-rate GNSS precise point positioning for seismic wave measurement. *Advances in Space Research*, 59(11), 2691–2713. doi:10.1016/j.asr.2017.02.006

- Wang, L., Li, Z., Ge, M., Neitzel, F., Wang, Z. ve Yuan, H. (2018). Validation and assessment of multi-GNSS real-time precise point positioning in simulated kinematic mode using IGS real-time service. *Remote Sensing*, 10(2). doi:10.3390/rs10020337
- Wang, Z., Li, Z., Wang, L., Wang, X. ve Yuan, H. (2018). Assessment of multiple GNSS real-time SSR products from different analysis centers. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(3). doi:10.3390/ijgi7030085
- Xu, P., Shi, C., Fang, R., Liu, J., Niu, X., Zhang, Q. ve Yanagidani, T. (2013). High-rate precise point positioning (PPP) to measure seismic wave motions: An experimental comparison of GPS PPP with inertial measurement units. *Journal of Geodesy*, 87(4), 361–372. doi:10.1007/s00190-012-0606-z
- Xu, P., Shu, Y., Liu, J., Nishimura, T., Shi, Y. ve Freymueller, J. T. (2019). A large scale of apparent sudden movements in Japan detected by high-rate GPS after the 2011 Tohoku Mw9.0 earthquake: Physical signals or unidentified artifacts? *Earth, Planets and Space*, 71(1). doi:10.1186/s40623-019-1023-9
- Yigit, C. O. (2016). Experimental assessment of post-processed kinematic Precise Point Positioning method for structural health monitoring. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(1), 360–383. doi:10.1080/19475705.2014.917724
- Yigit, C. O., El-Mowafy, A., Anil Dindar, A., Bezcioglu, M. ve Tiryakioglu, I. (2021). Investigating Performance of High-Rate GNSS-PPP and PPP-AR for Structural Health Monitoring: Dynamic Tests on Shake Table. *Journal of Surveying Engineering*, 147(1), 05020011. doi:10.1061/(asce)su.1943-5428.0000343
- Yigit, C. O., El-Mowafy, A., Bezcioglu, M. ve Dindar, A. A. (2020). Investigating the effects of ultra-rapid, rapid vs. Final precise orbit and clock products on high-rate GNSS-PPP for capturing dynamic displacements. *Structural Engineering and Mechanics*, 73(4), 424–436. doi:10.12989/sem.2020.73.4.427
- 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
- Zang, J., Xu, C. ve Li, X. (2020). Scaling earthquake magnitude in real time with high-rate GNSS peak ground displacement from variometric approach. *GPS Solutions*, 24(4), 1–10. doi:10.1007/s10291-020-01013-x
- Zhang, Y., Nie, Z., Wang, Z., Wu, H. ve Xu, X. (2021). Real-time coseismic displacement retrieval based on temporal point positioning with igs rts correction products. *Sensors (Switzerland)*, 21(2), 1–17. doi:10.3390/s21020334
- 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

Gerçek Zamanlı Troposferik Gecikme Kestirimi için Çoklu-GNSS Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin Kullanımı

(Employment of Multi-GNSS Precise Point Positioning for Real-Time Tropospheric Delay Estimation)

Berkay BAHADUR

Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Çankaya, Ankara
berkaybahadur@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 19.10.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 12.01.2022

ÖZ

Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) troposferik gecikme kestirimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan GNSS (Global Navigation Satellite Systems) tekniklerinden bir tanesidir. IGS (International GNSS Service) gerçek zamanlı ürünlerin kullanıma açılmasıyla PPP tekniğinin gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılması mümkün hale gelmiştir. Son yıllarda ortaya çıkan yeni navigasyon sistemleri gerçek zamanlı PPP çözümlerinin performansını iyileştirmek için önemli fırsatları da beraberinde getirmektedir. Özellikle Galileo ve BeiDou (BDS) sistemlerinin uydu takımları son yıllarda önemli oranda genişlemiş ve aynı zamanda uydu yörünge ve saat ürünlerinde de önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu gelişmeler ışığında yeni ortaya çıkan sistemlerin gerçek zamanlı troposferik gecikme kestirimi çalışmalarında kullanılması GNSS kullanıcıları arasında oldukça ilgi gören bir konudur. Bu çalışmanın temel amacı GPS, GLONASS, Galileo ve BDS olmak üzere dört küresel uydu sisteminin PPP ile gerçek zamanlı toplam zenit gecikme (zenith total delay, ZTD) kestiriminde en güncel performansının değerlendirilmesidir. Bu amaçla 2021 kış ve yaz dönemlerinden birer ay olmak üzere iki farklı test periyodu için toplamda 20 IGS istasyonunun dahil edildiği bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada dört küresel sistemin tekli PPP çözümlerine ek olarak hepsinin ortak olarak kullanıldığı çoklu-GNSS çözümüne de yer verilmiştir. PPP çözümlerinden elde edilen troposfer kestirimleri IGS tarafından yayınlanan troposfer gecikmeleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar GPS ve Galileo çözümlerinin PPP ile gerçek zamanlı ZTD kestirimi açısından birbirleriyle kıyaslanabilir performanslara sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca GLONASS ve BDS çözümlerinin gerçek zamanlı ZTD kestirimi performansı bu iki sistemin önemli ölçüde gerisinde kalmıştır. Son olarak çoklu-GNSS PPP çözümü tekli çözümlerle kıyaslandığında ZTD kestirimi performansını kayda değer oranda arttırmaktadır. Çoklu-GNSS çözümü, GPS çözümü ile kıyaslandığında yaz ve kış dönemlerinde ZTD kestirimi için sırasıyla %14,1 ve %12,5 oranında daha yüksek doğruluk sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çoklu-GNSS, PPP, Gerçek Zamanlı, Troposfer, Toplam Zenit Gecikme

ABSTRACT

Precise Point Positioning (PPP) is one of the GNSS techniques commonly used in the applications of

tropospheric delay estimation. The use of PPP in real-time applications has been possible with the initialization of IGS (International GNSS Service) products. In recent years, the emergence of new satellite systems has brought along considerable opportunities to improve the performance of real-time PPP solutions. Especially, the constellations of Galileo and BeiDou (BDS) have recently extended, and, at the same time, significant advances have been made in their satellite orbit and clock products. In the light of this progress, the employment of newly-emerged systems in the applications of real-time tropospheric delay estimation is a topic which is taken considerable interest within the GNSS users. The main objective of this study is to evaluate the latest performance of four constellations, namely GPS, GLONASS, Galileo, and BDS, in real-time zenith total delay (ZTD) estimation. For this purpose, an experimental test, including 20 IGS stations for two test periods as 2021 winter and summer, has been conducted. In addition to single PPP solutions for four global systems, this experiment also contains the multi-GNSS solution where all systems are used together. The troposphere estimations acquired from the PPP solutions have been compared with the tropospheric delays provided by IGS. Results have shown that GPS and Galileo have comparable performances in terms of real-time ZTD estimation with PPP. Besides, the real-time ZTD estimation performance of GLONASS and BDS solutions has been left behind these two systems substantially. Finally, the multi-GNSS solution considerably enhances the performance of ZTD estimation when compared with the single system solutions. The multi-GNSS solution has provided better accuracies by the ratios of 14.1% and 12.5% for ZTD estimation in winter and summer periods in comparison to the GPS solution.

Keywords: Multi-GNSS, PPP, Real-Time, Troposphere, Total Zenith Delay

1. GİRİŞ

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri'nde (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) kullanılan elektromanyetik sinyaller atmosferden önemli ölçüde etkilenir. Atmosferin farklı katmanları farklı kırıcılık indislerine sahip olduğu için GNSS sinyallerinin atmosfer içindeki yayılımı boşlukta olması gerekenden farklı bir yol izler. Dolayısıyla bu durum, GNSS sinyallerinin uydudan çıkıp alıcıya varıncaya dek geçirdiği

sürenin de farklılaşmasına neden olmaktadır. Genel olarak GNSS sinyalleri üzerindeki atmosfer etkisi troposfer ve iyonosfer olmak üzere iki gruba ayrılır. Atmosferdeki iyonize olmuş parçacıkları içeren iyonosfer katmanının GNSS sinyalleri üzerine olan etkisi kullanılan sinyalin frekansına bağlı olduğundan çift frekanslı sinyal kombinasyonları kullanılarak giderilebilir. Ancak bu durum atmosferdeki su buharı miktarının büyük bir çoğunluğunu içeren troposfer katmanının GNSS sinyalleri üzerindeki etkisi için geçerli değildir. GNSS sinyallerindeki troposferik gecikme, kullanılan sinyalin frekansına bağlı olmadığı için sinyal kombinasyonları kullanılarak giderilemez ve bu nedenle deneysel modeller kullanılarak düzeltilmesi gerekmektedir (Teunissen ve Montenbruck, 2017). Hassas GNSS uygulamalarında yüksek konum doğruluğuna ulaşabilmek için düzeltilmesi gereken bir hata kaynağı olarak görülen troposfer etkisi aynı zamanda doğrudan navigasyon sinyalleri kullanılarak türetilen bir büyüklüktür. Dolayısıyla GNSS sinyalleri, sinyal yolu boyunca atmosferdeki su buharı miktarı hakkında bilgi sunan troposferik gecikmenin elde edilmesinde kullanılabilir. GNSS ile türetilen bu gecikmeler farklı meteorolojik parametreler ile entegre edilerek yağışa dönüşebilir su buharı (precipitable water vapor, PWV) değerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır (Bevis ve diğerleri, 1994; Lee, Kouba, Schutz, Kim, ve Lee, 2013). Bu yolla GNSS sinyalleri atmosferdeki su buharı içeriğinin tespitinde yüksek konumsal ve zamansal çözünürlükte her türlü hava koşulunda kullanılabilecek önemli bir veri kaynağı olarak düşünülebilir. Özellikle GNSS sinyalleri aracılığıyla elde edilen toplam zenit gecikme (zenith total delay, ZTD) sayısal hava tahmin (numerical weather prediction, NWP) modellerine entegre edilerek modelin hava tahmin performansını iyileştirilmek için kullanılmaktadır (De Haan, 2013; Wilgan, Rohm ve Bosy, 2015).

Son yıllarda geleneksel GNSS konum belirleme tekniklerine bir alternatif olarak ortaya çıkan Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) troposferik gecikme tahmini için de kullanılmaktadır. Bu tekniğin en büyük avantajı küresel bir ağdan elde edilen uydu yörünge ve saat bilgilerini kullanarak referans istasyon ihtiyacını ortadan kaldırmasıdır (Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins, ve Webb, 1997). Uzun yıllardır Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) tarafından sağlanan hassas ürünler PPP çözümlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır (Kouba ve Héroux, 2001). Ancak IGS tarafından sağlanan hassas ürünler yaklaşık iki haftalık bir gecikme ile yayımlandığından bu

ürünlerin gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılması mümkün değildir. GNSS uygulamalarında gerçek zamanlı çözümlerin artan popülerliğine paralel olarak IGS 2013 yılında kendi gerçek zamanlı servisini başlatmıştır (Hadas and Bosy, 2015). Bu servis aracılığıyla sağlanan uydu yörünge ve saat bilgileri sayesinde gerçek zamanlı PPP çözümü mümkün hale gelmiştir. Bu tarihten itibaren PPP çözümü ile gerçek zamanlı troposferik gecikme kestirimi üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, GPS uydularının dahil edildiği gerçek zamanlı PPP çözümü ile ZTD tahmininde 5 ila 20 mm arasında bir doğruluk elde edilebileceğini ortaya koymuştur (Dousa ve Vlacovic, 2014; Hadas, Teferle, Kazmierski, Hordyniec ve Bosy, 2017; Zhao, Yao, Yao ve Li, 2018). Gerçek zamanlı PPP çözümlerinden elde edilecek doğruluk doğrudan uydu yörünge ve saat düzeltmelerinin doğruluğu ile ilişkilidir. Bu günlerde, IGS gerçek zamanlı ürünlerin doğruluğunun hassas ürünlere kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğu söylenebilir (<https://igs.org/products/>). Bu durum gerçek zamanlı PPP uygulamalarının güncel en büyük problemlerinden bir tanesidir. Ancak son zamanlarda ortaya çıkan yeni navigasyon sistemlerinin bir arada kullanılması, bir diğer deyişle çoklu-GNSS, PPP ile gerçek zamanlı ZTD kestiriminin doğruluğunu iyileştirmek adına önemli fırsatları beraberinde getirmektedir. Özellikle, sırasıyla Avrupa Uzay Ajansı ve Çin tarafından geliştirilen Galileo ve BeiDou (BDS) küresel navigasyon sistemleri son yıllarda kullanılabilir uydu sayılarını önemli miktarda arttırmıştır. Bu sistemlerin yakın gelecekte tam kapasiteyle hizmete geçmeleri beklenmektedir. Son zamanlarda yapılan birçok çalışma çoklu-GNSS entegrasyonlarının kullanılmasıyla gerçek zamanlı ZTD kestiriminin performansının kayda değer oranda iyileştirilebileceğini ortaya koymuştur (Li ve diğerleri, 2015a; Lu ve diğerleri, 2017; Pan ve Guo, 2018). Ayrıca bu sistemler artan uydu sayıları ile birlikte diğer sistemlerden bağımsız olarak kendi başlarına da ZTD kestirimi uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (Hadas ve Hobiger, 2020; Ge ve diğerleri, 2021).

Galileo ve BDS gibi yeni navigasyon sistemlerine ait kullanılabilir uydu sayıları her geçen gün artmaktadır. Diğer taraftan, yer istasyonlarının sayısının artması ve kullanılan modellerdeki iyileşmeler sayesinde uydu yörünge ve saat bilgilerinde de önemli gelişmeler kaydedilmektedir. Artan uydu sayıları ve iyileştirilen ürünlerle beraber bu sistemler GNSS bazlı uygulamalar açısından var olan sistemlere önemli birer alternatif haline dönüşmüştür. Bu nedenle yeni ortaya çıkan sistemlerin GNSS

uygulamalarındaki en güncel performansları takip edilmesi gereken önemli bir konudur. Bu gelişmeler ışığında gerek bu sistemlerin kendi bağımsız çözümleri gerekse diğer navigasyon sistemleri ile kombinasyonları ile oluşturulan çoklu-GNSS çözümlerinin PPP ile gerçek zamanlı ZTD kestiriminde kullanılması GNSS topluluğunda giderek ilgi gören önemli bir konu haline gelmiştir. Dolayısıyla bu çalışmanın en temel amacı GPS, GLONASS, Galileo ve BDS olmak üzere dört küresel uydu sisteminin PPP ile gerçek zamanlı ZTD kestirimi açısından güncel performanslarının değerlendirilmesidir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında bu dört sistemin ortak olarak kullanıldığı çoklu-GNSS PPP çözümü gerçek zamanlı ZTD kestirimi için kullanılarak performans değerlendirmesine dahil edilmiştir.

2. PPP İLE TROPOSFERİK GECİKME KESTİRİMİ

PPP tekniğinde çift frekanslı kod ve faz gözlemlerinin iyonosferden bağımsız (İB) doğrusal kombinasyonları ölçü modeli olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında PPP tekniğinde uydu yörünge ve saat hataları hassas veya gerçek zamanlı IGS ürünleri kullanılarak ortadan kaldırılmaktadır. IGS ürünleri kullanılırken dikkat edilmesi gereken en önemli konu bu ürünlerde sunulan saat düzeltmelerinin belirli bir sinyal ya da sinyal kombinasyonu baz alınarak üretiliyor olmasıdır. Örneğin, GPS ve GLONASS uyduları için saat düzeltmeleri, L1 ve L2 sinyalleri üzerindeki kod gözlemlerinin İB kombinasyonları kullanılarak elde edilmektedir (Teunissen ve Montenbruck, 2017). Benzer şekilde Galileo uyduları için E1 ve E5a, BDS uyduları için de B1 ve B2 sinyallerinden elde edilen kod gözlemlerinin İB kombinasyonları saat düzeltmelerinin üretilmesinde referans olarak kullanılmaktadır (Steigenberger ve diğerleri, 2015). Dolayısıyla IGS tarafından sağlanan saat düzeltmeleri ilgili uyduya ait saat hatasına ek olarak İB kombinasyona ait uydu kod donanım hatasını da içermektedir. IGS ürünleri kullanıldığında İB kombinasyona ait uydu kod donanım hataları orijinal uydu saat hatasına yüklenerek düzeltilebilir. Öte yandan alıcıya ait kod donanım hataları aralarındaki yüksek korelasyon nedeniyle alıcı saat hatasıyla birlikte kestirilir (Kouba ve Héroux, 2001). IGS ürünleri arasında faz donanım hatalarını içeren ayrı ürünler olmadığı için uydu ve alıcıya ait faz donanım hataları belirsizlik parametresine yüklenerek tek bir bilinmeyen olarak değerlendirilir. Tüm bunların ışığında Çift-frekanslı ($i = 1, 2$) kod (P) ve faz (L) gözlemleri için İB kombinasyonları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$P_{IB}^{s,k} = \rho_r^{s,k} + \overline{cdt}_r^s - \overline{cdT}^{s,k} + T_r^{s,k} + \varepsilon(P_{IB}^{s,k}) \quad (1)$$

$$L_{IB}^{s,k} = \rho_r^{s,k} + \overline{cdt}_r^s - \overline{cdT}^{s,k} + T_r^{s,k} + \lambda_{IB}^s \overline{N}_{IB}^{s,k} + \varepsilon(L_{IB}^{s,k}) \quad (2)$$

ve

$$\overline{cdt}_r^s = cdt_r^s + b_{IB,r}^s, \overline{cdT}^{s,k} = cdT^{s,k} + b_{IB}^{s,k} \quad (3)$$

$$\overline{N}_{IB}^{s,k} = N_{IB}^{s,k} + (B_{IB,r}^s - b_{IB,r}^s) + (B_{IB}^{s,k} - b_{IB}^{s,k}) \quad (4)$$

burada r, s ve k sırasıyla alıcıyı, GNSS indeksini (G: GPS, R: GLONASS, E: Galileo, C: BDS) ve uydu numarasını göstermektedir. Ayrıca $\rho_r^{s,k}$ alıcı ile uydu arasındaki geometrik mesafeyi, c ışık hızını, $\overline{cdt}_r^s$ ve $\overline{cdT}^{s,k}$ sırasıyla İB doğrusal kombinasyon için düzenlenmiş alıcı ve uydu saat hatasını, $T_r^{s,k}$ troposferik gecikmeyi, λ_{IB}^s ve $\overline{N}_{IB}^{s,k}$ sırasıyla İB doğrusal kombinasyon için dalga boyunu ve düzenlenmiş faz belirsizlik parametresini, ε ise ilgili gözlem için çoklu-yol etkisini de içeren gürültüyü ifade etmektedir. Düzenlenmiş saat hatalarında yer alan dt_r^s ve $dT^{s,k}$ sırasıyla orijinal alıcı ve uydu saat hatasını, $b_{IB,r}^s$ ve $b_{IB}^{s,k}$ İB doğrusal kombinasyon için alıcı ve uydu kod donanım hatalarını, $B_{IB,r}^s$ ve $B_{IB}^{s,k}$ İB doğrusal kombinasyon için alıcı ve uydu faz donanım hatalarını, $N_{IB}^{s,k}$ ise İB doğrusal kombinasyon için orijinal tam sayı belirsizlik parametresini göstermektedir.

(1) ve (2) eşitlikleri standart PPP tekniğinin ölçü modelini oluşturur. Burada uydu saat hataları IGS ürünleri kullanılarak düzeltilir. Böylelikle bu modelin bilinmeyen parametreleri üç adet konum bileşeni, bir alıcı saat hatası, bir troposferik gecikme ve gözlenen her uydu için bir belirsizlik parametresinden oluşmaktadır. Eşitliklerden de görüleceği üzere sistemlerin zaman ölçekleri farklı olduğu için alıcı saat hatası uydu sistemine özel olarak tanımlanmıştır. Birden fazla navigasyon sisteminin dahil edildiği ortak çözümlerde bir referans zaman ölçeği seçilerek diğer sistemler için ilave bir sistemler arası fark parametresinin tanımlanması gerekmektedir (Cai ve Gao, 2013). Çoklu-GNSS uygulamalarında genellikle GPS zaman ölçeği referans seçilir ve eklenen diğer sistemlere alıcı saatinin GPS zaman ölçeğinden olan farkını yansıtan sistemler arası fark parametresi tanımlanır (Li ve diğerleri, 2015b; Abd Rabbou, El-Shazly ve Ahmed, 2018).

PPP tekniğinde diğer uydu jeodezisi tekniklerine benzer şekilde troposfer etkisi kuru ve ıslak olmak üzere iki farklı bileşene ayrılarak ele alınmaktadır. Troposferin kuru bileşeni istasyon

konumu ve atmosferik parametrelere bağlı olarak deneysel modeller aracılığıyla elde edilebilirken ıslak bileşeni modellemek oldukça zordur. Bunun temel sebebi atmosferdeki su buharı miktarında hava olayları nedeniyle meydana gelen hızlı değişimlerdir. Dolayısıyla GNSS sinyalleri üzerindeki troposfer etkisinin kuru bileşeni zenit açısı doğrultusunda modellenip ilgili sinyal doğrultusuna indirgenerek düzeltilebilirken ıslak bileşen ise ilave bir bilinmeyen parametre olarak tahmin sürecinde kestirilmektedir. Bu sayede GNSS sinyalleri kullanılarak troposfer ile ilgili önemli bilgilerin çıkarılması mümkün olmaktadır. Troposferik gecikme, bir iz düşüm fonksiyonu aracılığıyla zenit doğrultusu boyunca aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir (Davis, Herring, Shapiro, Rogers ve Elgered, 1985).

$$T_r^{s,k} = M_K(E)ZTD_K + M_I(E)ZTD_I \quad (5)$$

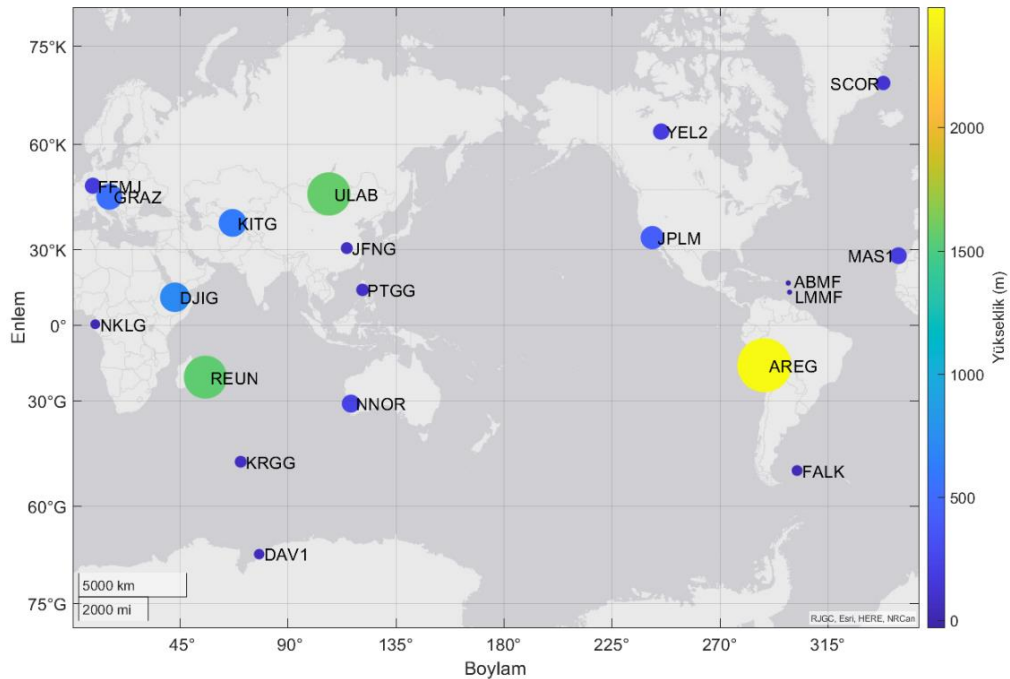
burada ZTD_K ve ZTD_I sırasıyla kuru ve ıslak troposferik gecikmeyi, M_K ve M_I ise uydunun yükselim açısına (E) bağlı olarak tanımlanmış iz düşüm fonksiyonunun kuru ve ıslak bileşenlerini ifade etmektedir. Bu çalışmada troposferin kuru bileşenini elde etmek için Saastamoinen (1972) modeli VMF3 (Vienna Mapping Function 3) ve GPT3 (Global Pressure and Temperature 3) modelleriyle birlikte kullanılmıştır (Landskron ve Böhm, 2018). Daha önce belirtildiği üzere troposferin kuru bileşeni ise yine VMF3 kullanılarak zenit doğrultusunda ilave bir bilinmeyen olarak kestirilmiştir.

3. UYGULAMA

Bu bölümde çalışma kapsamında gerçekleştirilen uygulamalar ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde sunulacaktır. Sonuçlardan önce uygulamada kullanılan veri seti ve PPP çözümü için uygulanan işlem stratejileri kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır.

a. Veri Seti

Çalışma kapsamında 2021 yılının kış ve yaz ayları içerisinde iki test dönemi belirlenmiştir. İlk dönem 2021 yılının ocak ayına ait 31 ardışık günü içerirken ikinci test dönemi aynı yılın temmuz ayına ait 31 ardışık günden oluşmaktadır. Bu iki periyot çalışmanın geri kalanında 2021 ocak ve temmuz dönemleri olarak adlandırılacaktır. Uygulamalarda kullanılmak üzere 20 adet IGS MGEX (Multi-GNSS Experiment) istasyonu belirlenmiştir. Bu istasyonların hepsi GPS, GLONASS, Galileo ve BDS uydularına ait gözlemleri toplayabilen çoklu-GNSS alıcılara sahiptir. Ayrıca ilgili istasyonlar coğrafi konumları dikkate alınarak tüm dünyaya olabildiğince eşit dağılacak ve farklı yüksekliklere sahip olacak şekilde belirlenmiştir. Seçilen istasyonların isimleri, coğrafi konumları ve yükseklikleri Şekil 1'de sunulmuştur. İstasyonların elipsoidal yükseklikleri -27,10 ile 2489,40 m arasında değişmektedir. En düşük yükseklik LMMF istasyonuna aitken en büyük yükseklik AREG istasyonuna aittir.



Şekil 1. Kullanılan IGS istasyonlarının coğrafi konumları ve yükseklikleri.

Diğer taraftan PPP gibi mutlak konum belirleme teknikleri için görünür uydu sayısı ve geometrisi çözüm performansına etki eden en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Bu nedenle dört küresel sistemin uydu takımlarının son durumunu inceleyebilmek için seçilen istasyonlarda GPS, GLONASS, Galileo ve BDS uydu görünürlükleri araştırılmıştır. Şekil 2'de seçilen IGS istasyonlarında iki farklı test dönemi için epok başına düşen ortalama görünür uydu sayıları dört küresel sistem için verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere seçilen dönemler birbirine oldukça yakın tarihler olduğu için iki test dönemi arasında uydu görünürlüğü açısından önemli bir fark bulunmamaktadır. GPS, GLONASS ve Galileo uydu takımları açısından istasyonlar arasında ortalama uydu sayıları istasyon konumuna göre ufak değişiklikler gösterse dahi birbirlerine oldukça yakındır. Ancak BDS uydu takımı için ortalama uydu sayıları istasyona göre önemli ölçüde değişmektedir. Asya-Pasifik bölgesi yakınında yer alan PTGG, NNOR ve JFNG gibi istasyonlarda ortalama BDS görünür uydu sayısı 12'nin üzerine çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni yalnızca bu bölgede kullanılabilir olan BDS GEO (Geostationary Earth Orbit) uydularının varlığıdır. Dolayısıyla Asya-Pasifik bölgesi yakınında yer alan istasyonlarda BDS, uydu görünürlüğü açısından GPS uydu takımını geride bırakmıştır. Yine de BDS GEO uydularının uydu yörünge ve saat bilgilerinin diğer uydulara göre oldukça düşük doğruluğa sahip olduğu hatırlatılmalıdır. Öte yandan Galileo ve BDS uydu takımlarının istasyonların tamamında kendi başlarına PPP çözümü gerçekleştirebilecek görünür uydu sayısına ulaştığı şekilden gözlemlenebilir. Son olarak neredeyse tüm istasyonlar için en düşük uydu görünürlüğüne GLONASS uydu takımının sahip olduğu söylenmelidir.

b. PPP İşlem Stratejisi

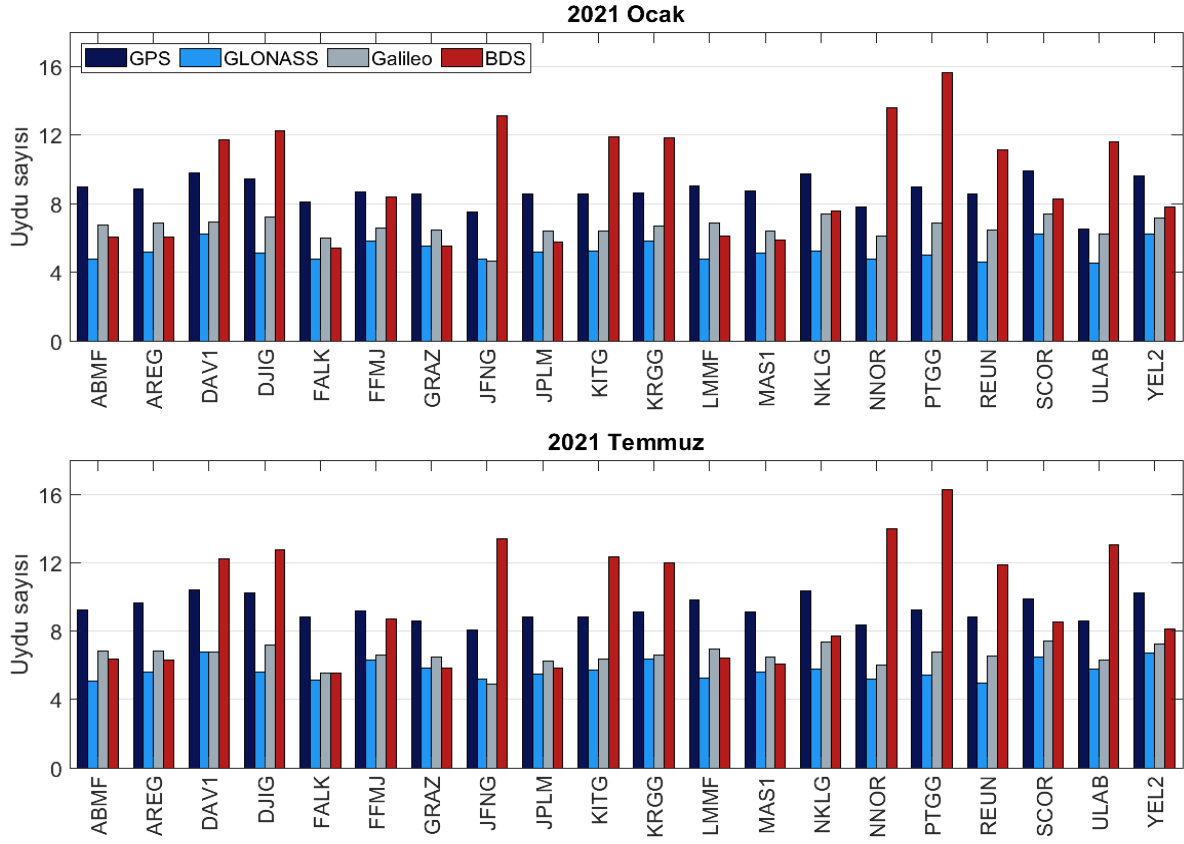
Bu çalışmada IGS gerçek zamanlı servisi aracılığıyla yayınlanan ve CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) analiz merkezi tarafından üretilen uydu yörünge ve saat düzeltmeleri kullanılmıştır (SSRA00CNE0). Gerçek zamanlı IGS ürünleri ve istasyonlara ait gözlemler BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) tarafından sağlanan NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) istemci programı BNC ile anlık olarak elde edilmiştir (BKG, 2021). IGS gerçek zamanlı ürünleri, navigasyon mesajı yardımıyla elde edilen uydu yörünge ve saat hatalarına düzeltme olarak sunulmaktadır. Dolayısıyla ilgili bağlantı aracılığıyla sistemlere ait navigasyon mesajları da elde edilmiştir. Gerçek

zamanlı uydu yörünge ve saat düzeltmelerinin mevcudiyeti uydu sistemine ve işlem zamanına göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle uygulama için seçilen test dönemleri için GPS, GLONASS, Galileo ve BDS uydularına ait gerçek zamanlı ürünlerin mevcudiyeti Şekil 3'te sunulmuştur. İlgili şekilde IGS gerçek zamanlı ürünlerinde uydu yörünge ve saat düzeltmesi sunulan tüm uydular yer almaktadır. Şekilden görüleceği üzere belirli günlerde (5., 15., 27. ve 190.) ürün mevcudiyeti oldukça düşüktür. Bunun temel nedeni servis sağlayıcısından kaynaklanan geçici sistem arızalarıdır. Dolayısıyla bu günlerin önemli bir bölümünde gerçek zamanlı uydu yörünge ve saat düzeltmelerine erişmek mümkün değildir. Ayrıca test dönemleri boyunca bazı uydular için gerçek zamanlı ürünler bulunmamaktadır. Bunların birçoğu zaten halihazırda kullanılabilir durumda olmayan uydulardır. Tüm test dönemi incelendiğinde GPS uydularının en yüksek ve BDS uydularının ise en düşük ürün mevcudiyet yüzdelere sahip olduğu görülmektedir.

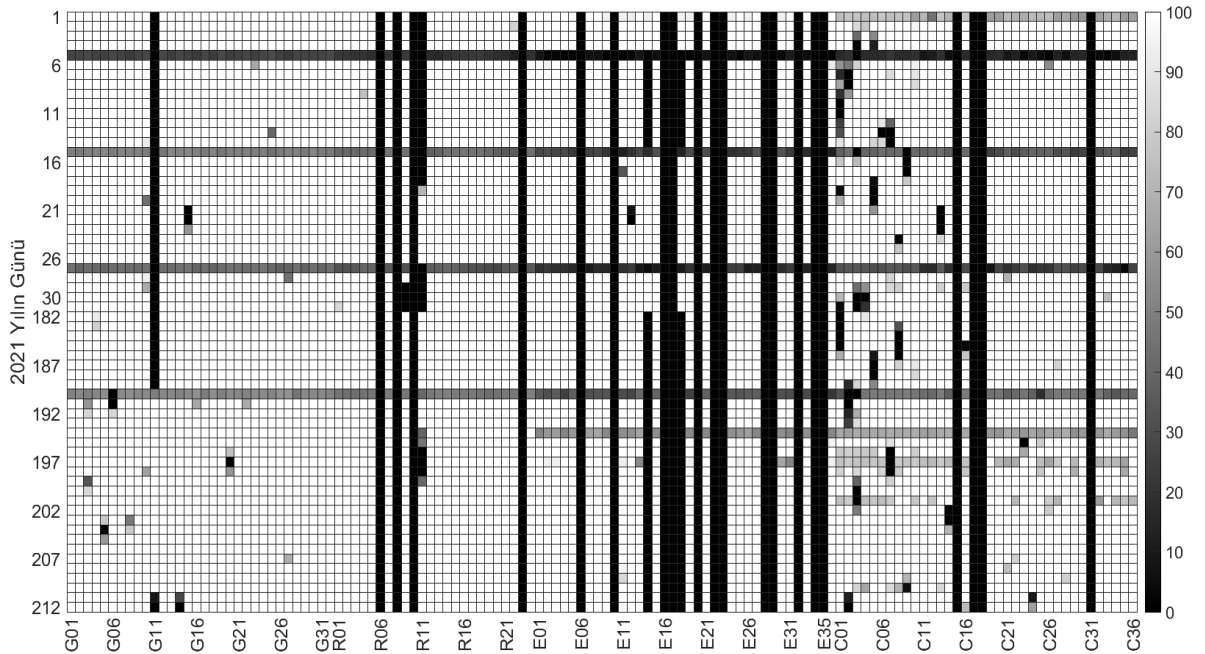
Bu çalışma kapsamında PPP çözümleri, PPPH yazılımının gerçek zamanlı çözümlere olanak sağlayan gelişmiş bir versiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Bahadır ve Nohutcu, 2018). GPS ve GLONASS uyduları için L1 ve L2, Galileo uyduları için E1 ve E5a, BDS uyduları için de B1 ve B2 sinyalleri üzerindeki kod ve faz gözlemleri kullanılarak oluşturulan çift frekanslı İB doğrusal kombinasyonlar kullanılmıştır. Yükselim açısı 5 derecenin altındaki uydular çözüme dahil edilmemiştir. Daha önce belirtildiği üzere CNES tarafından sağlanan gerçek zamanlı ürünler uydu yörünge ve saat düzeltmesini elde etmek için kullanılmıştır. Bu versiyonda GPT/VMF modellerinin çeşitli versiyonları kullanılabilmesine rağmen troposferin kuru bileşenini düzeltmek için en güncel model olan GPT3/VMF3, Saastamoinen modeliyle birlikte kullanılmıştır. Troposferin ıslak bileşeni ise $10^{-8} m^2s^{-1}$ 'lik bir spektral yoğunluk değeri kullanılarak epok bazlı kestirilmiştir. Alıcı anten faz merkezi ve değişimi güncel IGS anten modeli (igs14.atx) kullanılarak düzeltilmiştir. Yine rölativistik etkiler, faz dönüklüğü, katı Yer gelgiti ve okyanus yüklemesi uygun modeller kullanılarak düzeltilmiştir (Kouba, 2015). Kod ve faz gözlemleri için seçilen standart sapma değerleri sırasıyla 0,3 ve 0.003 m'dir. Uygulanan FDMA (Frequency Division Multiple Access) metodu frekanslar-arası sapmalar içerdiği için GLONASS uydularına ait kod gözlemlerinin standart sapma değerleri 0,6 m olarak seçilmiştir (Wanninger, 2012; Cai ve Gao, 2013; Guo, Li, Zhang ve Wang, 2017). Son olarak uydu yörünge ve saat bilgilerinin önemli ölçüde düşük doğruluğa sahip olması nedeniyle BDS

GEO uydularına ait kod ve faz gözlemleri için standart sapmalar kullanılan değerlerin 10 katı

olacak şekilde belirlenmiştir (Kazmierski, Hadas ve Sośnica, 2018; Wang ve diğerleri, 2019).



Şekil 2. GPS, GLONASS, Galileo ve BDS için seçilen istasyonlarda epok başına düşen ortalama görünür uydu sayıları.



Şekil 3. Test dönemleri boyunca IGS gerçek zamanlı ürünlerinin günlük mevcudiyet yüzdeleri.

c. ZTD Kestirim Sonuçları

Bu bölümde PPP ile gerçek zamanlı kestirilen troposfer sonuçları değerlendirilecektir. Bu amaçla 2021 ocak ve temmuz dönemlerine ait gözlem verileri önceki bölümde açıklanan işlem stratejileri uyarınca PPPH yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Burada GPS (G), GLONASS (R), Galileo (E) ve BDS (C) çözümlerine ek olarak dört sistemin ortak kullanıldığı çoklu-GNSS (M) çözümü ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. PPP çözümlerinden elde edilen epok bazlı troposferik ıslak bileşen ile kuru bileşen toplanarak toplam zenit gecikmesi, yani ZTD değerleri PPP çözümünün gerçekleştiği her epok için elde edilmiştir. PPP çözümlerini karşılaştırmak adına IGS tarafından yayınlanan hassas ZTD ürünleri referans olarak kullanılmıştır. Örnek olarak, JPLM ve NNOR istasyonları için yılın 1. ve 182. günlerine ait PPP çözümlerinden elde edilen ZTD kestirimleri IGS ürünlerinden elde edilen ZTD değerleri ile Şekil 4'te sunulmuştur. Şekilden anlaşılabileceği üzere PPP çözümlerinden elde edilen ZTD değerleri belirsizlik çözümü için gerekli olan yakınsama süresi nedeniyle başlangıçta IGS ürünlerinden önemli ölçüde sapmaktadır. Yakınsama süresinin ardından PPP çözümlerinden elde edilen ZTD değerlerinin IGS ürünlerine önemli ölçüde uyum gösterdiği söylenebilir. Diğer taraftan PPP çözümlerinden elde edilen ZTD değerlerinin istasyona ve zamana bağlı olarak kayda değer değişiklikler gösterebileceği yine şekilden gözlemlenmektedir. Farklı sistemlerin tekli PPP çözümleri arasında ZTD kestirimi açısından bazı performans farklılıklarının olduğu da şeklin ortaya koymuş olduğu bir diğer husustur.

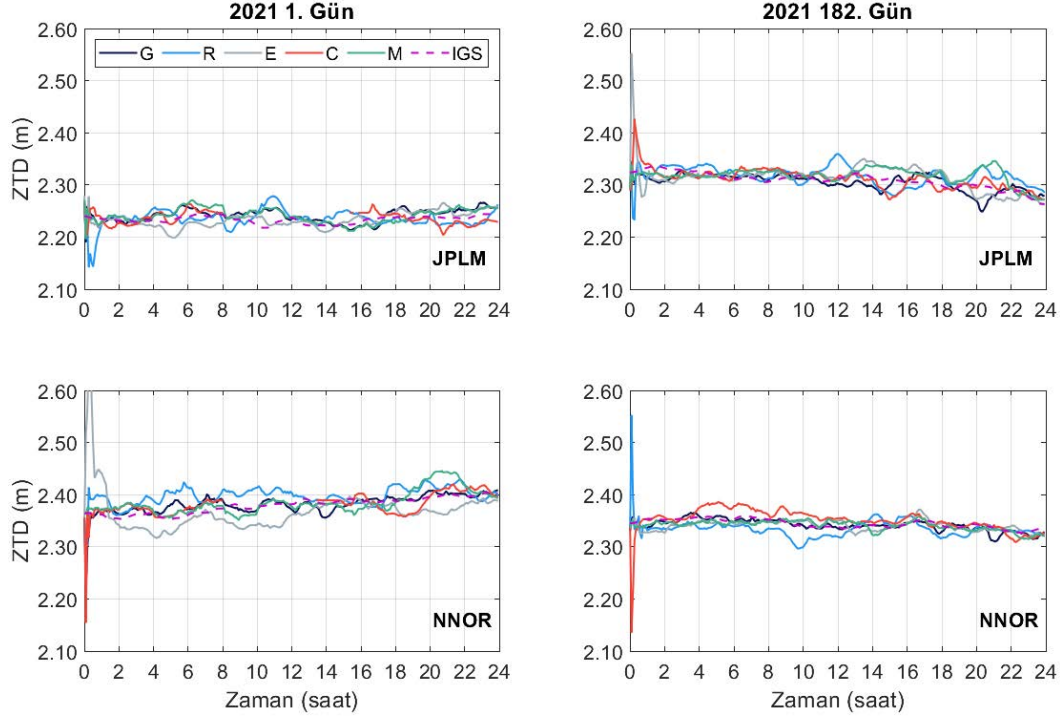
Diğer yandan PPP çözümlerinin ZTD kestirim performanslarını değerlendirebilmek için ilgili çözüm ile IGS hassas ürünlerinden elde edilen ZTD değerleri arasındaki farklar (dZTD) hesaplanmıştır. IGS ZTD ürünlerinin veri aralığı 300 saniye olduğu için dZTD değerleri yalnızca ilgili epoklarda PPP çözümlerinden elde edilen değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Yine JPLM ve NNOR istasyonları için tüm test dönemi boyunca farklı PPP çözümleri için hesaplanan dZTD değerleri Şekil 5'te sunulmuştur. Gerçek zamanlı ürünlerde, gözlem dosyalarında ve IGS ZTD ürünlerindeki bazı eksiklikler nedeniyle dZTD değeri elde edilemediği bazı durumlar nedeniyle şekilde bazı boşluklar mevcuttur. Bu çalışmada kestirim performansını değerlendirebilmek için RMS (Root Mean Square) hataları hesaplanmıştır. Bu hatanın Karesel Ortalama Hata (KOH) ile aynı anlamda kullanıldığı ancak uluslararası kullanıma uyum sağlamak amacıyla bu çalışmada RMS olarak nitelendirileceği belirtilmelidir. Ayrıca

yakınsama süresi nedeniyle ilgili çözümlerin her biri için ilk yarım saatte elde edilen değerler RMS hesabına dahil edilmemiştir. JPLM istasyonunda GPS, GLONASS, Galileo ve BDS çözümlerinden elde edilen dZTD değerleri için hesaplanan RMS hataları sırasıyla 1,94, 2,04, 1,48 ve 1,84 cm'dir. Burada Galileo çözümünün diğer çözümlere kıyasla daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Diğer taraftan aynı istasyon için çoklu-GNSS çözümünden elde edilen dZTD değerlerinin RMS hatası 1,37 cm olarak hesaplanmıştır. Çoklu-GNSS çözümüyle birlikte ZTD kestirim performansının önemli ölçüde iyileştiği söylenebilir. Öte yandan NNOR istasyonunda GPS, GLONASS, Galileo ve BDS çözümleri için RMS hataları 1,16, 1,91, 1,23 ve 1,95 cm olarak hesaplanmıştır. Bu istasyonda GPS çözümünün diğer tekli çözümlere kıyasla daha iyi bir kestirim performansı sergilediği açıktır. NNOR istasyonunda çoklu-GNSS çözümü için hesaplanan RMS hatası ise 1,14 cm'dir. Bu istasyon için de çoklu-GNSS çözümünden tekli çözümlere kıyasla daha düşük bir hata değeri elde edilmiştir.

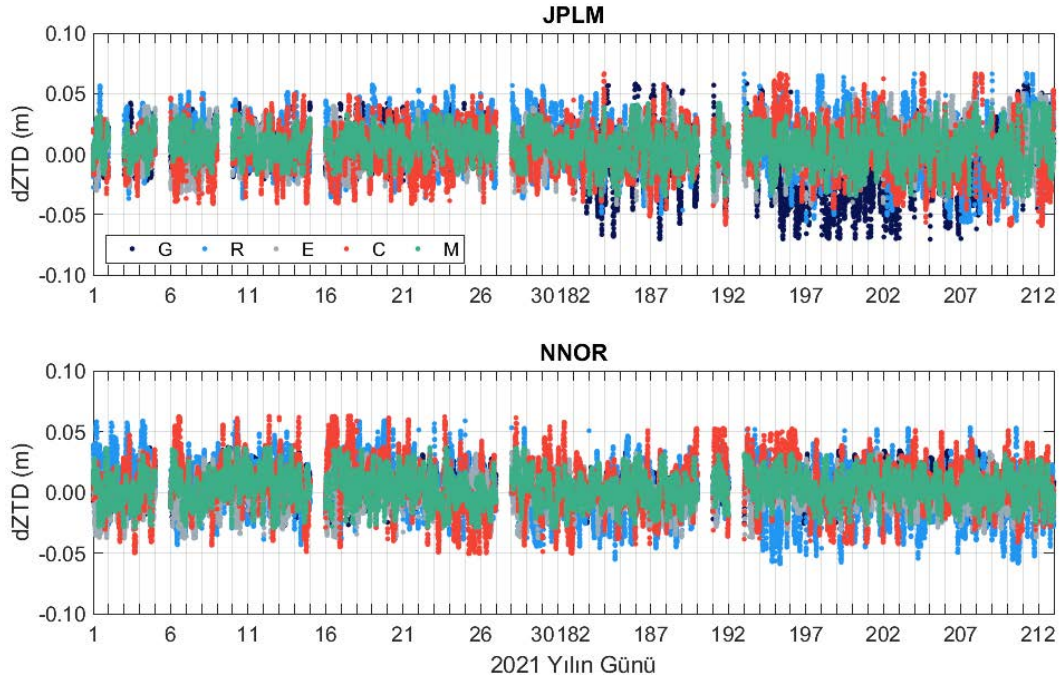
Yukarıdaki analizlerden PPP ile ZTD kestirim performansının istasyonlara ve döneme bağlı olarak değişebildiği anlaşılmıştır. Bu nedenle istasyonlar bazında farklı PPP çözümlerinden elde edilen dZTD değerlerine ait RMS hataları mevsimler göz önüne alınarak (2021 kış ve yaz) Tablo 1'de sunulmuştur. Burada ocak ve temmuz ayları kuzey ve güney yarım kürede (KYK ve GYK) farklı mevsimlere karşılık geldiğinden ilgili yarım küreye düşen istasyonlar farklı gruplarda sunulmuştur. Ayrıca 2021 kış dönemi için kuzey yarım küredeki istasyonlar için ocak ayına, güney yarım küredeki istasyonlar için temmuz ayına ait sonuçlar kullanılmıştır. Benzer şekilde 2021 yaz döneminde de kuzey ve güney yarım küre için sırasıyla temmuz ve ocak aylarına ait sonuçlar kullanılmıştır. Tablo incelendiğinde kış ve yaz dönemlerinde PPP çözümlerinden elde edilen dZTD değerlerine ait RMS hatalarının aynı istasyon için önemli ölçüde değişebileceği gözlemlenmektedir. Yine istasyonlar arasında da RMS hataları arasında önemli farklılıklar gözlenebilir. Buradaki farklılıklar istasyon konumu, istasyon yüksekliği, atmosfer koşulları ve uydu görünürlüğü gibi birçok farklı nedenden kaynaklanmaktadır. Tüm istasyon sonuçlarına bakıldığında kış döneminde tekli çözümler arasında hesaplanan en düşük RMS hataları 12 istasyonda GPS çözümünden, 7 istasyonda Galileo çözümünden ve bir istasyonda da BDS çözümünden elde edilmiştir. Benzer şekilde yaz döneminde en düşük RMS hataları 12 istasyonda GPS çözümünden, 7 istasyonda Galileo

çözümünden ve 1 istasyonda GLONASS çözümünden elde edilmiştir. Bu sonuçlar GPS ve Galileo çözümlerinin diğer tekli çözümlere göre daha iyi ZTD kestirim performansı sergilediğini göstermektedir. Ayrıca her iki test döneminde tüm

istasyonlar için en düşük RMS hataları çoklu-GNSS çözümünden elde edilmiştir. Bu da çoklu-GNSS çözümü kullanıldığında ZTD kestirim performansının önemli ölçüde iyileştirilebileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 4. JPLM ve NNOR istasyonları için iki farklı güne ait PPP çözümlerinden elde edilen ZTD kestirimleri.



Şekil 5. JPLM ve NNOR istasyonlarında test dönemi boyunca farklı PPP çözümlerinden elde edilen dZTD değerleri.

Tablo 1. Farklı PPP çözümlerinden elde edilen dZTD değerlerine ait istasyon bazlı RMS hataları (cm).

	İstasyon	2021 Kış					2021 Yaz				
		G	R	E	C	M	G	R	E	C	M
KYK	ABMF	1.86	2.11	1.84	1.85	1.36	1.72	2.18	1.63	2.05	1.42
	DJIG	1.51	2.23	1.76	2.32	1.46	1.25	1.99	1.46	2.31	1.22
	FFMJ	0.69	1.34	1.07	1.35	0.67	1.08	2.06	1.40	1.54	1.07
	GRAZ	0.69	1.28	1.00	1.77	0.66	0.98	1.85	1.29	2.40	0.97
	JFNG	2.19	1.58	1.55	2.20	1.46	2.27	3.39	1.85	3.08	2.12
	JPLM	1.47	1.91	1.30	1.62	1.24	2.41	2.16	1.67	2.06	1.50
	KITG	1.15	1.92	1.27	1.79	1.13	2.01	1.90	1.62	2.52	1.60
	LMMF	2.15	2.30	2.35	1.84	1.66	1.98	2.53	1.89	2.19	1.52
	MAS1	1.37	2.26	1.48	2.00	1.28	1.31	2.19	1.46	2.01	1.25
	PTGG	1.71	2.07	2.07	2.64	1.71	1.73	2.60	1.89	2.85	1.68
	SCOR	1.30	2.10	1.29	1.71	1.16	1.14	1.71	1.17	1.57	1.08
	ULAB	2.36	1.92	1.17	1.90	1.09	1.50	1.85	1.49	1.97	1.36
	YEL2	0.87	1.17	1.25	1.26	0.83	1.12	1.77	1.16	1.68	0.99
GYK	AREG	1.47	1.58	1.71	1.84	1.41	1.47	1.69	1.87	1.85	1.45
	DAV1	1.07	1.31	1.10	1.57	1.04	0.96	1.64	1.33	1.76	0.91
	FALK	1.62	2.02	1.46	2.02	1.48	2.32	2.44	1.81	2.59	1.80
	KRGG	1.31	2.06	1.65	1.94	1.25	1.38	1.98	1.68	2.09	1.34
	NKLG	1.75	1.75	1.50	2.11	1.54	2.50	2.11	2.31	2.81	1.98
	NNOR	1.15	1.92	1.17	1.77	1.13	1.18	1.89	1.30	2.12	1.17
	REUN	1.14	2.17	1.26	1.59	1.10	1.79	2.31	2.15	2.17	1.55

KYK: Kuzey yarım küre, GYK: Güney yarım küre

Son olarak PPP çözümlerinden elde edilen dZTD değerlerine ait olasılık dağılımları Şekil 6'da sunulmuştur. Burada olasılık dağılımları kış ve yaz dönemleri için ayrı ayrı tüm istasyonlara ait çözümler göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Tablo 1'de verilen sonuçlara benzer şekilde kış ve yaz dönemleri farklı yarım kürelerdeki mevsimler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Şekilde orijinal frekans değerleri yerine bu frekansların toplam epok sayısına oranından hesaplanan olasılık değerleri sunulmuştur. Şekillerde ayrıca ilgili çözümlere ait ortalama ve RMS değerleri de olasılık dağılımlarıyla birlikte yer almaktadır. İlk sütun 2021 kış (K) dönemine ait çözümleri içerirken yaz (Y) dönemine ait dağılımlar ikinci sütunda sunulmuştur. Şekilden, tüm çözümler için yaz dönemine ait RMS değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca RMS değerleri incelendiğinde kış ve yaz dönemleri arasındaki farkların 4,7 mm'ye kadar varabildiği görülmektedir. GPS, Galileo ve çoklu-GNSS çözümleri için dönemsel farklar ise 2 mm'nin altındadır. Dolayısıyla bu çözümler için dönemler arasında sonuçların daha uyumlu olduğu söylenebilir. Tekli sistemler arasında gerek kış döneminde gerekse yaz döneminde GPS ve Galileo çözümlerinin birbirleriyle karşılaştırılabilir RMS değerlerine sahip olduğu ve ayrıca GLONASS ve BDS çözümlerinden önemli ölçüde daha iyi performans sergilediği görülmektedir. Galileo'nun, GPS'ye kıyasla daha az uydu

sayısına sahip olmasına rağmen GPS'ye yakın bir performans sergilemesinin nedeni olarak Galileo gözlemlerinin daha düşük gürültü seviyesine sahip ve ayrıca çoklu yol (multipath) etkisine karşı daha dayanıklı olması gösterilebilir (Hadas, Kazmierski ve Sośnica, 2019; Xia ve diğerleri, 2019). Diğer taraftan çoklu-GNSS çözümü her iki test dönemi için tekli sistemlere kıyasla çok daha düşük RMS değerlerine sahiptir. Çoklu-GNSS çözümü GPS çözümüne kıyasla kış döneminde %14,1, yaz döneminde ise %12,5 olmak üzere ortalama %13,2 daha iyi performansa sahiptir. Bu sonuçlar bize dört sistemin ortak olarak kullanılması durumunda PPP ile gerçek zamanlı troposferik gecikme kestiriminde kayda değer oranda daha yüksek doğruluğa ulaşılabileceğini göstermektedir.

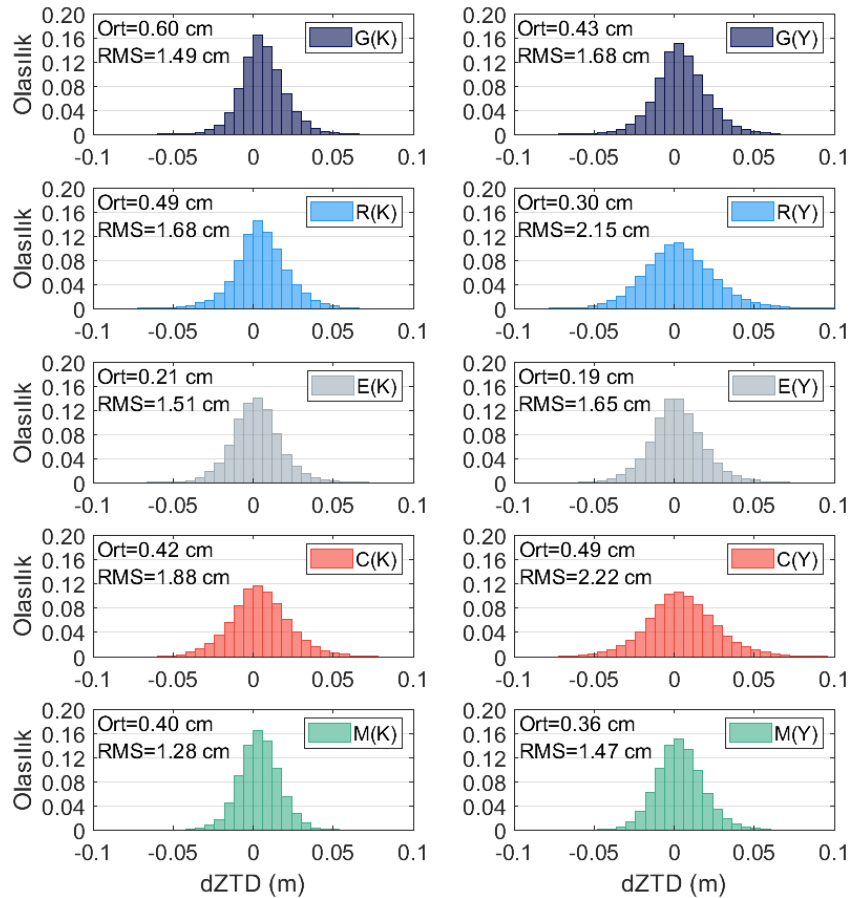
4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, GPS, GLONASS, Galileo ve BDS olmak üzere dört küresel uydu sisteminin PPP ile gerçek zamanlı ZTD kestirimi açısından en güncel performansları değerlendirilmiştir. Ayrıca dört küresel sistemin ortak olarak kullanıldığı çoklu-GNSS çözümünün gerçek zamanlı ZTD kestirimi performansı da bu çalışma kapsamında analiz edilmiştir. Uygulamada 2021 yılının ocak ve temmuz ayına ait iki farklı dönem için 20 IGS MGEX istasyonuna ait gözlemler gerçek zamanlı PPP çözümlerinde kullanılmıştır. PPP çözümlerinden elde edilen ZTD kestirimleri

IGS tarafından yayınlanan ZTD değerleri ile karşılaştırılarak performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak dört küresel sistemin uydu takımlarındaki son durumu analiz edebilmek için seçilen istasyonlarda uydu görünürlüğü analizi de gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar, son yıllarda fırlatılan uydularla birlikte Galileo ve BDS sistemlerinin GNSS uygulamaları açısından bağımsız kullanımlarına müsaade edecek şekilde önemli bir uydu görünürlüğüne ulaştığını göstermektedir. Tüm istasyon sonuçları göz önüne alındığında GPS, GLONASS, Galileo ve BDS için kış döneminde elde edilen troposfer kestirimlerine ait RMS değerleri sırasıyla 1,49, 1,68, 1,51 ve 1,88 cm olarak hesaplanırken bu değerler yaz dönemi için 1,68, 2,15, 1,65 ve 2,22 cm'dir. Bu sonuçlar GPS ve Galileo'nun PPP ile gerçek zamanlı ZTD kestiriminde birbirine oldukça yakın bir performans sergilediğini göstermektedir. Ayrıca GLONASS ve BDS çözümlerinin performansı bu iki çözümün önemli ölçüde gerisinde kalmaktadır. Galileo çözümünün bu yüksek performansı sinyallerinin diğer sistemlere kıyasla daha düşük gürültü seviyesine sahip olmasıyla ilişkilendirilebilir. Diğer

tarafından bu dört sistemin ortak olarak kullanıldığı çoklu-GNSS çözümü kış ve yaz dönemlerindeki ZTD kestirimleri için sırasıyla 1,28 ve 1,47 cm RMS değerlerine sahiptir. Bu sonuçlar GPS çözümü ile kıyaslandığında çoklu-GNSS çözümünün gerçek zamanlı ZTD kestirimi performansını kış ve yaz dönemlerinde sırasıyla %14,1 ve %12,5 oranında iyileştirdiğini göstermektedir. Her iki dönem göz önünde bulundurulduğunda bu iyileştirme oranı ortalama %13,2 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar çoklu-GNSS PPP çözümünün kullanılması durumunda çok daha yüksek doğrulukta gerçek zamanlı ZTD değerlerinin elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Son yıllarda yeni ortaya çıkan sistemlerin uydu takımlarındaki ve uydu yörünge/saat ürünlerindeki gelişmeler göz önüne alındığında bu sistemlerin gerçek zamanlı troposfer kestirimi çalışmalarında kullanılması üzerine olan ilginin artarak devam edeceği söylenebilir. İlave olarak çoklu-GNSS entegrasyonlarında kullanılan fonksiyonel ve stokastik modellerin geliştirilmesi gerçek zamanlı troposfer kestirimi çalışmalarında daha yüksek performans elde etmek açısından oldukça önem taşıyan bir konu olmaya devam etmektedir.



Şekil 6. Farklı PPP çözümlerinden elde edilen dZTD değerlerine ait olasılık dağılımları.

ORCID

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

KAYNAKLAR

- Abd Rabbou, M., El-Shazly, A. ve Ahmed, K. (2018). Comparative analysis of multi-constellation GNSS single-frequency precise point positioning. *Survey Review*, 50(361), 373-382. doi: 10.1080/00396265.2017.1296628
- Bahadur, B. ve Nohutcu, M. (2018). PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis. *GPS Solutions*, 22(4), 1-10. doi: 10.1007/s10291-018-0777-z
- Bevis, M., Businger, S., Chiswell, S., Herring, T.A., Anthes, R.A., Rocken, C. ve Ware, R.H. (1994). GPS meteorology: Mapping zenith wet delays onto precipitable water. *Journal of Applied Meteorology*, 33(3), 379-386. doi: 10.1175/15200450(1994)033<0379:GMMZW D>2.0.CO;2
- BKG, (2021). BKG NTRIP Client (BNC). Erişim adresi: <https://igs.bkg.bund.de/ntrip/download>
- 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
- Davis, J.L., Herring, T.A., Shapiro, I.I., Rogers, A.E.E. ve Elgered, G. (1985). Geodesy by radio interferometry: Effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length. *Radio Science*, 20(6), 1593-1607. doi: 10.1029/RS020i006p01593
- De Haan, S. (2013). Assimilation of GNSS ZTD and radar radial velocity for the benefit of very-short-range regional weather forecasts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 139(677), 2097-2107. doi: 10.1002/qj.2087
- Dousa, J. ve Vaclavovic, P. (2014). Real-time zenith tropospheric delays in support of numerical weather prediction applications. *Advances in Space Research*, 53(9), 1347-1358. doi: 10.1016/j.asr.2014.02.021
- Ge, Y., Chen, S., Wu, T., Fan, C., Qin, W., Zhou, F. ve Yang, X. (2021). An analysis of BDS-3 real-time PPP: Time transfer, positioning, and tropospheric delay retrieval. *Measurement*, 172, 108871. doi: 10.1016/j.measurement.2020.108871
- Guo, F., Li, X., Zhang, X. ve Wang, J. (2017). The contribution of Multi-GNSS Experiment (MGEX) to precise point positioning. *Advances in Space Research*, 59(11), 2714-2725. doi: 10.1016/j.asr.2016.05.018
- Hadas, T. ve Bosy, J. (2015). IGS RTS precise orbits and clocks verification and quality degradation over time. *GPS Solutions*, 19(1), 93-105. doi: 10.1007/s10291-014-0369-5
- Hadas, T., Teferle, F.N., Kazmierski, K., Hordyniec, P. ve Bosy, J. (2017). Optimum stochastic modeling for GNSS tropospheric delay estimation in real-time. *GPS Solutions*, 21(3), 1069-1081. doi: 10.1007/s10291-016-0595-0
- Hadas, T., Kazmierski, K. ve Sośnica, K. (2019). Performance of Galileo-only dual-frequency absolute positioning using the fully serviceable Galileo constellation. *GPS Solutions*, 23(4), 1-12. doi: 10.1007/s10291-019-0900-9
- Hadas, T. ve Hobiger, T. (2020). Benefits of Using Galileo for Real-Time GNSS Meteorology. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 18(10), 1756-1760. doi: 10.1109/LGRS.2020.3007138
- Kazmierski, K., Hadas, T. ve Sośnica, K. (2018). Weighting of multi-GNSS observations in real-time precise point positioning. *Remote Sensing*, 10(1), 84. doi: 10.3390/rs10010084
- 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>
- Landskron, D. ve Böhm, J. (2018). VMF3/GPT3: refined discrete and empirical troposphere mapping functions. *Journal of Geodesy*, 92(4), 349-360. doi: 10.1007/s00190-017-1066-2

- Lee, S.W., Kouba, J., Schutz, B., Kim, D.H. ve Lee, Y.J. (2013). Monitoring precipitable water vapor in real-time using global navigation satellite systems. *Journal of Geodesy*, 87(10), 923-934. doi: 10.1007/s00190-013-0655-y
- Li, X., Dick, G., Lu, C., Ge, M., Nilsson, T., Ning, T., Wickert, J. ve Schuh, H. (2015a). Multi-GNSS meteorology: real-time retrieving of atmospheric water vapor from BeiDou, Galileo, GLONASS, and GPS observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(12), 6385-6393. doi: 10.1109/TGRS.2015.2438395
- Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J. ve Schuh, H. (2015b). Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo. *Journal of Geodesy*, 89(6), 607-635. doi: 10.1007/s00190-015-0802-8
- Lu, C., Chen, X., Liu, G., Dick, G., Wickert, J., Jiang, X., Zheng, K. ve Schuh, H. (2017). Real-time tropospheric delays retrieved from multi-GNSS observations and IGS real-time product streams. *Remote Sensing*, 9(12), 1317. doi: 10.3390/rs9121317
- Pan, L. ve Guo, F. (2018). Real-time tropospheric delay retrieval with GPS, GLONASS, Galileo and BDS data. *Scientific Reports*, 8(1), 1-17. doi: 10.1038/s41598-018-35155-3
- Saastamoinen, J. (1972). Contributions to the theory of atmospheric refraction. *Bulletin Géodésique*, (1946-1975), 105(1), 279-298. doi: 10.1007/BF02521844
- 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
- Teunissen, P.J.G. ve Montenbruck, O. (2017). Springer handbook of global navigation satellite systems, Springer.
- Wang, L., Li, Z., Ge, M., Neitzel, F., Wang, X. ve Yuan, H. (2019). Investigation of the performance of real-time BDS-only precise point positioning using the IGS real-time service. *GPS Solutions*, 23(3), 1-12. doi: 10.1007/s10291-019-0856-9
- Wanninger, L. (2012). Carrier-phase inter-frequency biases of GLONASS receivers. *Journal of Geodesy*, 86(2), 139-148. doi: 10.1007/s00190-011-0502-y
- Wilgan, K., Rohm, W. ve Bosy, J. (2015). Multi-observation meteorological and GNSS data comparison with Numerical Weather Prediction model. *Atmospheric Research*, 156, 29-42. doi: 10.1016/j.atmosres.2014.12.011
- Xia, F., Ye, S., Xia, P., Zhao, L., Jiang, N., Chen, D. ve Hu, G. (2019). Assessing the latest performance of Galileo-only PPP and the contribution of Galileo to Multi-GNSS PPP. *Advances in Space Research*, 63(9), 2784-2795. doi: 10.1016/j.asr.2018.06.008
- Zhao, Q., Yao, Y., Yao, W. ve Li, Z. (2018). Real-time precise point positioning-based zenith tropospheric delay for precipitation forecasting. *Scientific Reports*, 8(1), 1-12. doi: 10.1038/s41598-018-26299-3
- 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

Topografik Veri Tabanı Güncellemelerinin 1:25.000 Ölçekli Topografik Haritalara Aktarımına Yönelik Bir İnceleme

(A Study of Transferring Topographic Database Updates to 1:25.000 Scale Topographic Maps)

Fatih KALLE¹ , Hüseyin Zahit SELVİ² , İlkay BUĞDAYCI² 

¹Harita Genel Müdürlüğü, 06800, Çankaya, Ankara

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

*Sorumlu yazar: fatih.kalle@harita.gov.tr

Geliş Tarihi (Received): 10.08.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 12.01.2022

ÖZ

Ülke genelinin ya da amaca yönelik belirlenen geniş alanların coğrafi veri üretimi ve yönetimi uygulamaları mekânsal veri tabanları üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu veri tabanları üzerinde barındırılan veriler düzenli olarak güncellenmekte ve yapılan güncellemeler sonunda tamlığı oluşmuş bir veri setinin elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşmak için uygun güncelleme tekniklerinin uygulamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Veri tabanlarında bulunan mevcut veriler, farklı referans veriler ile bütünleştirilerek veya güncel altlıklar üzerinden eksikleri tamamlanarak güncellenmektedir. Güncelleme uygulamaları obje bazında gerçekleştirilmekte ve objelere ait değişim türleri tekil tanımlayıcı, güncelleyen kişi bilgisi, güncelleme türü gibi öznitelik bilgileri üzerinden takip edilebilmektedir.

Veri tabanları üzerinde meydana gelen değişimler bu veri tabanlarını doğrudan kaynak olarak kullanan harita üretim süreçlerini de doğrudan ilgilendirmektedir. Topografik haritaların kartografik üretimi sürecinde önemli sürelerin harcandığı göz önünde bulundurulduğunda mevcut kartografik düzenlemelerin korunması ve harita güncelleme uygulamalarının veri tabanlarında olduğu gibi obje bazında yapılması daha uygun olacaktır. Bu şekilde daha kısa zaman ve az personel ile birlikte hızlı üretimler yapılabilecek ve kullanıcılara güncel haritalar sunulabilecektir. Bu çalışmada, Harita Genel Müdürlüğünde (HGM) kullanılan topografik veri modeli ve kartografik model arasındaki mevcut ilişkilerin incelenmesi yapılmış ve obje bazında yapılacak güncelleme çalışmalarında kartografik modelde yapılacak uygulamalar için çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Topografik harita üretimi, güncelleme, otomatik değişim tespiti, topografik veritabanı

ABSTRACT

Geographical data production and management applications for the country or for specifically defined large areas are carried out on spatial databases. The data hosted on these databases are updated regularly and it is aimed to obtain a complete data set as a result of the renewals. In order to achieve this goal, the application of appropriate update techniques is needed. The existing data in the databases are

updated by integrating with different reference data or by completing the deficiencies on the current maps. Update applications are carried out on an object basis, and the change types of objects can be tracked through attribute information such as unique id, updater information, update type.

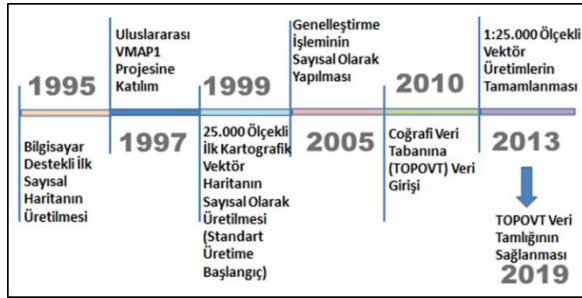
Changes in databases are directly related to the map production processes that use these databases as a source. Considering that significant time is spent in the process of cartographic production of topographic maps, it would be more appropriate to preserve the existing cartographic arrangements and to make map update applications on an object basis, as in databases. In this way, faster production will be possible with shorter time and less personnel, and up-to-date maps will be presented to the users. In this study, the existing relationships between the topographic database and the cartographic model which are used in the General Directorate of Mapping (GDM) were examined, and solution suggestions were presented for the update applications to be made in the cartographic model on an object basis.

Keywords: Topographic mapping, update, automated change detection, topographic database

1. GİRİŞ

Millî Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü (HGM) yurtiçi ve yurtdışı coğrafi verileri toplamakta ve bunlardan türettiği haritaları basılı olarak ya da çeşitli platformlar üzerinden (HGM Atlas, TOPOVT vb.) sayısal olarak kullanıcılara sunmaktadır. Bu kapsamda mevcut topografik harita üretim sisteminde sırası ile jeodezik yöntemlerle yer kontrol noktalarının tesisi ve ölçümü, ilgili bölgenin hava fotoğraflarının çekimi, kıymetlendirme, topografik bütünleme ve veri yapılandırma çalışmalarının ardından kartografik yöntemlerle harita üretimi faaliyetleri yürütülmektedir (Çobanoğlu, 2016). İfade edilen tüm bu faaliyetlerin sonunda; topografyayı ifade eden bir coğrafi veri kümesi ve bu veri kümesine yapılan kartografik uygulamalar ile 1:25.000 ölçekli kartografik veri setleri elde edilmektedir.

Harita Genel Müdürlüğünde sayısal harita üretim çalışmalarına 1990'lı yıllarda başlanmış ve 2007 yılından itibaren tüm ölçeklerdeki üretimler sayısal ortamda gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi 1999 yılında 1:25.000 ölçekli standart kartografik vektör harita üretim çalışmaları başlatılmış ve 2013 yılında yurt içi tüm üretimler tamamlanmıştır. 2010 yılında Türkiye Topografik Vektör Veri Tabanı (TOPOVT) hayata geçirilmeden önceki zaman dilimi içinde, fotogrametrik kıymetlendirme ile oluşturulan "dgn" formatlı CAD (Computer Aided Design) yapıdaki dosya verileri 1:25.000 ölçekli haritaların kaynak verileri olmuştur. 2010 yılından itibaren TOPOVT kurulumu ile birlikte kaynak veriler buradan karşılanmaya başlanmıştır. TOPOVT, tüm ülke çapında fotogrametrik kıymetlendirmeler ile elde edilen yüksek çözünürlükteki coğrafi verinin sınıflandırılması, ilişkilerinin kurulması ve topolojik kurallarının tanımlanması ile oluşturulmuş coğrafi bir veri tabanıdır (Yılmaz, Okul ve Canıberk 2017).



Şekil 1. Topografik harita üretim süreçleri

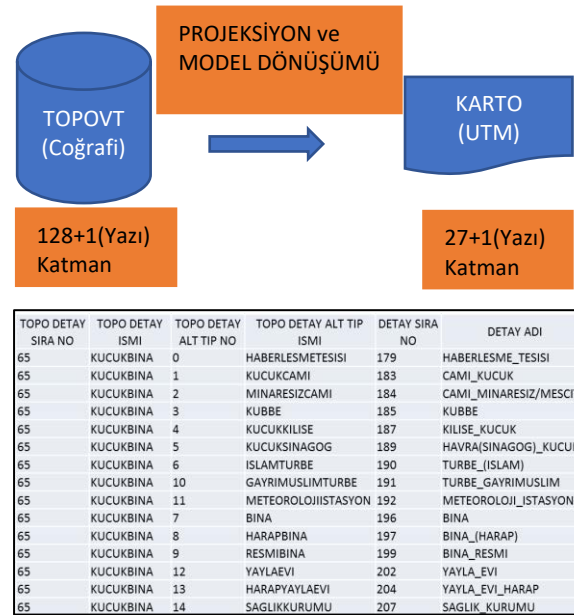
Günümüzde deprem, yangın gibi doğal olaylardan ve hızlı yapılaşmadan dolayı yeryüzü sürekli değişmektedir. Değişimin hızlı ve fazla miktarda gerçekleşmesi, harita üretim periyotlarının zorunlu şekilde kısaltılması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır (Kesgin, 2013). Haritaların hızlı şekilde üretilebilmesi; otomasyon oranının artırılması, düzenleme ve kontrol süreçlerinin kısaltılarak doğruluk ve nefaset kurallarının hafifletilmesi veya değişimlerin otomatik şekilde tespit edilerek mevcut harita verisinin üzerine aktarılması gibi belirlenecek yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada hızlı harita üretimi için değişimlerin tespitine yönelik değerlendirmelerde bulunulmuştur. Geçmişten günümüze meydana gelen değişimlerin sağlıklı şekilde tespiti, mevcut kartografik ürünlerin sadece değişikliklere göre düzenlenmesine ve eski kartografik tecrübelerin korunmasına imkân sağlayacaktır. Mevcut durumda tecrübeli kartografların yapmış olduğu

haritalar, otomasyonla üretilen haritalardan kalite olarak daha iyi durumdadırlar (Çap, Selvi ve Buğdaycı 2020).

2. HGM COĞRAFI VERİ ÜRETİM SÜREÇLERİ

Harita Genel Müdürlüğünde coğrafi veri üretiminde, güncel fotoğraflar üzerinden fotogrametrik kıymetlendirmenin tamamlanmasına müteakip TOPOVT veri yapılandırılmaları yapılmakta ve devamında veri modeli ve projeksiyon dönüşümleri ile kartografik harita üretim süreçleri başlatılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Veri modeli dönüşümü

Gelişmiş ülkelerin birçoğunda ulusal ölçekte topografik veri tabanları bulunmakta ve bu veri tabanlarının güncel tutulması noktasında farklı yöntemler ortaya koyulmaktadır. Harita Genel Müdürlüğünde Türkiye'nin tamamını kapsayan coğrafi verilerin TOPOVT'de birinci versiyon olarak tutulmaya başlanmasından önce, fotogrametrik kıymetlendirme çalışmaları TOPOVT'den veri almadan sıfırdan veri üretimi şeklinde yürütülmüştür. 2019 yılından itibaren kıymetlendirme çalışmalarının baştan yapılmasının, bazı objelerde geçmişte yapılan düzenlemelerin tekrarı olacağı değerlendirilmiş ve güncelleme yöntemi ile üretime geçilmesine yönelik çalışmalar başlatılmıştır. Bu şekilde mevcut objelerden zaman içinde değişime uğrayanlar günümüz şartlarına uygun hale getirilecektir. Sadece değişimlerin üzerinden yapılan bu uygulama sayesinde hızlı üretimler

gerçekleştirilecek, personel ve zaman tasarrufu arttırılacaktır. TOPOVT güncelleme uygulamaları kullanılan kaynak verilerine veya uygulanan güncelleme yöntemlerine göre farklı şekillerde yapılabilmektedir. Buna göre;

- Herhangi bir bölgenin TOPOVT verilerinin güncellemesi güncel hava fotoğrafı altlıkları üzerinden yapılabilmektedir (Şekil 3). Bunun için veriler operatörlerin kendi bilgisayarlarında geçici bir veri tabanına (ESRI File Geodatabase) kopyalanmakta ve güncellenen tamamlanmasının ardından kurumsal veri tabanına aktarım sağlanmaktadır.



Şekil 3. Mevcut verinin güncel altlık üzerinden güncellenmesi

- TOPOVT güncellemeleri diğer kurum ve kuruluşlardan alınan vektör verilerin mevcut veriler ile bütünleştirilmesi şeklinde yapılabilmektedir. Örneğin Karayolları Genel Müdürlüğünden alınan yollar ile tüm ülke yollarının güncellemesi yapılabilmektedir.

- Bölgesel olarak oluşan büyük çaplı değişimler için sıralı harita üretim faaliyeti beklenmeden güncelleme yapılabilmektedir.

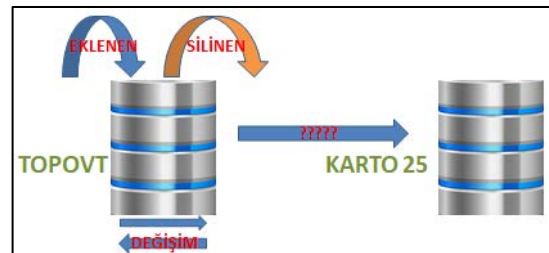
TOPOVT üzerinde tutulan tüm verilere ArcGIS yetenekleri ile oluşturulmuş tekil tanımlama bilgisi (Global ID) eklenmiştir (ESRI, 2021). Bu tekil tanımlayıcı bilgiler değişmez değerler olup objeler veri tabanında kaldığı sürece sadece ilgili objeyi tanımlamada kullanılan bir değer olarak tutulmaktadır (Çobankaya, 2015). Ayrıca yukarıda birinci sırada ifade edilen yöntem ile yapılan güncelleme çalışmalarında ArcGIS Düzenleme Takibi (ArcGIS Editor Tracking) özelliği kullanılmaktadır. Bu özellik, operatör bilgisayarlarında gerçekleşen tüm değişikliklerin (güncelleyen kişi bilgisi, güncelleme türü, güncelleme zamanı vb.) metaveri bilgilerini kayıt altına almak ve meydana gelen değişim türlerini ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır (Yüksel vd., 2017).

3. TOPOGRAFİK HARİTA ÜRETİMİ

Topografik haritaların üretiminde uygulanan kartografik yöntemler ile mekânsal bir veri tabanından alınan coğrafi verilerin geometrik doğruluk standartlarına uygun şekilde okunurluğu sağlanmaktadır. Bu uygulamaya yönelik üretimler, standartlaştırılmış kural ve modellere bağlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Harita Genel Müdürlüğü kartografik harita üretim sisteminde genel olarak; TOPOVT'den alınan vektör verilere harita sembollerinin oluşturulması, kartografik işlemler uygulanarak veri düzenlemelerin yapılması, harita yazılarının yazılması ve kitabe ve pafta kenar bilgilerinin eklenerek paftanın baskıya hazır hale getirilmesi işlemleri uygulanmaktadır. Mevcut harita üretim sistemi içinde mekânsal veri tabanının güncellenmesi buna bağlı kartografik haritaların üretimi periyodik olarak birbirini takip etmektedir. Ancak arazi yapısında veya yapılaşmada önemli bir değişim olması durumunda sıralı güncelleme faaliyetleri beklenilmeden gerekli harita üretim çalışmaları yapılmaktadır.

Kartografik model, 2000'li yılların başından itibaren sayısal üretime geçiş ile oluşturulmuş ve bu şekilde tüm ülke haritalarının üretimi tamamlanmıştır. Benimsenen kartografik modelde VMAP veri yapısına benzer şekilde sınıflandırmalar yapılmış ve bu sınıflandırmada obje benzerlikleri, öznetelikleri, kartografik özellikleri dikkate alınmıştır. TOPOVT modelinde ise 1:25.000 ölçekli ve daha yüksek çözünürlüklü, topolojik ve üç boyutlu topografik vektör verilerin daha ayrıntılı sınıflandırıldığı bir yapı oluşturulmuştur. Mevcut durumda hem mekânsal hem de kartografik olarak oluşturulmuş iki modelde obje sınıfları arasında ilişki tablosu ile dönüşümler yapılabilmekte fakat modellerin oluşturulma dönemlerinin birbirinden bağımsız zamanlarda olmasından dolayı her iki veri kümesinde bulunan objeler arasında tablosal bir ilişki bulunmamaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. TOPOVT-Kartografik model ilişkisi

Harita Genel Müdürlüğünde sayısal kartografik harita üretiminin TOPOVT kurulumundan önce başlamasından dolayı günümüze kadar yapılan harita üretimleri paftanın tamamen baştan düzenlenmesi şeklinde yapılmıştır. Bir bölgenin güncel haritasının oluşturulması uygulamasında kartografik yöntemlerin baştan sona aynı şekilde tekrarlanması zaman ve personel kullanımı bakımından önemli bir maliyet oluşturmaktadır. Türkiye sınırları içerisinde bulunan toplam 5530 adet 1:25.000 ölçekli haritanın ve bunların üretimine bağlı diğer 1:50.000 ve 1:100.000 ölçekli haritanın üretim süreçleri göz önünde bulundurulduğunda mevcudun sadece değişimlere göre kartografik düzenlemeye tabi tutulması hususu ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada anlatılan ve uygulamaya konulması hedeflenen obje temelli güncelleme teknikleri sayesinde daha önce uygulanan kartografik teknik ve tecrübeler muhafaza edilecek, kısa zamanda daha fazla üretim yapılabilecek ve personel tasarrufu sağlanabilecektir.

4. GÜNCELLEME YAKLAŞIMLARI

Topografik haritaların güncellenmesinde kullanılacak yöntem ve uygulamalara yönelik yapılan araştırmalarda nokta, çizgi ve alan geometri türündeki objelerin güncellenmesine yönelik birçok çalışmanın yapıldığı görülmüştür. Çalışmaların çoğunluğunda mekânsal veri tabanları üzerinde bulunan objelerin, geometrik yöntemlere dayalı güncellenmesi uygulamaları yapılmıştır. Ancak daha önce kartografik düzenlemesi yapılmış bir veri setine değişimlerin kural tabanlı aktarımı ve bu uygulama ile geçmişte yapılan kartografik uygulamaların korunmasının amaçlandığı çok fazla çalışmanın olmadığı görülmüştür.

Coğrafi veri tabanlarının güncelleştirilmesi önemli bir durum olmasına karşın uygulamada kullanılan teknikler oldukça zahmetlidir. Varrantaus, Fairbairn ve Kraak, (2009) güncelleme için iki temel yaklaşımdan bahsetmiştir. Bu yaklaşımlardan birincisi, yeni öznelik bilgilerinin eklenmesi ile güncellenen büyük ölçekli harita verilerinden daha küçük ölçekli haritaların üretildiği sürekli güncellemedir. İkinci yaklaşım ise görüntü altlıklarından değişim tespiti yöntemi ile ya da görüntü altlıklarından yorumlanan yeni verilerin kullanılması ile yapılan güncellemelerdir.

Güncelleme uygulamaları ile mevcut harita verilerinin konumsal ve kavramsal eksiklerinin tamamlanması için güncel veriler ile

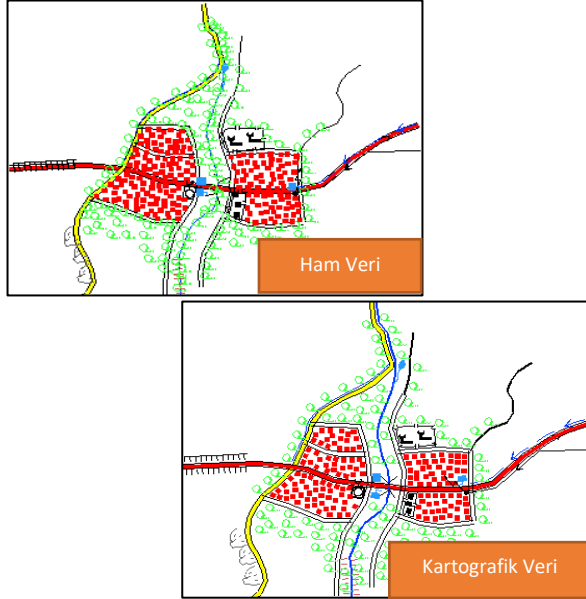
bütünleşmesinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır (Saalfeld 1988, Cobb ve diğerleri, 1998). Bu uygulama için mevcut veri setleri referans olarak kabul edilen farklı veri setleri ile obje bazında eşleştirilmekte ve eşlemeye uygun objeler geometrik ve kavramsal olarak güncel hale getirilmektedir.

Topografik veri tabanında yapılan güncellemeler ölçekten bağımsız olarak çözünürlük kavramı ile değerlendirilmekte ve buna bağlı olarak kaynak veriye göre objelerin yoğunluğu veya metaverilerinin güncellenmesi çalışmaları yürütülmektedir. Bu durum topografyanın son halinin sayısal bir veri tabanına aktarılması olarak özetlenebilir (Başaraner, 2005). Kartografik ürünlerin güncelleme çalışmasında ise ölçek kavramı ortaya çıkmaktadır. Güncellenecek kartografik ürünün ölçeği ile güncellemede kullanılacak kaynak veri tabanının çözünürlüğünün eşleme ve hizalama uygulamalarında göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Literatürde farklı veri kümelerinin geometrik ve semantik olarak birleştirilmesine yönelik yaklaşımlar harita bütünleştirme (map conflation), veri eşleme (data matching), veri ilişkilendirme (record linking), varlık çözünürlüğü (entity resolution), hizalama (alignment) şeklinde anılmaktadır (Sorokine ve diğerleri, 2020). Bütünleştirme uygulamaları kullanılan eşleme tekniklerine (geometrik, semantik, topolojik), kategorizasyon biçimine (yatay ve dikey bütünleştirme) ve güncellenecek model biçimine (vektör, raster, yükseklik) göre sınıflandırılabilir (Ruiz ve diğerleri, 2011). Harita bütünleştirmelerinde kullanılan veri setlerinin farklı standart ve kavramsal yapılarla göre oluşturulmuş oldukları düşünüldüğünde, güncel ve sağlıklı bir coğrafi veri seti oluşumu için uygun eşleme tekniklerine ihtiyaç bulunmaktadır (Sun, Zhu ve Song, 2019, Hacı ve Gökçöz 2019). Bu yüzden her geometri türünün kendi içinde bütünleştirilebilmesi için farklı tekniklerin uygulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Hacı, 2019).

Topografik harita üretiminde coğrafi verilere uygulanan kartografik teknik ve yöntemlerden dolayı, en son tarihli harita verisi ile güncel TOPOVT verisinin doğrudan bütünleştirmesinde konumsal eşleme yönünden zorluklar oluşacağı değerlendirilmektedir. TOPOVT verilerinin kartografik üretim aşamasında basitleştirme, yumuşatma, öteleme, eleme, abartma gibi işlemlere tabi tutulması bütünleştirme uygulamalarında uygun eşleme şartlarını

zorlaştırmaktadır. Şekil 5'te TOPOVT'den alınan veriler ile aynı bölgenin en son kartografik düzenlemesi sonucunda oluşan veriler görülmektedir. Nokta geometri tipindeki bina ve ağaç obje sayılarının fazla olmasından dolayı bu objelerin kartografik düzenlemesinde hedef ölçeğe göre önemli miktarda seçme-eleme ve öteleme işlemi uygulanmıştır. Yeni güncelleme uygulamalarında bu verilerin obje bazlı olarak güncel bir kümesinin tamamı ile eşleştirilmesinde zorluk oluşacağı anlaşılmaktadır.



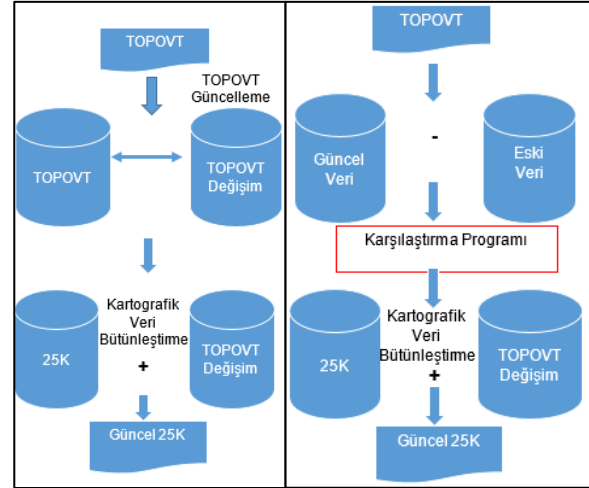
Şekil 5. Topografik verilerin kartografik düzenlemeden önceki ve sonraki halleri

İkinci bölümde TOPOVT üzerinde tutulan tüm verilere tekil tanımlama bilgisinin tanımlandığı ve ArcGIS Düzenleme Takibi (ArcGIS Editor Tracking) özelliği ile operatör bilgisayarlarında gerçekleşen tüm değişikliklerin (güncelleyen kişi bilgisi, güncelleme türü, güncelleme zamanı vb.) metaveri bilgilerinin kayıt altına alınabildiği ifade edilmiştir. Bu girdi bilgilerine göre, TOPOVT'de oluşan değişimlerin mevcut kartografik veri ile bütünleştirilmesi için iki farklı yöntemin kullanılabileceği değerlendirilmektedir (Şekil 6). Buna göre:

- TOPOVT üzerinde, eklenen, silinen, geometrik veya semantik olarak değişen objelerin iyi bir versiyonlama ile kayıt altına alınması ve bu objelerin topografik harita üretim sistemine aktarılması,

Kartografik harita üretiminde kaynak olarak kullanılan TOPOVT verilerinin bir sonraki güncellemede oluşacak veriler ile karşılaştırılması ve farklarının bulunarak

topografik harita üretim sistemine aktarılması için yazılım geliştirilmesidir. Harita Genel Müdürlüğü üretim sistemlerinin üzerine kurulu olduğu ArcGIS yazılımında değişim tespitine yönelik kullanıcılara sunulan hazır çözümlerin incelenmesi yapılmıştır. ArcGIS programı ile çizgi objelerin karşılaştırmalarına yönelik hazır bir çözüm kullanılabilmekte ve elde edilen sonuçlar ayrı bir veri kümesi olarak kayıt edilebilmektedir (ESRI, 2021).



Şekil 6. 25K güncelleme yöntemleri

Uygulama bölümünde ilk sırada ifade edilen yöntemde göre TOPOVT üzerinde bulunan objelerin değişim metaveri bilgileri incelenmesi ve ikinci sırada belirtilen yöntem için geliştirme çalışması yapılmıştır. Her iki yöntemde oluşan sonuçların değerlendirmesi için 1:100.000 ölçekli L42 paftası içine giren 1:25.000 ölçekli pafta verileri üzerinde uygulamalar yapılmıştır (Tablo 1).

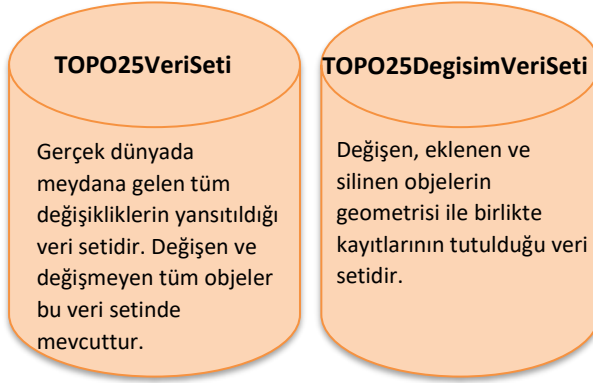
Tablo 1. Coğrafi ve kartografik veri güncelleme tarihleri

Pafta Adı	L42a1, L42d3, L42d4
TOPOVT Hava Fotoğrafi Bilgisi	Renkli Hava Fotoğrafı Çözünürlük:30cm.
TOPOVT Hava Fotoğrafi Tarihi	2018
TOPOVT Kıymetlendirme Tarihi	2019
KARTO Hava Fotoğrafi Bilgisi	Siyah Beyaz Fotoğraf Çözünürlük:70 cm
KARTO Harita Hava Fotoğrafi Tarihi	2002
KARTO Harita Basım Tarihi	2005

5. UYGULAMA

a. Kartografik Güncelleme İçin İhtiyaçların Belirlenmesi

TOPOVT'de yapılan güncelleme uygulamaları sonunda iki farklı veri seti elde edilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. TOPOVT veri setleri

TOPOVT veri tabanında meydana gelen değişimler sürekli olarak takip edilmekte ve her değişimin ayrı ayrı kaydı tutulmaktadır. Değişim ile oluşan ekleme, silme, geometrik ve öznitelik değişimi kayıtları ve metaveri bilgileri TOPOVT değişim veri seti içinde saklanmaktadır. Bu veri seti içinde bir objeye ait birden fazla değişim kaydı olabilmektedir. Örneğin yapılmakta olarak veri tabanına eklenen bir yolun ikinci güncellemede asfalt, üçüncü güncellemede bölünmüş/ayrılmış olarak değişim geçirmesi durumunda aynı obje için üç farklı kayıt olabilmektedir.

Özellikle gelişimin fazla olduğu bölgelerde veri tabanı üzerinde en son tarihli harita kaynak verisinin bir sonraki üretime kadar birden fazla değişikliğe uğrama ihtimali çok yüksektir. Ayrıca veri seti içinde bulunan objeler fotogrametrik kıymetlendirme, kıymetlendirme kontrolü ve arazi bütünlemesi aşamalarında farklı düzenlemelere uğrayabilmektedir. Aşağıda Şekil 8'de gösterilen örnekte, herhangi bir objenin zaman içinde uğrayabileceği değişim türleri ve harita üretimine etkisi ifade edilmeye çalışılmıştır. Şekilde 2015 yılında üretimi gerçekleşen haritanın, 2020 yılında değişimler üzerinden yapılacak güncellemesinde objenin eklendiği bilgisine ihtiyaç bulunmaktadır. Aksi durumda son metaveri bilgisi ile özniteliği değiştirilecek bir objenin kartografik veri setinde bulunması mümkün olmayacaktır. Mevcut hali ile TOPOVT'de bulunan objelerin en son

gerçekleşen değişim bilgisi kartografik üretim sistemine aktarılmaktadır. Örnekte anlatılan duruma göre TOPOVT değişim veri kümesinde ara zamanlarda oluşan değişim kayıtlarının mantıksal süzgeçlerden geçirilerek harita üretim sistemine aktarımı ihtiyacı oluşmaktadır.



Şekil 8. Bitki alan katmanı değişim örneği (Ağaçlandırma Sahası-Orman)

b. Değişimlerin Karşılaştırılarak Tespiti

Mevcut harita üretim teknik ve yöntemleri ile bir haritanın güncelleme zamanı on yılın üzerinde bir zamana karşılık gelmektedir. Bu süre içerisinde veri tabanı üzerinde bulunan objelerin fazla miktarda değişime uğrayacağı düşüncesi ile ilk ve son harita kaynak verisi arasında değişimlerin tespitine yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). ArcGIS yazılımı üzerinde ArcObject kütüphanesi ile yapılan bu çalışma sonucunda, veri kümesi içinde bir objenin veya objelerden bir kısmının bazı özelliklerinde (öznitelik) değişiklik yapılması, yeni obje veya objelerin eklenmesi, bir objenin veya bir kısım objenin çıkarılması durumları tespit edilebilmektedir.

Şekil 9. Değişim tespit programı

Değişimlerin tespiti için ilk ve son tarihli topografik verinin kartografik modele dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Kartografik veri modelinde

objeleri en üst grupta sınıflar temsil etmektedir (Tablo 2). Sınıflar objelerin benzerliğine göre oluşturulmuş yapılardır ve her obje sınıfı nokta, çizgi ve alan olacak şekilde toplam 27 katmandan oluşmaktadır (HGM, 2020).

Tablo 2. Obje sınıfları ve anlamları

SINIF	AÇIKLAMA
1 Sınırlar	Sınırla ilgili objeler
2 Hidrografiya	Su ile ilgili objeler
3 Fizyografiya	Yeryüzü zemin yapısı ile ilgili objeler
4 Yerleşim	İnsan yapısı bina ve objeler
5 Endüstri	Endüstriyel objeler
6 Yükseklik	Yükseklik ile ilgili objeler
7 Ulaşım	Ulaşım ile ilgili objeler
8 Tesisler	İnsan yapısı kolaylık tesisleri
9 Bitki	Bitki örtüsü ile ilgili objeler

ArcGIS yazılımı üzerinde oluşturulan uygulamada aşağıda belirtilen kıstaslara göre kontroller yapılmıştır.

- Eklenen objelerin tespitinde; TOPOVT revizyon öncesi verilerde olmayan "Global ID" değerleri TOPOVT revizyon verileri içinde var ise obje eklenen olarak değerlendirilmiştir.

- Silinen objelerin tespitinde; TOPOVT revizyon öncesi verilerde olan "Global ID" değerlerinin TOPOVT revizyon verileri içinde yok ise obje silinen olarak değerlendirilmiştir.

- Geometrik ve özniteliksel değişimlerin tespitinde; TOPOVT revizyon verilerinde bulunan "Global ID" değerleri TOPOVT revizyon öncesi verilerde de aynı şekilde var ise bu durumda "Güncelleme tarihi" öznitelik alanı da kıyaslamaya tabi tutulmuştur. Kontrol edilen objenin her iki veri setinde de güncelleme tarihleri aynı ise objeye hiçbir işlem yapılmadığı, farklı ise objenin geometrisinde, öznitelğinde ya da hem geometrisinde hem de öznitelğinde aynı anda bir değişimin olabileceği değerlendirilmiştir.

Üçüncü maddede bahsedilen duruma göre öncelikle geometride bir değişim olup olmadığının kontrolü yapılmıştır. Geometrik değişimlerin

kontrolleri; nokta, çizgi ve alan tipteki objelere göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre;

- Nokta objelerin geometrik değişimleri konum ve açı değerlerinde göre,
- Çizgi objelerin geometrik değişimleri çizginin orta noktasına göre,
- Alan objelerin geometrik değişimleri alanın ağırlık merkezine göre belirlenmiştir.

Yukarda geometri tipine göre ifade edilen konum bilgilerinin kontrolünün ardından bu objenin aşağıda belirtilen öznitelik alanlarında benzer şekilde değişiminin olup olmadığının kontrolü aynı anda yapılmıştır.

- DETAY_ADI (Obje adı)
- OZEL_ISMI
- DEGER
- YUKSEKLİK (Mühane değerleri kontrolü)
- ACI (Nokta ve Çizgi objelerde)

Yapılan kontroller sonunda objenin sadece konum değişikliği var ise değişim sebebi "Geometri", sadece öznitelik değişikliği var ise değişim sebebi "Öznitelik", hem konum hem de öznitelğinde değişiklik var ise değişim sebebi "Geometri+Öznitelik" olarak tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Değişim tablosu

yerlesim_nokta_25K_TopoDegisim					
Object ID *	SHAPE *	DETAY_KODU	DETAY_ADI	TopoDegisimSebebi	
1	Point	AL01537	BINA	Geometri + Öznitelik(DETAY_ADI)	
2	Point	AL01537	BINA	Geometri + Öznitelik(DETAY_ADI)	
3	Point	AL27501	SUNDURMA	Geometri + Öznitelik(DETAY_ADI)	
4	Point	AL27501	SUNDURMA	Geometri + Öznitelik(DETAY_ADI)	
5	Point	AL01537	BINA	Geometri	
6	Point	AL01537	BINA	Geometri	

c. TOPOVT Değişim İncelemesi

Bu aşamada dördüncü bölümde üretim bilgileri sunulan paftaların TOPOVT'de kayıt altında tutulan değişimlerinin ve TOPOVT V01 ve V02 versiyonlarının karşılaştırması sonucu elde edilen değişimlerin karşılaştırmalı incelemesi yapılmıştır. Tabloda gösterilen "TOPOVT V01" en son üretimi yapılan haritanın kaynak verisini, "TOPOVT V02" veri tabanında bulunan en son tarihli coğrafi veri setini ifade etmektedir. 1:100.000 ölçekli L42 paftası içinde kalan 1:25.000 ölçekli paftalar, obje yoğunluğu

bakımından birbirine benzerlik göstermektedir ve bu bakımdan az ve orta yoğunluğa sahip paftalar bulunmaktadır. L42a1, L42d3 ve L42d4 paftalarının yerleşim sınıfı nokta katmanında obje sayılarına göre değişim oranlarının çok fazla olmaması ve bu miktarda değişimlerin kartografik veri ile bütünleştirmede kullanılabilir olması değerlendirildiğinden değişim incelemeleri bu paftalar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çünkü yerleşim nokta katmanı diğer alan ve çizgi objelere göre kartografik düzenlemelerde fazla zaman almakta ve dolayısı ile değişim kayıtlarının fazla olması durumunda kartografik üretimin baştan yapılması daha uygun olabilmektedir.

Çizgi objelerin incelenmesinde yerleşim çizgi katmanında çok fazla obje türü bulunmaması sebebi ile bu katman yerine ulaşım çizgi katmanı kullanılmıştır. Her üç katman için oluşturulan örnek değişim tablolarında, değişim kayıtlarının uyuşmadığı objelere ait satırlar sarı renk ile boyanarak ifade edilmiştir.

(1) Yerleşim Alan Katmanı Değişimi

Aşağıda gösterilen L42a1 ve L42d4 paftaları yerleşim alan katmanı içeriği bakımından orta yoğunluğa, L42d3 paftası az yoğunluğa sahip bir paftalardır (Tablo 4). L42a1 paftasında bulunan 67 obje güncelleme sonunda 91'e, L42d4 paftasında bulunan 42 obje güncelleme sonunda 76'ya, L42d3 paftasında bulunan 1 obje güncelleme sonunda 14'e yükselmiştir.

TOPOVT V01 ve V02 versiyonlarının karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlar silme ve ekleme şeklinde oluşmuştur. Karşılaştırma yöntemi kıstaslarına göre örnek paftaların hiç birinde geometrik ve öznitelik değişimin oluşmadığı anlaşılmaktadır. Ancak aynı paftaların TOPOVT güncellemeleri esnasında kayıt altına alınan değişim sonuçlarına bakıldığında ekleme, silme ve öznitelik değişimlerinin gerçekleştiği görülmektedir. Bu sonuç ile TOPOVT güncellemelerinde karşılaştırma yönteminden farklı olarak öznitelik değişimlerinin oluştuğu, veri düzenleme uygulamalarında alanların bölünmesi, birleştirilmesi, şeklinin değiştirilmesi gibi güncellenmenin yapılmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 4. L42a1, L42d3 ve L42d4 paftaları yerleşim alan katmanı değişim incelemesi

Pafta Adı:		L42a1											
Katmanlar	Değişen Detay Adı	TOPOVT V01	TOPOVT V02	Eklenen Detay Sayısı		Silinen Detay Sayısı		Öznitelik Değişimi		Geometrik Değişim		Geometrik + Öznitelik Değişimi	
				Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim
yerlesim_alan_25K	BINA	43	35	22	19	30	30	0	0	0	3	0	0
	EGITIM_KURUMU	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	HABERLESME_TESISI	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	BINA_(HARAP)	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	BINA_RESMI	2	2	2	0	2	1	0	2	0	0	0	0
	MEZARLIK_ISLAM	19	28	24	25	15	16	0	0	0	0	0	0
	SAGLIK_KURUMU	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	TICARET_VE_SANAYI_TESISI	0	23	23	7	0	1	0	15	0	1	0	0
	SERA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	67	91	74	51	50	51	0	19	0	5	0	0

Pafta Adı:		L42d3											
Katmanlar	Değişen Detay Adı	TOPOVT V01	TOPOVT V02	Eklenen Detay Sayısı		Silinen Detay Sayısı		Öznitelik Değişimi		Geometrik Değişim		Geometrik +Öznitelik Değişim	
				Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim
yerlesim_alan_25K	BINA	0	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	MEZARLIK_ISLAM	1	10	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	1	14	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0

Pafta Adı:		L42d4											
Katmanlar	Değişen Detay Adı	TOPOVT V01	TOPOVT V02	Eklenen Detay Sayısı		Silinen Detay Sayısı		Öznitelik Değişimi		Geometrik Değişim		Geometrik +Öznitelik Değişimi	
				Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim
yerlesim_alan_25K	BINA	16	7	7	7	16	17	0		0		0	
	EGITIM_KURUMU	7	13	13	0	7	7	0	13	0	0	0	0
	BINA_RESMI	2	9	9	0	2	4	0	9	0	0	0	0
	SAGLIK_KURUMU	3	4	4	0	3	4	0	4	0	0	0	0
	MEZARLIK_ISLAM	14	39	39	39	14	14	0	0	0	0	0	0
	ENERJİ_TESİSİ	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	TİCARET_VE_SANAYI_TESİSİ	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	42	76	76	50	42	46	0	26	0	0	0	0

Az yoğunluğa sahip L42d3 paftasının değişim tespiti uygulamasında elde edilen sonuçlar ile TOPOVT güncelleme kayıtlarının uyumlu olduğu, orta yoğunluğa sahip L42a1 ve L42d4 paftalarında ise uyumsuz olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre L42d3 paftasının TOPOVT V01 ve V02 versiyonlarının arasında geçen zaman diliminde ilave bir değişimin yapılmadığı, diğer iki paftada birden fazla değişimin yapıldığı ve bu değişimlerin yapılmasında “Global ID” bilgilerinin korunmadığı anlaşılmaktadır. Örneğin L42d4 paftasında TOPOVT V01’de bulunan 7 tane “EĞİTİM KURUMU”nun TOPOVT kayıtlarında silindiği ancak TOPOVT V02’de bulunan 13 tane yeni objenin ekleme bilgisi olmadan öznitelik değişimine uğradığı bilgisi bulunmaktadır. Bu değişim kaydı ile TOPOVT V01 verisi ile üretilmiş 1:25.000 ölçekli haritada güncellenecek “EĞİTİM KURUMU” bulunamayacaktır.

Ayrıca TOPOVT değişim kayıtlarına göre L42a1 paftasında herhangi bir zamanda eklenmiş ve silinmiş bir sera objesinin metaveri bilgisi kartografik üretim için gerekli olmayacaktır.

(2) Ulaşım Çizgi Katmanı Değişimi

Yerleşim alan katmanında iki farklı yöntem ile elde edilen değişim sonuçlarının bazı objelerde uyumlu bazı objelerde de uyumsuz oldukları görülmektedir. Ancak aynı paftaların ulaşım çizgi katmanlarının incelemesi yapıldığında sonuçların hiçbir şekilde tutarlı olmadıkları görülmüştür. Bu katmanın TOPOVT değişim kayıtlarının ekleme, silme, geometrik ve özniteliksel değişim türlerinde oluştuğu, TOPOVT V01 ve TOPOVT V02 kayıtları karşılaştırılması ile bulunan sonuçların ekleme ve silme değişim türlerinde oluştuğu örnek pafta verilerinde görülmüştür (Tablo 5).

Tablo 5. L42a1, L42d3 ve L42d4 paftaları ulaşım çizgi katmanı değişim incelemesi

Pafta Adı:		L42a1											
Katmanlar	Değişen Detay Adı	TOPOVT V01	TOPOVT V02	Eklenen Detay Sayısı		Silinen Detay Sayısı		Öznitelik Değişimi		Geometrik Değişim		Geometrik + Öznitelik Değişimi	
				Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim
ulasim_cizgi_25K	KOPRU_TAS/BETON	10	9	7	2	8	3	0	0	0	0	0	7
	KOPRU_YAYA_GECER	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	KARAYOLU_S2	48	15	5	0	38	5	0	1	0	14	0	0
	KARAYOLU_PATIKA	472	416	148	51	204	29	0	32	0	331	0	2
	KARAYOLU_YAY	114	207	169	80	76	17	0	25	0	86	0	16
	KARAYOLU_DAY	9	10	10	1	9	2	0	6	0	1	0	2
	KARAYOLU_G3	78	121	83	10	40	1	0	29	0	70	0	12
	KARAYOLU_S3	2	4	4	0	2	0	0	1	0	1	0	2
	KARAYOLU_YERLESIM_ICI	30	408	386	189	8	3	0	74	0	82	0	63
	KARAYOLU_BOLUNMUS/AYRILMIS	0	10	10	0	0	3	0	7	0	1	0	2
	DEMIRYOLU_(TEK_HAT)	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	YANGIN_ONLEME_SERIDI	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	764	1451	1882	333	649	66	0	175	0	587	0	106

Pafta Adı:		L42d3											
Katmanlar	Değişen Detay Adı	TOPOVT V01	TOPOVT V02	Eklenen Detay Sayısı		Silinen Detay Sayısı		Öznitelik Değişimi		Geometrik Değişim		Geometrik +Öznitelik Değişimi	
				Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim
ulasim_cizgi_25K	KOPRU_TAS/BETON	1	1	1	0	1	0	0		0		0	1
	KARAYOLU_YAY	73	44	19	21	48	36	0	10	0	10	0	3
	KARAYOLU_PATIKA	168	188	45	57	25	63	0	25	0	105	0	1
	KARAYOLU_G3	43	60	45	10	28	3	0	20	0	26	0	4
	KARAYOLU_DAY	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	0
	KARAYOLU_S2	9	7	5	0	7	2	0	5	0	2	0	0
	KARAYOLU_S3	7	23	21	6	5	3	0	5	0	12	0	0
	KARAYOLU_YERLESIM_ICI	22	126	113	68	9	2	0	23	0	24	0	11
	TOPLAM	324	450	250	163	124	115	0	88	0	179	0	20

Pafta Adı:		L42d4											
Katmanlar	Değişen Detay Adı	TOPOVT V01	TOPOVT V02	Eklenen Detay Sayısı		Silinen Detay Sayısı		Öznitelik Değişimi		Geometrik Değişim		Geometrik +Öznitelik Değişimi	
				Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim
ulasim_cizgi_25K	KARAYOLU_DAY	15	16	15	2	14	13	0	6	0	8	0	0
	KARAYOLU_PATIKA	125	129	37	7	33	50	0	11	0	111	0	0
	KARAYOLU_YAY	51	84	48	12	15	21	0	16	0	53	0	3
	KARAYOLU_S2	19	19	2	0	2	6	0	0	0	19	0	0
	KARAYOLU_G3	30	49	33	2	14	1	0	19	0	25	0	3
	KARAYOLU_S3	2	3	2	0	1	2	0	2	0	1	0	0
	KARAYOLU_YERLESIM_ICI	20	156	142	54	6	26	0	50	0	48	0	4
	PARK_ICI_YOL	0	4	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	KOPRU_TAS/BETON	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	262	460	283	77	85	121	0	108	0	265	0	10

Verilerin ArcMap programı üzerinden incelenebilmesi için orijinal yollar sarı kalın çizgiler ile değişime uğrayan yollar diğer renkli çizgiler ile işaretleştirilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Yolların Değişimi

Her iki veri kümesinde bulunan yolların incelenmesi neticesinde:

- Orijinal veride tek parça olan objelerin farklı değişimlere yönelik birden fazla parçalara bölünebildiği,
- Bölünme durumunda bölünme öncesi "Global ID" bilgisinin bölünen parçalardan herhangi birisine aktarılmadığı durumlar olduğu,

• Güncelleme sonunda obje sayısında ciddi artış olduğu,

• Tekrarlı işlemlerden dolayı silinen fakat aynı şekilde eklenen objelerin olduğu,

• Veri üzerinde farklı zamanlarda farklı güncellemelerin yapıldığı ve değişim dosyasında sadece son değişim bilgisinin olduğu görülmüştür.

(3) Yerleşim Nokta Katmanı Değişimi

Yerleşim nokta katmanında bulunan objelerin değişimleri incelendiğinde değişim kayıtlarının bazı objelerde tutarlı bazı objelerde ise uyumsuz oldukları görülmüştür. Bu katmanın TOPOVT değişim kayıtlarının ekleme, silme, özniteliksel ve geometrik değişim türlerinde oluştuğu, TOPOVT V01 ve TOPOVT V02 kayıtları karşılaştırılması ile bulunan sonuçların ekleme ve silme değişim türlerinde oluştuğu görülmüştür. TOPOVT değişim kayıtlarında oluşan geometrik değişim sadece bir adet sundurma objesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca yerleşim alan katmanı sera objesi örneğinde olduğu gibi L42a1 ve L42d4 paftalarında ara zamanlarda eklenmiş ve silinmiş objelerin metaveri bilgileri olduğu görülmüştür (Tablo 6-7-8).

Tablo 6. L42a1 paftası yerleşim nokta katmanı değişim incelemesi

Pafta Adı: L42a1													
Katmanlar	Değişen Detay Adı	TOPOVT V01	TOPOVT V02	Eklenen Detay Sayısı		Silinen Detay Sayısı		Öznitelik Değişimi		Geometrik Değişim		Geometrik + Öznitelik Değişimi	
				Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	TOPOVT Değişim
yerlesim_nokta_25K	BINA	939	1186	646	646	399	390	0	7	0	0	0	0
	EGITIM_KURUMU	9	18	15	0	6	4	0	15	0	0	0	0
	BINA (HARAP)	35	99	75	75	11	11	0	0	0	0	0	0
	CAMI_KUCUK	5	10	8	8	3	3	0	1	0	0	0	0
	BINA_RESMI	8	7	7	0	8	3	0	7	0	0	0	0
	SAGLIK_KURUMU	1	4	4	0	1	1	0	4	0	0	0	0
	MEZAR_ISLAM	20	19	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	TURBE_(ISLAM)	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	CAMI_MINARESIZ/MESCIT	0	3	3	1	0	0	0	2	0	0	0	0
	SUNDURMA	1	199	198	197	0	2	0	0	0	1	0	0
	TICARET_VE_SANAYI_TESISI	0	8	8	0	0	3	0	8	0	0	0	0
	TOPLAM	1018	1554	965	928	429	418	0	44	0	1	0	0

Tablo 7. L42d3 paftası yerleşim nokta katmanı değişim incelemesi

Pafta Adı: L42d3													
Katmanlar	Değişen Detay Adı	TOPOVT V01	TOPOVT V02	Eklenen Detay Sayısı		Silinen Detay Sayısı		Öznitelik Değişimi		Geometrik Değişim		Geometrik + Öznitelik Değişimi	
				Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim
yerlesim_nokta_25K	BINA	732	701	431	431	462	462	0	0	0	0	0	0
	EGITIM_KURUMU	15	12	6	0	9	9	0	12	0	0	0	0
	BINA (HARAP)	73	198	171	171	46	46	0	0	0	0	0	0
	BINA_RESMI	2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
	AGIL (HARAP)	0	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0
	AGIL	18	43	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0
	TURBE_(ISLAM)	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	CAMI_KUCUK	0	6	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0
	CAMI_MINARESIZ/MESCIT	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	SUNDURMA	0	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	840	973	652	640	519	517	0	20	0	0	0	0

Tablo 8. L42d4 paftası yerleşim nokta katmanı değişim incelemesi

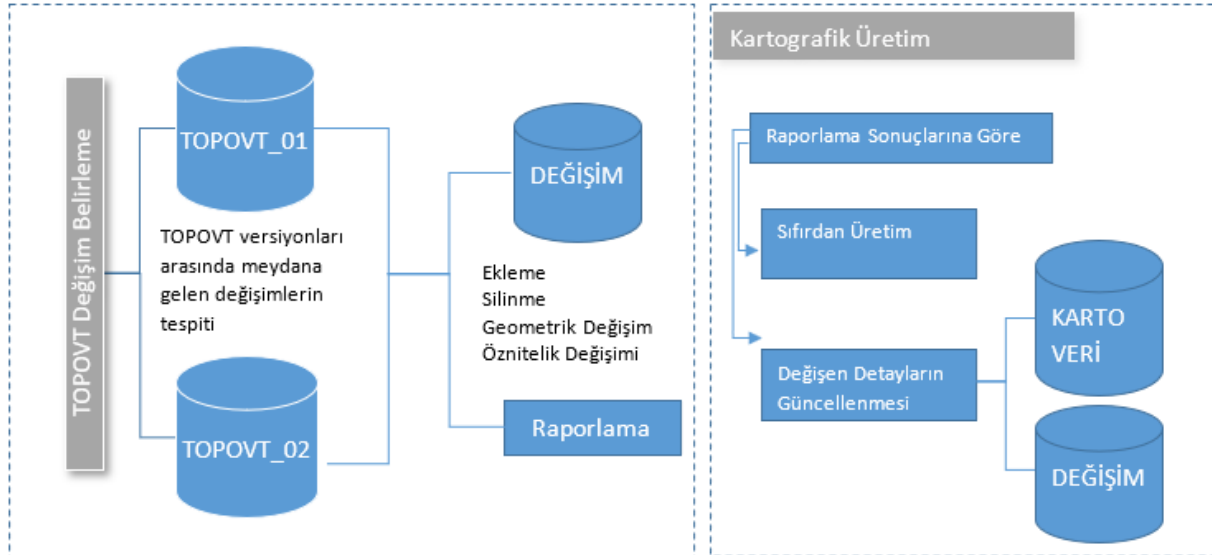
Pafta Adı: L42d4													
Katmanlar	Değişen Detay Adı	TOPOVT V01	TOPOVT V02	Eklenen Detay Sayısı		Silinen Detay Sayısı		Öznitelik Değişimi		Geometrik Değişim		Geometrik +Öznitelik Değişimi	
				Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim	Değişim Tespiti Uyg.	Topo Değişim
yerlesim_nokta_25K	BINA	1150	1212	1212	1212	1150	1154	0	5	0	0	0	0
	EGITIM_KURUMU	22	4	4	22	22	22	0	1	0	0	0	0
	BINA (HARAP)	19	334	334	334	19	19	0	0	0	0	0	0
	YAYLA EVI HARAP	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	CAMI KUCUK	7	13	13	0	7	7	0	13	0	0	0	0
	CAMI MINARESIZ/MESCIT	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	BINA RESMI	3	6	6	5	3	5	0	4	0	0	0	0
	MEZAR ISLAM	2	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
	AGIL (HARAP)	0	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0
	ENERJİ TESİSİ	0	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	SUNDURMA	0	7	7	6	0	2	0	0	0	0	0	0
	TİCARET_VE SANAYİ TESİSİ	0	6	6	2	0	0	0	4	0	0	0	0
	SERA	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOPLAM	1205	1597	1597	1596	1205	1213	0	27	0	0	0	0

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Harita Genel Müdürlüğü tarafından işletmesi yapılan topografik veri tabanı içerik olarak güncel hava fotoğraflarından, diğer kamu kurum ve kuruluşları ile belediyelerden toplanan verilerle sürekli olarak güncellenmektedir. Bu güncellemelerin düzenli olarak üretimi yapılan topografik haritalara da yansıtılması önemli olmaktadır. 1:25.000 ölçekli haritaların kartografik üretiminde uygulanacak güncelleme uygulaması, son harita üretimi yapılan tarih ile günümüz arasında topografyada oluşan farkların elde edilmesi (Değişim Tespiti) ve elde edilen farkların mevcut kartografik veri kümesine otomasyonlar

ile aktarılması şeklinde iki aşamadan oluşmaktadır (Şekil 11).

Güncel TOPOVT verisi ile en son kartografik üretimi yapılmış harita verisinin geometrik yöntemlerle eşlenmesinin kavramsal zorluklara yol açacağı değerlendirilmiştir. Bu yüzden kartografik üretimin uygun güncelleme teknikleri ile hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesine yönelik düzgün şekilde tutulmuş değişim kayıtlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Yapılan inceleme çalışmaları ile TOPOVT'de gerçekleşen değişimlerin kartografik modele de aynı şekilde yansıtılabilmesine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 11 Değişim tespiti ve kartografik güncelleme

Mevcut durumda TOPOVT'de oluşan değişimlere yönelik versiyonlama yapılmakta ancak veri üzerinde gerçekleşen son değişimler kartografik üretime değişim veri kümesi olarak aktarılmaktadır. Değişimlerin ilk harita ve son harita üretimi arasında birden fazla gerçekleşmesi durumunda, değişimlerin mantıksal sorgular ile bütünleştirilerek kartografik harita üretim sisteminde kullanıma uygun hale getirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca veri tabanı güncellemesinde oluşan tekrarlı işlemlerden ve sürekli veri güncellemesinden kaynaklı olarak bütün değişim metaveri bilgilerinin sürekli depolanması ciddi bir maliyet oluşturmaktadır. Bu nedenle ilk ve son harita verilerinin karşılaştırılmasının ve buna göre ara zamanlarda oluşan değişimlerin değerlendirmeye alınmadan yeni bir değişim veri kümesinin oluşturulmasının çalışmaları yapılmıştır. Durumun daha iyi anlaşılması için 1:100.000 ölçekli L42 paftası içinde bulunan üç tane 1:25.000 ölçekli pafta verisi üzerinde değişim incelemesi yapılmıştır. Bu incelemelerin sonunda:

- Veri tabanı güncellemelerinde tekil tanımlayıcı numaralarının güncelleme sonunda büyük oranda değişime uğradığı,
- Kıymetlendirme ya da veri bütünleme aşamasında değişen objelerin yeniden düzenleme yerine silinerek tekrar eklendiği,
- Ulaşım çizgi katmanında kıymetlendirme ve arazi bütünlemesi ile yapılan güncellemeye ilave olarak farklı kaynaklardan temin edilen verilerin olmasından dolayı değişimin diğer yerleşim nokta ve alan katmanlarına göre fazla olduğu,
- Değişimlerin katman ve geometri türüne göre farklılık gösterdiği görülmüştür.

Ayrıca ilk ve son harita verisi arasında uzun süre bulunmasının ve verilerin kıymetlendirildiği görüntü altlığı çözünürlük değerlerinin farklı olmasının, değişim sayısını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Buna ilave olarak Harita Genel Müdürlüğü üretim sisteminde kullanılan ArcGIS yazılımında ekleme silme uygulamalarının yeniden düzenlemeye göre daha kolay olmasının obje Global ID bilgilerindeki değişiklikleri arttırdığı değerlendirilmektedir.

Kartografik haritaların güncelliklerinin korunması için veri kaynağı olan topografik veri tabanları ile ilişkilerinin iyi kurulmuş olması gereklidir. Bu şekilde mekânsal modelde oluşan tüm yeni durumların haritalara aktarılması

mümkün olabilecektir. Harita Genel Müdürlüğünde coğrafi ve kartografik modellerde obje sınıfları arasında bir ilişki kurulmuştur ve harita üretim süreçlerinde iki model arasında oluşturulmuş dönüşüm tablo bilgileri ile dönüşümler sağlanmaktadır. Ancak TOPOVT ve kartografik modelde bulunan objeler arasında ilişki kurulmasını sağlayacak bir bağıntı olmaması sebebiyle bütünleştirme için geometrik karşılaştırmalara dayalı uygulamanın yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Geometrik bütünleştirmenin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi, topografik haritalarda meydana gelen değişimlerin doğru şekilde ifade edilmesi ile doğru orantılıdır. Örneğin gerçekte eklenmeyen ve sadece özniteliği değişen bir BINA objesinin GlobID bilgisinin değişmesi ile eklenen olarak belirlenmesi:

- Kartografik veriden fazladan bir ojenin çıkarılmasına ve tekrar eklenmesine,
- Yoğunluk durumuna göre ötelenmesine ya da silinmesine,
- Tekrar etiketlenerek yazısının düzenlenmesine neden olacaktır.

İfade edilen bu duruma göre kartografik üretim için uygun bir değişim veri kümesi elde edilmesi ve bu veri kümesinin kartografik veri bütünleştirmesinde kullanılabilmesi için:

- Değişimlerin karşılaştırma ile bulunmasının ve ara zamanlarda oluşan değişimlerin göz ardı edilmesinin,
- Tekil tanımlayıcıların sadece obje silindiği durumlarda kaybolmasının ve bu sayede değişimlerin daha sağlıklı bulunabileceğinin,
- Değişim sonuçlarına göre, kartografik üretimin güncelleme ile mi yoksa sıfırdan mı yapılacağı kararını vermede kullanmak üzere karşılaştırma uygulaması sonunda katman katman ve obje obje değişim özetini gösteren raporlamanın yapılmasının,
- Değişimlerin belirlenmesinde cami, okul vb. objelerin özel isimlerinin değişmesi gibi kartografik üretimi etkilemeyecek değişimlerin göz ardı edilmesinin,
- Nokta, çizgi ve alan obje sınıflarında oluşan değişimlerin kartografik veriye aktarımında farklı yaklaşımlar oluşturulmasının (tampon bölge, Voronoi diyagramı, affine dönüşümü, rubber sheeting vb.),

- Obje sınıflarında gerçekleşen değişimlere göre yazı obje sınıfının da güncellenmesinin,
- 1:50.000 ve 1:100.000 ölçekli harita üretimleri için 1:25.000 ölçekli haritaların güncellenmesinde oluşan değişimlerin ortaya çıkarılmasının,
- Üretimlerin standart bir yapıda gerçekleştirilebilmesi için güncellemeler sonunda oluşacak yeni durumlara göre kalite kontrol aşamalarının oluşturulmasının ihtiyaç olduğu değerlendirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Veri incelemesi yazılım geliştirmesinde yardımlarını esirgemeyen Müh.Ütgm. Muhammet Bahadır YAMAN'a ve çalışmanın yayına dönüştürülmesindeki desteklerinden dolayı Prof.Dr. İ. Öztuğ BİLDİRİCİ 'ye teşekkür ederiz.

ORCID

Fatih KALLE  <https://orcid.org/0000-0002-1007-4367>

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

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

KAYNAKLAR

Başaraner, A.M. (2005). *Nesne Yönelimli Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Orta Ölçekli Topografik Haritalar İçin Bina Ve Yerleşim Alanlarının Otomatik Genelleştirilmesi* (Doktora Tezi), YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Cobb, M. A., Chung, M. J., Foley III, H., Petry, F. E., Shaw, K. B., ve Miller, H. V. (1998). A Rule-Based Approach For The Conflation Of Attributed Vector Data. *Geoinformatica*, 2(1), 7-35. doi:10.1023/A:1009788905049

Çap, T., Selvi, H.Z. ve Buğdaycı, İ. (2020). 1:25.000 Ölçekli Standart Topografik Harita Yazı Katmanı Değişim İncelemesi. *Harita Dergisi*, 164, 61-76.

Çobankaya, O.N. (2015). *Yerleşim sınıfı için çoklu gösterim veri tabanının oluşturulması: Gösterim seviyelerini türetme, obje eşleştirme, güncelleme* (Doktora Tezi), YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çobanoğlu, İ. S. (2016). *Harita Genel Komutanlığında Sayısal Kartografyaya Geçiş Çalışmaları ve Kartografya Dairesi Başkanlığı 1992-2012 Dönemi Kısa Tarihçesi*, Ankara, 38-40.

ESRI, (2021). An overview of the Conflation toolset. Erişim Adresi: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/editing-toolbox/an-overview-of-the-conflation-toolset.html>

ESRI, (2021). Detect Feature Changes. Erişim Adresi: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/data-management-toolbox/detect-feature-changes.html>

Hacar, M. (2019). *Yol Ağlarının Geometrik Entegrasyonu İçin Nesne Eşleme Yöntemlerinin Geliştirilmesi* (Doktora Tezi), YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hacar, M., ve Gökgöz, T. (2019). A New, Score-Based Multi-Stage Matching Approach for Road Network Conflation in Different Road Patterns. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 81. doi: 10.3390/ijgi8020081

HGM, (2020). *1:25 000, 1:50.000 ve 1:100.000 Ölçekli Kartografik Gösterim Talimatı*, Harita Genel Müdürlüğü, Ankara.

Kesgin, M. (2013). *Investigating The Potential of Satellite Images in Topographic Map Production* (Yüksek Lisans Tezi), YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ruiz, J.J., Ariza, F.J., Urena, M.A. ve Blazquez E.B. (2011). Digital map conflation: a review of the process and a proposal for classification, *International Journal of Geographical Information Science*, 25:9, 1439-1466. doi: 10.1080/13658816.2010.519707

- Saalfeld, A. (1988). Conflation Automated map compilation. *International Journal of Geographical Information Systems*, 2(3), 217–228. doi:10.1080/02693798808927897
- Sorokine A., Kaufman J, Piburn J. ve Stewart N. (2020). *Active Learning Approach to Record Linking in Large Geodatasets*, Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States).. Erişim adresi: <https://cartogis.org/autocarto/autocarto-2020/program/presentations/>
- Sun, K., Zhu Y.ve Song, J. (2019). Progress and Challenges on Entity Alignment of Geographic Knowledge Bases. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8 (2): 77. doi:10.3390/ijgi8020077
- Virrantaus, K., Fairbairn, D.ve Kraak, M.J. (2009). ICA Research Agenda on Cartography and Geographic Information Science. *Cartographica, The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 44(1). Erişim adresi: https://icaci.org/files/documents/reference_documents/2009_ICA_ResearchAgenda.pdf
- Yılmaz A., Okul A. ve Canıberk M. (2017). *Türkiye Topografik Vektör Veri tabanı (Topovt) Gerçek Zamanlı Güncelleme Sistemi*, TUFUAB IX. Teknik Sempozyumu, Afyonkarahisar. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/51689481-Turkiye-topografik-vektor-veritabani-topovt-gercek-zamanli-guncelleme-sistemi.html>
- Yüksel B., Yılmaz A. , Canıberk M. ve Okul A. (2017). *WMS ve Doğrudan Bağlantı Yöntemiyle Veri tabanı Güncelleme Sistemi*, TUFUAB IX. Teknik Sempozyumu, Afyonkarahisar. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/58510124-Wms-ve-dogrudan-baglanti-yontemiyle-veritabani-guncelleme-sistemi.html>

Arazi Örtüsü Değişiminin Arazi Yüzey Sıcaklığına Etkisinin Uzaktan Algılama ve CBS Entegrasyonu ile Belirlenmesi: Aksaray İli Örneği

(Determination of the Effect of Land Cover Change on Land Surface Temperature through Remote Sensing and GIS Integration: Case of Aksaray Province)

Gamze KAÇMAZ¹ , Esra GÜRBÜZ² 

¹Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği ABD, 68100 Aksaray

²Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 68100 Aksaray
gamzeekacmaz@gmail.com, egurbuz@aksaray.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 10.08.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 12.01.2022

ÖZ

Özellikle son dönemlerde Dünya genelinde arazi örtüsü ve arazi kullanımı (AÖ/AK) pek çok farklı nedenle değişmekte, yeşil alanlar azalmakta diğer taraftan kentsel büyüme, yapılaşma, sanayileşme artmaktadır. AÖ/AK'daki bu değişim arazi yüzey sıcaklığına (AYS) etki etmekte ve yüzey sıcaklık değerlerini arttırmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte uzaktan algılama yöntemleri AÖ/AK ve AYS değişimlerinin tespit edilmesi ve değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda sıklıkla kullanılır hale gelmiştir. Aksaray Türkiye'nin nüfusu hızla artan illerinden bir tanesidir. Bu durum şehirde aynı zamanda yapılaşmanın da hızla artmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada 1990-2018 yılları arasında Aksaray ilinin AÖ/AK'sında meydana gelen değişimin arazi yüzey sıcaklığına olan etkisinin zamansal olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda 1990, 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait CORINE verilerinden yararlanılarak AÖ/AK haritaları oluşturulmuştur. Yine aynı yıllara ait Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydu verileri kullanılarak AYS değerleri hesaplanıp haritalanmıştır. Landsat uydu görüntülerinden hesaplanan AYS değerlerinin doğruluğunu test etmek amacıyla MODIS MOD11A1 görüntüleri kullanılarak AYS haritaları oluşturulmuş ve iki veri seti arasındaki korelasyon incelenmiştir. Ayrıca şehir merkezinde bulunan ve toprak sıcaklığı ölçümü yapan bir meteoroloji istasyonunun, kullanılan uydu görüntüleri ile aynı gün aldığı toprak sıcaklığı ölçümleri incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda Aksaray ili AÖ/AK'ında; yapay bölgeler, tarım alanları ve tuz bataklıklarının arttığı, diğer taraftan orman alanları, maki ve otsu alanlar, çıplak alanlar, karasal bataklıklar ve su yapılarının ise azaldığı tespit edilmiştir. AYS verileri ile AÖ/AK verileri ilişkilendirildiğinde sulak alanlar ve orman alanlarındaki sıcaklık değerlerinin; yapay alanlar, çıplak alanlar, maki ve otsu alanlar ile tarım alanlarındaki sıcaklık değerlerine göre belirgin şekilde düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışma alanından rasgele seçilen noktalardaki Landsat ve MODIS uydu verilerinden hesaplanan AYS değerleri karşılaştırılmış ve çok yüksek korelasyon tespit edilmiştir. Landsat uydu görüntülerinden hesaplanan AYS değerleri ile meteoroloji istasyonundan elde edilen sıcaklık değerleri arasında ise ortalama 3,22°C, fark olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı, Arazi yüzey sıcaklığı, Landsat, CORINE, İç Anadolu.

ABSTRACT

In recent years, land cover and land use (LC/LU) on the Earth have been changing for many different reasons, while green areas are declining, urban growth, construction, and industrialization are also increasing. This change in LC/LU affects land surface temperature (LST), at the same time increases temperature values. With the developing technology, Remote Sensing provides an opportunity to detect and evaluate the changes in LC/LU and LST. Aksaray is one of the rapidly growing cities in Turkey. This situation also causes the increase in construction rapidly in the city. This study aims to examine temporal changes the effect of the change in LC/LU of Aksaray city on land surface temperature between 1990-2018. In this context, LC/LU maps were created using CORINE data for 1990, 2000, 2006 and 2018. LST values were calculated and mapped using Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI/TIRS satellite data for the same years. In order to confirm the accuracy of the LST calculated from the Landsat satellite images, the LST maps were created using MODIS MOD11A1 and the correlation between the two data sets was investigated. In addition, the measurements taken on the same day as the satellite images used by a meteorology station in the city center, which measures soil temperature, were examined and compared. As a result of the study, Aksaray province in LC/LU; artificial regions, agricultural areas and salt marshes have been found to increase, while forest areas, herbaceous areas, bare areas, terrestrial marshes and water structures have decreased. When the LST data are correlated, with LC/LU, the temperature values in wetlands and forest areas are significantly lower than the in artificial areas, bare areas, moors and heathland and natural grassland areas and agricultural areas. In addition, LST values calculated from Landsat and MODIS satellite data were compared in random points cohosed in study area and high correlation was detected. It has been observed that there is a average difference of 3.22 °C between the LST values calculated from the Landsat satellite images and the temperature values obtained from the meteorology station.

Keywords: Land Cover/Land Use, Land Surface Temperature, Landsat, CORINE, Central Anatolia.

1. GİRİŞ

Dünya çapında özellikle de gelişmekte olan ülkelerde, son yıllarda nüfus ve ekonomideki hızlı büyüme arazi örtüsü ve arazi kullanımı (AÖ/AK) değişiminde ana etkeni oluşturmaktadır (Lv ve Zhou, 2011). Bu değişim hem doğal hem de antropojenik kaynaklı olabilir. Dünya nüfustaki hızlı artış kentleşmeyi ve kontrolsüz yapılaşmayı beraberinde getirmekle birlikte doğal afetler, ormanların yok olması, küresel ısınma başta olmak üzere pek çok tehlikeyi de tetiklemekte ve AÖ/AK'ya etki etmektedir (Oğuz ve Zengin, 2009). Arazi yüzey sıcaklığı (AYS) doğrudan yüzeye temas edildiğinde hissedilen sıcaklık anlamına gelmektedir (Latif, 2014). AYS bölgesel iklim değişikliği ve bu değişikliğin arazi örtüsü ile ilişkisinin incelenmesinde kullanılan bir iklim parametresidir (Şekertekin, Kutoğlu, Kaya ve Marangoz, 2015). Son yıllarda özellikle küresel ısınma ve sıcaklık değişimleri, şehir ısı adalarının belirlenmesi, AÖ/AK değişimlerinin bölgesel iklim üzerine etkilerinin anlaşılması ve kentsel büyümenin AYS üzerinde etkisinin tespit edilmesi gibi pek çok çalışmada kullanılan bu parametre, farklı platformlardan elde edilen görüntülerin uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak işlenmesi ile izlenebilmektedir (Ghobadi, Pradhan, Shafri ve Kabiri, 2014; Kaçmaz ve Gürbüz, 2021). Günümüzde özellikle Landsat, MODIS ve SENTINEL-3 uydularına ait görüntüler AYS hesaplamalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Ergene, 2006; Gerçek ve Bayraktar, 2014; Zheng ve diğerleri, 2019). AÖ/AK değişimleri ile AYS'deki değişimleri ilişkilendirmek mümkün olduğu gibi (Pal ve Ziaul, 2017) kentsel alanlardaki AYS değerlerinin, artan arazi kullanım değişikliği ile birlikte dünya genelinde giderek arttığı bilinmektedir (Hua ve Ping, 2018).

Ülkemizde de farklı amaçlarla, uydu görüntüleri kullanılarak AYS değerlerinin hesaplandığı örnek çalışmalar bulunmaktadır. Ahmed (2015), Adana ilinin 1990 ve 2011 yılları arasındaki AYS değişiminin AÖ/AK'ya etkisini araştırdığı çalışmada Landsat uydu görüntülerini kullanarak 21 yıl içerisinde çalışma alanında kentsel alanların arttığını, tarım alanı, otlak vb. alanların azaldığını tespit etmiş ve AYS değerlerindeki artışın kentsel alan artışları ile doğru orantılı olduğunu belirtmiştir. Dağlıyar, Avdan ve Uça Avcı (2015), Kahramanmaraş ili için Landsat uydu görüntülerini kullanarak AYS hesaplaması yapmış ve elde ettiği değerleri meteoroloji yer istasyon verileri ile karşılaştırmışlardır. Yazarlar AYS hesaplamalarında Landsat görüntülerinin yeterli doğrulukta sonuç verdiğini ifade etmişlerdir. Amiri (2018), yine Landsat uydu görüntülerini kullanarak

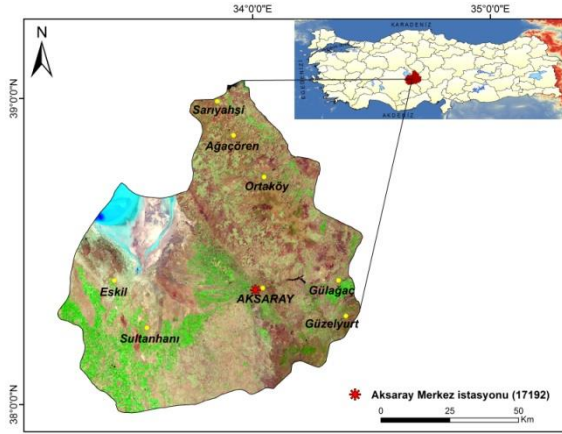
Kayseri ilinde bulunan Develi Ovası'nın 1984-2014 yılları arasında AYS ve arazi kullanım haritalarını üretmiştir. Yazar bu süreçte Develi Ovası'nda özellikle su ve toprak miktarının azaldığını ve bununla orantılı olarak AYS değerlerinde artış olduğu sonucuna ulaşmıştır. Benzer şekilde Atak ve Tonyaloğlu (2020), Aydın ilindeki AÖ değişiminin AYS'ye etkisini inceledikleri çalışmalarında 1990 ve 2017 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerini kullanmış ve bitki örtüsü ile su varlığının AYS üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Akkurt (2020), Eskişehir ilinin 1990-2018 yılları arasında AÖ değişiminin AYS'ye etkisini incelediği çalışmada yapay bölgelere dönüşen alanlarda yüzey sıcaklığının arttığını, bitki örtüsü ve su yapılarına dönüşen alanlarda ise yüzey sıcaklığının azaldığını belirlemiştir. Orhan (2021), Mersin ilindeki kentleşmenin AYS'ye etkisini araştırdığı çalışmada 1990 ve 2018 yıllarına ait kent merkezi haritaları ile AYS haritalarını karşılaştırarak doğal alanların büyük ölçüde yapay bölgelere dönüştüğünü ve kent merkezinde 28 yıllık süreçte 6 °C sıcaklık artışının olduğunu tespit etmiştir.

Tüm bu çalışmalar nüfusun hızla arttığı ülkemizde AÖ/AK değişimlerinin AYS üzerindeki etkilerini göstermektedir. Aksaray ili de Türkiye'nin diğer pek çok ili gibi hızla artan bir nüfus eğilimine sahiptir ve şehir genelinde yapılaşma yoğun şekilde devam etmektedir. Hem ikamete hem de sanayiye bağlı yapılaşmanın hızla arttığı bir şehir olmasının yanı sıra daha önce bu kapsamda yapılan mevcut bir çalışma bulunmaması sebebiyle Aksaray ili çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında öncelikle 1990, 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait CORINE verileri çalışma alanının yüzey özelliklerine göre yeniden gruplandırılarak Aksaray ilinin AÖ/AK haritaları oluşturulmuştur. Yine aynı yıllara ait Landsat uydu görüntüleri üzerinden AYS değerleri hesaplanmış ve haritalanmıştır. Önceki pek çok çalışmada bu verilerin doğruluğu aynı/yakın tarihli farklı uydu görüntüleri ya da yersel istasyonlar ile kontrol edilmiş olup, bu çalışma kapsamında Landsat verilerinin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla hem aynı tarihli MODIS uydu görüntüleri hem de çalışma alanındaki meteoroloji istasyonuna ait toprak sıcaklığı verileri kullanılmıştır. Farklı uydu görüntülerinden elde edilen veri setleri kendi aralarında ve de yersel ölçümler ile korele edilerek, Aksaray ilindeki AÖ/AK değişiminin arazi yüzey sıcaklığına etkisi incelenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Aksaray ili

1989 yılında il olmasıyla birlikte hızla artan bir nüfus grafiği göstermektedir. 1990 yılında 326.399 olan il nüfusu 2018 yılında 412.172'e ulaşmıştır (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2021). Genel olarak düzlük bir topografya üzerine kurulan ve Tuz Gölü'nün güneydoğusunda yer alan şehrin topraklarının çok büyük bir bölümünün tuzlu olması bölgede bitki örtüsü dağılımının kısıtlı olmasına sebep olmaktadır (Şekil 1). Özellikle 2000'li yıllara gelindiğinde nüfustaki hızlı artış, il genelinde kentleşmeyi ve dolayısıyla yapılaşmayı da beraberinde getirerek arazi kullanımının farklılaşmasına yol açmıştır. Ayrıca coğrafik olarak pek çok şehri birbirine bağlayan bir kavşak konumunda olması şehirde sanayinin farklı kollarının gelişmesine ve bunlara bağlı yapılaşmanın da artmasına neden olmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanına ait Landsat 8 uydu görüntüsü (RGB 7,5,3).

3. MATERYAL VE METOT

Aksaray ilinde AÖ/AK değişiminin neden olduğu AYS değişiminin araştırılması için CORINE arazi örtüsü verileri ile Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüleri temel veri seti olarak kullanılmıştır. Ayrıca Landsat görüntülerinden elde edilen verilerin doğruluğunu test etmek için MODIS MOD11A1 (Land Surface Temperature/Emissivity; Arazi Yüzey Sıcaklığı ve Emisyonu) görüntüleri ile il merkezinde toprak sıcaklığı ölçümü alan meteoroloji istasyonu verileri kullanılmıştır (Şekil 1).

a. CORINE AÖ/AK Verileri

CORINE (Coordination of Information on the Environment; Çevre Hakkında Bilginin Koordinasyonu), Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency) tarafından belirlenen çeşitli arazi örtüsü sınıflarına dair mekânsal bilgilerin bilgisayar destekli görsel yorumlama metodu ile

üretildiği, bir arazi örtüsü belirleme ve sınıflandırma projesidir. Proje kapsamında SPOT, IRS ve RapidEye, Sentinel-2 ve Landsat 8 gibi yer görüntüleme uyduları tarafından elde edilen görüntüler kaynak olarak kullanılmaktadır. 1985 yılında başlatılan program kapsamında günümüze kadar 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait AÖ/AK verileri Avrupa Birliği üyesi ülkeler ile Türkiye'nin de içinde bulunduğu 39 ülke için üretilmiş durumdadır. Bu veriler, Avrupa Çevre Ajansı'nın belirlediği 3 hiyerarşik düzey ve 44 sınıftan oluşan 1/100.000 ölçeğinde vektör veriler şeklinde sunulmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Yapılan bu çalışma kapsamında Aksaray ilinin AÖ/AK'sında meydana gelen değişiklikleri belirlemek amacıyla 1990, 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait CORINE verileri kullanılmıştır. Veriler kullanılırken öncelikle çalışma kapsamında tüm yıllardaki alt sınıflar incelenmiş, farklı tarihlerdeki verilerde bulunan farklı sınıflar tespit edilmiştir (1990 ve 2000 yılı verilerinde olmayan, ancak 2006 ve 2018 yılı verilerinde bulunan 'tuz bataklıkları' sınıfı). Bölgede zamana bağlı değişimin yorumlanabilmesi için bu sınıflar da dikkate alınarak benzer özellik gösteren alanlar bir araya getirilmiş ve yeniden sınıflandırma işlemi yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. CORINE sınıfları ve çalışma kapsamında kullanılan (yeni) sınıflar.

Yeni sınıf	3.Seviye CLC CORINE sınıfları
Yapay bölgeler	1.1.1.Sürekli şehir yapısı, 1.1.2.Kesikli/sürekli şehir yapısı, 1.2.1.Endüstriyel ve ticari birimler, 1.2.4.Havaalanları, 1.3.1.Maden çıkarım sahaları, 1.3.3.İnşaat sahaları, 1.4.1.Yeşil şehir alanları, 1.4.2.Spor ve eğlence alanları.
Tarımsal alanlar	2.1.1.Sulanmayan ekilebilir alanlar, 2.1.2.Sürekli sulanan alanlar, 2.2.1.Üzüm bağları, 2.2.2.Meyve bahçeleri, 2.3.1.Mera alanları, 2.4.2.Karışık tarım alanları, 2.4.3.Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları.
Ormanlık alanlar	3.1.1.Geniş yapraklı ormanlar, 3.1.2.İğne yapraklı ormanlar, 3.1.3.Karışık ormanlar.
Maki-otsu alanlar	3.2.1.Doğal çayır/otluklar, 3.2.4.Bitki değişim alanları.
Çıplak alanlar	3.3.1.Sahiller, kumsallar,kumluklar, 3.3.2.Çıplak kayalık alanlar, 3.3.3.Seyrek bitki alanları.
Karasal bataklık	4.1.1.Karasal bataklıklar.
Tuz bataklıkları	4.2.1.Tuz bataklığı.
Su yapıları	5.1.1.Su yolları, 5.1.2.Su kütelleri.

b. Uydu Görüntüleri

Çalışma kapsamında AYS haritalarının üretilmesi amacıyla 1990, 2000 ve 2006 yıllarına ait Landsat 5 TM uydu görüntüleri ile 2018 yılına ait Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüsü kullanılmıştır (Tablo 2). AYS'nin daha anlamlı bir şekilde hesaplanabilmesi, mevsimsel etkilerin azaltılması ve bulut miktarının minimum seviyede olması amacıyla Temmuz ve Ağustos ayı görüntüleri tercih edilmiştir. AYS haritalarının hazırlanmasında Landsat TM sensörüne ait 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip kırmızı (Band 3) ve yakın kızılötesi bant (Band 4) ile 120 m çözünürlüğe sahip termal bant (Band 6) kullanılırken, OLI/TIRS sensörüne ait yine 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip kırmızı (Band 4) ve yakın kızılötesi bant (Band 5) ile 100 m çözünürlükteki termal bant (Band 10) kullanılmıştır.

Ayrıca çalışmada Landsat görüntülerinden elde edilen AYS değerlerinin doğruluğunun kontrol edilmesi amacıyla Landsat görüntüleri ile eş zamanlı 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait MODIS MOD11A1 verilerinden yararlanılmıştır. MODIS Terra uydusu 1999 yılında faaliyete geçtiği için 1990 yılına ait veri bulunmamaktadır (Tablo 2). MOD11A1 verisi 1000 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Bu nedenle MODIS görüntülerinden elde edilen AYS haritalarının Landsat görüntülerinden elde edilen AYS haritaları ile korele edilebilmesi için öncelikle Landsat uydu görüntüleri 1000m'ye yeniden örneklenerek yeni bir grup AYS haritası üretilmiştir. Daha sonra çalışma alanında rastgele seçilmiş 150 noktanın her iki uyduya ait görüntülerdeki değerleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri.

Sensör	Görüntü tarihi
Landsat-5 TM	04.08.1990
Landsat-5 TM	14.07.2000
Landsat-5 TM	31.07.2006
Landsat-8 OLI&TIRS	17.08.2018
MOD11A1	14.07.2000
MOD11A1	31.07.2006
MOD11A1	17.08.2018

c. Meteoroloji İstasyonu Verileri

Landsat uydu görüntülerinden elde edilen AYS değerlerinin doğruluğunu teyit etmek amacıyla, MODIS görüntülerinin yanı sıra Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Aksaray Merkez istasyonuna (İstasyon no: 17192) ait, aynı tarihli toprak sıcaklık verileri kullanılmıştır (çalışma alanında toplamda 8 adet meteoroloji istasyonu

bulunmakla birlikte toprak sıcaklığı ölçümü alan sadece 1 adet istasyon vardır). Kullanılan toprak sıcaklığı verileri 5 cm. derinlikteki toprak sıcaklığı verileridir.

ç. Landsat Uydu Görüntülerinden AYS'nin Hesaplanması

Landsat uydu görüntülerinden sıcaklık verisi elde etmek için termal bantlar kullanılmaktadır (Qin, Karnieli ve Berliner, 2001). AYS'nin hesaplanabilmesi için öncelikle termal bant değerlerinin spektral radyans değerlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Landsat-5 görüntülerinden atmosfer üstü spektral radyans değerinin hesaplanması için eşitlik (1), Landsat-8 görüntüsünden atmosfer üstü spektral radyans değerinin hesaplanması için ise eşitlik (2) kullanılmıştır (Chander ve Markham, 2003; Chander ve Groeneveld, 2009; Barsi vd., 2014; Roy ve diğerleri, 2020);

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{QCAL_{\max} - QCAL_{\min}} (QCAL - QCAL_{\min}) + L_{\min} \quad (1)$$

$$L_{\lambda} = ML * Q_{CAL} + A_L \quad (2)$$

Eşitliklerdeki, L_{λ} sensördeki spektral radyans değeri, ML meta veriden alınan banda özgü ölçekleme çarpan faktörü, Q_{CAL} dijital sayının piksel değeri, A_L meta veriden alınan banda özgü ölçekleme toplam faktörünü ifade etmektedir.

Bir sonraki adımda, elde edilen spektral radyans değerlerinin sıcaklık değerlerine dönüşümü, eşitlik (3) kullanılarak yapılmıştır (Chander ve Markham, 2003; Yuan ve Bauer, 2006; Coll, Galve, Sánchez ve Caselles, 2010).

$$TB = \frac{K2}{\ln((K1/L_{\lambda}) + 1)} - 273,15 \quad (3)$$

Burada, TB atmosfer üstü parlaklığın sıcaklığa dönüştürülmesini, K1 ve K2 meta veriden alınan termal bant dönüşümlerini ifade etmektedir (United States Geological Survey [USGS], 2021).

AYS hesaplamalarında kullanılan bir sonraki adım Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksinin (NDVI) hesaplanmasıdır. Tucker (1979) tarafından geliştirilmiş olan bu indeks yakın kızılötesi ve kırmızı dalga boylarındaki yansıtma değerlerini kullanarak yeşil bitki örtüsü yoğunluğu hakkında bilgi edinmeyi sağlar (eşitlik (4)).

$$NDVI = \frac{\text{Yakın Kızılötesi Band} - \text{Kırmızı Band}}{\text{Yakın Kızılötesi Band} + \text{Kırmızı Band}} \quad (4)$$

Eşitlikten çıkan sonuçlar (-1) ile (+1) arasında değer alır ve yeşil bitki örtüsünün fazla olduğu alanlarda indeks değeri +1'e doğru yaklaşır. Bitki örtüsünün olmadığı alanlarda ise bu değer negatif yöne doğru değişir. Bununla birlikte bu aralıkta ki değerler literatürde 3 gruba ayrılarak değerlendirilmektedir: Yüzey değerleri; $NDVI < 0,2$ olduğu durumlarda kayaç ya da kuru toprağı, $0,2 < NDVI < 0,5$ olduğu durumlarda toprak/kayaç ve bitki örtüsü karışımını, $NDVI > 0,5$ olduğu durumda ise tamamen bitki örtüsünü temsil etmektedir (Sobrino, Jiménez-Muñoz ve Paolini, 2004).

Ayrıca NDVI, AYS hesaplamalarında arazi yüzey emisyonu (ϵ_λ) ve bitki örtüsü oranının (P_v) belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bitki örtüsü oranı (eşitlik (5)) NDVI üzerinden maksimum ($NDVI_{max}$) ve minimum ($NDVI_{min}$) değerler kullanılarak belirlenmektedir (Sobrino ve diğerleri, 2004).

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (5)$$

AYS hesaplamalarında kullanılan bir diğer parametre arazi yüzey emisyonu/yayınırılığı (ϵ_λ)'dır. Yayınırılığı, cisme gelen toplam ışın enerjisinin, emilen ışın enerjisine oranı olarak ifade etmek mümkündür. Cisim ne kadar siyah ve mat ise yayınırılığı o kadar yüksektir. Arazi yüzey emisyonu eşitlik (6) ile hesaplanır (Sobrino ve diğerleri, 2004).

$$\epsilon_\lambda = \epsilon_{v\lambda} P_v + \epsilon_{s\lambda} (1 - P_v) + C_\lambda \quad (6)$$

Burada, $\epsilon_{v\lambda}$ bitki yayılım değerini, $\epsilon_{s\lambda}$ toprak yayılım değerini, C_λ ortalama arazi pürüzlülüğünü ifade etmektedir. (Sobrino ve diğerleri, 2004).

Son olarak, daha önce hesaplanmış sensör parlaklık sıcaklık değerine (eşitlik 3), eşitlik 7'deki yer arazi yüzey emisyonu düzeltmesi yapılarak AYS değerleri elde edilir (eşitlik (7)).

$$T_s = \frac{TB}{\left(1 + \left[\left(\frac{\lambda TB}{h * c} \right) \ln \epsilon_\lambda \right] \right)} \quad (7)$$

Burada, λ termal bant dalga boyu, h Planck sabiti ($6.626 \cdot 10^{-34}$ Js), c ışık hızı ($2.998 \cdot 10^8$ m/s), b Boltzmann sabiti ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K), ϵ_λ arazi yüzey emisyonunu ifade etmektedir (Avdan ve Jovanovska, 2016).

Landsat görüntülerine ilgili işlem adımları uygulanarak, belirlenen tarihler için üretilen AYS

haritalarının yanı sıra bu haritalardan 1990 ve 2018 yıllarına ait olanlar kullanılarak çalışma alanı için AYS fark haritası oluşturulmuştur.

d. MODIS MOD11A1 Görüntülerinden AYS Haritalarının Üretilmesi

Çalışma kapsamında kullanılan MOD11A1 verilerindeki piksel değerleri yüzey sıcaklığına dönüştürülmemiş sayısal parlaklık değerleridir. Bu nedenle görüntüdeki piksel değerleri 0,02 ölçek faktörü ile çarpılarak yüzey sıcaklığına çevrilir (eşitlik (8)). Ayrıca Kelvin olan sıcaklık değerleri santigrat dereceye dönüştürülmüştür (Gerçek ve Bayraktar, 2014).

$$AYS_{MODIS} = Q_c * 0,02 - 273,15 \quad (8)$$

Burada, Q_c MOD11A1 piksel değerlerini temsil eder.

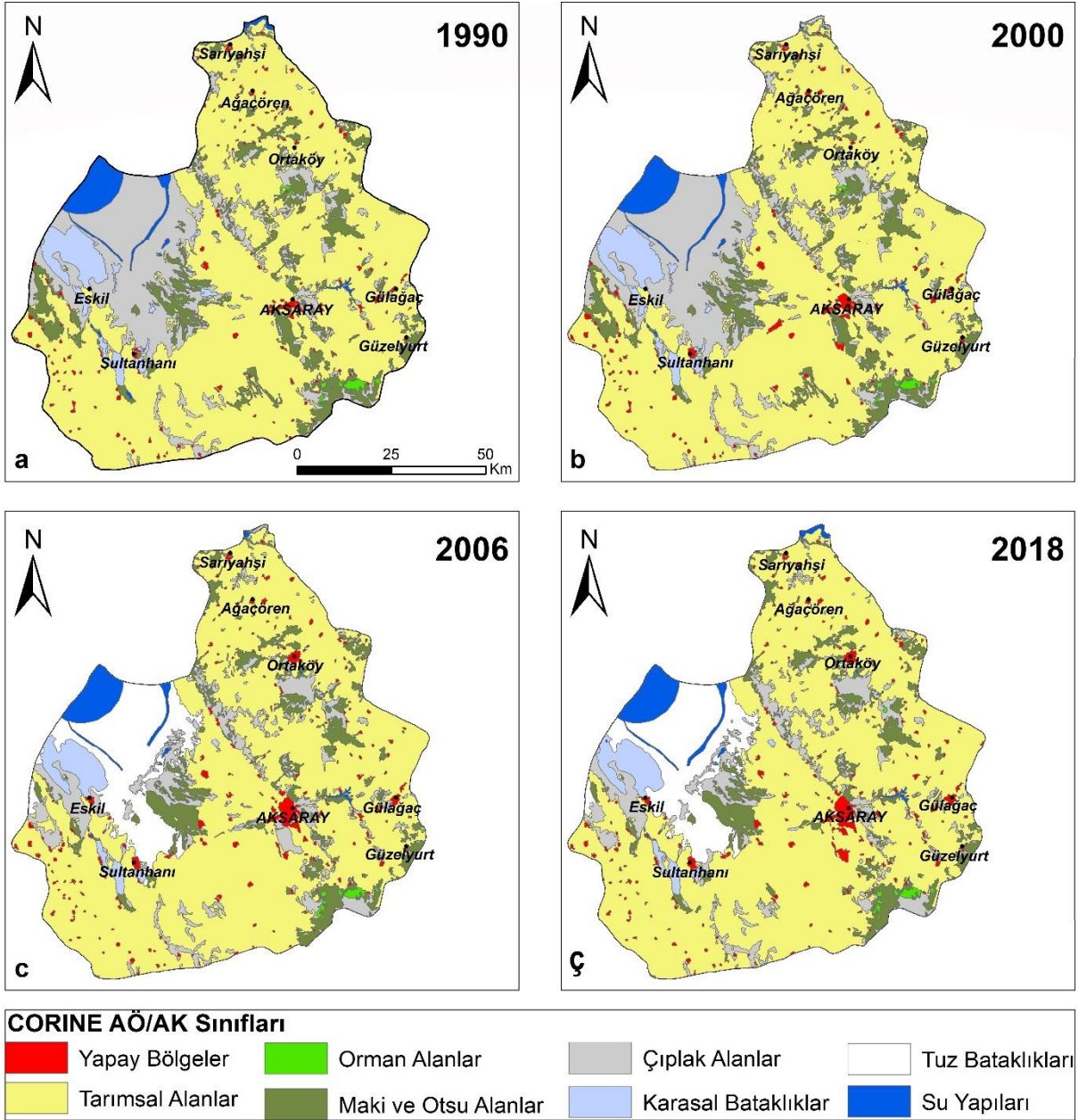
4. BULGULAR

a. CORINE AÖ/AK Haritaları

Bu çalışmada, CORINE verilerinden oluşturulan yeni sınıflandırma ile Aksaray ilinin 1990, 2000, 2006 ve 2018 yılları için üretilen AÖ/AK haritaları Şekil 2'de gösterilmektedir. 1990-2018 yılları arasında AÖ/AK değişimine bakıldığında; genel olarak yapay bölgeler, tarım alanları ve tuz bataklığı olarak tanımlanan alanların arttığı, diğer taraftan orman alanları, maki ve otsu alanlar, çıplak alanlar, karasal bataklıklar ve su yapılarının azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 3). Bu değişim süreci içerisinde maki ve otsu alanlar ile çıplak alanların 2000 ile 2006 yılı arasında önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Ayrıca 1990-2000 yıllarında AÖ/AK haritalarında bulunmayan, Tuz Gölü ve çevresinde yer alan ve büyük bir kısmı çıplak alan olarak alt sınıfa ayrılmış karasal bataklık alanlarının 2006-2018 yıllarında tuz bataklığı alanlarına dönüşerek yeni bir sınıf oluşturduğu görülmüştür.

Tablo 3. Çalışma alanındaki AÖ/AK sınıflarının 1990 ve 2018 yıllarındaki alansal dağılımı.

Sınıflar	Alansal dağılım (km ²)			
	1990	2000	2006	2018
Yapay Bölgeler	113	141	191	202
Tarımsal alanlar	5249	5245	5246	5326
Ormanlık alanlar	28	26	22	23
Maki-otsu alanlar	782	770	638	590
Çıplak alanlar	1457	1468	766	708
Karasal aklıklar	258	250	212	208
Tuz bataklıkları	-	-	830	833
Su yapıları	197	184	179	194

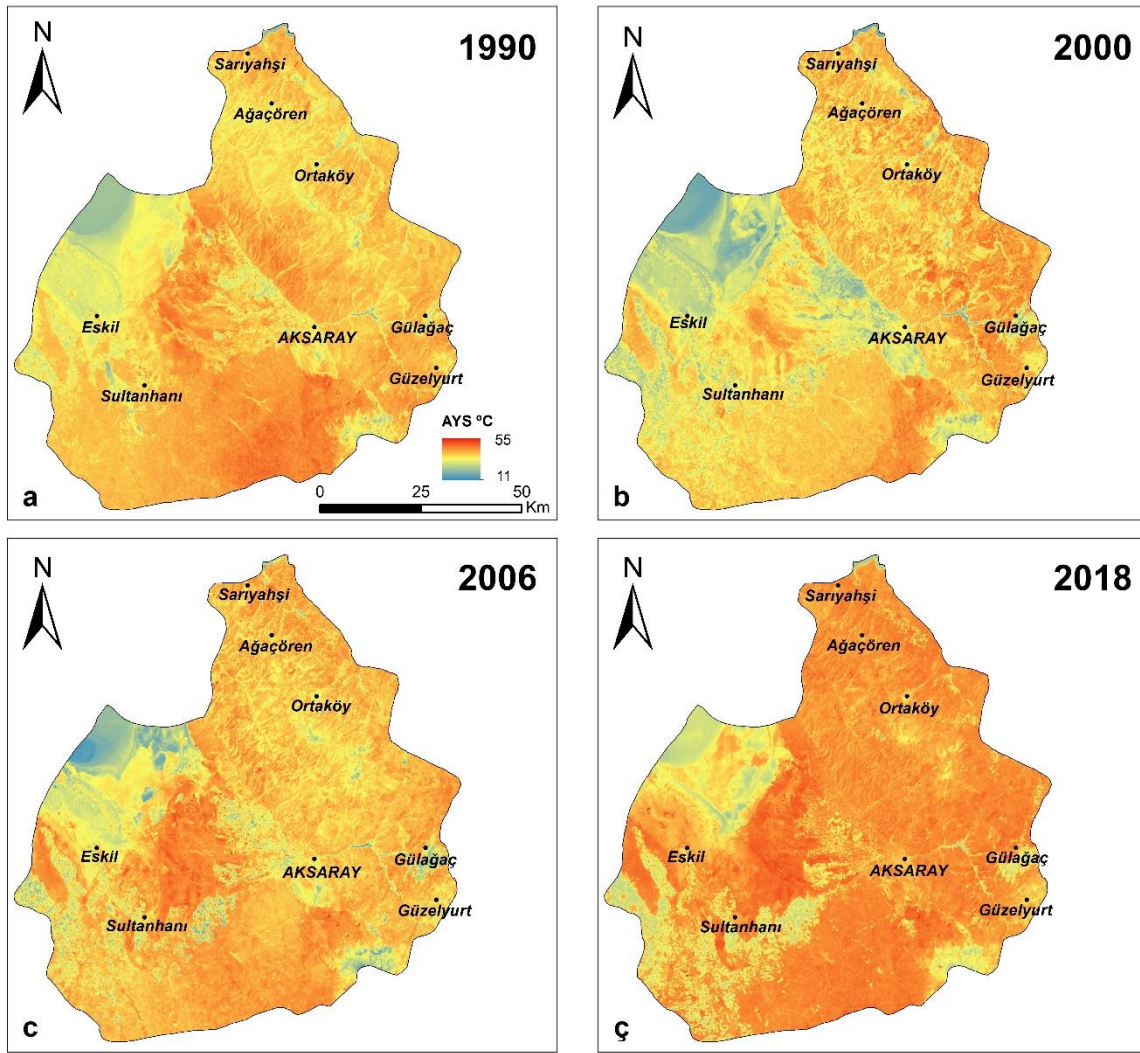


Şekil 2. Belirlenen yıllara ait CORINE AÖ/AK haritaları; (a) 1990, (b) 2000, (c) 2006, (ç) 2018.

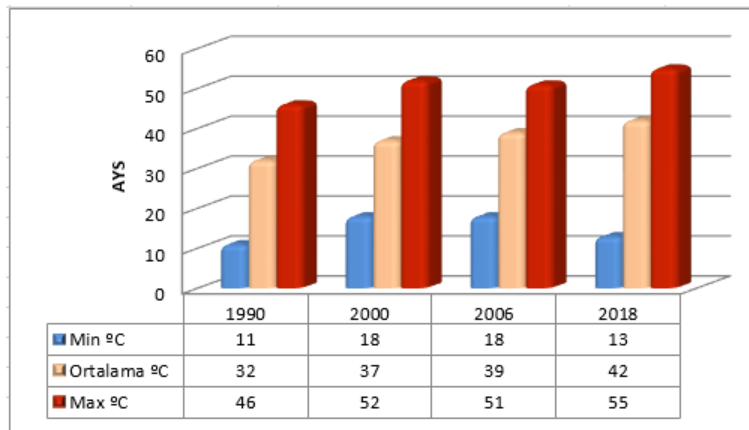
b. AYS Haritaları

Çalışma kapsamında, Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüleri kullanılarak Aksaray ilinin 1990, 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait AYS haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3). Landsat uydu görüntülerinden hesaplanan

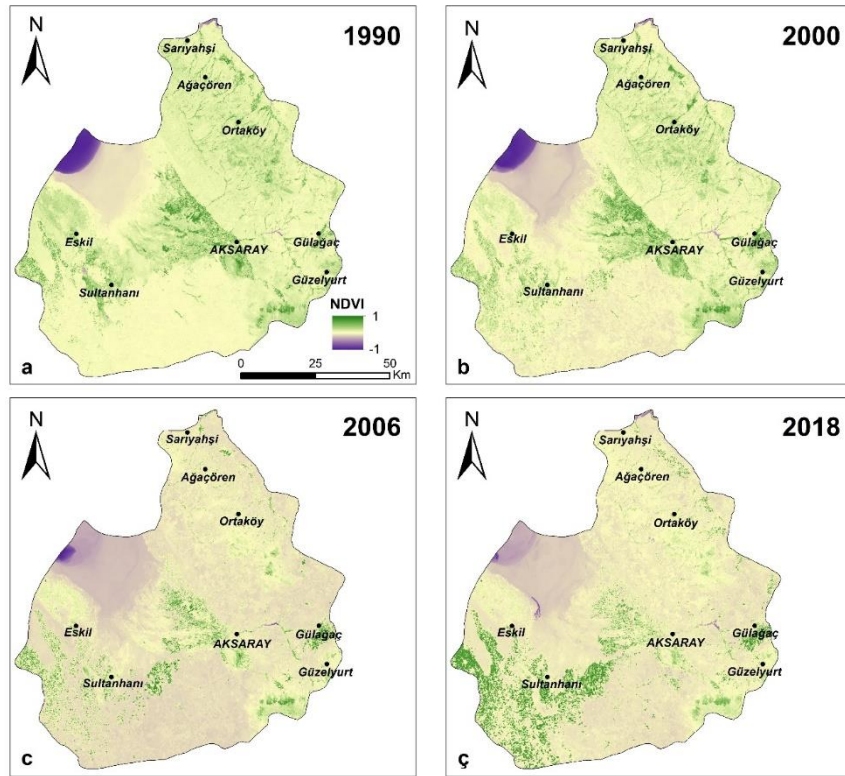
minimum ve maksimum AYS değerlerinin 11 °C ile 55 °C arasında değiştiği görülmektedir. Tüm görüntülerden hesaplanan minimum, ortalama ve maksimum değerler ve bunlara ait grafik Şekil 4'te yer almaktadır. Ayrıca AYS haritalarının üretimi sırasında belirtilen her yıl için çalışma alanının NDVI haritaları da oluşturulmuştur (Şekil 5).



Şekil 3. Landsat görüntülerinden üretilmiş (a) 1990, (b) 2000, (c) 2006, (ç) 2018 yıllarına ait AYS haritaları.



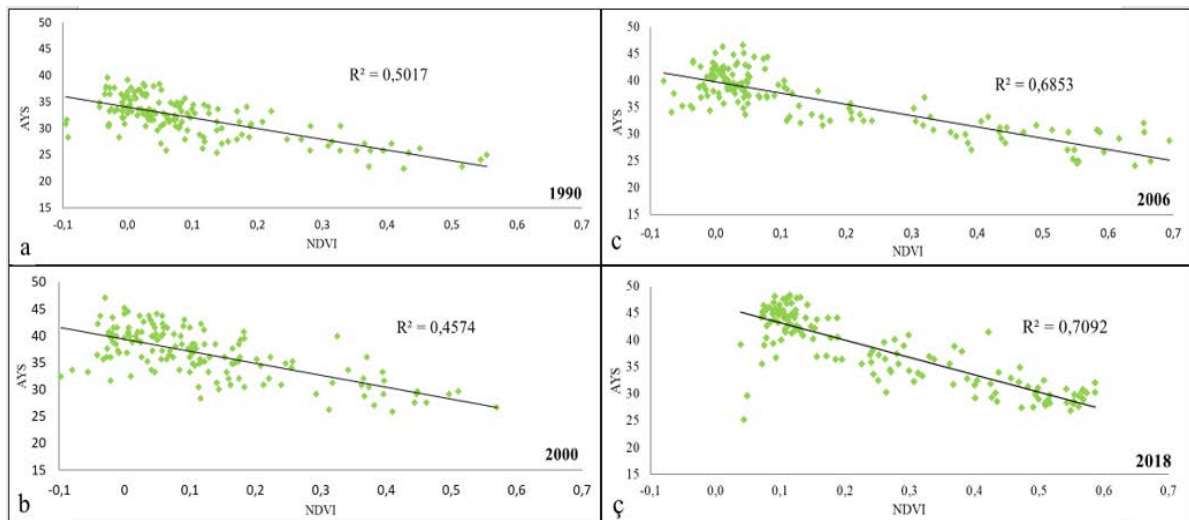
Şekil 4. 1990, 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait Landsat görüntülerinden üretilmiş AYS değerleri.



Şekil 5. Landsat görüntülerinden üretilmiş (a) 1990, (b) 2000, (c) 2006, (ç) 2018 yıllarına ait NDVI haritaları.

Bir bölgedeki bitki örtüsü varlığı o bölgedeki yüzey sıcaklığının değişimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle Landsat görüntüleri üzerinden AYS hesaplaması yapılırken kullanılan önemli parametlerden bir tanesi NDVI'dır. Bu ilişkinin istatistiksel olarak ortaya konabilmesi için çalışma alanında seçilen 150 rastgele noktanın, Landsat görüntülerinden üretilen tüm AYS ve NDVI

haritalarındaki değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Elde edilen veriler AYS değerlerinin yüksek olduğu yerlerde NDVI değerlerinin düşük, AYS değerlerinin düşük olduğu yerlerde ise NDVI değerlerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle, AYS değerleri ile NDVI değerleri arasında negatif bir korelasyon mevcuttur.



Şekil 6. 1990, 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait Landsat görüntülerinden üretilen AYS ve NDVI değerlerinin karşılaştırılması.

c. AYS ile AÖ/AK Arasındaki İlişki

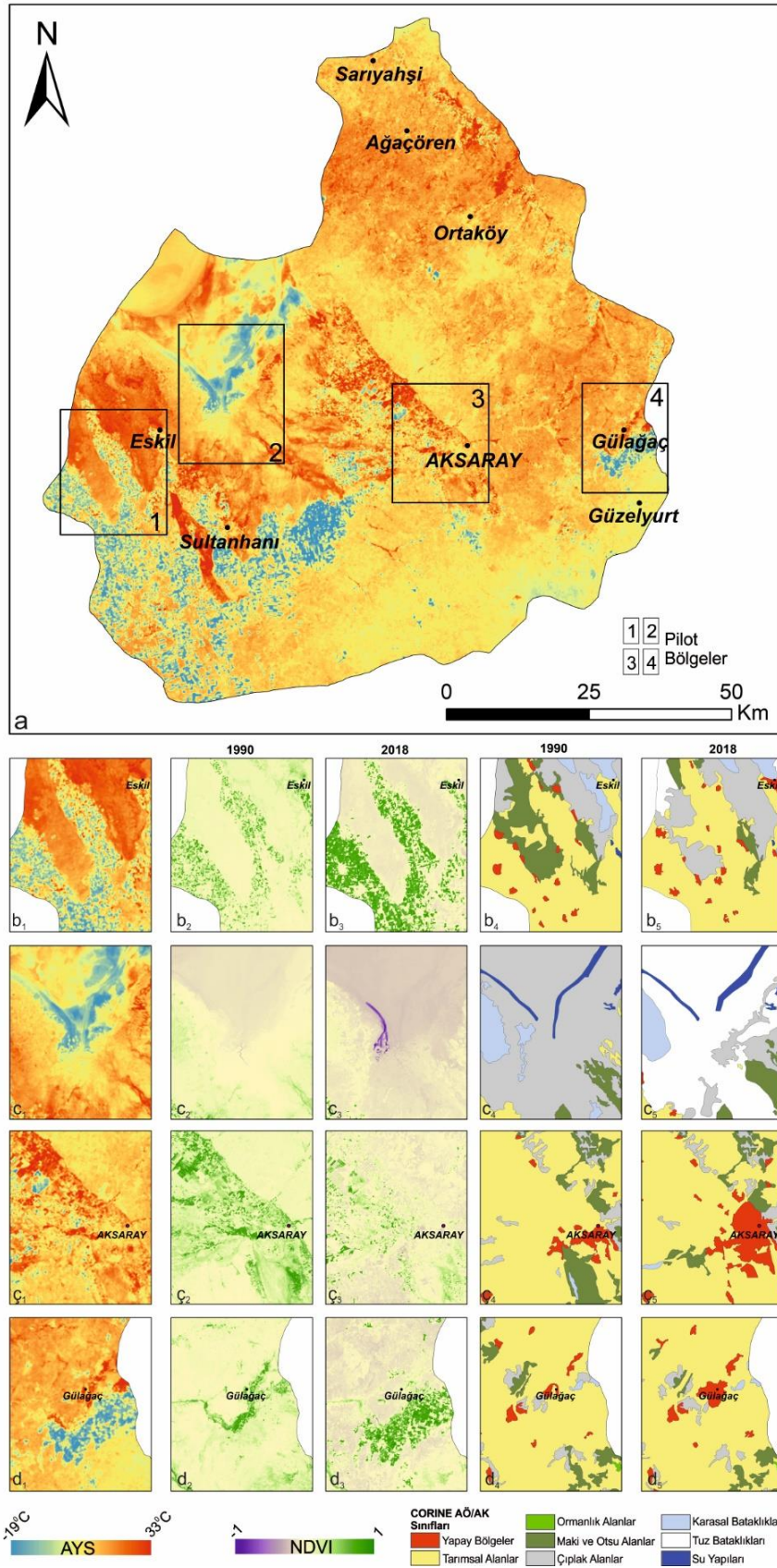
Çalışma alanında farklı tarihlerdeki AYS ve AÖ/AK değişiminin ortaya konması amacıyla uydu görüntülerinden üretilen AYS değerleri aynı yıllara ait CORINE AÖ/AK sınıfları ve de AYS haritalarının oluşturulması sırasında üretilen NDVI haritaları ile karşılaştırılmıştır. Böylece bir arazi sınıfının yıllar içerisindeki değişimi, aynı alandaki AYS değerleri ve bitki örtüsü varlığının bu değerlere etkisi ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu amaçla 1990 ve 2018 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılarak AYS fark haritası oluşturulmuştur (Şekil 7a). Hazırlanan fark haritası üzerinden farklı özelliklere sahip pilot bölgeler seçilmiş ve bu alanlardaki sıcaklık değişimleri, bitki örtüsü yoğunluğu ve AÖ/AK değişimleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 7b, c, ç, d).

1 nolu pilot bölgenin AÖ/AK haritalarına bakıldığında 1990 yılında Eskil'in batısında bulunan maki-otsu alanların 2018 yılında çıplak alanlara, 1990 yılında çıplak alan olarak sınıflanmış bölgelerin ise 2018 yılında tuz bataklığına dönüştüğü görülmektedir, bu durum aynı alanlarda AYS değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Diğer yandan 28 yıllık periyot içerisinde aynı pilot alanda sıcaklığın düştüğü kesimlerin AÖ/AK'sında büyük bir değişiklik olmamış aksine tarım alanından oluşan yüzey örtüsü varlığını korumuştur. NDVI haritalarına bakıldığında ise bu alanların NDVI değerleri 1990 yılında düşük iken, 2018 yılında bitki örtüsü varlığını temsil edecek şekilde 1'e yaklaştığını söylemek mümkündür. Bu durumun 2018 yılı görüntüsünün hasat zamanından önce alınmış olmasından ya da toprağın nem miktarındaki değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir.

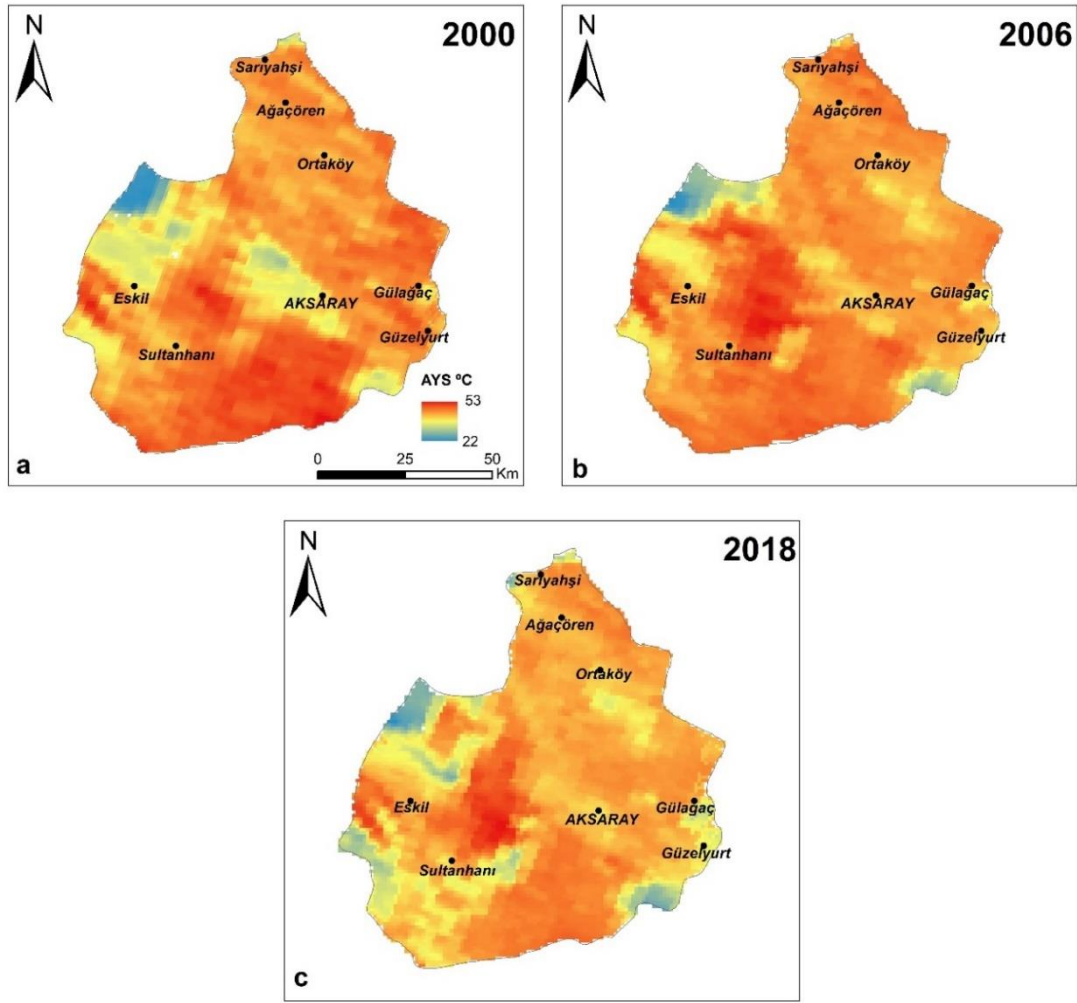
2 nolu pilot bölgeye bakıldığında, 1990 yılında çıplak alan olarak sınıflanmış kesimlerin 2018 yılında tuz bataklığına dönüştüğü görülmektedir. Bu alanlar tuz ve farklı miktarda su ihtiva eden alanlardır. Pilot alan içerisinde öne çıkan, sıcaklığın belirgin şekilde düştüğü bölgenin bataklığın su miktarı fazla olan, sıcaklığın arttığı bölgenin ise bataklığın görece daha az su içeren kısımları olduğu söylenebilir.

Aksaray merkez ilçeyi de kapsayan 3 nolu pilot bölgenin AÖ/AK haritalarına bakıldığında bu alandaki en belirgin değişimin il merkezinin bulunduğu yapay alanda artış, merkezin G-GB'sindeki maki ve otsu alanlarda azalış şeklinde olduğu görülmektedir. Bu durum AYS değerlerinde artışa sebep olmuştur. Merkez ilçenin KB'sı boyunca uzanan diğer bir sıcaklık artış bölgesinde ise belirgin bir arazi örtüsü değişimi görülmemektedir (söz konusu bölge 1990 yılında da 2018 yılında da tarım alanıdır). Ancak AÖ/AK'da belirgin bir değişiklik olmadığı halde var olan tarım alanında ürün türünün değişimi ya da görüntünün hasat zamanından sonra alınmış olması AYS değerlerini arttırmış olabilir. NDVI haritalarındaki değerlerin değişimi de bu düşüncüyü desteklemektedir.

Tarımsal alanlarda ürün bulunuyor olmasının AYS değerlerine etkisinin çalışma alanında net bir şekilde görüldüğü bir diğer Pilot Bölge Gülağaç ilçesini içine alan 4 nolu pilot bölgedir. Bu Pilot bölge büyük oranda tarım alanları ile kaplıdır ve ilçe merkezindeki yapay alan artışı ile genel olarak maki ve otsu alanların az da olsa azalışının yanı sıra büyük bir AÖ/AK değişimi yansıtmamaktadır. Ancak AYS fark haritasına bakıldığında ilçe merkezinin alt kesimlerinde belirgin bir sıcaklık düşüşü göze çarpmaktadır. Aynı bölgenin NDVI değerlerine bakıldığında, 1990 yılından itibaren mevcudiyetini koruyan tarım alanlarında 2018 yılı görüntüsünde ürün olması ya da bu tarihte toprağın nem değerinin yüksek olmasına bağlı olarak NDVI değerlerinin yüksek, dolayısıyla AYS değerlerinin düşük çıktığını söylemek mümkündür.



Şekil 7. (a) Çalışma alanı 2018-1990 AYS fark haritası, pilot bölgelerin (b₁, c₁, ç₁, d₁) AYS fark haritaları, (b_{2,3}; c_{2,3}; ç_{2,3}, d_{2,3}) NDVI haritaları, (b_{4,5}; c_{4,5}; ç_{4,5}, d_{4,5}) AÖ/AK haritaları.

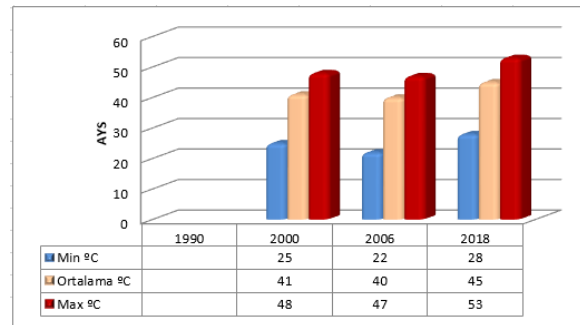


Şekil 8. MOD11A1 görüntülerinden üretilmiş (a) 2000, (b) 2006, (c) 2018 yıllarına ait AYS haritaları.

ç. Doğruluk Analizleri

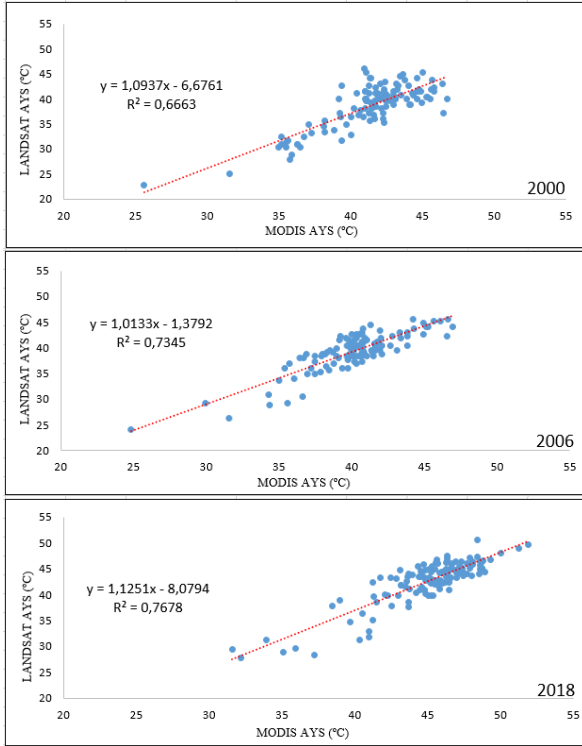
Landsat görüntüleri kullanılarak hesaplanan AYS değerlerinin doğruluğunu test etmek amacıyla öncelikle 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait MODIS görüntülerinden AYS haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalara bakıldığında AYS değerlerinin 22 °C ile 53 °C arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 8). Çalışılan tüm yıllar için hesaplanan minimum, ortalama ve maksimum değerler ve bunlara ait grafik Şekil 9'da yer almaktadır.

Çalışma kapsamında farklı uydu görüntülerinden üretilen AYS haritalarının karşılaştırılabilmesi amacıyla, çalışma alanı içerisinde seçilen 150 rastgele noktanın tüm haritalardaki sıcaklık değerleri hesaplanarak grafiklenmiştir (Şekil 10).



Şekil 9. 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait MOD11A1 görüntülerinden üretilmiş AYS değerleri.

Elde edilen bu verilere iki sayısal veri arasındaki ilişkiyi gösteren bir istatistiksel yöntem olan Pearson Korelasyonu uygulanmıştır. Pearson korelasyon katsayısının (r) -1 ile +1 arasında aldığı değerler korelasyonun durumunu ifade etmektedir.



Şekil 10. 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait Landsat ve MODIS uydu verileri arasındaki ilişki.

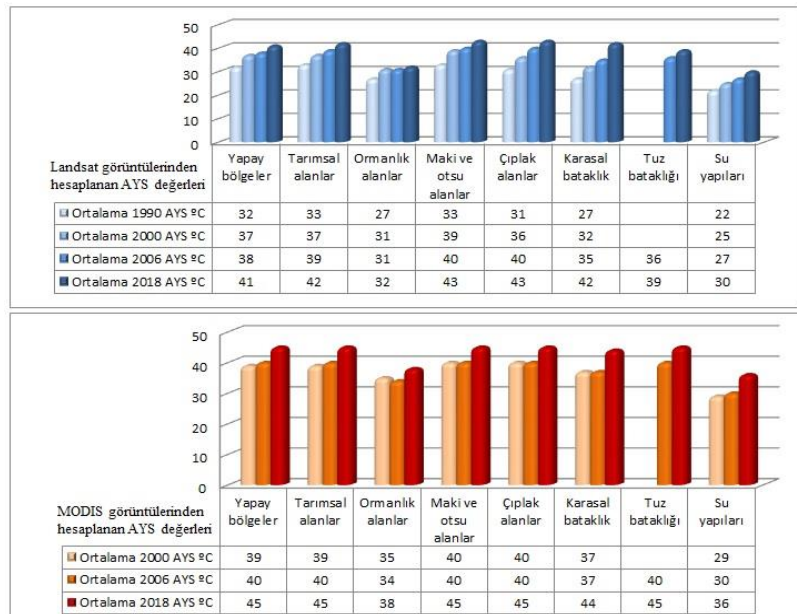
Korelasyon katsayısının $r=+/-1$ olması, değişkenler arasındaki ilişkinin tam olduğunu $r=0$ olması ise değişkenler arasında hiçbir ilişkinin olmadığını gösterirken, korelasyon katsayısının $+/-1$ 'e yaklaşması ilişkinin güçlü olduğuna, 0'a yaklaşması ise değişkenler arasında zayıf bir ilişki

olduğuna işaret etmektedir (Konuk, 2011, Gündüz ve Ekercin, 2020). Landsat ve MODIS görüntülerinden üretilen AYS haritalarının karşılaştırılması amacıyla seçilen noktaların sıcaklık değerlerinin kıyaslanması sonucunda elde edilen korelasyon katsayıları (r) Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Belirlenen yıllarda Landsat ve MODIS uydu verileri arasındaki Pearson's korelasyon katsayıları.

Landsat görüntü tarihleri	MODIS görüntü tarihleri	Pearson's korelasyon katsayısı (r)
14.07.2000	14.07.2000	0,81
31.07.2006	31.07.2006	0,82
17.08.2018	17.08.2018	0,88

Çalışma kapsamında ayrıca Landsat ve MODIS görüntülerinden üretilen AYS değerleri ile CORINE AÖ/AK sınıfları arasındaki ilişki grafikler oluşturularak incelenmiştir (Şekil 11). MODIS uydusu 1999 yılında faaliyete geçtiği için bu kıyaslamaya 2000 ve 2018 yıllarına ait görüntüler üzerinden yapılmıştır. Her iki uydu verisinde de su yapıları ve orman alanlarında AYS değerlerinin düşük, yapay bölgeler, çıplak alanlar, bataklık alanları, tarımsal alanlar, seyrek bitki alanları, maki ve otsu alanlarda ise AYS değerlerinin yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca 2000 yılından 2018 yılına kadar belirlenen her sınıf içerisinde AYS değerlerinin arttığı net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 11. Çalışma alanı için Landsat ve MODIS görüntülerinden üretilmiş AYS değerleri ile AÖ/AK arasındaki ilişki.

Çalışma alanında Landsat uydu görüntülerinden elde edilen AYS değerlerini kontrol etmek amacıyla görüntüler ile eş zamanlı olarak meteoroloji istasyonundan elde edilen toprak sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır (Tablo 5). Karşılaştırma için, istasyonun ölçüm alanı ile görüntüde denk geldiği piksel alanının bire bir örtüşmemesi ihtimaline karşın, istasyonun bulunduğu pikselin merkez kabul edildiği 3x3 piksellik bir alan belirlenmiş ve bu alandaki sıcaklık değerlerinin ortalaması alınmıştır. Elde edilen arazi yüzey sıcaklık değerlerine göre, minimum farkın 2006 yılında 1,1 °C maksimum farkın ise 2018 yılında 5,46 °C olduğu görülmüştür.

Tablo 5. Meteoroloji istasyonu ve Landsat uydu verileri arasındaki sıcaklık ilişkisi.

Landsat görüntü tarihleri	Meteoroloji istasyonu sıcaklık değeri (°C)	Landsat AYS değeri (°C)
04.08.1990	32,70	31,34
14.07.2000	36,40	35,30
31.07.2006	30,30	35,26
17.08.2018	33,40	38,86

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, CORINE verileri kullanılarak Aksaray ilinin 1990, 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait AÖ/AK haritaları ve Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüleri kullanılarak AYS haritaları üretilmiştir.

Aksaray ilinin belirlenen tarihlerde AÖ/AK'sı incelendiğinde; yapay bölgeler, tarım alanları ve tuz bataklıkları artarken orman alanları, maki-otsu alanlar, çıplak alanlar, karasal bataklıklar ve su yapılarının azaldığı tespit edilmiştir.

Landsat görüntülerinden üretilen AYS değerlerinin doğruluğunu test etmek amacıyla aynı tarihli MODIS MOD11A1 uydu görüntülerinden AYS haritaları üretilmiş ve her iki sensörden elde edilen veriler rastgele seçilen noktalar üzerinden korele edilmiştir. 2000, 2006 ve 2018 yıllarına ait veriler üzerinden yapılan bu değerlendirmede Pearson korelasyon katsayıları sırasıyla 0,81, 0,82 ve 0,88 çıkmıştır. Bu değerler iki veri seti arasında belirlenen yıllarda çok yüksek korelasyon olduğunu göstermektedir (Tablo 4). Bununla birlikte her iki sensörden elde edilen uydu görüntülerinde ortalama ve maksimum değerler daha yakın iken minimum değerler arasında daha büyük bir farklılık görülmektedir. Landsat verilerinden elde edilmiş AYS değerlerinin 1000m.'ye yeniden örneklenmesi ve

karşılaştırmada yeniden örneklenmiş görüntüler üzerinden alınan değerlerin kullanılması iki veri seti arasındaki korelasyonu arttırmıştır. Ancak Landsat verilerinde en düşük sıcaklık değerinin (11° C) kaydedildiği 1990 yılına ait MODIS görüntüsü bulunmaması bu duruma neden olmuştur.

Diğer yandan Landsat verileri, çalışma alanında bulunan ve toprak sıcaklığı ölçümü alan meteoroloji istasyonundan elde edilen eş zamanlı veriler ile karşılaştırılmıştır. Uydu görüntülerinden elde edilen veriler ile 5cm derinlikten alınan yersel ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri arasındaki fark ortalama 3,22 °C'dir. Dağlıyar, Avdan ve Uça Avcı (2015), Kahramanmaraş ili için Landsat uydu görüntülerini kullanarak hesapladıkları AYS değerlerini meteoroloji yer istasyon verileri ile karşılaştırmışlar ve iki veri seti arasında minimum 0,23 °C, maksimum 4,12 °C fark olduğunu tespit ederek bu sonuçların noktasal bazda yeterli doğruluk sınırları içerisinde olduğunu ifade etmişlerdir. Avdan ve Jovanovska (2016), Toronto ve Moncton (Kanada)'da 2015 yılına ait Landsat 8 uydu görüntülerini kullanarak AYS haritaları ürettikleri çalışmalarında benzer şekilde uydu görüntüleri ile eş zamanlı meteorolojik istasyon verilerini karşılaştırmıştır. Yazarlar Toronto'da en düşük farkın 0,7 °C en yüksek farkın ise 5,8 °C ve Moncton (Kanada)'da ise en düşük farkın 0,2°C en yüksek farkın ise 7,8 °C olduğunu hesaplamış ve sonuçların tutarlı olduğunu belirtmişlerdir. Söz konusu çalışmalar da dikkate alınarak, bu çalışma kapsamında Landsat uydu görüntüsünden elde edilen AYS değerleri ile gerçek değerler arasında tutarlık olduğunu söylemek mümkündür (Tablo 5).

Çalışmada belirlenen yüzey sınıflarında seçilen her yıl için minimum, ortalama ve maksimum AYS hesaplanmış ve bu alanlarda yıllara bağlı olarak meydana gelen sıcaklık değişimleri ortaya konulmuştur (Şekil 11).

Aksaray İli genelinde tüm yüzey alanlarındaki değişime bakıldığında, özellikle yapay alanlarda artış, yeşil alanlarda ise azalış olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte yapay bölgelere dönüşen alanlarda AYS değerlerinin görece yüksek, orman alanları ve su yapılarına dönüşen alanlarda ise AYS değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Landsat uydu verilerinden elde edilen AYS değerlerine bakıldığında 28 yıllık bir periyotta il genelinde ortalama AYS değerleri 32 °C'den 42 °C ye yükselmiştir (Şekil 4). Bu artış 1990 yılından 2000 yılına 5 °C, 2000 ve 2006 yılları arasında 2 °C 2006 yılı sonrasında ise 3 °C olarak hesaplanmıştır.

Çalışma yapılan 4 yılda da tarımsal alanlar ile yapay ve çıplak alanların daha yüksek, buna karşın ormanlık ve sulak alanların daha düşük AYS değerlerine sahip olduğunu söylemek mümkündür. (Şekil 11). Bununla birlikte AYS fark haritasına bakıldığında, belirgin sıcaklık artış ve azalış bölgelerinin bir kısmının hem 1990 hem de 2018 yılı AÖ/AK haritalarında tarımsal alanlara denk geldiği görülmektedir. AÖ/AK'da herhangi bir değişim olmadığı halde, bu alanlarda belirgin sıcaklık farklarının oluşmasının, görüntünün alındığı tarihte hasatı henüz yapılmamış ürünlerin bulunmasından ya da toprağın nem içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde de benzer örnekler mevcuttur (Atak ve Tonyalıoğlu, 2020).

1990-2018 yılları arasında çalışma alanı içerisinde en fazla arazi sınıfı alanı artışının yapay bölgelerde %78,76 oranında olduğu ve kentleşmedeki bu yoğun artışın il ve ilçe merkezlerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Bununla birlikte yapay bölgeler tüm alan içerisinde görece olarak az bir alan kaplamaktadır (1990 yılında 113 km², 2018 yılında 202 km²). Yine aynı yıllar arasında yapay bölgelerde ortalama sıcaklık değişimi 9 °C'dir. Bu durum yapay alanların artmasına bağlı ısı adası oluşumu ile açıklanabilir (Yüksel ve Yılmaz, 2008).

Bunun yanı sıra orman alanlarının %17,86 oranında azaldığı ve bu alanlarda ortalama sıcaklık artışının 5 °C olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca özellikle bitki örtüsü ile kaplı tüm alanlardaki yüzey örtüsü ve yüzey sıcaklığı değişiminin ortaya konulması amacıyla, AYS haritaları üretilirken kullanılan NDVI haritaları AYS haritaları ile karşılaştırılmış ve genel olarak negatif bir korelasyon elde edilmiştir. Literatürdeki farklı örnekleri gibi (Hua ve Ping, 2018; Mercan 2020) negatif yönlü bu ilişki bitki örtüsü alanlarının azalmasının, yüzey sıcaklığı artışındaki temel parametrelerden biri olduğunu göstermektedir.

NDVI değerleri teorik olarak -1, +1 arasında değişmektedir. Şekil 5 detaylı olarak incelendiğinde NDVI değerlerinin genel olarak 0 değeri civarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durumun, bölgede en geniş alanı kaplayan kuru tarım alanlarından ve çorak alanlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte 2018 yılına gelindiğinde değerlerin az da olsa artarak 0,1-0,2 değer aralığında yoğunlaştığı görülmüştür. Ancak NDVI haritalarına bakıldığında, bu artışın çalışma kapsamında yeşil alan olarak tanımlanan alanlardan (ormanlık alan ya da maki ve otsu alanlar) daha ziyade henüz ürünün toplanmadığı diğer bir ifade ile hasatı

yapılmamış ya da toprak neminin daha yüksek olduğu tarım alanlarından kaynaklandığı görülmektedir.

CORINE sınıflarına göre çalışma alanı içerisinde en geniş yüzey alanı ilin %65'ini kaplayan (1990 yılında, 5249 km²; 2018 yılında 5326 km²) tarım alanlarına aittir. Bu alanlarda da tüm yıllara ait ortalama sıcaklık değerleri görece yüksektir. Çalışmada kullanılan görüntülerin Temmuz ve Ağustos ayına ait olması ve bölgede bu aylarda ürün hasatının yapıyor olmasının, tarım alanlarının daha yüksek ısı tutma potansiyeline sahip olmasına sebep olabileceği düşünülmektedir. Bu alanlardaki sıcaklık değerlerinin çıplak arazi alanlarındaki sıcaklık değerleri ile yakın olması da bu görüşü desteklemektedir (Şekil 11). Ayrıca literatürde, uydu görüntülerinin gündüz kayıt edilmesinden dolayı, tarımsal alanlar, karasal bataklıklar ve otlak meralar (maki ve otsu alanlar) gibi açık alanların yüksek sıcaklık değerlerine sahip olduğuna işaret edilmektedir (Ahmed 2015).

Çalışma alanında en geniş yüzey örtüsüne sahip tarım alanları ile görece daha az alan kaplayan yapay bölgelerde 1990-2018 yılları arasındaki alansal değişim ortalama 83 km² civarındadır. Dolayısıyla aslında AYS'deki belirgin artış sadece yapay alanlar değil aynı zamanda tarım alanlarının artması ile de artmıştır.

Landsat görüntülerinden üretilen AYS değerlerinde olduğu gibi MODIS görüntülerinden üretilen AYS değerlerine bakıldığında da yıllar içerisinde her arazi sınıfı için belirgin bir sıcaklık artışı olduğu net bir şekilde görülmektedir (Şekil 11).

1990-2018 yılları arasında il genelinde Landsat görüntülerinden hesaplanan ortalama AYS artışı 10 °C'dir. Türkiye genelinde AÖ/AK değişiminin AYS değişimi üzerine etkilerinin araştırıldığı, yakın ya da farklı zamansal periyotları içeren diğer çalışmalara bakıldığında da benzer sonuçlar görmek mümkündür. Orhan ve Ekercin (2015), Aksaray'ın da içinde bulunduğu Konya Kapalı Havzası'nda Landsat uydu görüntüleri yardımı ile 1984-2001 yılları arasında AYS değerlerinin 2 ila 3 °C yükseldiğini tespit etmişlerdir. Aslan (2016), 2001-2014 yılları arasında Antalya ilinin ortalama AYS değerinin 2,5 °C arttığını, AÖ/AK sınıflarında ise en fazla artışın 5,49 °C ile sanayi bölgeleri ve 5,15 °C boş alanlarda, en az artışın ise 1 °C ile su yapılarında olduğunu gözlemlemiştir. Yazar benzer şekilde Burdur ve Isparta illerinde de 13 yıllık periyotta ortalama AYS değerlerinin sırasıyla 1,2 °C ve 1,1 °C arttığını belirtmiştir. Bu illerde de

artışın en yüksek olduğu arazi türünün boş alanlar olduğunu tespit etmiştir. Yamak, Yağcı, Bilgili ve Çömert (2019), Bursa ilinde 1988-2018 yılları arasında maksimum AYS artışının 8 °C olduğunu ve en yüksek sıcaklık değerinin artan kentleşme ile birlikte yerleşim alanlarında görüldüğünü ifade etmişlerdir. Akkurt (2020), 1990-2018 yılları arasında Eskişehir ilinin AYS değerlerinde 6,7 °C sıcaklık artışı olduğunu ve yapay alanlarda sıcaklık değerlerinin fazla, su alanları, sulak yapılar ve orman ve yarı orman alanlarında sıcaklık değerlerinin az olduğu tespit etmiştir.

Günümüzde iklim değişimi ve kuraklık gibi etmenlerden dolayı AÖ/AK sınıflarının değişmesinin ve buna bağlı olarak AYS değerlerinin artmasının olağan olduğunu söylemek mümkündür. Ancak antropojenik faaliyetlerin artması ile birlikte yapay alanların hızlı bir şekilde genişlemesi, gıda ihtiyacına çözüm olarak tarım alanlarının artması ve bu alanların eski sulak alanlar ya da ormanlık alanlardan sağlanmasının bir bölgedeki AYS değerlerinin olması gerekenden daha hızlı artmasına sebep olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada sunulan uygulamanın sonuçlarının esas olarak atmosferik ısınmadan kaynaklı iklim değişikliği ile beraber ortaya çıkan sıcaklık değerleri değil, insan faaliyetleri nedeni ile yıllar içerisinde değişen AÖ/AK'nın AYS değerlerine etkisi olduğu unutulmamalıdır.

Son olarak su ve bitki örtüsü ile kaplı alanların AYS değerlerinin daha düşük olduğu da yukarıda değinildiği gibi farklı çalışmalarca doğrulanmıştır. Bu nedenle sadece çalışma alanında değil artan nüfus taleplerinin bulunduğu tüm alanlarda yapılacak şehir planlamasında, hızlı sıcaklık ve kentsel ısı adalarının artışının engellenebilmesi için öncelikle var olan yeşil alanların korunması ve uygun bölgelerde yeşil ve mümkünse sulak alanların genişletilmesi gerekmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma birinci yazarın, ikinci yazarın danışmanlığında yapmakta olduğu yüksek lisans tez çalışmasının bir bölümünü içermektedir. Yazarlar, değerlendirmeleri ve makalenin gelişmesine sağladıkları katkıları için hakemlere teşekkür etmektedir.

ORCID

Gamze KAÇMAZ  <https://orcid.org/0000-0002-6010-9345>

Esra GÜRBÜZ  <https://orcid.org/0000-0001-6105-2291>

KAYNAKLAR

- Ahmed, S.O. (2015). Determining *The Impact Of Urban Expansion On Land Surface Temperature In Adana-Turkey* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK veri tabanından erişildi (Tez No. 395702).
- Akkurt, A. (2020). *Arazi Örtüsü/Kullanım Değişimlerinin Yer Yüzey Sıcaklığına Olan Etkisinin Araştırılması (Eskişehir İli Örneği)* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK veri tabanından erişildi (Tez No. 647552).
- Amiri, A.M. (2018). *Develi Ovası'nda Arazi Yüzey Sıcaklık Değişimlerinin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK veri tabanından erişildi (Tez No. 520833).
- Aslan, N. (2016). *Landsat Uydu Görüntülerinden Kentsel Isı Adalarının Belirlenmesi: Batı Akdeniz Bölgesi Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK veri tabanından erişildi (Tez No.433014).
- Atak ve Tonyaloğlu. (2020). Alan kullanım/arazi örtüsü ve bitki örtüsündeki değişimin arazi yüzey sıcaklığına etkisinin değerlendirilmesi: Aydın ili örneği. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 21(4), 489-497. doi: 10.18182/tjf.786827.
- Avdan, U. ve Jovanovska G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2006(2), 1-8. doi: 10.1155/2016/1480307.
- Barsi, J., Schott, J., Hook, S., Raqueno, N., Markham, B. ve Radocinski, R. (2014). Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626. doi:10.3390/rs6111607.
- Chander, G. ve Groeneveld, D. P. (2009). Intra-annual NDVI validation of the Landsat 5 TM radiometric calibration. *International Journal of Remote Sensing*, 30(6), 1621-1628. doi: 10.1080/01431160802524545.
- Chander, G. ve Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674-2677. doi:10.1109/tgrs.2003.818464.

- Coll, C., Galve, J. M., Sánchez, J. M., Caselles, V. (2010). Validation of Landsat-7/ETM+ thermal-band calibration and atmospheric correction with ground-based measurements. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 48(1), 547–555.
- Dağlıyar, A., Avdan, U. ve Uça Avcı, Z.D. (2015, Mayıs). Uzaktan Algılama Verileri Yardımıyla Kahramanmaraş İli Ve Çevresinin Yer Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu*, Konya.
- Ergene, E.M. (2016). *Landsat 8 Uydu Görüntüsü Kullanılarak Yeryüzü Sıcaklıklarının Uzaktan Algılama Tekniği İle Belirlenmesi: İstanbul Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK veri tabanından erişildi (Tez No. 445028).
- Gerçek, D. ve Bayraktar, N. (2014, Ekim). Kentsel Isı Adası Etkisinin Uzaktan Algılama İle Tespiti Ve Değerlendirilmesi: İzmit Kenti Örneği. 5. *UZAL-CBS Sempozyum*, İstanbul.
- Ghobadi Y., Pradhan B., Shafri H. ve Kabiri, K. (2014). Assessment of Spatial Relationship Between Land Surface Temperature and Landuse/cover Retrieval from Multi-Temporal Remote Sensing Data in South Karkheh Sub-basin, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8 (1), 525-537. doi: 10.1007/s12517-013-1244-3.
- Gündüz, H.İ. ve Ekercin, S. (2020). Landsat-8 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Hava Kalitesi Haritasının Oluşturulması: Aksaray İli Örneği. *Harita Dergisi*, 163, 50-57. Erişim Adresi: <https://www.harita.gov.tr/uploads/files/articles/landsat-8-uydu-goruntuleri-kullanilarak-hava-kalitesi-haritasinin-olusturulmasi-aksaray-il-1200.pdf>
- Hua, K. A. ve Ping, O. W. (2018). The influence of land-use/land-cover changes on land surface temperature: a case study of Kuala Lumpur metropolitan city. *European Journal of Remote Sensing*, 51, 1, 1049-1069. doi: 10.1080/22797254.2018.1542976.
- Kaçmaz, G. ve Gürbüz, E. (2021). *UA ve CBS Entegrasyonu ile Arazi Örtüsü Değişiminin Arazi Yüzey Sıcaklığına Etkisinin Belirlenmesi: Aksaray Örneği*. 18. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Erişim adresi: https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/ec0d9f3d4c5dd7a_ek.pdf
- Konuk A. (2011). Coğrafi bilgi sistemleri için temel istatistik. Eskişehir: Anadolu üniversitesi wep ofset.
- Latif, M. S. (2014). Land Surface Temperature Retrieval of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm-A Case Study of Ranchi District. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2(4), 2840-3849. Erisim Adresi: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.679.1491&rep=rep1&type=pdf>
- Lv, Z. ve Zhou, Q. (2011). Utility of Landsat Image in the Study of Land Cover and Land Surface Temperature Change, *Procedia Environmental Sciences*, 10, 1287–1292. doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.206.
- Mercan, Ç. (2020). Yer Yüzey Sıcaklığının Termal Uzaktan Algılama Görüntüleri İle Araştırılması: Muş İli Örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(2), 42-49. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tuzal/issue/57834/787041>
- Oğuz, H. ve Zengin, M. (2009, Aralık). Erzurum Kenti Arazi Örtüsü/Arazi Kullanım Değişimlerinin (1987-2007) Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Belirlenmesi. 3. *DEÜ CBS Sempozyumu*, İzmir.
- Orhan, O. ve Ekercin. S. (2015, Mayıs). Konya Kapalı Havzasında Uzaktan Algılama ve CBS Teknolojileri İle İklim Değişikliği ve Kuraklık Analizi, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu*, Konya.
- Orhan, O. (2021). Mersin İlindeki Kentsel Büyümenin Yer Yüzey Sıcaklığına Etkisinin Araştırılması, *Geomatik dergisi*, 6(1), 69-76. doi: 10.29128/geomatik.679858.
- Roy, S., Pandit, S., Eva, E. E., Bagmar, M. S. H., Papia, M., Banik, L., ... Razi, M.A. (2020). Examining the nexus between land surface temperature and urban growth in chattogram metropolitan area of Bangladesh uaing long term landsat series data. *Urban Climate*, 2(2020), 1-22.
- Pal, S. ve Ziaul, S. K. (2017). Detection of land use and land cover change and land surfacetemperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1), 125-145. doi:10.1016/j.ejrs.2016.11.003.

- Polat, N. (2020). Mardin ilinde uzun yıllar yer yüzey sıcaklığı değişiminin incelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(1), 10-15. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/tuzal/issue/52699/649526>
- Qin, Z., Karnieli, A. ve Berliner, R. (2001). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), 3719-374. doi:10.1080/2150704X.2020.1868601.
- Sobrinho, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C. ve Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440. doi:10.1016/j.rse.2004.02.003.
- Şekertekin, A., Kutoğlu, Ş.H., Kaya, Ş. ve Marangoz, A.M. (2015, Mart). Uydu Verileri ile Arazi Örtüsündeki Yer Yüzey Sıcaklığı Değişimlerinin Analizi: Zonguldak Örneği. 15. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Tarım Orman. (2021). Erişim adresi: <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/index.html>
- Tucker C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. *Journal of Remote Sensing Environment*, 8(2), 127-150. doi:10.1016/0034-4257(79)90013-0.
- TÜİK. (2021). Türkiye istatistik kurumu. Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>
- USGS. (2021). United States Geological Survey. Erişim Adresi: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>
- Yamak, B, Yağcı., Z, Bilgilioğlu, B.B. ve Çömert, R. (2019, Nisan). *Kentleşmenin Arazi Yüzey Sıcaklığına Etkisinin Araştırılması Bursa İli Örneği*. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu, Aksaray.
- Yuan, F. ve Bauer, M. E. (2006). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery, *Remote Sensing of environment*, 106(3), 375-386. doi:10.1016/j.rse.2006.09.003.
- Yüksel Ü. D. ve Yılmaz O. (2008), Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisinin yaz aylarında uzaktan algılama ve meteorolojik gözlemlere dayalı olarak saptanması ve değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4), 937-95. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gazimmfd/issue/6678/88558>
- Zheng, Y., Ren, H., Guo, J., Ghent, D., Tansey, K., Hu, X., ... Chen S. (2019). Land Surface Temperature Retrieval from Sentinel-3A Sea and Land Surface Temperature Radiometer, Using a Split-Window Algorithm. *Remote Sensing*, 11(6), 650. doi:10.3390/rs11060650.

YAZIM ESASLARI

1. Harita Dergisine Yazı Hazırlama Esasları

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kaynaklar ilk yazarlarının soyadına göre alfabetik sırada sıralanır.

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

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

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

Elektronik Kaynaklar: Talimat, Rehber vb.

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

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

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

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

Teknik Rapor:

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

Süreli yayın:

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

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

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

Kitap:

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

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

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

Sempozyum, Bildiri vb:

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

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

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

Tez:

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

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

2. Makalelerin Gönderilmesi

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

(MAKALE ÖRNEĞİ)

XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXX (Makale Başlığı-Türkçe)
(XXXXXX XXXXXXXXXX XXX) (Makale Başlığı- İngilizce)

(1 satır boşluk)

XXXX XXXX (Yazar ismi)

XXXXX XXXX XXXX, XXXXX XXXXX (Adres)

xxxxxxx@xxxxxx (e-posta)

(1 satır boşluk)

0.5 cm
0.5 cm
0.5 cm

ÖZ (1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX; XXXXXX XXXX
XX
XX

(1 satır boşluk)

Anahtar Kelimeler: XXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXX
XX

(1 satır boşluk)

ABSTRACT

(1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX. XXXXXXXX
XX
XX

(1 satır boşluk)

Keywords: XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX
XX

(1 satır boşluk)

1. GİRİŞ

(1 satır boşluk)

XX
XXXX XXXXXXX /1/.

(1 satır boşluk)

a. XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX
XXXX XXXX XXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXX XXXX XXXX

(1 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX

(1) XXXXXXX XXX XXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX

XXXX XXXXX XXXXX XXXX.

(2 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

2. XXXXX XXXXX XXXX (Ana bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

a. XXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXX

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXX XXXXXXX
XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

(1 satır boşluk)

(1) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXXX

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXXXXXX XXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX.

(2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf)

(1 satır boşluk)

(a) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXX XXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXX

XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

(b) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX

XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX

XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

(I) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX

XXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX

(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX

XXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX

XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX

(1 satır boşluk)

(aa) XXXXX XXXXXXX XXXXXXXX

(5 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

b. XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXX XXXXXXX

XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

3 cm

0.5 cm

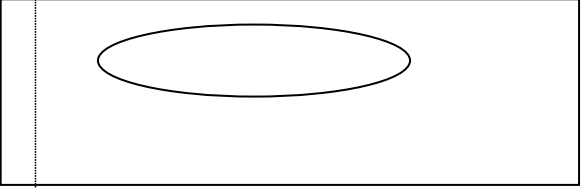
2 cm

3 cm

xx

1.25 cm

(MAKALE ÖRNEĞİ)

(1) Xxxxx Xxxxx Xxxxx XXXXXXXXXXXX. (2 nci düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXX XXXX XXXXX XXXXXXXXXX XXXX XXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXX. (2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf) (1 satır boşluk) (a) Xxxxx Xxxxx Xxxxx Xxxx (3 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX X XXXXXXXX XXXXXXXX. (1 satır boşluk) (b) Xxxxx Xxxxx Xxxxx Xxxx (3 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXX XXXX XXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXX. (1 satır boşluk) (l) Xxxxx Xxxxx Xxxxx Xxxx (4 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXX XXXX XXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX XXX XXXX. (1 satır boşluk) Tablo 1. XXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX (1 satır boşluk) XXXXXXXX XXXX XXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXX XXXXX XXXXX XXXXXXX. (1 satır boşluk) $KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i - X_{i(RASAT)}}{n}} \quad (1)$ (1 satır boşluk)	XXXXXXXX XXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXX XXXXX XXXXX. (1 satır boşluk)  (1 satır boşluk) Şekil 1. XXXXX XXX XXXXXXX XXXXXXX (1 satır boşluk) XXXXXXXX XXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXX XXXX XX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXX. (1 satır boşluk) 3. SONUÇ (1 satır boşluk) XXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXX XXXXX. (1 satır boşluk) KAYNAKLAR (1 satır boşluk) Sürelî Yayınlar: Yazar, A. A., Yazar, B. B. ve Yazar, C. C. (Yıl). Yazının başlığı. <i>Sürelî Yayının Başlığı</i>, Cilt, s- s. doi:xx.xxxxxxxx (veya Erişim Adresi:) Kitap: Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. Yer: Yayıncı. Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. Erişim adresi: http://www.xxxxxxxx Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. doi:xxxxxxxxxxx Editor, A. A. (Ed.). (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. Yer: Yayıncı. Yazar, A. A. ve Yazar, B. B. (Yıl). <i>Bölüm ya da giriş başlığı</i>. A. Editör, B. Editör ve C. Editör (Ed.), Kitap başlığı (s. xxx-xxx) içinde. Yer: Yayıncı. Doktora ve yüksek lisans tezleri: Yazar, A. A. (Yıl). <i>Doktora ya da yüksek lisans tezinin başlığı</i> (Yüksek lisans tezi/Doktora tezi). ... veri tabanından erişildi (Erişim ya da Sipariş No.). Yazar, A. A. (Yıl). <i>Doktora ya da yüksek lisans tezinin başlığı</i> (Yayımlanmamış doktora tezi/yüksek lisans tezi). Kurum adı, Yer bilgisi. Teknik raporlar ve araştırma raporları: Yazar, A. A. (Yıl). <i>Çalışmanın başlığı</i> (Rapor No. xxx). Yer bilgisi: Yayıncı. Toplantı ve sempozyumlar: Sunan, A. A. (Yıl, Ay). <i>Bildiri ya da poster başlığı</i>. Kuruluş Adının toplantısında sunulan bildiri ya da poster, Yer bilgisi.
---	---

