

Harita Dergisi



Temmuz 2026
Sayı:176

ISSN 1300-5790
E-ISSN 2667-4084

Anbaro lu, B., Topcu, İ. : **Açık Kaynak Kodlu Afet Sonrası Durum Tespit Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi** (Design and Development of an Open-Source Post-Disaster Damage Assessment System)

Yayla, M. E., Akdoğan, Y. A., Durmaz, M. : **EKF Tabanlı GNSS/SIMU Entegrasyonu için  nc l Gauss-Markov Korelasyon Parametrelerinin Global Model Kullanılarak Belirlenmesi** (Determination of A Priori Gauss-Markov Correlation Parameters Using a Global Model for EKF-Based GNSS/SIMU Integration)

 ng ren, Y., Akdoğan, Y. A., Aktu , B. : **6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinin Gravite Alanı ve Jеоide Etkilerinin İncelenmesi** (An Analysis of the Effects of the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes on the Gravity Field and Geoid)

HARİTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, ANKARA

www.harita.gov.tr/harita-dergisi



HARİTA DERGİSİ

Temmuz 2026

Yıl: 92 Sayı: 176

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

Sahibi

Harita Genel Müdürlüğü Adına
Tuğgeneral Dr. Yavuz Selim ŞENGÜN

Sorumlu Müdür-Editör

Harita Yük.Tek.Ok.K.lığı Adına
Müh.Alb. Selçuk CEYLAN

Editör Yardımcısı

Müh.Ütgm. Ahmet Faruk KARAHAN

Yönetim Kurulu

Müh.Alb.Dr. Orhan FIRAT
Müh.Alb. Selçuk CEYLAN (Bşk.)
Müh.Alb.Dr. İsmail ŞAHİN
Müh.Alb.Dr. Erdinç SEZEN
Müh.Alb.Dr. Dijle BOYACI

Yönetim Yeri Adresi

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

Tel: (312) 595 21 20-24

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.



TRTİZİN
Mühendislik ve Temel
Bilimler Veri Tabanı

İ Ç İ N D E K İ L E R

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

**Açık Kaynak Kodlu Afet Sonrası Durum Tespit Sistemi
Tasarımı ve Geliştirilmesi** (Design and Development of an
Open-Source Post-Disaster Damage Assessment System)

Berk ANBAROĞLU, İbrahim TOPCU

1 – 14

**EKF Tabanlı GNSS/SIMU Entegrasyonu İçin Öncül Gauss-
Markov Korelasyon Parametrelerinin Global Model
Kullanılarak Belirlenmesi** (Determination of A Priori Gauss-
Markov Correlation Parameters Using a Global Model for
EKF-Based GNSS/SIMU Integration)

Mehmet Emir YAYLA, Yunus Aytaç AKDOĞAN,
Murat DURMAZ

15 – 23

**6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinin Gravite
Alanı ve Jеоide Etkilerinin İncelenmesi** (An Analysis of the
Effects of the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes
on the Gravity Field and Geoid)

Yusuf ÜNGÖREN, Yunus Aytaç AKDOĞAN,
Bahadır AKTUĞ

24 – 33

Bilim Kurulu

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

Harita Dergisi'nin Cilt:92, Sayı:175-176, 2026 Sayılarındaki Makalelerin Değerlendirilmesinde Hakemlik Yapan Akademisyenler

Prof.Dr. Bahadır AKTUĞ (AÜ)
Prof.Dr. Mehmet ALKAN (YTÜ)
Prof.Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ (KTÜN)
Prof.Dr. Hande DEMİREL (İTÜ)
Prof.Dr. Nebiye MUSAĞLU (İTÜ)
Prof.Dr. Derya ÖZTÜRK (OMÜ)
Prof.Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU (AKÜ)
Prof.Dr. Murat UYSAL (AKÜ)
Prof.Dr. İbrahim YILMAZ (AKÜ)
Prof.Dr. Mehmet Ali YÜCEL (ÇOMÜ)
Doç.Dr. Adalet DERVİŞOĞLU (İTÜ)
Doç.Dr. Halit ERGEZER (AYBÜ)
Doç.Dr. Münevver Gizem GÜMÜŞ (NÖHÜ)
Doç.Dr. Çağlar Kıvanç KAYMAZ (ATAÜNI)
Doç.Dr. Osman Salih YILMAZ (MCBÜ)
Dr. Şahin BAYZAN (BTK)
Dr.Öğr. Üyesi Gamze BEDİROĞLU (KİYÜ)
Müh.Alb.Dr. Erdinç SEZEN (HGM)
Müh.Alb.Dr. Mustafa CANIBERK (HGM)
Dr. Mustafa ERDOĞAN
Dr. Veysel Okan ATAK

Açık Kaynak Kodlu Afet Sonrası Durum Tespit Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi

(Design and Development of an Open-Source Post-Disaster Damage Assessment System)

Berk ANBAROĞLU¹ , İbrahim TOPCU¹ 

¹Hacettepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Çankaya, Ankara
banbar@hacettepe.edu.tr, ibrahimtopcu@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 14.11.2025

Kabul Tarihi (Accepted): 13.04.2026

ÖZ

Afet sonrası müdahale operasyonlarının etkinliği, hızlı ve koordineli coğrafi veri toplama, analiz ve paylaşım kapasitesine doğrudan bağlıdır. Ancak mevcut pratikte, bu süreçler genellikle pahalı lisanslı yazılımlara, sürekli internet bağlantısına bağımlı ve birbiriyle uyumsuz sistemler nedeniyle kurumlar arasında dağınık bir yapıdadır. Bu durum; (1) farklı kurumların kullandığı kapalı ve uyumsuz yazılımlar nedeniyle ortak bir durum resmi oluşturulamamasına ve koordinasyon zafiyetine, (2) lisans maliyetleri ve teknik karmaşıklık nedeniyle özellikle sivil toplumun ve yerel aktörlerin sürece dahil olamamasına ve (3) vatandaşların ihtiyaç duydukları gerçek zamanlı bilgiye (erzak, barınak noktaları vb.) doğrudan erişememesine yol açmaktadır. Dolayısıyla, maliyet etkin, esnek, çevrimdışı çalışabilen ve kapsayıcı bir coğrafi veri yönetim çözümüne duyulan ihtiyaç belirginleşmektedir. Bu makalenin amacı, yukarıda sıralanan sorunlara bütüncül bir çözüm olarak, açık kaynak kodlu coğrafi bilişim teknolojileri kullanılarak, açık lisanslı web-tabanlı, çok kullanıcı ve çevrimdışı veri toplama imkanı da sağlayan entegre bir Afet Sonrası İzleme Sistemi (ASİS) tasarlamak, geliştirmek ve pilot bir uygulama ile test etmektir. Projenin GitHub reposu: <https://github.com/banbar/asis/>

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, Karar-Destek Sistemi, Açık Kaynak Kod (FOSS4G), Genel Kamu Lisansı (GPL).

ABSTRACT

The effectiveness of post-disaster response operations is directly dependent on the capacity for rapid and coordinated geographic data collection, analysis, and sharing. However, in current practice, these processes are often fragmented across institutions due to dependence on expensive licensed software, continuous internet connectivity, and incompatible systems. This situation leads to: (1) the inability to form a common operating picture and coordination failures due to the closed and incompatible software used by different institutions; (2) the exclusion of civil society and local actors from the process, particularly due to licensing costs and technical complexity; and (3) the inability of citizens to directly access real-time information they need (such as food distribution points, shelters, etc.). Consequently, the need for a cost-effective, flexible, offline-capable, and

inclusive geographic data management solution becomes evident. The purpose of this article is to design, develop, and test via a pilot application an integrated Post-Disaster Monitoring System (ASİS) as a holistic solution to the problems listed above. This system will be web-based, multi-user, feature offline data collection capabilities, and will be built using open-source geospatial technologies.

Project's GitHub repo: <https://github.com/banbar/asis/>

Keywords: Disaster management, Decision Support System, Open Source Software (FOSS4G), General Public License (GPL).

1. GİRİŞ

Afetlerle mücadele günümüzün en önemli konularının başında gelmektedir. Afet yönetimi beş ana aşamadan oluşur: 1) önleme, 2) hazırlık, 3) müdahale, 4) hafifletme ve 5) iyileştirme. Özellikle afet sonrası durum tespit çalışmalarında coğrafi bilişim teknolojileri kritik bir rol üstlenmektedir ve doğrudan müdahale ve iyileştirme faaliyetlerine katkı sağlamaktadırlar (UNDP, 2017). Bunun için resmi görevli ekiplerin ve/veya gönüllülerin sahadan hızlı ve etkin bir şekilde coğrafi veri toplayıp, bunların internet ortamından paylaşılması önem arz etmektedir (Goodchild ve Glennon, 2010). Böylece, afetten etkilenen bölgeler hızlıca haritalandırılabilir, yıkımın boyutu ve riskli alanlar tespit edilerek müdahale ve iyileştirme süreçleri etkin bir şekilde yürütülebilir. Nitekim, 2000-2024 arasındaki bilimsel yayınlar incelendiğinde, coğrafi bilişim içeren afetlerle mücadele çözümlerinin büyük oranda arttığı gözlemlenmiş olup, sahadan gerçek-zamanlı veri toplamının, verimliliği arttırdığı vurgulanmıştır (Eminoğlu ve Tarhan, 2025).

Birleşmiş Milletlerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin (SDH) kapsamında da sahadan coğrafi veri toplama çalışmaları önem kazanmıştır. Bu kapsamda karışlaştırılan açık kaynak kodlu teknolojilerden, Humanitarian Openstreetmap Team Tasking Manager (HOT-TM), MapSwipe ve Ushahidi'den sadece

sonuncusu veri birleştirmesi (conflation) amacıyla kullanılabilir (Nguyen, Brovelli, Albertella, Furuhashi ve Montani, 2025). Ushahidi de temel olarak bir gönüllü coğrafi bilgi projesi olup, tüm vatandaşların veri toplayabilmesine olanak sağlamaktadır. Elde edilen verinin doğruluğunun irdelenmesi önem arz etmektedir; zira vatandaşların düzenlediği mesajlar yanıltıcı olabilir (Camponovo ve Freunds Schuh, 2014). ASİS'in sahadan veri toplamaya dönük diğer projelerle karşılaştırması Tablo 1'de sunulmuştur.

Khajwal ve Noshadravan (2021) tarafından sunulan çalışmada ise kitle kaynaklı afet hasar tespitinde verinin güvenilirliğini artırmak ve belirsizliği nicelleştirmek için olasılıksal bir çerçeve önermektedir. Ancak, geliştirilen bu tür olasılıksal modellere rağmen, kitle kaynak (crowdsourcing) yaklaşımı doğası gereği ciddi güvenilirlik ve kalite sorunlarını barındırmaya devam etmektedir. Katılımcıların eğitim ve uzmanlık eksikliğinin yanı sıra, anonimlikten kaynaklanan ilgisizlik veya kötü niyetli veri girişi yapabilmek gibi nedenler yüzünden, geliştirilen uygulamalarda yine kitle kaynağa dayalı geri bildirimler ile raporlanan afet olayının güvenilirlik derecelendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Li ve Ulaganathan, 2017). Dolayısıyla, afet sonrası müdahale ve iyileştirme süreçlerinde kitle kaynak yönteminin kullanılmasının taşıdığı risklerin sağlayacağı fayda ile karşılaştırıldığı daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Birleşmiş Milletler'in Sendai Afet Risk Azaltma Çerçevesi, yedi küresel hedefle afetlere karşı dirençliliği artırmayı amaçlamaktadır. Bunlar:

- i) Afetlerden kaynaklanan ölüm oranını azaltmak,
- ii) Afetlerden etkilenen insan sayısını azaltmak,
- iii) Afetlerin neden olduğu küresel ekonomik kaybı azaltmak,
- iv) Kritik altyapı hasarını ve temel hizmetlerdeki kesintileri azaltmak,
- v) Afet risk azaltma stratejilerine sahip ülke ve yerel yönetim sayısını artırmak,
- vi) Uluslararası iş birliği yoluyla gelişmekte olan ülkelere yeterli ve sürdürülebilir destek sağlamak,
- vii) Erken uyarı sistemleri ile afet risk bilgisi ve değerlendirmelerine erişimi artırmaktır (Aitsi-Selmi, Egawa, Sasaki, Wannous ve Murray, 2015).

Bu hedeflere ulaşmaya yönelik bilimsel çalışmalar incelendiğinde, süreçlerin kritik bir boyutu olan "bilgi" ve teknolojik altyapı konusunun genellikle ihmal edildiği görülmektedir. Bu boşluğun kapatılmasında, açık kaynak kodlu teknolojiler etkin bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojiler, sınırlar ötesinde iş birliğini

mümkün kılarak, gelişmekte olan ülkelere sürdürülebilir destek sağlamanın önünü açmaktadır.

Ülkemizde de afet çalışmaları son yıllarda önem kazanmıştır. Bu kapsamda *TR Dizin*'de yer alan *Harita Dergisi*, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* ve *Afet ve Risk Dergisi* ülkemizde ve dünyadaki gelişmeleri ve bulguları yayımlamaktadır. Diğer taraftan dergilerde sunulan birçok makalenin vaka analizi kapsamında olduğu müşahade edilmiştir. Nitekim, Yıldız ve Kinay (2026) "afet eğitimi" alanındaki lisansüstü tezler üzerine yaptıkları literatür analizinde, "yazılım" teriminin sadece bir çalışmada yer aldığını tespit etmiştir. ArcGIS gibi lisanslı CBS yazılımlarının uygulama alanı ise son derece çeşitlidir; afet toplanma alanı yeterliliği (Cetin ve diğerleri, 2024) gibi planlama çalışmalarından, ani taşkın modellemesi gibi hidrolojik analizlere (Riaz ve Mohiuddin, 2025) kadar uzanan geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Benzer şekilde her ne kadar Sendai Afet Risk Azaltma Çerçevesinin çeşitli hedefleri (ii, iv, vi ve vii) doğrudan veya dolaylı olarak coğrafi bilgi teknolojileri ve yazılımları ile ilişkili olsa da, bu konuda vurgunun özellikle "erken uyarı sistemleri" ile kısıtlı kaldığı gözlemlenmektedir (Chisty, Muhtasim, Biva, Dola, ve Khan, 2022). Diğer taraftan, açık kaynak kodlu yazılımların ve verinin gelişmekte olan ülkelerin afet yönetimlerine katkıları açıktır (Olyazadeh, Aye, Jaboyedoff ve Derron, 2016).

Açık kaynak kodlu teknolojiler kullanılarak geliştirilen ve sahadan toplanan coğrafi verinin internet üzerinden paylaşılmasını hedefleyen bir OSGeo yarışması da gerçekleştirilmiştir (Anbaroğlu, Coşkun, Brovelli, Obukhov ve Coetzee, 2020). QGIS ile oluşturulan coğrafi veri modeli temel alınarak geliştirilen çalışmada *QField* uygulaması ile sahadan veri toplanmakta olup, coğrafi verinin saklanması da *PostgreSQL/PostGIS* ortamında olmaktadır. Coğrafi kayıtlarla ilişkilendirilebilecek olan fotoğraflar ise *Syncthing* adlı uygulama ile farklı cihazlarla senkronize edilmiştir.

Yukarıdaki çalışmanın kodu her ne kadar açık bir şekilde paylaşılmış olsa da, iki farklı açıdan afet sonrası durum tespit çalışmalarında kullanılmasında zorluk olacaktır. Bunlar, i) *farklı kullanıcı tiplerinin* desteklenmemesi ve ii) *olay türlerinin* değişen ihtiyaçlar neticesinde dinamik bir şekilde güncellenemesidir. Sahadan toplanan verinin niteliğinin projenin tasarımında kurgulanan veri modeliyle kısıtlı kalması, afet sonrasında vatandaşlar veya afet sonrası destek ekiplerinin coğrafi veri ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz

kalabilir. Örnek olarak, bir deprem sonrasında binaların hasarları tespit edilirken tasarımda kullanılan dört sınıflı sınıflandırma “hasarsız, az hasarlı, orta hasarlı ve ağır/yıkık” (Demirbaş, Şahin ve Durucan, 2021) yabancı ülkelerin destek ekipleri tarafından karşılık bulmayabilir. Applied Technology Council (ATC-20) tarafından kabul edilen üç sınıflı (yeşil, sarı, kırmızı) olay türlerinin de diğer toplanan coğrafi veri ile bütünleşik bir şekilde sisteme eklenebilmesi ihtiyacı doğabilir (Goulet, Michel ve Kiureghian, 2015).

Vatandaşlar da afet sonrası durum tespit çalışmalarının önemli bir paydaşıdır. Afet sonrasında yardım çalışmalarının etkin yürütülebilmesi, farklı kamu kurumları, Sivil Toplum Kuruluşları veya şirketler gibi diğer paydaşların sunduğu yardım hizmeti noktalarının (ör. erzak dağıtım noktası, sağlık hizmetleri, çocuk bakımı vb.) *tek bir kaynaktan* paylaşılabiliyor olmasını gerektirmektedir. Böylece, i) hem farklı paydaşlar mükerrer coğrafi veri üretmemiş olacak, ii) hem ekipler arası koordinasyon daha iyi sağlanmış olacak (örnek olarak yeni bir yardım noktasının açılması gereken yerin daha etkin bir şekilde belirlenmesiyle), iii) hem de vatandaşın faydasına olacak hizmetler yine tek bir bağlantı adresinden erişilebiliyor olacaktır. Vatandaşın faydasına olan bu tür hizmetler de, yine yetkili uzman kişilerin onayı ile sisteme eklenebilmelidir (McGowan, 2020; Watkinson, Huck ve Harris, 2023).

Afetlerle mücadelede açık kaynak kodlu yazılımlara vurgu yapan çalışmalar bulunsa da (Leidig ve Teeuw, 2015), burada özellikle web ortamında belirli bir kotaya kadar ücretsiz kullanım hakkı sunan ve limit aşımında ücretlendirme politikası yapan firmalar (Google, Microsoft vb.) ve ürünleri de bulunmaktadır. Diğer bir taraftan şirketler bu politikalarını zaman içinde değiştirip, tamamen ücretli bir hizmet sunar duruma da gelebilir. Zira, Anbaroğlu vd. (2020)’nin geliştirdiği çözümde internet ortamından belirli bir kullanıma/kapasiteye kadar ücretsiz veritabanı ve sunucu hizmeti sağlayan *Heroku* adlı şirket, 2022’de aldığı karar ile bu hizmetini sonlandırmıştır. Bu gözlem, bu tür platformların sunduğu “*ücretsiz*” çözümlerin ne kadar kırılgan olabileceğini göstermektedir (bu durumu açıklayan ve 26 Eylül 2025 tarihinde alınan ekran görüntüsü Şekil 1(a)’da gösterilmiştir). Açık kaynak kodlu platformlardan Ushadi’de iki farklı kullanım seçeneği sunulmaktadır: i) Basic ve ii) Enterprise. Basic ücretsiz olarak belirtildiği halde, 7 Kasım 2025 tarihinde elde edilen hata Şekil 1(b)’de gösterilmiştir. Enterprise ürününün fiyatının ise 10,000 USD’den başladığı görülmektedir.

Diğer taraftan Amazon gibi daha büyük şirketlerde ise, toplanan tüm veri genellikle şirketlerin kendi sunucularında saklanmaktadır (Kim, Kim ve Kim, 2022). Bu durumun ulusal politikalarla uyumu kapsamında risklerin farkında olunmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır (Aksakallı, 2019).

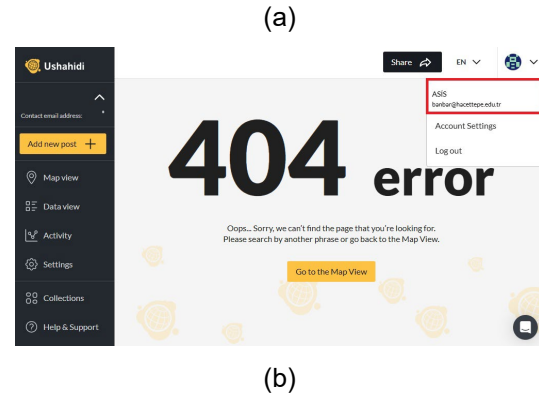
Free Heroku Dynos, Heroku Postgres and Heroku Data for Redis are no longer available

Change effective on 28 November 2022

As of November 28th, 2022, Heroku is no longer offering: *free* dynos, *hobby-dev* Heroku Postgres, or *hobby-dev* Heroku Data for Redis plans.

- Heroku has started converting existing *free* dynos to *basic* dynos and scaling them to 0. You must [subscribe to Eco or upgrade to another paid plan](#) to get your app running again.
- We have started queuing existing *hobby-dev* databases in personal and Heroku Team accounts for deletion.
- We have started converting existing *hobby-dev* databases belonging to Enterprise Accounts to *basic* plans.

See our [blog post announcement](#) and [FAQs](#) for more info.



Şekil 1. Heroku’nun “*ücretsiz*” PostgreSQL veritabanı yönetim sistemi kullanım politika değişikliği (a) ve Ushadi’nin “*ücretsiz*” kullanım türünün ürettiği hata (b).

Afet sonrasında durum tespit çalışmalarında hem hasar tespit kapsamında hem de yardım ekiplerinin daha etkin bir şekilde çalışabilmeleri için, sahada görülen ihtiyaçlar üzerine dinamik bir şekilde *yeni olay türlerinin* sisteme eklenebilmesi ve bu kapsamda sahadaki ekiplerin de bu olay türlerine ait noktasal veriyi kolaylıkla toplayabiliyor olmaları gerekmektedir. Elde edilen coğrafi verinin web-üzerinden *tek bir harita* üzerinden vatandaşların bilgisine sunulmuş olması ve yetkilendirilmiş uzman personel tarafından (*süpervizör*) analiz edilebiliyor olması da, afetle etkin mücadelede avantaj sağlayacaktır. Son olarak, internet kesintisi yaşandığında da, sahadan çalışan ekiplerin çalışmalarına devam edebilmelerine olanak sağlanmalıdır. Sonrasında, internet bağlantısı tekrar oluştuğunda bu coğrafi verinin hızlı ve etkin bir şekilde veritabanına entegre edilmesi sağlanmalıdır. Dolayısıyla, bu makalenin araştırma sorusu şu şekilde belirlenmiştir: *Afet sonrası durum tespiti ve yardım operasyonlarında, açık kaynak kodlu coğrafi bilişim teknolojilerine dayalı, çok kullanıcıya bir web-CBS sistemi kurumlar arası iş birliğini artırarak operasyonel etkinliği nasıl sağlayabilir?*

Tablo 1. ASİS'in sahadan coğrafi veri toplamaya dönük diğer sistemlerle karşılaştırılması.

Kriter	ASİS	Geopaparazzi	Ushahidi	QFieldCloud	ArcGIS (Field Maps/Online)	Google Maps
Teknoloji	Node.js (JavaScript), Bootstrap, SQL	Java + web bileşenleri (HTML/XML vb.)	Python, PHP	Python (Django)	Ticari ürün + SDK'lar (.NET/JS/Python)	Web/Android/iOS SDK + REST API
Veri tabanı / depolama	PostgreSQL/PostGIS	SQLite + MBTiles (offline harita)	MySQL	PostgreSQL/PostGIS	ArcGIS Online	Google Cloud (API üzerinden)
Web arayüzü	✓	X	✓	X	✓	✓
Fotoğraf / video ekleme	✓	✓	✓	✓	✓	Kısmen (API ile)
Çevrimdışı çalışma	✓ (QField ile offline + sonradan senk.)	✓	✓ (SMS/e-posta vb. kanallar)	✓	✓ (offline map areas + senk.)	X (offline tile caching kısıtlı)
Dil desteği	✓ (TR, EN)	✓ (çoklu dil)	✓ (40+)	✓	✓ (çoklu dil)	✓
Harita altlığı desteği	✓ (QGIS/OSM altlıkları ile)	✓ (MBTiles raster tile)	Kısmen (harita gösterimi)	✓	✓ (güçlü raster desteği)	✓ (tile/imager y servisleri)
Lisans / maliyet modeli	Açık kaynak (GitHub)	GPL-3.0	AGPL/LGPL + ticari Enterprise (10.000\$+)	MIT	Ticari lisans / abonelik	Kullanım bazlı ücretlendirme + API anahtarı
GPS / konum takibi	✓ (tarayıcı konumu + saha kayıtları)	✓	✓ (konumlu bildirim)	✓	✓	✓ (konum servisleri)
QGIS entegrasyonu	✓ (QGIS + QFieldSync iş akışı)	X (QGIS eklentisi ile mümkün)	X	✓ (doğrudan)	Kısmen (format dönüşümü ile)	X
OSGeo projesi	X	✓	X	X	X	X
Kurulum kolaylığı	Kolay	Kolay	Kolay-Orta	Kolay	Orta-Zor	Orta
Mobil uygulama	✓ (web + QField)	✓	✓	✓	✓	✓ (mobil SDK ile)

Bu makalenin amacı, açık kaynak kodlu web teknolojilerinden yararlanarak afet sonrası müdahalenin ve durum tespit çalışmalarının etkin biçimde gerçekleştirilebilmesini sağlayacak bir web-tabanlı uygulama tasarlayıp, geliştirmektir. Afet Sonrası İzleme Sistemi (ASİS) adını verdiğimiz web-tabanlı sistem, özellikle geniş coğrafi alanlara yayılmış deprem ve sel gibi farklı afet türlerine göre hizmet verebilecek niteliktedir. Aynı zamanda, farklı kurumların koordineli bir şekilde çalışmasını sağlayacak yapıdadır ve araştırmacıların tüm kodları çalıştırma, inceleme, değiştirme ve paylaşma özgürlüğü veren, ancak türetilmiş çalışmaların da aynı lisansla dağıtılmasını zorunlu kılan, GNU General Public License v3.0 ile lisanslanmıştır (<https://github.com/banbar/asis/>). Makalenin ikinci bölümünde, ASİS'in kullanıcıları ve tasarımı tanıtılacaktır. Üçüncü bölümde simüle edilmiş bir veri seti üzerinden, sistemin sunduğu analiz olanakları irdelenecektir ve çevrimdışı çalışma ortamı tanıtılacaktır. Dördüncü bölümde ise performans analizi gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde tasarlanan ve geliştirilen sistemin olumlu ve geliştirilmeye açık yönleri tartışılacaktır. Sonuç bölümünde ise, afetlerle mücadelede ASİS'in

sağlayabileceği faydalar ve bu kapsamda yapılması gereken gelecek çalışmalar sunulacaktır. Bu makaleyi benzer çalışmalardan ayıran dört temel yön şu şekildedir:

- Açık kaynak kodlu teknolojiler kullanarak, *doğrudan mobil uyumlu olacak şekilde internet tarayıcısından çalışabilen* afet sonrası coğrafi veri toplama platformunun tasarlanması ve geliştirilmesi,
- Toplanan coğrafi veriye fotoğraf ve video eklenebilmesi ve verinin açıklama kısmının etkin bir şekilde mikrofondan alınacak sesli ifade ile doldurulabilmesi,
- İnternetin olmadığı durumlarda da sahadan çalışacak uzmanların QField uygulaması ile etkin bir şekilde coğrafi veri toplayabilmelerine ve toplanan bu verinin daha sonradan senkronizasyonunun sağlanması ve,
- Sistem kurulumunun 10 dakika gibi kısa bir sürede gerçekleştirilebilmesidir.

2. YÖNTEM

Bu bölümde ilk olarak ASİS'in kullanıcıları tanıtılacaktır. İkinci olarak da, sistemin gerçekleştirimi için kullanılan teknolojiler açıklanacaktır.

a. Sistem Kullanıcıları

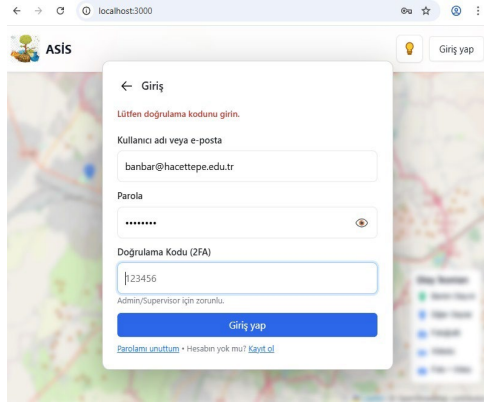
ASİS'in üç temel kullanıcısı bulunmaktadır. İlk olarak afet sonrasında sahadan veri toplamayla görevli, AFAD, HGM, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Emniyet Genel Müdürlüğü veya Üniversiteler gibi kamu kurumlarında görevli *uzman* personeldir. İkinci olarak, uzmanların topladıkları veriyi analiz edebilen, dinamik olarak toplanabilecek veri yapısını *yeni olay türü* ekleyerek belirleyebilen ve eklenen olayları ve uzmanları selebilen yetkili personeldir. Bu yetkili personel, *süpervizör* olarak adlandırılmıştır.

ASİS'in üçüncü temel kullanıcısı ise, afetten etkilenen *vatandaşlar*dır. Vatandaşlar ASİS'e *giriş yapmadan*, sadece kendilerine faydalı olay türlerinin (ör. erzak dağıtım noktaları) konumlarını göreceği şekilde bir sistem gerçekleştirimi kurgulanabilir. Örnek olarak, ASİS'in simüle edilmiş veri seti üzerinde toplamda 261 nokta olmasına rağmen, vatandaşlara faydalı olan 11 tanesi herkese açık bir şekilde, fotoğrafları ve açıklamalarıyla birlikte Şekil 3'de gösterilmiştir. Böylece, hem vatandaşlar bu tür kendilerine

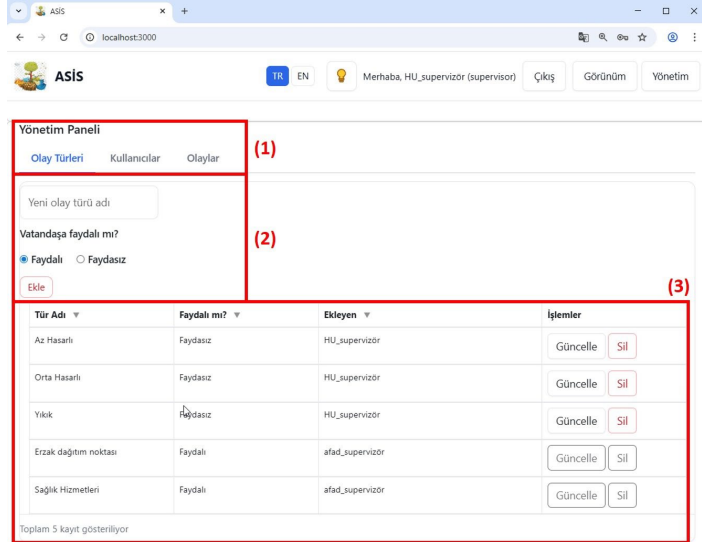
faydalı olabilecek noktalara tek bir kaynaktan erişebilir, hem de yeni açılması planlanan yardım noktalarının ihtiyaca uygun bir şekilde belirlenmesi sağlanabilir.

Sistemin ilk kurulumundan ve süpervizörlerin eklenmesinden sorumlu, doğrudan veritabanına erişebilen bir de sistem yöneticisine ihtiyaç vardır. Ancak, ASİS'in açık kaynak kodlu yapısı ve kolay kurulumu sayesinde bu kullanıcı türüne düşen iş yükünün asgari seviyede olması ön görülmektedir. Üç temel kullanıcı türünün ASİS üzerinde yapabileceği dört temel işlem (veri oluşturma, okuma, güncelleme ve silme) Tablo 2'de gösterilmiştir.

İş yükünün daha etkin bir şekilde yönetilebilmesi için ASİS'e birden çok süpervizör tanımlanabilir. Süpervizörler ASİS'e tanımlandıktan sonra, ek güvenlik önlemi olarak 2FA (Two Factor Authentication) ile cep telefonunda oluşturulan parola ile sisteme erişebilmektedir (Şekil 2a). GitHub, PyPi (Python paket yükleme sistemi) gibi gelişmiş birçok web-tabanlı sistem, tek bir parola yerine kayıt esnasında eşleştirilen cep telefonunda oluşturulan parolanın da kullanılmasını gerektiren 2FA kullanımını zorunlu hale getirmiştir (Petsas, Tsirantonakis, Athanasopoulos ve Ioannidis, 2015). Şekil 4'de süpervizörlerin diğer iki sekmesinin görünümü sunulmuştur.

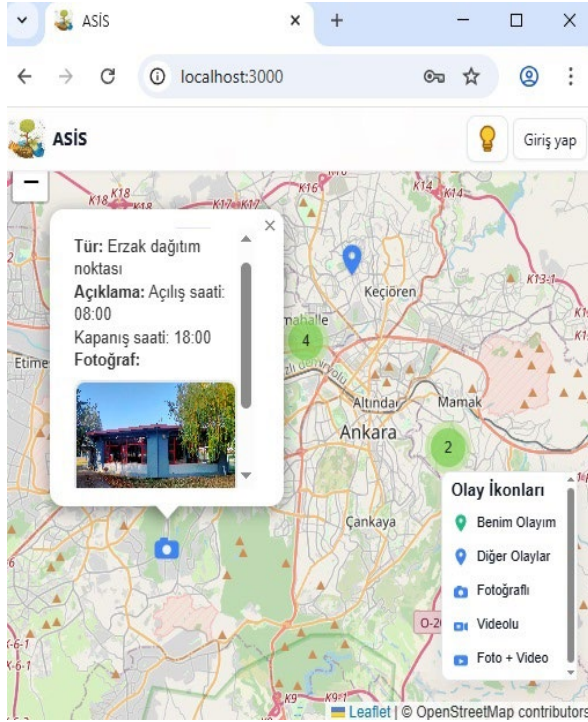


(a)



(b)

Şekil 2. Süpervizörün sisteme 2FA ile giriş yapabilmesi (a), süpervizör giriş ekranı (b).



Şekil 3. Vatandaşlar sisteme giriş yapmadan, kendilerine faydalı olabilecek noktaların konumlarını ve detaylarını görebilirler.

Veri oluşturma süreçlerinde görevlendirilmiş kurum personellerinin görev almasının, verinin doğruluğu ve bütünlüğü açısından daha doğru olacağı değerlendirilmiştir. Süpervizörler, yönetimden sorumlu personel oldukları için, sahadan gelen ihtiyaçlar kapsamında yeni olay türü (🏠) ekleyebilmeleri sağlanmıştır. Böylece, değişen ve gelişen ihtiyaçlar kapsamında saha personeli olan uzmanlar ile daha etkin ve hızlı bir yönetim sağlanabilir. Şekil 2b'de, iki numaralı bileşende görüldüğü üzere, yeni bir olay türü ekleneceği zaman, onun aynı zamanda vatandaşlara afet sonrası hizmet kapsamında faydalı bir olay türü olup olmadığının da belirtilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan süpervizörler sahada çalışmadıklarından, bu olay türleri ile ilgili noktasal veri (📍) toplama yükümlülükleri bulunmamaktadır.

Tablo 2. ASİS'in üç temel kullanıcısının yapabileceği dört temel işlem (oluşturma 📄, okuma 📖, güncelleme ↻ ve silme 🗑).

	📄	📖	↻	🗑
	🏠	📍	🏠	📍
Supervizör	✓	✗	✓*	✗
Uzman	✗	✓	✓	✗
Vatandaş	✗	✗	✗	✗

Uzman personeller ise, saha görevlisi olarak kabul süpervizörlerin belirledikleri olay türleri için sahadan veri toplamakla yetkilidirler. Sahadan veri girişini kolaylaştırmak için, ASİS mobil uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5a'da gösterildiği üzere tarayıcıların konum bulma özelliği (bileşen bir) ve karanlık mod (bileşen iki) gibi olanaklar sunulmuştur. Kullanıcı birinci bileşene veya harita üzerinde veri eklemek istediği noktaya dokunduğunda, olay bildirim formu açılmaktadır. Vatandaşlardan veri oluşturma kapsamında bir katkı beklenmemektedir.

Verinin okunması/gösterimi kapsamında ise süpervizörlere, üç farklı sekmede afet sonrası tüm kurumların topladıkları veriyi analiz etme imkanı sunulmuştur. Bu kapsamlı görünümü ve analiz imkanları sayesinde, onların veriyi okuma özellikleri ✓* ile gösterilmiştir. Uzmanlar da hem kendilerinin ekledikleri veriyi hem de diğer uzmanların ekledikleri verileri görebilmektedirler (Şekil 5a ve Şekil 5b). Vatandaşlar ise, sistem kurulumu esnasında belirtilen tercihlere göre (sadece vatandaşa faydalı olan olay türlerinin görünmesi veya tüm olay türlerinin görünmesi), *sisteme giriş yapmadan* Şekil 3'de gösterildiği üzere elde edilen coğrafi veriye erişebilmektedir.

localhost:3000

ASİS

TR EN Merhaba, HU_supervizör (supervisor) Çıkış Görünüm Yönetim

(1)

Yönetim Paneli

Olay Türleri **Kullanıcılar** Olaylar

(2)

Kullanıcı Adı	Rol	E-posta	Doğrulandı	İşlemler
hu	user	hu@hacettepe.edu.tr	Evet	Sil
afad1	user	afad1@afad.gov.tr	Evet	Sil
afad2	user	afad2@afad.gov.tr	Evet	Sil
afad3	user	afad3@afad.gov.tr	Evet	Sil
hgm1	user	hgm1@harita.gov.tr	Evet	Sil
hgm2	user	hgm2@harita.gov.tr	Evet	Sil
cbs1	user	cbs1@csb.gov.tr	Evet	Sil
cbs2	user	cbs2@csb.gov.tr	Evet	Sil
afad_supervizör	supervisor	ibrahim_supervizor@afad.gov.tr	Evet	Sil
HU_supervizör	supervisor	banbar@hacettepe.edu.tr	Evet	Sil

(3)

(a)

ASİS

Merhaba, HU_supervizör (supervisor) Çıkış Görünüm Yönetim

Yönetim Paneli

Olay Türleri Kullanıcılar **Olaylar**

(1')

(1)

(2)

Tür Açıklama (1)

Ara...

(Tümünü Seç)

☒ Vatandaşın Faydalı (0)

☒ Vatandaşın Faydasız (92)

☒ Az Hasarlı (92)

☒ Erzak dağıtım noktası (0)

vk edildi

vk edildi

vk edildi

espit edildi ve

Ekleyen

hu (ID: 17)

Ara...

afad1 (ID: 48)

☒ (Tümünü Seç)

E-posta Domain'leri:

☒ @afad.gov.tr (48)

☒ @csb.gov.tr (20)

☒ @hacettepe.edu.tr (8)

☒ @harita.gov.tr (16)

afad2 (ID: 121)

Fotoğraf Video Ekleme Tarihi İşlem

Yok Var 08.11.2025 14:39 Sil

Yok Yok 08.11.2025 07:55 Sil

Yok Yok 06.11.2025 04:24 Sil

Yok Yok 04.11.2025 19:28 Sil

Yok Yok 04.11.2025 03:14 Sil

(4)

(3)

Olay İkonları

Benim Olayım

Diğer Olaylar

Fotoğraflı

Video

Foto + Video

-5 arası gösteriliyor (Toplam 261 kayıttan 92 kayıtlı) (1')

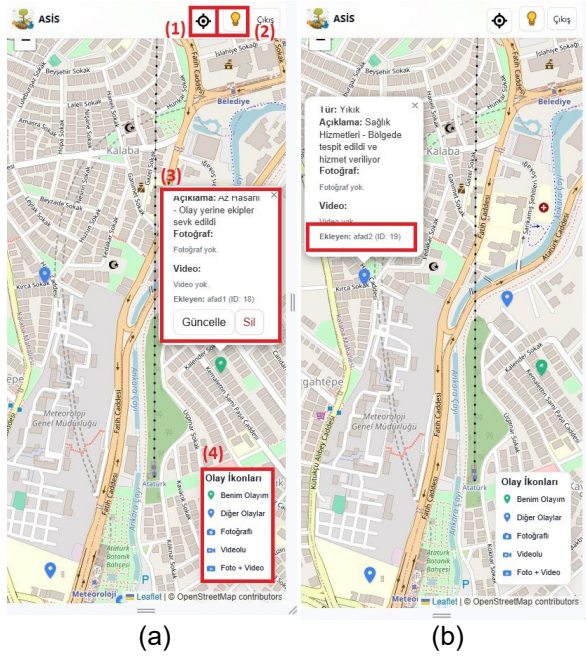
(1')

1 2 3 4 5 6 7 > >>

(b)

Şekil 4. ASİS yönetim paneli. Kullanıcılar sekmesinden süpervizörler uzmanları silebilirler, ancak diğer süpervizörleri silemezler (a). Olaylar panelinde ise kapsamlı bir filtreleme imkanı vardır (b).

Güncelleme işlemleri de yine süpervizörlerin ve uzmanların yapabileceği bir işlemdir. Sahada farklı kurumların farklı ekipleri olabileceğinden, süpervizörler sadece kendi ekledikleri olay türlerini güncelleyebilirler. Örnek olarak, Hacettepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde görevli uzman akademik personelin hasar tespit çalışmalarında sisteme veri ekleyebilmesi için üç olay türü (az hasarlı, orta hasarlı ve yıkık) eklemiş bir süpervizör, sadece bu üç olay üzerinde güncelleme yetkisine sahiptir. Şekil 2b'de üç numaralı bileşende görüldüğü üzere, ilgili süpervizörün "erzak dağıtım noktası" ve "sağlık hizmetleri" olay türlerini güncelleme/silme yetkisi yoktur. Benzer şekilde *afad1* uzmanı kendi eklediği veriyi düzenleyebiliyorken (Şekil 5a), diğer bir kullanıcının verisi üzerinde böyle bir yetkisi yoktur (Şekil 5b).



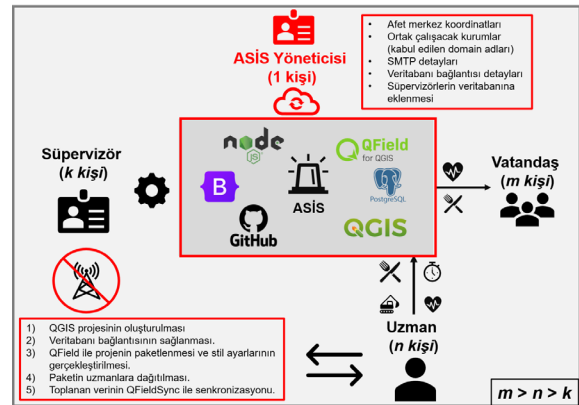
Şekil 5. Uzman arayüzünde konum bulma özelliği, gece görünümü ve eklenen olayın güncellenmesi özellikleri (bileşen 1-3) (a), diğer bir uzmanın eklediği verinin güncellenememesi (b).

Silme işlemlerinde, süpervizörlerin kullanıcı silebilme yetkileri de bulunmaktadır. Bunun sebebi, bir uzmanın sahadan yanlış bir varsayım ile veri toplamış olma durumudur. Bir uzmanın yanlış bir varsayım ile topladığı verinin sistemde bulunması, karar mercilerinin yanlış çıkarımlar yapmasına yol açabilir. Dolayısıyla, bu uzmanın topladığı tüm veri sistemden kolaylıkla silinebilmelidir. Süpervizörler, kendilerini de silerek sistemden çıkabilirler, ancak diğer süpervizörleri silmelerine izin verilmemektedir.

b. ASİS Kurulum ve İşletim Süreci

ASİS'in kurulum ve işletim süreci Şekil 6'da özetlendiği gibi iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlar, i) sistem kurulumu ve ii) saha çalışmasıdır. ASİS'in kurulması ve sistemin ayağa kaldırılması kapsamında farklı yazılımlardan faydalanılmıştır. Veritabanı yönetim sistemi olarak *PostgreSQL/PostGIS* kullanılmıştır. Sunucu tarafının çalıştırılması için *NodeJS* kullanılmıştır. Ön yüzde mobil uyumluluğun sağlanabilmesi için *Bootstrap* kullanılmıştır. Projenin mobil cihazlara aktarılabilmesi için, *QField* ve *QGIS* yazılımları kullanılmıştır. Son olarak, proje kodlarının ve diğer kaynaklarının paylaşılması için *GitHub* kullanılmıştır. ASİS'in geliştirilmesi kapsamında ihtiyaç duyulan kimi işlemleri hızlandırmak adına ChatGPT ve DeepSeek gibi yapay zeka platformlarından faydalanılmıştır. ASİS Yöneticisi projenin GitHub sayfasındaki kaynak kodlarını ve işlem adımlarını takip ederek, süpervizörlerin sisteme giriş yapabilmelerini sağlar. Böylece, ASİS ilgili kamu kurumunun sunucusunda çalışır hale getirilir ve sistem kurulumu tamamlanmış olur. Bu aşamadan sonra ASİS Yöneticisine ihtiyaç minimum seviyede olacaktır.

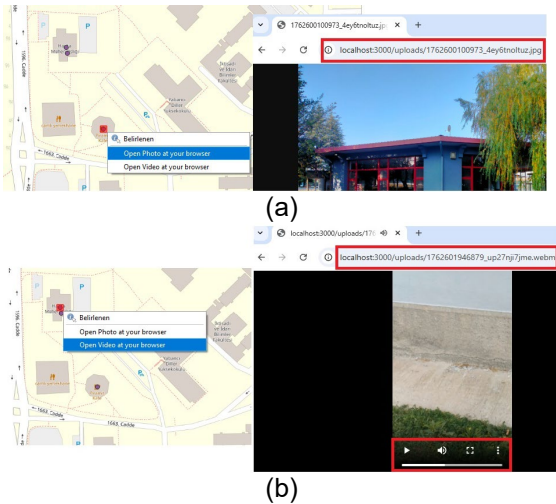
ASİS işletim süreci ile uzmanların sahadan veri toplamaları ve bunların analizi gerçekleştirilir. Süpervizörlerin eklediği olay türleri üzerinden uzmanlar sahadan veri ekleyebilirler. ASİS internet bağlantısı olmadığı zamanlarda da uzmanların coğrafi veri toplayabilmelerine ve bu toplanan verinin daha sonradan QFieldSync ile senkronizasyonuna imkan sağlamaktadır. Vatandaşlar ise, ASİS'e giriş yapmadan sadece kendilerine faydalı hizmet noktalarını (sağlık, yemek dağıtım vb.) görebilirler.



Şekil 6. ASİS kurulum ve işletim süreci.

Saha çalışması, internet erişiminin var olup olmayacağına bağlı olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. İnternetin olduğu senaryoda, sunucunun web-adresi kullanılarak, doğrudan mobil cihazlardan veri toplanabilmektedir. ASİS, mobil uyumlu olarak geliştirildiğinden, internet sayfası açıldığında kolaylıkla veri girişi sağlanabilmektedir. Diğer taraftan, özellikle 6 Şubat depreminden sonra, internet olmadan da afet sonrasında sahadan veri toplayabilmenin önemi ve gerekliliği çok daha net anlaşılmıştır (Tuna, 2024). Dolayısıyla, internetin olmadığı senaryoda, sahadan veri toplanması için QGIS ile doğrudan uyumlu QField adlı mobil uygulama ile QFieldSync eklentisi kullanılması ön görülmüştür. Fotoğraf ve video destekli bir şekilde veri toplanmasını sağlayan QField'ın, afet yönetiminde faydalı olduğu başka araştırmacılarca da teyit edilmiştir (Vavassori, Carrion, Zaragozi ve Migliaccio, 2022).

Beş adımdan oluşan bu süreçte, öncelikle veritabanı bağlantısıyla QGIS projesinin oluşturulması gerekmektedir. İkinci adımda QField eklentisi ile projenin paketlenmesi gerekmektedir. Üçüncü adımda, projenin reposunda bulunan stil dosyası ile olay katmanı ile eşleştirilerek, mobil arayüzün kullanımı kolaylaştırılır. Bu sayede QGIS'de doğrudan bulunmayan bir özellik olarak, tarayıcıdan coğrafi kayıtların fotoğraf ve video görüntülerine de erişilebilmektedir (Şekil 7).



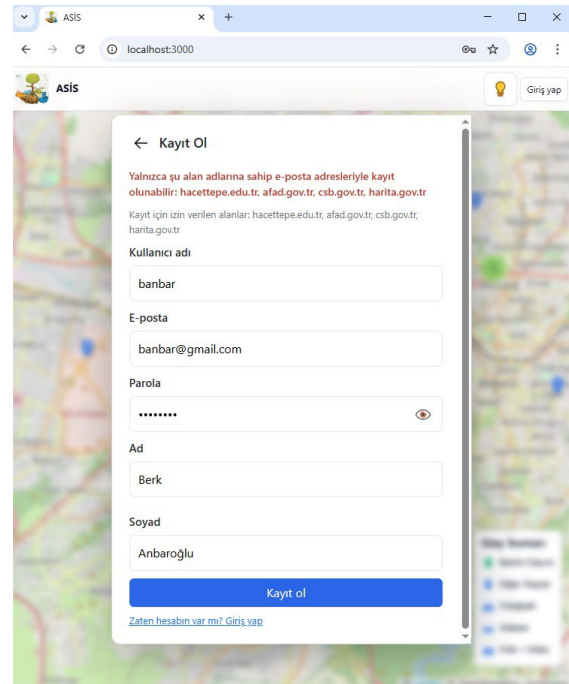
Şekil 7. QGIS stil dosyası ile ilgili coğrafi kayıtların fotoğrafları (a) ve videoları (b) tarayıcıdan görülebilmektedir.

Dördüncü adımda elde edilen QGIS proje dosyası, QField uygulamasına sahip uzmanlara dağıtılır. Sahadan veri toplandıktan sonra, güncellenen proje dosyası süpervizöre teslim edilir. Projenin çevresel değişkenlerindeki ilgili parametre güncellenir. Sunucu tekrar

başladığında, ASİS'in veritabanı sahadan internet olmadan toplanan veri eklenmiş bir şekilde güncellenmiş olacaktır.

3. ÖRNEK GERÇEKLEŞTİRİM

Bu bölümde ASİS'in örnek bir gerçekleştirimi ve süpervizörün olay analiz ekranı tanıtılacaktır (Şekil 3). Aynı zamanda, uzmanların sisteme giriş yapabileceği ve kayıt olabileceği alan da **Giriş yap** butonundan sağlanmaktadır. Yeni kayıt oluşturulurken, belirtilen e-posta adresinin uzantısının, projenin çevresel değişkenlerde belirtilen alan adları ile eşleşmesi gerekmektedir. Böylece, kayıt olacak uzmanın bir kamu personeli olduğu teyit edilebilir. Aksi durumda, Şekil 8'de belirtildiği gibi bir hata mesajı alınmaktadır. Bu ek güvenlik önlemi sayesinde, uzmanların hakikaten ilgili kurumlarda görevli personel oldukları teyit edilmektedir.



Şekil 8. Yeni uzman kaydı için çevresel değişkenlerde belirtilen alan adlarına sahip bir e-posta adresi belirtilmelidir.

Belirtilen alan adlarına sahip bir kayıt oluşturulduktan sonra, kullanıcının belirttiği e-posta adresine Şekil 9'daki gibi bir e-posta doğrulaması gelmektedir. Bu doğrulama sağlandıktan sonra, kayıt olan uzman ASİS'e veri girişi yapabilmektedir.

ASİS'de, kullanıcı parolaları şifrelendikten sonra veritabanında saklanmaktadır. Böylece, uzmanların ve süpervizörlerin sisteme girişte

kullandıkları parolalar, sistem yöneticisi tarafından görüntülenemeyecektir.



Şekil 9. Uzmanlar gelen doğrulama e-postalarını onayladıktan sonra aktif hale geliyorlar.

Test amacıyla, dört farklı kurumdan, sekiz uzman ASİS'e tanıtılmıştır. Belirlenen uzmanlar için değişen sayılarda olay eklenmiştir olup, pilot çalışma için toplamda 261 olay eklenmiştir. Bunlardan da sonrasında sadece 11 tanesi vatandaşlara faydalı olan olay türleri olacak şekilde manuel bir işlemle güncellenmiştir. Sahadan toplandığı kabul edilen bu olayların analizi ekranına erişebilmek için süpervizörün "Olaylar" sekmesine tıklaması gerekmektedir (Şekil 4b). Böylece, açılan ekranda olayların kapsamlı bir filtreleme imkanı ve filtrelenmiş verinin GeoJSON formatında indirilmesi mümkün olmaktadır. Şekil 4b'nin bir numaralı bileşeninde görüldüğü üzere *olay türleri*, *uzman*, *fotoğraf*, *video* ve *eklenme tarihi* üzerinden filtreleme işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

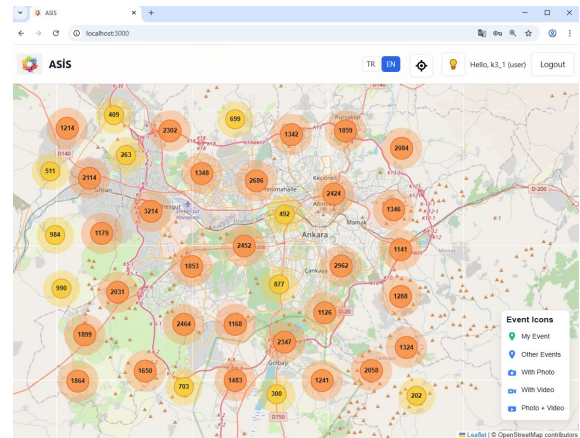
Örnek gerçekleştirim kapsamında üretilmiş 261 kaydın 92'si "Az Hasarlı" olay türüne aittir ve bunlar "Tür" filtresi kullanılarak kolaylıkla elde edilebilir. Bu seçimler değiştikçe, diğer filtreler de otomatik olarak güncellenmektedir. Örnek olarak seçilmiş olan "Az Hasarlı" olay türü, *Ekleme* filtresi ile incelendiğinde, bu kayıtların 48'ini AFAD uzmanlarının, 20'sini Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı uzmanlarının, 8'ini Hacettepe Üniversitesi uzmanlarının ve 16'sını Harita Genel Müdürlüğü personelinin topladığı anlaşılmaktadır. Filtrelenmiş veri, GeoJSON olarak iki numaralı bileşenden indirilebilmektedir. Tablo 2'de belirtilen süpervizörlerin olay silebilme özelliği de, dördüncü bileşen ile teyit edilmektedir.

4. PERFORMANS ANALİZİ

Tasarlanıp geliştirilen ASİS'in performans analizi ile, sistemin gerçek dünya koşullarında ne kadar ölçeklenebilir, güvenilir ve kullanıcı taleplerine ne ölçüde hızlı yanıt verebildiği anlaşılabilir. Özellikle büyük hacimli mekânsal verilerle çalışan uygulamalarda, veri tabanına

eklenen sentetik veriler üzerinden gerçekleştirilen sorgular, sistemin artan veri yükü altında nasıl davrandığını gözlemlemeye imkân tanır.

Bu bölümde ASİS'in sorgu performansı; kurum sayısının $k \in [3, 10]$, her bir kurumda görev yapan uzman personel sayısının $u \in \{10, 50, 100, 200\}$ ve her bir uzmanın topladığı nokta sayısının $d \in [10, 50]$ aralığında değiştiği bir senaryo üzerinden analiz edilmiştir. Böylece, toplam nokta sayısının en az 300 en fazla 100 bin olabileceği toplam 32 farklı deney kurgulanmış olup, her bir deney için ayrı bir veritabanı oluşturulmuştur. Senaryoda uzmanlar, beşi vatandaşa faydalı, beşi ise faydasız olmak üzere toplam 10 olay türünden her birini eşit olasılıkla seçerek kayıt oluşturmakta; bu kayıtlara %25 olasılıkla fotoğraf ve %25 olasılıkla video eklemektedir. Çalıştırılan örnek senaryoda, en çok nokta bulunan deneyde ($k = 10, u = 200$) bir uzmanın ekranı Şekil 10'daki gibi görünmektedir.

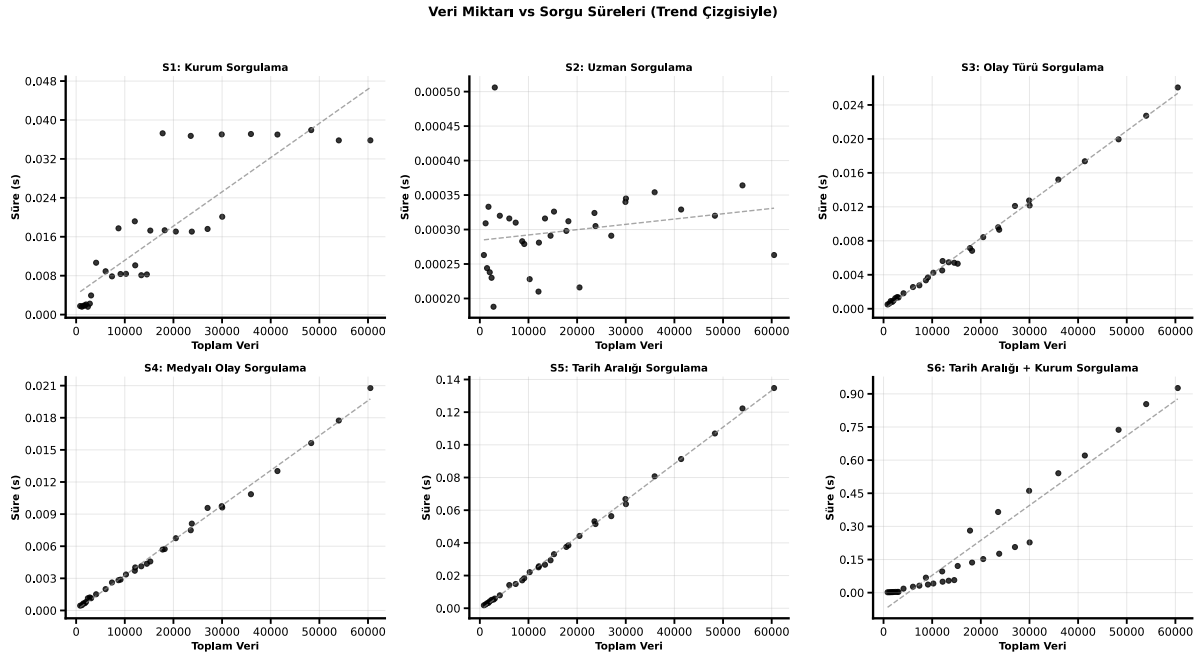


Şekil 10. En çok veri içeren deneydeki uzman ekranı.

Çalışma süreleri analiz edilen sorgular Tablo 3'de belirtilmiştir.

Tablo 3. Sorgu süresi analiz edilen sorgular.

ID	Sorgu
1	X kurumunda çalışan uzmanların topladığı kayıtların elde edilmesi.
2	U uzmanının topladığı kayıtların elde edilmesi.
3	O olay türüne ait toplanan kayıtların elde edilmesi.
4	Fotoğraf veya video içeren kayıtların elde edilmesi.
5	T1-T2 tarih aralığında toplanan kayıtların elde edilmesi.
6	T1-T2 tarih aralığında ve X kurumunda çalışan uzmanların topladığı kayıtların elde edilmesi.



Şekil 11. Farklı deney sonuçlarının sorgu performansları.

Beklendiği üzere deneydeki nokta sayısı arttıkça, sorgunun çalışma süresi de genel olarak artmaktadır. Bu duruma aykırı bir örnek olarak sadece ikinci sorgu belirmektedir. Bunun nedeni de tüm deneylerde uzmanların topladıkları nokta sayısının aynı değer aralığında $d \in [10, 50]$ olmasıdır. Dolayısıyla, irdelenen sorgular içinde en az kayıt döndüreni ve en hızlı çalışanı da ikinci sorgu olmaktadır.

Gerçekleştirilen tüm bu deneylerin temel varsayımı veritabanına doğrudan erişim ve hatalı bir sonuç gelmeyeceğidir. Diğer taraftan, ASİS gibi etkileşimli web uygulamalarında farklı hata kaynakları olabilir (ör. uzman girişinde hatalı veri girişi, sunucu hatası vb.) veya eş zamanlı birden çok uzman aynı anda sisteme erişmek isteyebilir. Bu tür durumlar için Artillery ve JMeter farklı araçlar olup, bunların etkinliğinin analizi güncel araştırma konularındandır (Pinyagin ve Sadovych, 2026).

5. TARTIŞMA

Afetlerle mücadele ülkelerin önemli kaynaklar ayırdığı, insan hayatının en öncelikli değer olarak kabul edildiği, ancak ekonomik kayıpların da ağır yük oluşturduğu karmaşık bir süreçtir. Afet sonrası hasar tespit çalışmalarının ve iyileştirme faaliyetlerinin etkin bir şekilde yürütülmesi büyük önem arz etmektedir. Günümüzde bu ihtiyaçlar çoğunlukla lisanslı yazılımlar ile sağlanmaktadır. Örnek olarak, ESRI firmasının sağladığı kapsamlı çözümler (ör. ArcGIS Pro, ArcGIS Dashboards,

ArcGIS Survey123, Drone2Map vb.) sundukları gelişmiş araç setleri ve kurumsal destek ile afet sonrası yönetiminde avantaj sağlamaktadır. Diğer taraftan kimi diğer lisanslı yazılımların da (ör. D4H, <https://www.d4h.com/>) ülkemizde satışının makalenin yazım tarihinde (Ocak 2026) bulunmadığı gözlemlenmiştir. Bu tür durumlar mali kaynaklı olabileceği gibi, yaptırım gibi daha karmaşık politik sebeplere de dayanabilir.

Afet gibi zaman baskısı altında, geniş alanları kapsayan ve çok paydaşlı müdahalelerin söz konusu olduğu durumlarda, i) lisans maliyetleri, ii) lisanslı yazılımların karmaşık yapıları gereği kullanımlarının uzmanlık gerektirmesi, ve iii) kullanıcı, cihaz, kurum veya ülke kısıtları ile lisanslı ve kaynak kodu kapalı yazılımlar önemli sınırlılıklar doğurabilmektedir. Bu engeller, insani müdahalenin temel ilkesi olan '*en kısa sürede en çok kişiye ulaşma*' hedefini örseleyerek, teknolojinin aslında hafifletmeye çalıştığı krizi daha da derinleştirebilir.

Bu makale kapsamında tasarlanan ve geliştirilen ASİS'in iki temel avantajı bulunmaktadır. İlk olarak, afetle mücadelede farklı kurumların ortak çalışmasına imkan sağlamaktadır. Afet sonrası hasar tespit ve iyileştirme çalışmalarında ihtiyaç duyulan noktasal coğrafi verinin tek bir kaynaktan toplanıp dağıtılabilir olması, kurumlar arası koordinasyonu güçlendirecektir. İkinci olarak, ASİS tamamıyla açık kaynak teknolojiler kullanılarak ve açık kaynak kodlu olarak GNU

Genel Kamu Lisansı v3.0 lisansı ile geliştirildiği için, kurulumu ve işletilmesi kapsamında kurumlarımıza ek bir maliyeti olmayacaktır. Diğer taraftan veritabanı sunucusu da yine ilgili kurumun veritabanı sunucusu olacağı için, bu kapsamda hizmet sunan şirketlerin sunucularına bağlı kalınmayacaktır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Afet sonrası müdahalelerin etkinliği, hızlı ve koordineli coğrafi veri yönetimine bağlıdır; ancak mevcut uygulamalar lisanslı, kapalı ve birbirleriyle uyumsuz yazılımlar ile internet bağımlılığı nedeniyle kurumlar arası koordinasyonu, yerel aktörlerin katılımını ve vatandaşların gerçek zamanlı bilgiye erişimini ciddi biçimde sınırlamaktadır.

Bu makale kapsamında Afet Sonrası İzleme Sistemi (ASİS) tasarlanıp, geliştirilmiştir. Üç farklı kullanıcı türüne (süpervizör, uzman ve vatandaş) hizmet verebilen ve farklı kurumların iş birliğine imkan sağlayan ASİS, açık kaynak kodlu coğrafi bilişim yazılımları ile geliştirilmiş olup, yine projenin GitHub reposundan kodları açık olarak paylaşılmıştır. Böylece, afet sonrası hasar tespit ile yardım/hizmet dağıtım çalışmaları tek bir kaynaktan ve lisanslı bir yazılım gerektirmeden yürütülebiliyor olacaktır. ASİS, çevrimdışı çalışmaya uygun bir şekilde tasarlanmış olup, QField adlı mobil uygulama sayesinde uzmanlar internet olmadan da noktasal veri toplayabilmektedirler.

Geliştirilen sistem şu anda sadece pilot olarak test edilmiş olup, afetle ilgilenen kurumların bilgisine sunulmamıştır. Dolayısıyla, makalenin ilk gelecek çalışma önerisi çalışmanın tanıtılması ve uzman görüşlerinin alınmasıdır. Her ne kadar performans testi farklı sayıda nokta içeren 32 farklı veritabanında test edilmiş olsa da, bu analizler sadece yerel sunucu üzerinde gerçekleştirilmiştir. İnternette servis veren bir sunucu üzerinde Artillery veya JMeter gibi yük testi gerçekleştiren kapsamlı yazılımlar ile test edilmesi projenin sahadaki etkinliğini çok daha doğru bir şekilde yansıtacaktır. İkinci olarak ise, sistemin kolaylıkla PDF formatında harita çıktısı üretebiliyor olmasıdır. Bunun otomatik bir yapıda ve diğer önemli noktalar ile çizgisel yapıların (okullar, caddeler vb.) OpenStreetMap'ten sağlanmasıyla, kağıt çıktı olarak elde edilen harita çıktısının geniş kitlelerce kullanılmasını kolaylaştıracaktır. Son

olarak, ASİS'in GeoServer ile entegre edilmesiyle, süpervizörlerin veri indirme sorumluluğu ve bu şekilde paylaşılan verinin güncel olmayabileceği sorunları aşılmış olacaktır.

TEŞEKKÜR

Web-tabanlı sistemlerin geliştirilmesindeki katkılarından ötürü Gökdemir ÇARDAK'a, afet sonrası sahadaki durum ve ihtiyaçlar kapsamında değerli paylaşımları için de AFAD gönüllüsü Büşranur AKSU'ya teşekkür ederiz.

ORCID

Berk ANBAROĞLU 
<https://orcid.org/0000-0003-2331-6190>

İbrahim TOPCU 
<https://orcid.org/0009-0003-9293-5769>

KAYNAKLAR

- Aitsi-Selmi, A., Egawa, S., Sasaki, H., Wannous, C. ve Murray, V. (2015). The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: Renewing the Global Commitment to People's Resilience, Health, and Well-being. *International Journal of Disaster Risk Science*, 6(2), 164-176. <https://doi.org/10.1007/s13753-015-0050-9>
- Aksakallı, İ. K. (2019). Bulut Bilişimde Güvenlik Zafiyetleri, Tehditleri ve bu Tehditlere Yönelik Güvenlik Önerileri. *Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi*, 5(1), 8-34. <https://doi.org/10.18640/ubgmd.544054>
- Anbaroğlu, B., Coşkun, İ. B., Brovelli, M. A., Obukhov, T. ve Coetzee, S. (2020). Educational Material Development on Mobile Spatial Data Collection Using Open Source Geospatial Technologies. *ISPRS Archives*, XLIII-B4-2020, 221-227.
- Camponovo, M. E. ve Friendschuh, S. M. (2014). Assessing uncertainty in VGI for emergency response. *Cartography and Geographic Information Science*, 41(5), 440-455. <https://doi.org/10.1080/15230406.2014.950332>

- Cetin, M., Kaya, A. Y., Elmastas, N., Adiguzel, F., Siyavus, A. E. ve Kocan, N. (2024). Assessment of emergency gathering points and temporary shelter areas for disaster resilience in Elazığ, Turkey. *Natural Hazards*, 120(2), 1925-1949. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06271-9>
- Chisty, M. A., Muhtasim, M., Biva, F. J., Dola, S. E. A. ve Khan, N. A. (2022). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (SFDRR) and disaster management policies in Bangladesh: How far we have come to make communities resilient? *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 76, 103039.
- Demirbaş, N., Şahin, H. ve Durucan, C. (2021). Betonarme Yapılarda Deprem Sonrası Yapısal Hasarların Tahmini İçin Kullanılan Hızlı Değerlendirme Yöntemlerinin Etkinliklerinin Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33(2), 125-134.
- Eminoğlu, Y. ve Tarhan, Ç. (2025). Decadal evolution of GIS in disaster management and risk assessment. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(2), 173-196. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1544048>
- Goodchild, M. F. ve Glennon, J. A. (2010). Crowdsourcing geographic information for disaster response: A research frontier. *International Journal of Digital Earth*, 3(3), 231-241. <https://doi.org/10.1080/17538941003759255>
- Goulet, J. A., Michel, C. ve Kiureghian, A. D. (2015). Data-driven post-earthquake rapid structural safety assessment. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 44(4), 549-562. <https://doi.org/10.1002/eqe.2541>
- Khajwal, A. B. ve Noshadravan, A. (2021). An uncertainty-aware framework for reliable disaster damage assessment via crowdsourcing. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 55, 102110. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102110>
- Kim, D., Kim, J. ve Kim, H. (2022). Automatic Disaster Warning System Using Amazon Web Service (AWS): Focusing on Flood in East Asia. *IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4335-4338.
- Leidig, M. ve Teeuw, R. (2015). Free software: A review, in the context of disaster management. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.05.012>
- Li, L. ve Ulaganathan, M. N. (2017). Design and development of a crowdsourcing mobile app for disaster response. *2017 25th International Conference on Geoinformatics*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2017.8090943>
- McGowan, B. S. (2020). Measuring Student Motivation for Participation in GIS Data Activities. *portal: Libraries and the Academy*, 20(3), 475-494.
- Nguyen, Q. H., Brovelli, M. A., Albertella, A., Furuhashi, T. ve Montani, M. (2025). Bridging Humanitarian Mapping and the Sustainable Development Goals. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(8), 307. <https://doi.org/10.3390/ijgi14080307>
- Olyazadeh, R., Aye, Z. C., Jaboyedoff, M. ve Derron, M.-H. (2016). Prototype of an open-source web-GIS platform for rapid disaster impact assessment. *Spatial Information Research*, 24(3), 203-210. <https://doi.org/10.1007/s41324-016-0017-y>
- Petsas, T., Tsirantonakis, G., Athanasopoulos, E. ve Ioannidis, S. (2015). Two-factor authentication: Is the world ready? quantifying 2FA adoption. *Proceedings of the Eighth European Workshop on System Security*, 1-7. New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2751323.2751327>
- Pinyagin, M. ve Sadovykh, A. (2026). Automating Performance Testing in CI/CD - Tools Evaluation. İçinde S. Bonfanti & G. A. Papadopoulos (Ed.), *Testing Software and Systems* (ss. 195-209). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-05188-2_13
- Riaz, R. ve Mohiuddin, Md. (2025). Application of GIS-based multi-criteria decision analysis of hydro-geomorphological factors for flash flood susceptibility mapping in Bangladesh. *Water Cycle*, 6, 13-27. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2024.09.003>

- Tuna, M. (2024). Deprem Zamanındaki GSM Operatörlerine İlişkin Tüketici Algılarının Sosyal Medya Paylaşımlarında Araştırılması. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 15(1). <https://doi.org/10.54688/ayd.1372546>
- UNDP. (2017, Mayıs 30). *A guidance note: National post-disaster recovery planning and coordination - World* | ReliefWeb. Erişim adresi (27 Ocak 2026): <https://reliefweb.int/report/world/guidance-note-national-post-disaster-recovery-planning-and-coordination>
- Vavassori, A., Carrion, D., Zaragozi, B. ve Migliaccio, F. (2022). VGI and Satellite Imagery Integration for Crisis Mapping of Flood Events. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(12), 611. <https://doi.org/10.3390/ijgi11120611>
- Watkinson, K., Huck, J. ve Harris, A. (2023). Maximizing the value of a volunteer: A novel method for prioritizing humanitarian VGI activities. *Journal of Spatial Information Science*, (27), 27-49. (Global). <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2023.27.246>
- Yıldız, D. ve Kinay, İ. (2026). Türkiye'de Afet Eğitimi ile İlgili Yapılmış Lisansüstü Tezlerin İncelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 12(1), 33-49. <https://doi.org/10.21324/dacd.1674718>

EKF Tabanlı GNSS/SIMU Entegrasyonu İçin Öncül Gauss-Markov Korelasyon Parametrelerinin Global Model Kullanılarak Belirlenmesi

(Determination of A Priori Gauss-Markov Correlation Parameters Using a Global Model for EKF-Based GNSS/SIMU Integration)

Mehmet Emir YAYLA¹, Yunus Aytaç AKDOĞAN¹, Murat DURMAZ²

¹Harita Genel Müdürlüğü, Jeodezi Daire Başkanlığı, Cebeci, ANKARA

²Hacettepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Çankaya, ANKARA

mehmetemir.yayla@harita.gov.tr, yunusaytac.akdogan@harita.gov.tr, muratdurmaz@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 17.04.2026

Kabul Tarihi (Accepted): 09.07.2026

ÖZ

Bu çalışmada, sıcaklık stabilizasyonlu ataletsel ölçüm birimi (SIMU) ve Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) entegrasyonuna dayalı mobil gravimetri uygulamalarında, farklı bölgesel gravite alanı özelliklerinin Gauss-Markov (GM) model parametreleri ve Genişletilmiş Kalman Filtresi (EKF) performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında ICGEM platformu ve EGM2008 modeli kullanılarak; dağlık (Giresun), düz (Ankara) ve karma (İzmir-Çanakkale) topoğrafik yapılaraya sahip bölgeler için gravite bozukluğu veri setleri üretilmiştir. Bu veriler üzerinde 1. dereceden 4. dereceye kadar GM modelleri uygulanarak mekânsal otokorelasyon fonksiyonları (ACF) analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, topoğrafik yapının stokastik parametreler üzerinde belirleyici olduğu görülmüştür. Düz bir topoğrafyaya sahip Ankara bölgesinde varyans değeri yaklaşık 13-14 mGal ve korelasyon uzunluğu 31-37 km aralığında hesaplanırken, dağlık Giresun bölgesinde varyans 33-36 mGal seviyelerine yükselmiş ve korelasyon uzunluğu 18-21 km'ye düşmüştür. Elde edilen bu stokastik model parametreleri, EKF'nin sistem gürültü kovaryans matrisinin tasarımına entegre edilmiştir. Sonuç olarak, mobil gravimetri uygulamalarında kullanılan stokastik model parametrelerinin, hem bölgesel topoğrafik özelliklere hem de seçilen GM model derecesine bağlı olarak değiştiği ve bu durumun modelleme sürecinde göz önünde bulundurulmasının faydalı olabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mobil Gravimetri, SIMU/GNSS, Gauss-Markov Süreci, Genişletilmiş Kalman Filtresi (EKF), Topoğrafik Korelasyon.

ABSTRACT

In this study, the effects of different regional gravity field characteristics on Gauss-Markov (GM) model parameters and Extended Kalman Filter (EKF) performance were investigated for mobile gravimetry applications based on the integration of a Temperature-Stabilized Inertial Measurement Unit (SIMU) and a Global Navigation Satellite System (GNSS). Within the scope of the study, gravity disturbance data sets were generated for regions with mountainous (Giresun), flat (Ankara), and mixed (İzmir-Çanakkale) topographic

characteristics using the ICGEM platform and the EGM2008 global gravity model. On these data sets, first- to fourth-order Gauss-Markov models were applied and spatial autocorrelation functions were analyzed. The results indicate that topography is a dominant factor in determining stochastic model parameters. For the flat Ankara region, the variance was estimated to be approximately 13–14 mGal with correlation lengths in the range of 31–37 km, whereas for the mountainous Giresun region, the variance increased to 33–36 mGal and the correlation length decreased to 18–21 km. These stochastic model parameters were incorporated into the design of the EKF system noise covariance matrix. In conclusion, it has been observed that the stochastic model parameters used in mobile gravimetry applications may vary depending on both regional topographic characteristics and the selected Gauss-Markov (GM) model order, and that considering this variability in the modeling process may be beneficial.

Keywords: Mobile Gravimetry, SIMU/GNSS, Gauss-Markov Process, Extended Kalman Filter (EKF), Topographic Correlation.

1. GİRİŞ

Yerçekimi alanı; yerkabuğunun yoğunluk dağılımı, kütle hareketleri, yüzey ve yer içi dinamikleri hakkında bilgi sunarak Dünya'nın fiziksel yapısının belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Yerçekimi alanının ölçülmesi ve modellenmesi jeodezi biliminin en temel çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Yer'in çekim kuvveti ile merkezkaç kuvvetinin bileşiminden oluşan gravite alanı hem zamana hem de mekâna bağlı olarak değişim gösteren vektörel bir büyüklüktür. Gravite alanına ilişkin bilgiler; düşey referans sistemlerinin tanımlanması, yüksek doğruluklu konumlama ve navigasyon, maden aramaları ve iklim süreçlerinin izlenmesi gibi geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır (Torge ve Müller, 2012).

Dünya'nın yerçekimi alanı farklı gözlem teknikleriyle belirlenebilir; bunlardan biri olan

gravimetri, ölçüm konumuna bağlı olarak yüzey (yersel), kuyu, deniz, deniz altı, hava ve uydu gravimetrisi olarak sınıflandırılmaktadır. Söz konusu sınıflandırma içerisinde yer alan havadan ve yersel mobil gravimetri uygulamalarında; konum, hız, ivme ve yönelim bilgisinin yüksek hassasiyetle belirlenerek gravite sinyalinin elde edilmesi amacıyla, GNSS ve SIMU entegrasyonuna dayalı sistemler kullanılmaktadır (Forsberg ve Olesen, 2010; Jekeli, 2001).

Gravimetre veya ivmeölçer bir hareketli platform üzerine yerleştirildiğinde, yerçekimi bileşeninin kinematik ivmelerden ayrıştırılabilmesi için platform hareketlerinin ayrıca izlenmesi gerekmektedir (Groves, 2013). Bu yöntemlerden biri olan ve bu çalışmada benimsenen dolaylı (indirect) yaklaşımda, üç eksenli ivmeölçerler ve jiroskoplardan oluşan analitik SIMU doğrudan hareketli platforma entegre edilmekte ve sensör yönelimi sayısal olarak hesaplanmaktadır.

Bu dolaylı yaklaşımın temelini oluşturan SIMU sistemleri, başlangıçta seyrüsefer amaçlı geliştirilmiş olmakla birlikte, 1980'li yıllardan itibaren GNSS teknolojisindeki gelişmelerle birlikte gravimetrik uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde özellikle hava gravimetrisinde skaler ve vektörel analitik gravimetri çalışmaları ivme kazanmış; uygun SIMU kullanımıyla uçuş yüksekliğinde mGal altı duyarlılık ve 1–2 mGal doğruluk düzeylerine ulaşılabildiği gösterilmiştir. (Schwarz, Colombo, Hein ve Knickmeyer, 1992; Glennie ve diğerleri, 2000; Kwon ve Jekeli, 2001; Gerlach, Dorobantu, Ackermann, Kjörsvik ve Boedecker, 2010; Becker, 2016; Jensen, 2018; Yıldız, Simav, Akpınar ve Akdoğan, 2021).

Literatürdeki yer alan yersel mobil gravimetri çalışmaları incelendiğinde ise, farklı topoğrafik ve çevresel koşullarda araç tabanlı SIMU/GNSS sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen yersel mobil gravimetri çalışmalarında, gravite verilerinin genel olarak 1–3 mGal doğruluk düzeyinde elde edilebildiği görülmektedir (Gerlach, Ackermann, Dorobantu ve Boedecker, 2006; Li, 2007; Yu, Wang ve Wang, 2015; Schack, 2021).

Türkiye’de yersel mobil gravimetri kapsamında, Ankara Cebeci-Elmadağ güzergâhı boyunca, sıcaklık stabilizasyonuna sahip bir SIMU (iCORUS-2) ile GNSS entegrasyonuna dayalı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Gravite bozukluğu, üçüncü dereceden GM süreci olarak modellenmiş ve SIMU/GNSS entegrasyonu için EKF uygulanmıştır. Özellikle yaklaşık 2 km aralıklarla

yapılan gravite güncellemeleriyle karesel ortalama hata (RMSE) değeri 0.95 mGal seviyesine düşürülerek mGal altı doğruluk elde edilmiştir (Akdoğan, Durmaz ve Yıldız, 2025).

SIMU/GNSS entegrasyonu ile elde edilen gravite bozukluğu değerlerinin modellenmesinde GM süreçleri yaygın bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır. Konum uzayında, mobil gravimetri aracının rotası boyunca gravite bozukluğunu en iyi modelleyen stokastik sürecin ne olması gerektiği konusunda da çeşitli araştırmalar mevcuttur. Jekeli (1994), gerçek gravite sinyalinin temsil edebilecek en uygun modelin 3 veya 4’üncü derece GM model olduğunu ileri sürmektedir. Ayres-Sampaio, Deurloo, Bos, Magalhães ve Bastos (2015) ve Deurloo, Yan, Bos ve Bastos (2015) ise 1’nci derece GM modelinin hatta çok daha basit rastgele yürüyüş sürecinin benzer sonuçlar üretebileceğini göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında, Türkiye’de farklı topoğrafik özellikleri temsil eden üç ayrı bölgede belirlenen test güzergâhları için gravite bozukluğu değerleri, Uluslararası Küresel Yer Modelleri Merkezi (International Centre for Global Earth Models, ICGEM) platformu üzerinden sağlanan global jeopotansiyel modeli (Earth Gravitational Model 2008- EGM2008) kullanılarak hesaplanmıştır (Pavlis, Holmes, Kenyon ve Factor, 2012; İnce ve diğerleri, 2019). Elde edilen veriler doğrultusunda, farklı topoğrafik koşulların GM korelasyon parametrelerine etkisi ayrıntılı ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın odak noktası, mobil gravimetri arazi ölçümleri gerçekleştirilmeden önce, bölgesel gravite alanının karakteristiğine uygun öncül stokastik parametrelerin belirlenmesidir. Küresel jeopotansiyel modellerden elde edilen gravite bozukluğu verileri üzerinden hesaplanan mekânsal korelasyon parametreleri, EKF tasarımı için öncül değer olarak kullanılabilir. Bu yaklaşımla Q matrisi, arazinin fiziksel yapısına göre önceden yapılandırılarak, pratik uygulamalarda genellikle deneme-yanılma yöntemlerine dayanan EKF’nin ince ayar aşamasının anlamlı ölçüde kısaltılmasına ve filtrenin yakınsama performansının iyileştirilmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

a. SIMU/GNSS Entegrasyonu ve Matematiksel Model

Bu çalışmada, mobil gravimetri uygulamalarında gravite bozukluğunun kestirimi, SIMU ve GNSS ölçülerinin EKF çatısı altında entegrasyonuna dayanmaktadır. Bu kapsamda gravite bozukluğu Kalman filtresine ilave durum değişkenleri eklenerek bir GM stokastik süreci olarak ele alınabilir.

Sistemin dinamik davranışı, lokal koordinat sisteminde (navigation- frame) yazılan navigasyon eşitlikleri ile ifade edilmektedir (Groves, 2013):

$$\dot{p}^n = T_r^p v^n \quad (1)$$

$$\dot{v}^n = C_b^n f^b - (2\Omega_{ie}^n + \Omega_{en}^n) v^n + \gamma^n + \delta g^n \quad (2)$$

$$\dot{C}_b^n = C_b^n \Omega_{ib}^b - (\Omega_{ie}^n + \Omega_{en}^n) C_b^n \quad (3)$$

Burada $p^n \in R^3$ konumu, $T_r^p \in R^{3 \times 3}$ coğrafi koordinatlardan kartezyen koordinatlara dönüşüm matrisini, $v^n \in R^3$ hız vektörünü, $C_b^n \in R^{3 \times 3}$ gövde ekseninden lokal eksene dönüşüm matrisini (yönelim) ifade eder. $f^b \in R^3$ ve $\Omega_{ib}^b \in R^3$ ise sırasıyla ivmeölçer ve jiroskop sensörlerinden gelen ham ölçülerdir. Ancak bu sensörler, üretim yapılarından kaynaklı sistematik ve stokastik hatalar (bias, ölçek faktörü, gürültü vb.) içerir. Bu nedenle söz konusu hatalar, gravite bozukluğu ile birlikte EKF durum vektörüne dahil edilerek kestirilmektedir (Groves, 2013; Kalman, 1960).

Bu çerçevede sistemin hata durum vektörü (δx); üç boyutlu konum (δp^n), hız (δv^n) ve yönelim hataları ($\delta \psi^n$) ile ivmeölçer (δb_a) ve jiroskop (δb_g) biaslarının yanı sıra, 3. derece GM süreci ile modellenen gravite bozukluğu parametrelerinden oluşmaktadır (Eşitlik 4).

$$\delta x = [\delta p^n, \delta v^n, \delta \psi^n, \delta b_a, \delta b_g, \delta g, \delta \dot{g}, \delta \ddot{g}]^T \quad (4)$$

Bu durum vektörünün zamana bağlı değişimi, lineerleştirilmiş sistem dinamik modeli ile ifade edilmektedir (Eşitlik 5).

$$\delta \dot{x}(t) = F(t) \delta x(t) + G(t) w_s(t) \quad (5)$$

Çalışmada kullanılan ve Eşitlik (6)'da açık hali verilen F matrisi, üç temel bloğun birleşiminden

oluşmaktadır. Ataletsel navigasyon hataları, matrisin sol üst bloğunda yer alan F_{pp} , F_{pv} , $F_{v\psi}$ gibi terimler, konum, hız ve yönelim hatalarının birbirleriyle olan kinematik ilişkisini temsil eder. Sensör hata modelleri, ivmeölçer (F_{vb_a}) ve jiroskop ($F_{\psi b_\omega}$) atım hatalarının navigasyon çözümüne etkisi, matris içerisindeki dönüşüm matrisleri (C_b^n) vasıtasıyla hız ve yönelim türevlerine yansıtılır. Sensör hatalarının kendileri genellikle "Rastgele Yürüyüş" ile modellendiğinden, ilgili satırlarda türevler sıfır katsayılarını içerir (Becker ve diğerleri, 2015). Gravite bozukluğu modeli, Eşitlik (6)'nın sağ alt köşesindeki blok, gravite bozukluğunun stokastik modelini ifade eder. Çalışmada gravite bozukluğu 3. Derece GM süreci olarak modellendiğinde, sistem matrisine gravite bozukluğunun türevleri arasındaki geçişler eklenir. Eşitlikte görülen $-\beta^3$, $-3\beta^2$ ve -3β terimleri, 3. derece diferansiyel denklemin karakteristik katsayılarıdır ve sürecin korelasyon yapısını belirler.

$$F(t) = \begin{bmatrix} F_{pp} & F_{pv} & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \\ F_{vp} & F_{vv} & F_{v\psi} & F_{vb_a} & 0_3 & I_3 & 0_3 & 0_3 \\ F_{\psi p} & F_{\psi v} & F_{\psi \psi} & 0_3 & F_{\psi b_\omega} & 0_3 & 0_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & I_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & I_3 \\ 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & -\beta_{3,g}^3 & -3\beta_{3,g}^2 & -3\beta_{3,g} \end{bmatrix} \quad (6)$$

EKF'nin ölçü güncelleme adımıyla ise GNSS'den elde edilen konum ve hız ölçüleri kullanılarak hata durum vektörü güncellenmekte, böylece hem sensör hataları kalibre edilmekte hem de kinematik etkilerden arındırılmış gravite bozukluğu bileşeni kestirilmektedir.

b. Gravite Bozukluğu Stokastik Modellemesi: GM Süreçleri

Gravite bozukluğu alanı, jeolojik ve topoğrafik çeşitlilikler nedeniyle uzaysal süreklilik gösteren, düşük frekanslı bileşenlerle yüksek frekanslı değişimleri bir arada barındıran bir sinyaldir. Bu nedenle alanın istatistiksel doğası, tamamen beyaz gürültü varsayımıyla modellenemez.

Literatürde yaygın olarak kabul edildiği üzere, gravite bozukluğu zayıf durağan ve eksponansiyel türde sönümlenen otokorelasyon yapısına sahiptir (Jekeli, 1994).

Süreç gürültüsü varyansı σ^2 , GM sürecinin rastgelelik düzeyini ve enerji içeriğini tanımlayan parametredir. Bu büyüklük, sistemdeki stokastik

uyarımın genliğini temsil eder ve sürecin ne kadar “dalgalı” veya değişken olduğunu belirler.

Korelasyon katsayısı β , GM sürecinde ardışık gözlemler arasındaki bağımlılığın ne kadar hızlı zayıfladığını belirleyen temel parametredir. β Değerinin büyümesi, sürecin kısa mesafe veya kısa zaman aralıklarında bile korelasyonunu hızla kaybettiğini; küçük β değerleri ise sürecin uzun mesafeler veya zaman dilimleri boyunca yüksek korelasyon sergilediğini ifade eder.

Bu bağlamda sürecin karakteristik korelasyon uzunluğu (veya zamanı) aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$T_c = \frac{1}{\beta} \quad (7)$$

Burada T_c , sürecin anlamlı korelasyon taşıdığı ortalama mesafe veya zaman aralığını temsil eder. Jeofizik uygulamalarında bu büyüklük, gravite bozukluğunun mekânsal sürekliliğini ifade etmek açısından büyük önem taşır.

Birinci derece GM süreci için Kalman Filtresi süreç gürültüsü kovaryansı şu şekilde ifade edilir:

$$Q = 2\sigma^2\beta \quad (8)$$

Bu ifade, sürecin varyans yapısının yalnızca σ^2 'ye değil, aynı zamanda korelasyon katsayısı β 'ya da bağlı olduğunu göstermektedir.

Jeodezik ve gravimetrik uygulamalarda σ^2 parametresi, ölçülen büyüklüğün rastgele hata bileşeninin büyüklüğünü temsil ederken; β ile birlikte değerlendirildiğinde bu hatanın mekânsal veya zamansal davranışı bütüncül olarak modellenmiş olur.

Gravite bozukluğunun stokastik modellenmesinde, alanın korelasyon davranışını temsil edebilecek bir GM model derecesinin seçilmesi gerekmektedir.

GM sürecinin derecesi, ACF şekli üzerinden gravite alanının mekânsal değişim karakterini tanımlar. Birinci derece GM modeli, üstel olarak azalan basit bir otokorelasyon yapısına sahiptir ve gravite bozukluğunun hızlı değişim gösterdiği durumlar için yeterli bir yaklaşımdır. Daha yüksek dereceli GM modelleri ise daha düzgün ve uzun

menzilli bir korelasyon yapısı sunarak gravite alanının sürekliliğini daha iyi temsil eder.

Gravite bozukluğundan mekânsal uzayda elde edilen korelasyon katsayısının zaman uzayında tanımlı EKF'ye entegrasyonu için Eşitlik 9'da yer alan dönüşüm kullanılmaktadır (Akdoğan ve diğerleri, 2025).

$$\beta[\text{zaman}] = v_h \beta[\text{mesafe}] \quad (9)$$

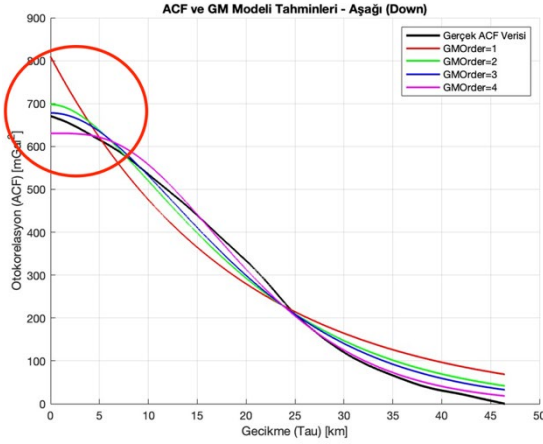
Burada v_h hareketli platformun o anki yatay hızını, $\beta[\text{zaman}]$ zaman uzayında korelasyon katsayısını ve $\beta[\text{mesafe}]$ mekânsal uzayda korelasyon katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 1. Gauss-Markov model derecelerine göre Otokorelasyon Fonksiyonları

Gauss Markov Derecesi	Otokorelasyon Fonksiyonu ($R(\tau)$)
1	$\sigma^2 e^{-\beta_1 \tau }$
2	$\sigma^2 e^{-\beta_2 \tau } (1 + \beta_2 \tau)$
3	$\sigma^2 e^{-\beta_3 \tau } \left(1 + \beta_3 \tau + \frac{1}{3} \beta_3^2 \tau ^2 \right)$
n	$\sigma^2 e^{-\beta_n \tau } \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\tau(n) (2\beta_n \tau)^{(n-k-1)}}{(2n-2)! k! \tau(n-k)}$

Tablo 1'de farklı GM model derecelerine ait teorik ACF verilmiş olup, buradaki τ gravite bozukluğu ölçümlerinin otokorelasyon fonksiyonu sonucunda elde edilen ve verilerin birbirinden mekânsal olarak uzaklaştıkça gösterdiği benzerlik ilişkisini mesafe cinsinden tanımlayan fiziksel parametredir. Şekil 1'de ise model derecesinin artmasıyla otokorelasyon davranışındaki değişim grafiksel olarak gösterilmiştir. Buna göre model derecesi arttıkça korelasyon fonksiyonunun daha yumuşak bir yapı kazandığı görülmektedir. Matematiksel bağlamda buradaki 'yumuşak yapı', otokorelasyon fonksiyonunun orijinde ($\tau = 0$) türevlenebilirliği ile ilgilidir. Şekil 1'de kırmızı daire içerisinde gösterildiği üzere birinci derece GM modelinin fonksiyonu orijinde keskin bir dönüş (tanımsız türeve) sahipken, yüksek dereceli modellerin (2., 3. ve 4. derece) eğrileri orijinde sıfır eğime sahiptir ve türevlenebilir düzgün bir geçiş

sunar. Yüksek dereceli bu modeller, sinyalin daha yüksek türevlerini de içerdiğinden yüksek frekanslı gürültüleri filtreleyerek düşük frekanslı, uzun dalga boylu bileşenleri öne çıkarır.



Şekil 1. GM model derecelerinin grafiksel gösterimi.

Bu bağlamda, gravite bozukluğu stokastik modellemesinde GM model derecesi, gravite alanının mekânsal sürekliliğini en iyi temsil edecek şekilde belirlenmelidir. Nitekim, çalışmanın 3.bölümünde detaylandırıldığı üzere; düz topoğrafyaya sahip Ankara bölgesinde yüksek mekânsal süreklilik (düşük varyans ve uzun korelasyon mesafesi) gözlenirken, dağlık Giresun bölgesinde hızlı mekânsal değişimler (yüksek varyans ve kısa korelasyon mesafesi) tespit edilmiş olması (Bkz. Tablo 2,3,4 ve 5), bölgesel topoğrafyaya uygun GM model derecesinin seçilmesi gerekliliğini doğrulamaktadır.

c. GM Parametrelerinin EKF Sistem Gürültü Matrisine Entegrasyonu

GM korelasyon parametreleri (σ ve β), doğrudan EKF'nin temel bileşeni olan Sistem Gürültü Kovaryans Matrisi (Q) matrisinin tasarımında kullanılır. Q Matrisi, sistemdeki modelleme belirsizliklerinin varyansını temsil eder ve EKF'nin tahmin adımında Hata Kovaryans Matrisinin P (Eşitlik 10) güncellenmesinde rol oynar.

$$P_k = F_{k-1} P_{k-1|k-1} F_{k-1}^T + Q_{k-1} \quad (10)$$

Bu çalışmada EKF'ye ait matematiksel modeller ve hata durum denklemleri temel çerçevesiyle sunulmuştur. Bu teorik altyapı; bölgesel olarak hesaplanan Gauss-Markov

stokastik parametrelerinin, Q matrisine nasıl entegre edileceğini somutlaştırmak amacıyla verilmiştir. Sunulan denklemler sayesinde, elde edilen bu öncül değerlerin filtre mimarisinde fiziksel bir altlık oluşturması ve pratik uygulamalardaki ince ayar (tuning) sürecine yapacağı kavramsal katkı açıkça ortaya konulmuştur.

ç. Veri Seti

Bu çalışmada, GM korelasyon parametrelerinin farklı topoğrafik ve gravite alanı koşullarındaki davranışını değerlendirmek amacıyla ICGEM platformu üzerinden EGM2008 modeli kullanılarak belirlenen test güzergahlarında gravite bozuklukları elde edilmiştir.

Her bir veri seti, OpenStreetMap tabanlı güzergâh tanımlamaları üzerinden belirlenen koordinat noktaları için gravite bozukluğu (δg) değerlerinin hesaplanması yoluyla elde edilmiştir. Noktalar arasındaki mesafe, seçilen bölgenin topoğrafik karmaşıklık seviyesine uyumlu olacak şekilde belirlenmiştir.

(1) Giresun Test Seti

Bu veri seti, havadan mobil gravimetri sistemleri için örnek bir test ortamı oluşturmak amacıyla, Karadeniz Bölgesi'nin topoğrafik açıdan değişken bölgelerinden biri olan Giresun ili bölgesinde oluşturulmuştur. Aynı boylam üzerinde kuzeyden güneye doğru uzanan 500 nokta seçilmiş ve noktalar arası mesafe yaklaşık 200 m olarak tanımlanmıştır. Her noktanın coğrafi koordinatı OpenStreetMap kaynaklı olarak belirlenmiştir. Giresun bölgesinde seçilen 500 nokta Şekil 2' de gösterilmektedir.

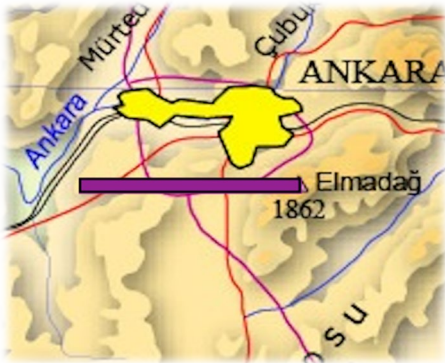


Şekil 2. Giresun veri setindeki toplanan noktaların harita üzerinde gösterimi

Bölgedeki topoğrafik gradyanların yüksek olması, gravite alanında yüksek frekanslı değişimlere neden olmaktadır. Bu durum GM modellemesinde yüksek varyans (σ) ve yüksek sönüm katsayısı (β) değerleri ile temsil edilir. Dolayısıyla Giresun veri seti, kısa korelasyon uzunluklarının baskın olduğu, hızlı değişen gravite anomalilerini karakterize etmek için uygun bir test ortamı sağlamaktadır.

(2) Ankara Test Seti

İç Anadolu'nun homojen topoğrafyasını temsil eden Ankara veri seti, yaklaşık 39,9°N enlemi boyunca doğu-batı doğrultusunda seçilen 500 noktadan oluşturulmuştur. Bu bölge, Karadeniz kıyılarına kıyasla düşük topoğrafik varyasyon göstermektedir. Düz bir uçuş rotasını simüle edecek şekilde kurgulanan bu veri setinde, gravite bozukluğu değerleri, Giresun'a göre daha düşük genlikli ve daha düzenli bir dağılım sergiler. Ankara bölgesinde seçilen 500 nokta Şekil 3' de gösterilmektedir.



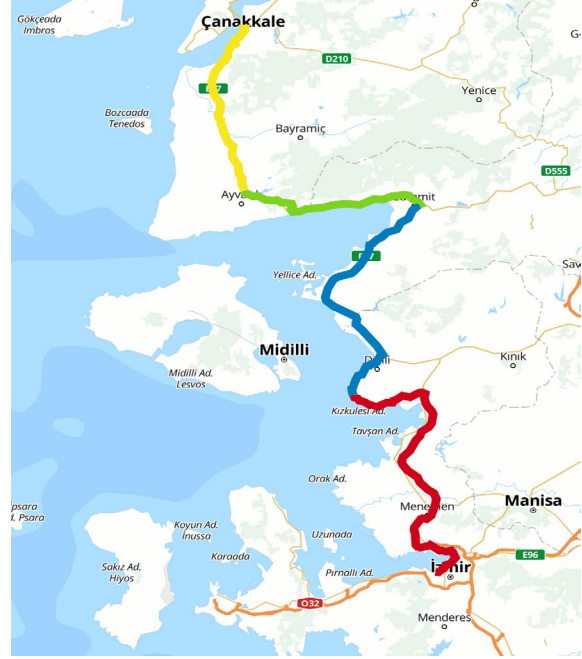
Şekil 3. Ankara veri setindeki toplanan noktaların harita üzerinde gösterimi

Buna bağlı olarak, Ankara veri seti genellikle daha düşük varyans (σ) ve daha küçük sönüm katsayısı (β) değerleri ile modellenmektedir. Bu özellikleri nedeniyle Ankara seti, uzun korelasyon uzunluklarının hakim olduğu nispeten sakin gravite alanlarını temsil eden bir test bölgesidir.

(3) İzmir-Çanakkale Test Seti

Yersel mobil gravimetri uygulamalarındaki kara araçlarının izlediği rotaya örnek teşkil etmesi amacıyla İzmir ile Çanakkale arasındaki güzergâh boyunca OpenStreetMap tabanlı bir rota planlayıcısı ile bu test seti oluşturulmuştur. Rota dört segment halinde modellenmiştir ve her

segment yaklaşık 90 km uzunluğundadır. Güzergâh kıyı bölgeleri, ova alanları ve dağlık kütleler gibi farklı topoğrafik sınıfları içerdiğinden, gravite bozukluğu dağılımında geniş bir spektral çeşitlilik sunmaktadır. İzmir-Çanakkale güzergahında seçilen 4 etaplı güzergâh Şekil 4' de gösterilmektedir.



Şekil 4. İzmir – Çanakkale istikametinde 1.etap (Kırmızı), 2.etap (Mavi), 3.etap (Yeşil) ve 4.etap(sarı) veri setinin harita üzerinde gösterimi.

Bu yapı, bölgeler arasındaki korelasyon parametresi değişimlerinin sistematik olarak analiz edilmesine olanak tanımaktadır.

3. UYGULAMA VE BULGULAR

Giresun, Ankara ve İzmir-Çanakkale bölgelerinden elde edilen gravite bozukluğu veri setlerine yönelik gerçekleştirilen GM model analizi üç temel aşamadan oluşmaktadır. Çalışma kapsamında öncelikle verilerin mekânsal ACF hesaplanmış; ardından 1'nci dereceden 4'üncü dereceye kadar olan GM modelleri bu fonksiyon üzerine uygulanmıştır. Analiz süreci, ilgili bölgelerin topoğrafik yapısıyla en uyumlu GM korelasyon parametrelerinin belirlenmesiyle tamamlanmaktadır.

Model derecesi arttıkça sinyalin daha yüksek türevleri modele dahil edildiğinden ACF eğrisine uyum artmakta ve sonuç olarak σ değerinde kademeli bir azalma gözlenmektedir (Jordan,

1972). Bu durum, yüksek dereceli modellerin sinyali daha fazla yumuşatarak düşük frekanslı bileşenleri baskın hâle getirmesinden kaynaklanmaktadır (Jekeli, 2001).

Tablo 2, 3, 4 ve 5, Ankara, Giresun ve İzmir-Çanakkale bölgelerinde her bir GM model derecesi için elde edilen karşılaştırmalı korelasyon parametrelerini göstermektedir.

Tablo 2. 1'inci Derece Gauss-Markov Modeli İçin Bölgelere Göre Parametre Karşılaştırması

Bölge (Topoğrafya)	σ (mGal)	$1/\beta$ (km)	Korelasyon Uzunluğu (km)
Ankara	14.5842	31.5075	31.5075
Giresun	36.6609	18.2262	18.2262
İzmir – Çanakkale 1. Etap	9.4720	45.3349	45.3349
İzmir – Çanakkale 2. Etap	6.4010	56.1188	56.1188
İzmir – Çanakkale 3. Etap	31.5840	22.6091	22.6091
İzmir – Çanakkale 4. Etap	5.1340	33.2106	32.2106

Tablo 3. 2'nci Derece Gauss-Markov Modeli İçin Bölgelere Göre Parametre Karşılaştırması

Bölge (Topoğrafya)	σ (mGal)	$1/\beta$ (km)	Korelasyon Uzunluğu (km)
Ankara	13.5498	16.8585	36.1784
Giresun	33.9358	9.8750	21.1918
İzmir – Çanakkale 1. Etap	8.8137	24.0834	51.6829
İzmir – Çanakkale 2. Etap	5.9665	29.7227	63.7850
İzmir – Çanakkale 3. Etap	29.0425	12.5673	26.9695
İzmir – Çanakkale 4. Etap	4.7893	17.4529	37.4540

Tablo 4. 3'üncü Derece Gauss-Markov Modeli İçin Bölgelere Göre Parametre Karşılaştırması

Bölge (Topoğrafya)	σ (mGal)	$1/\beta$ (km)	Korelasyon Uzunluğu (km)
Ankara	13.3538	12.7481	37.0078
Giresun	33.4117	7.4917	21.7485
İzmir – Çanakkale 1. Etap	8.6915	18.1699	52.7472
İzmir – Çanakkale 2. Etap	5.8878	22.3881	64.9927
İzmir – Çanakkale 3. Etap	28.5469	9.5688	27.7783
İzmir – Çanakkale 4. Etap	4.7265	13.1265	38.1062

Tablo 5. 4'üncü Derece Gauss-Markov Modeli İçin Bölgelere Göre Parametre Karşılaştırması

Bölge (Topoğrafya)	σ (mGal)	$1/\beta$ (km)	Korelasyon Uzunluğu (km)
Ankara	12.8596	8.8811	31.1905
Giresun	32.1202	5.2444	18.4183
İzmir – Çanakkale 1. Etap	8.3779	12.6250	44.3392
İzmir – Çanakkale 2. Etap	5.6842	15.4979	54.4287
İzmir – Çanakkale 3. Etap	27.4387	6.6462	23.3415
İzmir – Çanakkale 4. Etap	4.5631	9.0689	31.8503

Model çıktıları, korelasyon parametrelerinin bölgesel topoğrafyanın yapısı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Düz ve homojen topoğrafyaya sahip Ankara bölgesinde gravite bozukluğu düşük varyans (≈ 13 mGal) ve yüksek korelasyon uzunluğu (≈ 31 – 37 km) ile karakterizedir. Bu durum, alanın düşük frekanslı bileşenlerin baskın olduğu, mekânsal olarak yumuşak ve süreklilik gösteren bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Dağlık topoğrafyaya sahip Giresun bölgesinde gravite bozukluğu yüksek varyans (≈ 33 mGal) ve kısa korelasyon uzunluğu (≈ 18 – 21 km) ile

karakterizedir. Bu durum, gravite sinyalinde yüksek frekanslı bileşenlerin ve kısa mesafeli değişimlerin baskın olduğunu, dolayısıyla alanın hızlı ve düzensiz mekânsal değişimler sergilediğini göstermektedir.

Orta karmaşıklıkta topoğrafyaya sahip İzmir-Çanakkale Bölgesi için σ ve β değerlerinin bölgesel olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, gravite bozukluğunun mekânsal yapısının homojen olmadığını ve farklı alt bölgelerde farklı frekans içerikleri ile korelasyon özelliklerinin ortaya çıktığını göstermektedir.

GM model analizinden elde edilen sonuçlar; yalnızca yüzey topoğrafyasının değil, aynı zamanda yerkabuğu yoğunluk dağılımı, jeolojik yapı ve izostatik etkilerin bütünleşik bir sonucu olan bölgesel gravite alanı özellikleri ile gravite bozukluğunun istatistiksel karakteri arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, mobil gravimetride kullanılacak stokastik modellerin parametre kestirimlerinde bölgesel gravite alanının karakteristik özelliklerine göre seçim yapılmasının önemini açıkça ortaya koymaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, ICGEM platformu üzerinden EGM2008 modeli kullanılarak elde edilen gravite bozukluğu sinyalinin mekânsal korelasyon yapısının, bölgesel topoğrafya ve jeolojik yapıya bağlı olduğu sayısal parametrelerle göstermiştir. Gravite bozukluğu; düşük topoğrafik gradyana ve nispeten homojen jeolojik yapıya sahip bölgelerde daha uzun korelasyon mesafeleri ve düşük varyans sergilerken, karmaşık yoğunluk dağılımlarının ve yüksek eğimli yapıların bulunduğu bölgeler kısa korelasyon mesafeleri ve yüksek varyans ile karakterize edilmiştir. EKF'nin performansı, ACF eğrisine en yakın uyumu sağlayan GM korelasyon parametrelerinin seçilmesiyle doğrudan ilişkilidir.

Çalışma kapsamında veri kaynağı olarak kullanılan EGM2008 modeli, belirli bir uzaysal çözünürlüğe sahip sonlu bir küresel harmonik model olması nedeniyle, kısa dalga boyulu (yüksek frekanslı) gravite anomalilerini yapısı gereği filtrelemektedir. Bu bağlamda, analizler sonucunda elde edilen korelasyon uzunlukları ve varyans değerlerinin, mutlak gerçek gravite alanının değil, EGM2008'in mekânsal çözünürlüğü sınırlarında temsil edilebilen bölgesel gravite alanının stokastik karakteristiğini yansıttığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte,

dinamik saha ölçümleri öncesinde Q matrisinin yapılandırılması ve başlangıç değerlerinin atanması süreçlerine altlık oluşturmaktadır.

Elde edilen GM parametreleri, EKF'nin ince ayar (tuning) aşamasına doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, çalışma bölgesinin topoğrafik özelliklerine ve GM model derecesine bağlı olarak değişen σ ve β parametreleri dikkate alınarak, en uygun GM model derecesinin (1., 2. veya 3. derece) belirlenmesi ve EKF tasarımıyla kullanılması önerilmektedir.

Sistem performansının ve korelasyon yapısının topoğrafik gradyana bağlı değişimi, en az 3 farklı topoğrafik gradyan (düzlük, dağlık, kıyı) içeren bölgelerde test edilmesi önerilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen korelasyon parametreleri ve hata modelleri, Harita Genel Müdürlüğüne gerçekleştirilecek yersel ve hava mobil gravimetri çalışmalarına yöntemsel temel sunmaktadır.

ORCID

Mehmet Emir YAYLA 

<https://orcid.org/0009-0001-4127-4679>

Yunus Aytaç AKDOĞAN 

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

Murat DURMAZ 

<https://orcid.org/0000-0002-6565-6639>

KAYNAKLAR

- Akdoğan, Y. A., Durmaz, M., Yıldız, H. (2025). Terrestrial mobile gravimetry using a temperature stabilized IMU. *Measurement Science and Technology*, 36(3), 035113. doi: [10.1088/1361-6501/adb775](https://doi.org/10.1088/1361-6501/adb775)
- Ayres-Sampaio, D., Deurloo, R., Bos, M., Magalhães, A. ve Bastos, L. (2015). A comparison between three IMUs for strapdown airborne gravimetry. *Surveys in Geophysics*, 36(4), 571–586.
- Bastos, L., Pascoa, J. ve Silva, J. (2001). The Portuguese precise geoid—a leap forward. *Journal of Geodesy*, 75(5-6), 278–286.

- Becker, D. (2016). *Advanced calibration and data evaluation methods for airborne gravimetry* (Doktora Tezi). Münih Teknik Üniversitesi, Almanya.
- Becker, D., Nielsen, J. E., Ayres-Sampaio, D., Forsberg, R., Becker, M. ve Bastos, L. (2015). Drift reduction in strapdown airborne gravimetry using a simple thermal correction. *Journal of Geodesy*, 89, 1133-1144. doi:10.1007/s00190-015-0839-8
- Deurloo, R., Yan, W., Bos, M. ve Bastos, L. (2015). Validation of GOCE gravity field models using Portuguese gravity data. *International Association of Geodesy Symposia*, 143, 323–329.
- Forsberg, R. ve Olesen, A. V. (2010). *Airborne gravimetry - Theory and applications (Lecture Notes in Geodesy)*. Kopenhag: DTU Space.
- Gerlach, C., Dorobantu, R., Ackermann, C., Kjörsvik, N. S. ve Boedecker, G. (2010). Preliminary results of a GPS/INS airborne gravimetry experiment over the German Alps. *Gravity, Geoid and Earth Observation* içinde (s. 235-241). Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642-10634-7_31
- Gerlach, C., Ackermann, C., Dorobantu, R. ve Boedecker, G. (2005). A testbed for airborne inertial geodesy: Terrestrial gravimetry experiment by INS/GPS.
- Glennie, C. L., Schwarz, K. P., Bruton, A. M., Forsberg, R., Olesen, A. V. ve Keller, K. (2000). A comparison of stable platform and strapdown airborne gravity systems. *Journal of Geodesy*, 74(7-8), 591-602.
- Groves, P. D. (2013). *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems* (2. baskı). Boston: Artech House.
- İnce, E. S., Barthelmes, F., Reiland, S., ElgerForste, C., Flechtner, F. ve Schuh, H. (2019). ICGEM—15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans. *Earth Syst.Sci.*
- Jekeli, C. (1994). Airborne vector gravimetry using precise, position-aided inertial measurement units. *Bulletin Géodésique*, 68(1), 17-36.
- Jekeli, C. (2001). *Inertial navigation systems with geodetic applications*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Jensen, T. E. (2018). *Airborne gravimetry: Improvements from new IMU technologies and processing strategies* (Doktora Tezi). DTU Space, Danimarka Teknik Üniversitesi, Danimarka.
- Jordan, S. K. (1972). Self-consistent statistical models for the gravity anomaly, vertical deflections, and undulation of the geoid. *Journal of Geophysical Research*, 77(20), 3660-3670.
- Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. ASME Transactions, Series D: *Journal of Basic Engineering*, 82, 35-45.
- Kwon, J. H. ve Jekeli, C. (2001). A new approach for airborne vector gravimetry using GPS/INS. *Journal of Geodesy*, 74, 690–700. doi: 10.1007/s001900000130
- Li, X. (2007). Practicalities of analyzing airborne gravity data. *The Leading Edge*, 26(8), 1010-1015.
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C. ve Factor, J. K. (2012). The development and evaluation of the earth gravitational model 2008 (EGM2008). *J. Geophys. Res.*, 117.
- Schack, P. (2021). *Investigation of systematic errors in airborne vector gravimetry* (Doktora Tezi). Danimarka Teknik Üniversitesi, Danimarka.
- Schwarz, K. P., Colombo, O., Hein, G. ve Knickmeyer, E. T. (1992). Airborne gravimetry for geoid determination. *Proceedings of the 6th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning* içinde (Cilt 110, ss. 273-283). Columbus: Ohio State University.
- Torge, W. ve Müller, J. (2012). *Geodesy* (4. baskı). Berlin: Walter de Gruyter.
- Yıldız, H., Simav, M., Akpınar, İ. ve Akdoğan, Y. A. (2021). Türkiye’de güncel yersel gravimetri çalışmaları. *Harita Dergisi*, 166, 10-24.
- Yu, H., Wang, J. ve Wang, L. (2015). The performance of the strapdown airborne gravimeter SAG-2. *International Association of Geodesy Symposia*, 143, 331-336.

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinin Gravite Alanı ve Jeoid Etkilerinin İncelenmesi

(An Analysis of the Effects of the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes on the Gravity Field and Geoid)

Yusuf ÜNGÖREN¹ , Yunus Aytaç AKDOĞAN² , Bahadır AKTUĞ³ 

¹Harita Genel Müdürlüğü, Harita Yüksek Teknik Okulu, Cebeci, ANKARA

²Harita Genel Müdürlüğü, Jeodezi Daire Başkanlığı, Cebeci, ANKARA

³Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı, ANKARA

yusuf.ungoren@harita.gov.tr, yunusaytac.akdogan@harita.gov.tr, aktug@ankara.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 22.05.2026

Kabul Tarihi (Accepted): 16.07.2026

ÖZ

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023 tarihinde Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde meydana gelen Pazarcık (Mw7.7) ve Elbistan (Mw7.6) depremleri nedeniyle oluşan kosismik yüzey deformasyonları, gravite değişimleri, yer potansiyeli değişimleri ve jeoit ondülasyon değişimleri, elastik yarı-uzay dislokasyon modeli ile sayısal olarak modellenmiştir. Çok segmentli sonlu kaynak parametreleri literatürden alınmıştır. Elde edilen kosismik düşey yer değiştirmeler -24.4 cm ile +24.0 cm arasında değişmektedir. Kosismik gravite değişimleri -38.4 ile +33.8 μGal , yer potansiyeli değişimleri ise -4.97×10^{-3} ile $+5.18 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^2$ arasında bulunmuştur. $\Delta N = \Delta W / \gamma$ bağıntısı ile elde edilen jeoit ondülasyon değişimi ise yalnızca $\pm 0.5 \text{ mm}$ düzeyinde kalmıştır. Bu bulgu, TUDKA-99 geometrik nivelman ağıının büyük tektonik olaylar karşısındaki yüksek kırılganlığına karşın, TG-20 gibi yüksek çözünürlüklü bölgesel jeoit modellerinin sismik pertürbasyonlara son derece dayanıklı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kahramanmaraş Depremleri, Kosismik Deformasyon, Elastik Yarı Uzak Dislokasyon Modeli, Gravite Değişimi, Jeoit Değişimi.

ABSTRACT

In this study, coseismic surface deformations, gravity changes, gravitational potential changes, and geoid undulation changes caused by the February 6, 2023 Pazarcık (Mw 7.7) and Elbistan (Mw 7.6) earthquakes on the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) were numerically modeled using the elastic half-space dislocation model. Employing multi-segment finite-source parameters from literature as input, coseismic vertical displacements were found to range between -24.4 cm to +24.0 cm, with clear subsidence lobes along the hanging wall and uplift lobes in the northern compressional zone. Coseismic gravity changes are between -38.4 and +33.8 μGal and gravitational potential changes are found to be between -4.97×10^{-3} and $+5.18 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^2$. The geoid undulation change derived from $\Delta N = \Delta W/\gamma$, remains within $\pm 0.5 \text{ mm}$. This finding demonstrates that, despite the high vulnerability of the TUDKA-99 geometric leveling network to large tectonic events.

Keywords: Kahramanmaraş Earthquakes, Coseismic Deformation, Elastic Half-Space Dislocation Model, Gravity Change, Geoid Change.

1. GİRİŞ

Türkiye ve yakın çevresi, tektonik yapısı gereği Avrasya, Afrika ve Arap levhalarının çarpışma, Afrika ve Avrasya levhalarının dalma-batma bölgesinde yer alması nedeniyle sismik açıdan aktif ve yüksek riskli bölgelerden biridir. Anadolu levhasını doğuda batıya doğru iten, batıda batıya doğru çeken bu levha hareketleri, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) gibi yıkıcı deprem potansiyeline sahip büyük doğrultu atımlı fay sistemlerini oluşturmuştur (Kalafat ve diğerleri, 2011). Sismik tehlikelerin değerlendirilmesi, plaka hareketlerinin ölçülmesini ve çoklu deprem döngüleri boyunca fay bölgeleri etrafındaki yüzey deformasyonunun uzaysal ve zamansal özelliklerinin hesaplanmasını gerektirmektedir (Seyitoğlu, Aktuğ, Esat ve Kaypak, 2022). Klasik yöntemlerle bu deformasyonların izlenmesi son derece güç ve yüksek maliyetlidir (Aktuğ, 2003).

Yer kabuğu deformasyonu ile ilgili çalışmalar yoğun olarak yapılırken, orta ve büyük depremlerden sonra meydana gelen deformasyonlar da ayrıca jeodezik yöntemler ile incelenmektedir. Örneğin, Batı Anadolu Solak ve diğerleri (2024), Kuzey Anadolu Doğru, Gorgun, Aktuğ ve Özener (2018), Tuz gölü ve çevresi Gezgin ve diğerleri (2022), İzmir ve çevresi Doğru, Gorgun, Aktuğ, Özener (2014) intersismik deformasyon açısından incelenmiştir. Depremlerden sonra yapılan çalışmalara ise 2014 Gökçeada Depremi Bulut, Özener, Doğru, Aktuğ ve Yalıtırak (2018), 2017 Gökova Depremi Tiryakioğlu ve diğerleri, (2018), 2020 Sisam Depremi Aktuğ ve diğerleri (2021) ve Sındırgı Depremi Tiryakioğlu ve diğerleri (2026) örnek verilebilir. Düşey yer hareketi ise özellikle deniz seviyesi ile ilişkili olarak ayrıca incelenmektedir (Yıldız, Andersen, Simav, Aktuğ ve Özdemir, 2013).

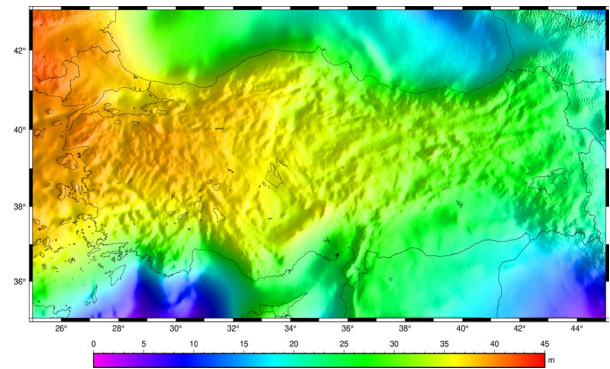
6 Şubat 2023 tarihinde, Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde meydana gelen Pazarcık merkezli Mw7.7 ve yaklaşık 9 saat sonra meydana gelen Elbistan merkezli Mw7.6 büyüklüğündeki deprem silsilesi, bölgenin tektonik yapısında şiddetli değişimlere yol açmıştır. Arap ve Anadolu levhaları arasındaki sınırın yaklaşık 600 km'sini oluşturan sol yanallı DAFZ'nin davranışı, bu büyük sismik olay dizisiyle birlikte bölgesel jeodezik ağlar üzerinde de doğrudan etkiler yaratmıştır (Özkan ve diğerleri, 2023).

Ülkemizde depremlerin jeodezik ağlar üzerinde meydana getirdiği deformasyonlara yönelik çalışmalar mevcuttur. Ancak literatürde yer kabuğu hareketleri çoğunlukla "salt sonuç" odaklı doğrusal interpolasyonlarla değerlendirilmektedir (Aktuğ, 2003). Oysa depremlerin yer kabuğunda yarattığı kütle dağılımı farklılıkları, sadece konumda değil fiziksel gravite alanında ve jeopotansiyel yüzeylerde de sapmalara yol açmaktadır. Bu çalışma 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Pazarcık ve Elbistan depremlerini inceleyerek, yer kabuğu hareketlerini meydana getiren fiziksel etkenleri temel alan Elastik Yarı Uzay Dislokasyon Modelleri ile kuramsal bir değerlendirme sunmuş ve yer potansiyelindeki, gravitedeki, yükseklikteki ve jeoiddeki değişim hesaplanmıştır.

Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı – 1999 (TUDKA-99), ülkemizin düşey koordinat referans sisteminin klasik nivelman yöntemleriyle oluşturulmuş temel yapısıdır. Sistemin temelleri 1935 yılında ana karayolları boyunca yapılan ölçümlerle atılmış ve 1970 yılına kadar ilk Düşey Kontrol Ağı tesis edilmiştir (Demir ve Cingöz, 1999). 1985-1992 yılları arasında TUDKA-92 oluşturulmuş, ancak 1993 yılında bu ağda üç adet çkide (nivelman hattında) uyumsuzluk saptanmıştır. Bunun üzerine bazı geçki ölçüleri tekrarlanmış, tüm noktaların koordinatları sayısallaştırılmış; gravite, uzaklık ve geometrik yükseklik farkı gibi veriler kontrol edilip ağ yeniden dengelenerek nihai hali olan TUDKA-99 oluşturulmuştur (Demir ve Cingöz, 1999). TUDKA-99'un düşey datumu, Antalya Mareograf İstasyonu'nun 1935 ile 1971 yılları arasında kaydettiği deniz seviyesi verilerinin ortalamasına dayanmaktadır.

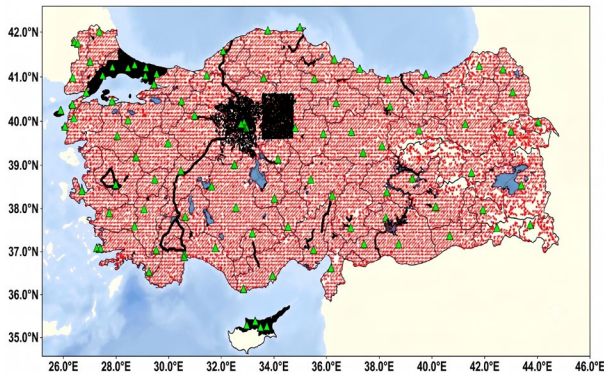
TUDKA-99; noktaların fiziksel (ortometrik) yüksekliklerinin bulunması için, noktalar arasındaki jeopotansiyel sayı farklarının hesaplanması ve arazide ölçülen geometrik nivelman ağlarının dengelenmesi ile statik bir yapı olarak belirlenmiştir. Bu ağa bağlı nokta yüksekliklerinin duyarlılıkları 0.3 cm ile 9 cm arasında değişmektedir (Demir ve Cingöz, 1999).

Ayrıca, ağdaki TUDKA-99 Helmert ortometrik yükseklikleri ile Normal ortometrik yükseklikler arasındaki farkların Türkiye ölçeğinde ortalaması +9.5 cm olup (standart sapması ± 8.4 cm), bu değerler bölgesel olarak -14 cm ile +36.9 cm arasında değişebilmektedir (Demir ve Cingöz, 1999). Ancak TUDKA-99 gibi klasik nivelman ağlarının idamesinde zamanla birçok zorluk ortaya çıkmıştır. Nivelman ağları çoğunlukla karayolları güzergahları boyunca tesis edildiğinden yıllar içerisinde artan şehirleşme, yoğun bölünmüş yol inşaatları ve yol genişletme çalışmaları nedeniyle bu noktaların %80'lere ulaşan ve giderek artan orandaki büyük bir kısmı tahrip olmuş ve kullanılamaz duruma gelmiştir. Fiziksel olarak tahrip olmayan noktalar bile yer kabuğundaki sismik hareketlilikler (depremler, tektonik hareketler) ve yer altı suyu çekilmesi gibi hidrolojik değişimler yüzünden düşey konumlarında değişime uğramışlardır. Klasik ağların idamesindeki bu zorluklar ve TUSAGA-Aktif gibi gerçek zamanlı konum belirleme (RTK) sistemleriyle entegrasyon ihtiyacı, yeni bir sisteme geçişi zorunlu kılmıştır. Bu doğrultuda 2015-2020 yılları arasında "Türkiye Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu ve Gravite Altyapısının İyileştirilmesi (YÜKSİSMOD)" projesi başlatılmıştır. YÜKSİSMOD projesi ile, mevcut yükseklik sisteminin GNSS gibi modern uzay tekniklerinin sunduğu fırsatlarla yenilenmesi amaçlanmış ve klasik nivelman ağının (TUDKA-99) yaşatılmasına resmi olarak son verilmiştir. Bu modernizasyonla birlikte klasik ağ yaklaşımı tamamen terk edilmiştir. Temel hedef; sivil ve askeri tüm kullanıcıların, hava koşullarından bağımsız olarak, gerçek zamanda ve sadece birkaç santimetre doğrulukla kendi fiziksel yüksekliklerini üretebilmelerini sağlamaktır (HGM, 1999). Bu projenin en önemli çıktısı ise, günümüzde kullandığımız resmi bölgesel jeoit modeli olan Türkiye Jeoit Modeli-2020 (TG-20) olmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. TG-20 Jeoit Modeli (Yıldız ve diğerleri, 2021).

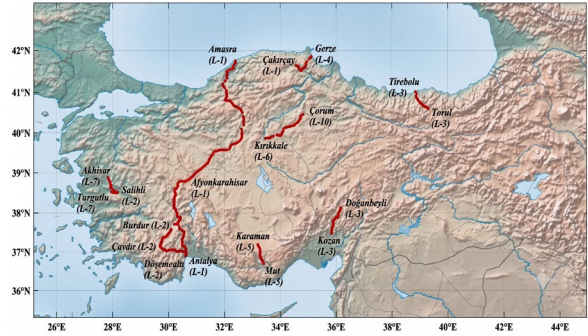
Bu modelin temel işlevi, GNSS gibi uydu bazlı sistemlerle yeryüzünde pratik bir şekilde ölçülen elipsoidal yüksekliğin (h), jeoit yüksekliği (N) kullanılarak çok yüksek bir duyarlılıkla fiziksel anlamı olan ortometrik yüksekliğe ($H = h - N$) doğrudan dönüştürülmesini sağlamaktır. TG-20 modelinin hesaplanmasında, GOCE tabanlı güncel global jeopotansiyel modeller, yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modelleri, yeni toplanan yüksek doğruluklu yersel gravite verileri (TRGrav-Net) ve kaba hatalarından arındırılmış (kalite kontrolü yapılmış) tarihsel gravite verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda ölçüm yapılan noktalar Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. TRGrav-Net Ulusal Gravite Standardizasyon Ağı noktaları (kırmızı), TRGrav-Net mutlak gravimetri noktaları (yeşil), yersel gravite sıklaştırma ve gravite ölçüsü yapılan nivelman noktaları (siyah) (Simav ve diğerleri, 2021).

Model, "Stokes İntegrali'nin En Küçük Karelerle Modifikasyonu ve İlave Düzeltmeler (LSMSA)" yöntemiyle (Sjöberg, 2003) elde edilmiştir (Yıldız ve diğerleri, 2021).

TG-20 modelinin doğruluğunu sahada bağımsız olarak test etmek amacıyla, ülke genelinde 7 farklı bölgede (profilde) tesis edilen GNSS/nivelman noktalarında ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Buna göre TG-20'nin standart sapma değerleri test edilen profillerde 1.2 cm ile 6.3 cm arasında değişmektedir (Yıldız ve diğerleri, 2021).



Şekil 3. YÜKSİSMOD projesi kapsamında ölçüm yapılan GNSS/nivelman noktaları (Yıldız ve diğerleri, 2021).

2. MATERYAL ve METOT

Depremin meydana getirdiği deformasyonların belirlenebilmesi için deprem kaynağının fay geometrisi verilerine göre modellenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, daha önce İzmir ve Düzce depremlerinin Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla Aktuğ (2003) tarafından kullanılan fay modeli bu çalışmada da kullanılmıştır.

Bu çalışmada, yükseklik değişimleri fay modeli ile Okada (1985) tarafından verilen analitik eşitlikler kullanılarak, gravite, yer potansiyeli ve jeoit değişimleri ise fay modeli ve Okubo (1993) tarafından verilen analitik eşitlikler ile hesaplanmıştır.

Söz konusu eşitliklerin temelini teşkil eden teorik eşitlikler bu bölümde bilgi olarak verilmiş olup, yükseklik, gravite, yer potansiyeli ve jeoit değişimine ilişkin eşitlikler ayrıca sonraki bölümde yer almaktadır.

Noktasal bir kuvvetten kaynaklanan deplasman için temel eşitlik aşağıda verilmektedir (Aktuğ, 2003).

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + f_i \quad i, j: 1, 2, 3 \quad (1)$$

Burada, ρ yoğunluğu, u_i , f_i , x_j , sırasıyla deplasman, birim hacim için iç kuvvetler ve konumu, τ gerilimi ve t ise zamanı ifade etmektedir. Gerilim ifadesindeki tekrarlı indeks Einstein toplam kuralını (summation convention) göstermektedir. Gerilme (stress) ve gerinim (strain) ile gerinim ve deplasman arasındaki temel bağıntılar Eşitlik (2), (3) ve (4)' de verilmektedir (Aktuğ, 2003).

$$\epsilon_{ij} = 1/2(\partial u_i / \partial x_j + \partial u_j / \partial x_i) \quad i, j: 1, 2, 3 \quad (2)$$

$$\tau_{ij} = c_{ijpq} \epsilon_{pq} \quad i, j, p, q: 1, 2, 3 \quad (3)$$

Burada, ε gerinimi, c ise reolojik sabitleri ifade etmektedir. İzotropik bir blok için c ,

$$c_{ijpq} = \lambda \delta_{ij} \delta_{pq} + \mu (\delta_{ip} \delta_{jq} + \delta_{iq} \delta_{jp}) \quad (4)$$

şeklindedir. Burada δ Kronocker Deltası, λ ve μ ise Lamé elastik sabitleridir. Eşitlik (2) ve (3), Eşitlik (4) ve (1)' de kullanıldığında, Eşitlik (1)' den Eşitlik (5) elde edilir (Aktuğ, 2003).

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i \partial x_j} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + f_i \quad (5)$$

Bu diferansiyel denklem sisteminin çözümü ile ilgili örnekler birçok sismoloji kitabında mevcuttur (Aki ve Richards, 1980; Cohen, 1999). Bunun için genel olarak Aki ve Richards (1980) de verilen Green fonksiyonları ya da Steketee (1958)' de verilen Somigliana Tensör Çözümü kullanılmaktadır (Cohen, 1999). Noktasal bir kaynak, $\Delta u_j(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ 'nin dislokasyonu nedeniyle Σ izotropik bloğunda oluşan deplasman alanı $u_i(x_1, x_2, x_3)$;

$$u_i(x) = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j(\xi) \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma \quad (6)$$

ile verilir (Steketee, 1958). Burada δ_{jk} Kronocker deltası, λ ve μ Lamé elastik sabitleri, $v_k, d\Sigma$ yüzeyine ait yüzey normalinin k'ncı bileşeni, u_i^j ise, (ξ_1, ξ_2, ξ_3) konumundaki noktasal kaynak ile oluşan $u_i(x_1, x_2, x_3)$ deplasmanının i'nci bileşenidir (Okada, 1985).

Noktasal kaynağın sebep olduğu deplasman alanından, dörtgen bir alanın sebep olacağı deplasman alanını elde etmek için, fay düzleminin uzunluğu (L) ve genişliğine (W) bağlı integral çözümü yapmak gereklidir. Buna göre;

$$\int_x^{x-L} d\xi \int_p^{p-W} d\eta \quad (7)$$

olur. Burada, x ve p fay düzleminin Şekil 4'de verilen koordinatlarını; $d\xi$ ve $d\eta$ ise, noktasal kaynağın elastik yarı-uzay dislokasyon modeline göre fay düzlemi üzerindeki koordinatlarına bağlı değişim fonksiyonlarını göstermektedir. Dörtgensel bir alan için (fay düzlemi) analitik denklemleri kapalı halde integrali aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir (Aktuğ, 2003);

$$f(\xi, \eta) = f(x, p) - f(x, p - W) - f(x - L, p) + f(x - L, p - W) \quad (8)$$

Dörtgensel bir alan için Eşitlik (8)' in açılımından elde edilen analitik denklemler, Eşitlik (9-19)' da verilmektedir. Kayma vektörü bileşenlerinin (U_1, U_2) sebep olduğu yüzey deplasmanlarını (u_x, u_y, u_z) , Şekil 4'de verilen fay düzlemi koordinat sistemindeki bu eşitlikler yardımıyla (8) eşitliğinin integralini alarak ifade etmek olanaklıdır. Buna göre elde edilen yanal atım aşağıdaki eşitliklerle elde edilmektedir (Aktuğ, 2003).

$$u_x = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\xi q}{R(R + \eta)} + \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{qR} + I_1 \sin \delta \right] \quad (9)$$

$$u_y = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\tilde{y} q}{R(R + \eta)} + \frac{q \cos \delta}{R + \eta} + I_2 \sin \delta \right] \quad (10)$$

$$u_z = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\tilde{d} q}{R(R + \eta)} + \frac{q \sin \delta}{R + \eta} + I_4 \sin \delta \right] \quad (11)$$

Deprem neticesinde meydana gelmesi beklenen düşey atımlar ise aşağıdaki eşitliklerle elde edilmektedir (Aktuğ, 2003).

$$u_x = -\frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{q}{R} - I_3 \sin \delta \cos \delta \right] \quad (12)$$

$$u_y = -\frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{\tilde{y} q}{R(R + \xi)} + \cos \delta \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{qR} - I_1 \sin \delta \cos \delta \right] \quad (13)$$

$$u_z = -\frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{\tilde{d} q}{R(R + \xi)} + \sin \delta \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{qR} - I_5 \sin \delta \cos \delta \right] \quad (14)$$

$$I_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[-\frac{\xi}{(R + \tilde{d}) \cos \delta} \right] - \frac{\sin \delta}{\cos \delta} I_5 \quad (15)$$

$$I_2 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} [-\ln(R + \eta)] - I_3 \quad (16)$$

$$I_3 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[\frac{1}{\cos \delta} \left(\frac{\tilde{y}}{R + \tilde{d}} - \ln(R + \eta) \right) + \frac{\sin \delta}{\cos \delta} I_4 \right] \quad (17)$$

$$I_4 = \frac{\mu}{\lambda + \mu \cos \delta} \left[\ln(R + \tilde{d}) - \sin \delta \ln(R + \eta) \right] \quad (18)$$

$$I_5 = \frac{2\mu}{\lambda + \mu \cos \delta} \tan^{-1} \frac{\eta(X + q \cos \delta) + X(R + \delta) \sin \delta}{\xi(R + X) \cos \delta} \quad (19)$$

Yukarıdaki eşitliklerde U_i ; kayma vektörü (slip) bileşenleri, δ ; eğim açısı (dip angle), μ ve λ ; lame sabitleri, $\tilde{y}$ ve $\tilde{d}$; fay düzleminin noktanın orijini ifade ettiği ve fay düzlemine paralel bir koordinat sistemindeki koordinatları ifade etmektedir. Yine yukarıdaki eşitliklerde ξ , η ve q ; fay düzlemi başlangıç noktasının fay düzlemi koordinat sistemi üzerindeki koordinatlarını, R ; fay başlangıç noktasının orijine olan uzaklığını, X ; noktanın fay doğrultusu yönündeki koordinatını, U_i : $i=1,2,3$ şeklinde sırasıyla SS, DS ve açılmayı (opening), u_i : $i=1,2,3$ şeklinde sırasıyla fay doğrultusu, eğim açısı ve fay düzlemine dik doğrultulardaki yer değiştirmeleri vermektedir.

Sismik kaynak geometrisi için, Özkan ve diğerleri (2023) tarafından sunulan ve AFAD katalog verileri, sismolojik dalga formu analizi ile GNSS kısıtları birleştirilerek elde edilen çok segmentli sonlu kaynak modeli benimsenmiştir. Bu modelde fay sisteminin sismik doğrultu atımı, düşey atım bileşenleri, doğrultu açısı, eğim açısı, uzunluk ve genişlik değerleri ayrı ayrı tanımlanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan temel kaynak parametreleri Tablo 1'de özetlenmektedir. Tablo 1'de belirtilen SS sol yanal atımı, DS eğim atımını, TS (tensile slip) açılma bileşenini ifade etmektedir. Eğim atımının (DS) pozitif olması o bölgede yer kabuğunun birbirine doğru itildiğini ve sıkıştığını, eğim atımının negatif olması ise bölgede yer kabuğunun zıt yönlerde doğru çekilerek gerildiğini ve açılmaya uğradığını gösterir. TS bileşeninin sıfır olması fay düzleminin iki tarafındaki kaya bloklarının birbirine dik yönde yaklaşıp uzaklaşmadığını göstermektedir.

3. UYGULAMA ve BULGULAR

a. Okubo (1993) Modeli ile Gravite, Yer Potansiyeli ve Jeoit Değişiminin Hesabı

Geometrik yer değiştirmelere ek olarak, kütle kayması neticesinde yer potansiyelindeki (ΔW), gravite değişimindeki (Δg) ve jeoit ondülasyonundaki (ΔN) değişimlerin modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Okubo (1993) tarafından geliştirilen asimptotik formülasyon kullanılmıştır. Söz konusu model, elastik yarı-uzaydaki dislokasyonlardan kaynaklanan potansiyel ve gravite değişimlerini analitik olarak hesaplar (Okubo, 1993). Yer kabuğu bloğunun deformasyonu sırasında açığa çıkan hacimsel genleşme (dilatation) ve sınır yüzeylerindeki kütle yer değiştirmeleri, toplam gravite alanında bir pertürbasyona yol açmaktadır. Düzlem dislokasyon olarak modellenen bir depremin yaratacağı potansiyel değişimi (ΔW) Okubo (1993) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir (Aktuğ ve Çıvgın, 2017):

$$\Delta W(x_1, x_2, x_3) = \{\rho G [U_1 S_p(\xi, \eta) + U_2 D_p(\xi, \eta) + U_3 T_p(\xi, \eta)] + \Delta \rho G U_3 C_g(\xi, \eta)\} \quad (20)$$

$$S_p(\xi, \eta) = -q_0 I_0 \sec^2 \delta + R \tan \delta + 2\xi I_1 \tan^2 \delta \quad (21)$$

Tablo 1. Kahramanmaraş Depremlerine ait sonlu kaynak parametreleri (Özkan ve diğerleri, 2023)

Name	Lon.#1 (°)	Lat.#1 (°)	Strike (°)	Depth (km)	Dip (°)	Length (km)	Width (km)	SS (m)	DS (m)	TS (m)
1	37.08	37.25	33.01	10.42	80.15	45.32	10.58	1.52	1.41	0.00
2	36.67	37.31	59.90	18.27	85.02	169.85	18.34	4.94	-0.29	0.00
3	36.10	36.16	24.91	13.89	88.14	149.34	13.90	3.73	0.11	0.00
4	37.56	37.96	-82.91	9.85	89.62	85.20	9.85	3.91	-1.41	0.00
5	36.83	38.09	-104.81	9.66	86.89	30.24	9.67	0.72	1.49	0.00
6	37.60	37.99	54.82	15.47	82.63	85.02	15.60	4.07	-0.52	0.00

$$D_p(\xi, \eta) = -\xi I_0 \tan \delta - 2x_3 I_2 \sin \delta - q_0 [\log(R + \xi) + 2I_1 \tan \delta] \quad (22)$$

$$C_p(\xi, \eta) = -\xi \log(R + \eta) - \eta \log(R + \xi) - 2qI_2 \quad (23)$$

$$T_p(\xi, \eta) = \xi I_0 \tan^2 \delta - x_3 \sin \delta \log(R + \xi) + 2q_0 (I_1 \tan^2 \delta + I_2) + C_p(\xi, \eta) \quad (24)$$

$$I_0(\xi, \eta) = \log(R + \eta) - \sin \delta \log(R + d') \quad (25)$$

$$I_1(\xi, \eta) = \tan^{-1} \left(\frac{q \cos \delta + (1 + \sin \delta)(R + \eta)}{\xi \cos \delta} \right) \quad (26)$$

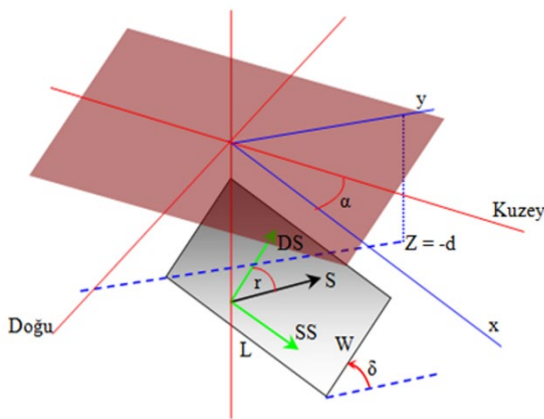
$$I_2(\xi, \eta) = \tan^{-1} \left(\frac{R + \xi + \eta}{q} \right) \quad (27)$$

$$R = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + q^2} \quad (28)$$

$$d' = \eta \sin \delta - q \cos \delta \quad (29)$$

$$q = x_2 \sin \delta - (d - x_3) \cos \delta \quad (30)$$

$$q_0 = q - x_3 \cos \delta \quad (31)$$



Şekil 4. Deprem kaynağının dislokasyon ile modellenmesi ve parametrizasyonu (Aktuğ, 2003).

Yukarıda verilen Şekil 4. ve eşitliklerde S; Kayma vektörünü, δ ; eğim açısını (dip angle), α ; Fay doğrultusunun azimutunu (strike), d; fay düzleminin derinliğini, L; fay düzleminin uzunluğunu, W; fay düzleminin genişliğini temsil etmektedir.

Yine yukarıda verilen eşitliklerde SS; kayma vektörünün fay doğrultusu yönündeki bileşenini (strike-slip), DS; kayma vektörünün fay doğrultusuna dik yöndeki bileşenini (dip-slip), x ve y; fay düzlemi koordinat sistemi eksenlerini (x, fay doğrultusu boyunca, y, ona dik doğrultuda olacak şekildedir.), r; kayma vektörünün yönünü (rake) temsil etmektedir. Bu kayma açısı (rake) fay düzlemi üzerindeki yer değiştirmeyi bileşenlerine ayırmak için kullanılabilir. $DS = S \cdot \cos(r)$, $SS = S \cdot \sin(r)$

Potansiyel değişimi hesaplandıktan sonra, gravite değişimi potansiyelin değişiminin düşey yöndeki (x_3) türevi alınarak aşağıdaki şekilde bulunabilir (Aktuğ ve Çıvgın, 2017):

$$\Delta g(x_1, x_2) = \{\rho G [U_1 S_g(\xi, \eta) + U_2 D_g(\xi, \eta) + U_3 T_g(\xi, \eta)] + \Delta \rho G U_3 T_g(\xi, \eta)\} - \beta \Delta h(x_1, x_2) \quad (32)$$

Burada;

$$S_g(\xi, \eta) = -\frac{q \sin \delta}{R} - \frac{q^2 \cos \delta}{R(R + \eta)} \quad (33)$$

$$D_g(\xi, \eta) = 2I_2 \sin \delta - \frac{qd'}{R(R + \xi)} \quad (34)$$

$$T_g(\xi, \eta) = 2I_2 \cos \delta + \frac{qy'}{R(R + \xi)} + \frac{q\xi \cos \delta}{R(R + \eta)} \quad (35)$$

$$C_g(\xi, \eta) = 2I_2 \cos \delta - \sin \delta (1 - 2\nu) \log(\xi + R) \quad (36)$$

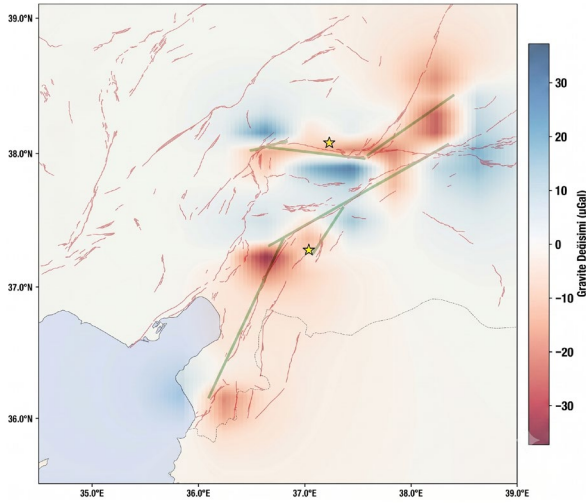
şeklinde.

Jeoit ondülasyon değişimi yer potansiyeli değişiminden şu basit bağıntıyla elde edilmektedir (Okubo, 1993):

$$\Delta N = \Delta W / \gamma \quad (37)$$

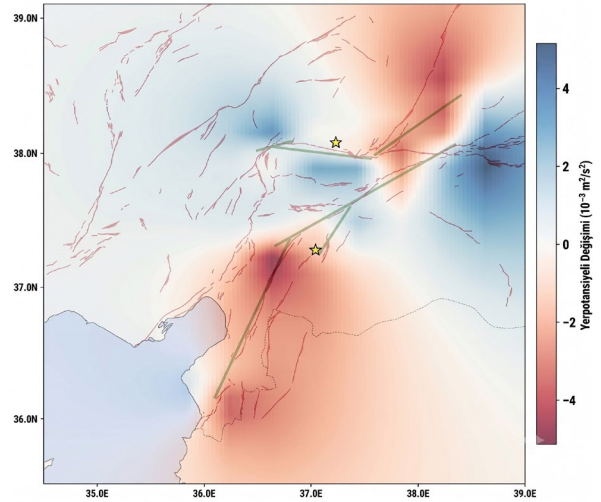
Burada $\gamma \approx 9.8 \text{ m/s}^2$ normal yerçekimi ivmesini temsil etmektedir. Bu bağıntı gereği, kosismik jeoit yüksekliği değişimi numerik değer olarak yer potansiyeli değişiminin yaklaşık onda biri büyüklüğündedir.

Sahadaki en büyük kosismik gravite değişimi Tablo 2'de görüldüğü üzere $-38.4 \text{ } \mu\text{Gal}$, maksimum pozitif değişim ise $+33.8 \text{ } \mu\text{Gal}$ olarak hesaplanmıştır. Gravite değişiminin ortalama değeri $+0.0024 \text{ } \mu\text{Gal}$, standart sapması $2.36 \text{ } \mu\text{Gal}$ ve medyan değeri $0.0223 \text{ } \mu\text{Gal}$ 'dir. Saptanan bu $-38.4 \text{ } \mu\text{Gal}$ 'lik en büyük değer, Aktuğ ve Çıvgın (2017) tarafından yapılan ve 1938–2008 yılları arasındaki ardışık depremlere bağlı kümülatif gravite değişimlerinin -58 ile $+69 \text{ } \mu\text{Gal}$ aralığında gerçekleştiğini gösteren çalışmayla uyumludur. Hesaplanan gravite değişimine ait harita Şekil 5'de verilmektedir.



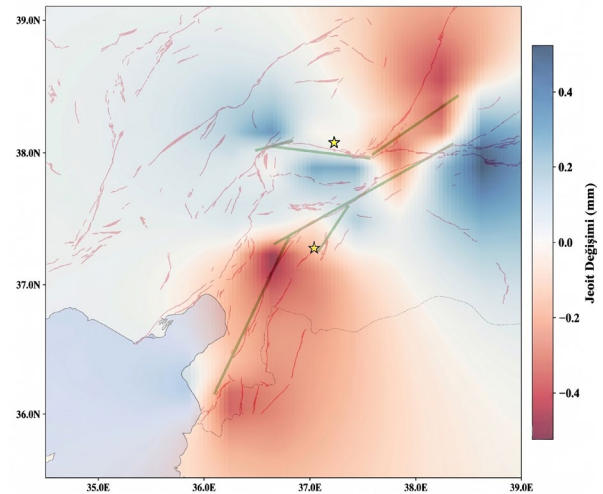
Şekil 5. Hesaplanan gravite değişimi.

Okubo (1993) modeli ile hesaplanan kosismik yer potansiyeli değişimi; minimum $-4.97 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^2$ ile maksimum $+5.18 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^2$ arasında dağılım göstermekte olup standart sapma $0.66 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^2$ düzeyindedir. Bu değerlerin doğrudan yansımaları olan jeoit (TG-20 referans yüzeyi) ondülasyonundaki kosismik değişim ise son derece sınırlı seviyelerde kalmıştır. Hesaplamalara göre jeoidin kosismik değişimi minimum -0.51 mm ve maksimum $+0.53 \text{ mm}$ düzeyindedir. Medyan değer ise $+0.0094 \text{ mm}$ ile pratikte sıfıra eşdeğerdir. Hesaplanan yer potansiyeli değişimine ait harita Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Hesaplanan yer potansiyeli değişimi.

$\Delta N = \Delta W / \gamma$ bağıntısı gereğince, kosismik jeoit yüksekliği değişimi, yer potansiyeli değişiminin yaklaşık onda biri büyüklüğündedir. Bu ilişki, yerçekimi alanının doğasından kaynaklanmakta olup jeoit yüzeyinin çok şiddetli kütle kaymalarına ve bölgesel kabuksal yıkımlara rağmen geometrik formunu olağanüstü bir dirençle koruduğunu kanıtlamaktadır. Gözlenen $\pm 24 \text{ cm}$ 'lik topoğrafik yükseklik değişimine karşın jeoidin yalnızca $\pm 0.5 \text{ mm}$ oynaması; jeoit referans yüzeyinin sismik etkilere karşı geometrik nivelman ağılarından çok daha dayanıklı olduğunu ve TG-20 modelinin Kahramanmaraş depremlerinden etkilenmediğini açıkça ortaya koymaktadır. Hesaplanan jeoit değişimine ait harita Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7. Hesaplanan jeoit değişimi.

b. Okada Modeli ile Yükseklik Değişiminin Hesaplanması

Yüzey deformasyonlarının sismolojik kökenini ve mekanizmasını teorik olarak analiz edebilmek için yer kabuğu; sınırlarında gerilimin sıfır olduğu, elastik, homojen ve izotropik bir yarı-uzay (half-space) ortam olarak modellenmiştir (Okada, 1985). Okada modeli, dikdörtgen bir fay düzleminde meydana gelen homojen kaymanın yüzeyde oluşturduğu deformasyonları analitik kapalı-form (closed-form) denklemlerle sunmaktadır. (30) eşitliğinin son terimindeki yükseklik değişimi Okada (1985) tarafından aşağıdaki şekilde verilmektedir (Aktuğ ve Çıvgın, 2017). Hesaplanan kosismik yükseklik değişimine ait harita Şekil 8'de verilmektedir.

$$\Delta h(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi} [U_1 S_h(\xi, \eta) + U_2 D_h(\xi, \eta) + U_3 T_h(\xi, \eta)] \quad (38)$$

Burada;

$$S_h(\xi, \eta) = \frac{d'q}{R(R+\eta)} - \frac{q \sin \delta}{R+\eta} + I_4 \sin \delta \quad (39)$$

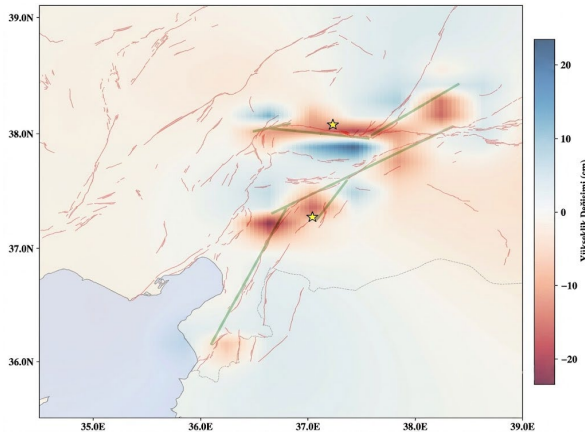
$$D_h(\xi, \eta) = \frac{d'q}{R(R+\xi)} - \sin \delta \tan^{-1} \left(\frac{\xi \eta}{qR} \right) + I_5 \sin \delta \cos \delta \quad (40)$$

$$T_h(\xi, \eta) = y'q/R(R+\xi) - I_5 \sin^2 \delta + \cos \delta \left(\frac{\xi q}{R(R+\eta)} - \tan^{-1} \left(\frac{\xi \eta}{qR} \right) \right) \quad (41)$$

$$y' = \eta \cos \delta + q \sin \delta \quad (42)$$

$$I_4(\xi, \eta) = (1 - 2\nu) [\ln(R + d') - \sin \delta \ln(R + \eta)] \sec \delta \quad (43)$$

$$I_5(\xi, \eta) = 2(1 - 2\nu) I_1 \sec \delta \quad (44)$$



Şekil 8. Hesaplanan kosismik yükseklik değişimi.

Okada (1985) ve Okubo (1993) modellerine göre hesaplanan tüm kosismik büyüklüklerin sıfıra çok yakın medyan değerleri, fay mekanizmasının doğası gereği faya dik doğrultuda simetrik dağılım gösteren pozitif ve negatif loblarla tam uyumludur. Bu asimetrik lob yapısı hem gravite değişiminde hem de potansiyel değişiminde gözlemlenmekte ve Hanks ile Kanamori (1979) tarafından tanımlanan moment büyüklüğü ölçeğiyle uyumlu sismik enerji salınım modellerini desteklemektedir (Kalafat ve diğerleri, 2011).

Tablo 2. Okada (1985) ve Okubo (1993) modelleriyle hesaplanan kosismik büyüklüklere ait istatistikler.

Kosismik Büyüklük	Birim	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma	Medyan
Gravite Değişimi	μGal	-38.4	+33.8	+0.0024	2.36	+0.0223
Yer Potansiyeli Değişimi	×10 ⁻³ m ² /s ²	-4.97	+5.18	+0.081	0.66	+0.0922
Jeoit Ondülasyon Değişimi	mm	-0.51	+0.53	+0.0083	0.067	+0.0094
Düşey Yükseklik Değişimi	cm	-24.4	+24.0	-0.213	1.62	-0.230

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri ile meydana gelen yerçekimi potansiyeli, gravite, yükseklik ve jeoit değişimleri fay modeli ve analitik eşitlikler (Okada, 1985, Okubo, 1993) kullanılarak incelenmiştir. Yer potansiyeli değişimi eşitlik (20), gravite değişimi eşitlik (32), jeoit değişimi eşitlik (37), yükseklik değişimi eşitlik (38) ile hesaplanmıştır.

En büyük kosismik gravite değişim değeri -38.4 μGal olarak bulunmuştur. Bu sonuç, 1938-2008 yılları arasındaki depremlere bağlı olarak kümülatif gravite değişimlerinin -58 ila +69 μGal şeklinde olmasıyla uyumludur (Aktuğ ve Çıvgın, 2017).

Birinci derece Türkiye Temel Gravite ağı noktaları için ± 3.8 – 8.6 μGal standart sapma değerleri elde edilmiştir (Demir, Kılıçoğlu ve Fırat, 2006). Buna karşın münferit gravite ölçülerinin dış doğruluğu ~50 μGal civarındadır (Yıldız ve diğerleri, 2021). Yaklaşık 15 cm'ye karşılık gelen bu değer, bu mertebeye veya daha düşük yükseklik değişimi meydana getiren depremlerde gravite ağılarında deformasyon olmadığı şeklinde yorumlanabilir (Demir ve diğerleri, 2006).

Yükseklik değişimleri -24 ila +24 cm arasında bulunmuştur. Bu durum, nivelman ağında yüksek oranda deformasyon olduğu anlamına gelmektedir. Özellikle 2023 depremlerinin doğrultu atımlı olduğu dikkate alındığında söz konusu deformasyonun eğim atımlı depremler için çok daha yüksek olacağı açıktır.

Jeoidin kosmik değişimi ise ± 0.5 mm düzeyindedir. Jeoidin basit anlamda yer potansiyelinin gravite değerine oranı olduğu dikkate alındığında, kosmik jeoit yüksekliği değişimi beklendiği şekilde yer potansiyel değişiminin yaklaşık onda biri civarındadır. Bu sonuç jeoit değişiminin depremsel etkilere çok daha dayanıklı olduğunu göstermektedir (Aktuğ ve Çıvgın, 2017).

Hesaplanan tüm büyüklükler sıfıra yakın medyan değerine sahiptir. Bu durum pozitif ve negatif lob oluşturan kosmik deformasyon deseni ile uyumludur.

Ülkemizin bir deprem ülkesi olduğu gerçeği dikkate alındığında, yükseklik sisteminin idamesi için deprem etkilerinin hesaplanması ve giderilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Bu çalışma, 6 Şubat 2023 depremleri sonrasındaki gravite, yer potansiyeli ve jeoit değişimlerini ortaya koymuştur.

Elde edilen bulgular, yükseklik sisteminin nivelman ağları yerine jeoidde dayalı olarak tasarlanmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

ORCID

Yusuf ÜNGÖREN 
<https://orcid.org/0009-0006-6321-7620>

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

Bahadır AKTUĞ 
<https://orcid.org/0000-0002-7995-4477>

KAYNAKLAR

- Aki, K. ve Richards, P. G. (1980). Quantitative Seismology Theory and Methods, *W.H. Freeman and Co., San Francisco*.
- Aktuğ, B. (2003). Elastik Yarı-Uzay Modelleri ve Depremsel Koordinat Değişimlerine Dinamik Bir Yaklaşım. *Harita Dergisi*, 129, 1-16.
- Aktuğ, B. ve Çıvgın, B. (2017). Türkiye'de Gravite ve Nivelman Ağları ile Jeoidin Depremsel Deformasyonu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (3), 1041-1047.
- Aktuğ, B., Tiryakioğlu, İ., Sözbilir, H., Özener, H., Özkaymak, Ç., Yiğit, C. Ö. ve Softa, M. (2021). GPS derived finite source mechanism of the 30 October 2020 Samos earthquake, Mw= 6.9, in the Aegean extensional region. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(8), 718-737.
- Bulut, F., Özener, H., Doğru, A., Aktuğ, B. ve Yalıtırak, C. (2018). Structural setting along the western North Anatolian Fault and its influence on the 2014 North Aegean earthquake (Mw 6.9). *Tectonophysics*, 745, 382-394.
- Cohen, S. C. (1999). Numerical models of crustal deformation in seismic zones. *Advances in Geophysics*, 41, 133-231.
[https://doi.org/10.1016/s0065-2687\(08\)60027-8](https://doi.org/10.1016/s0065-2687(08)60027-8)
- Demir, C. ve Cingöz, A. (1999). *Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA-99)* (İç Rapor No. Jeof-99-2). Ankara (yayımlanmamış): Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Daire Başkanlığı.
- Demir, C., Kılıçoğlu, A. ve Fırat, O. (2006). Türkiye Temel Gravite Ağı-1999 (TTGA-99). *Harita Dergisi*, 136, 49-63.
- Doğru, A., Gorgun, E., Aktuğ, B. ve Özener, H. (2018). Seismic hazard assessment of the central North Anatolian Fault (Türkiye) from GPS-derived strain rates and b-values. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 356-367.
- Doğru, A., Gorgun, E., Özener, H. ve Aktuğ, B. (2014). Geodetic and seismological investigation of crustal deformation near İzmir (Western Anatolia). *Journal of Asian Earth Sciences*, 82, 21-31.
- Gezgin, C., Ekercin, S., Tiryakioğlu, İ., AKTUĞ, B., Erdoğan, H., Gürbüz, E. ve Kaya, E. (2022). Determination of recent tectonic deformations along the Tuz Gölü Fault Zone in Central Anatolia (Türkiye) with GNSS observations. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 31(1), 20-33.
<https://doi.org/10.3906/yer-2108-10>

- Hanks, T. C. ve Kanamori, H. (1979). A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research*, 84, 2348-2350.
- HGM. (1999). *Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99)* (Rapor No. JEOFNİV-02-1999). Ankara: Harita Genel Komutanlığı.
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P. ve Yilmazer, M. (2011). A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 (1900-2010; $M > 4.0$), Bogaziçi University Publication No: 10499. 640p., *Bebek-İstanbul*.
- Okada, Y. (1985). Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(4), 1135-1154.
<https://doi.org/10.1785/bssa0750041135>
- Okubo, S. (1993). Reciprocity theorem to compute the static deformation due to a point dislocation buried in a spherically symmetric earth. *Geophysical Journal International*, 115, 921-928.
- Özkan, A., Solak, H. İ., Tiryakioğlu, İ., Şentürk, M. D., Aktuğ, B., Gezgin, C. ve Yavaşoğlu, H. H. (2023). Characterization of the co-seismic pattern and slip distribution of the February 06, 2023, Kahramanmaraş (Türkiye) earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6) with a dense GNSS network. *Tectonophysics*, 866, 230041.
- Seyitoglu, G., Aktuğ, B., Esat, K. ve Kaypak, B. (2022). Neotectonics of Türkiye and surrounding regions: A new perspective with GNSS-based block modelling. *Geologica Acta*, 20(4), 1-21.
- Simav, M., Akpınar, İ., Akdoğan, Y. A. ve Yıldız, H. (2021). Türkiye'de güncel yersel gravimetri çalışmaları. *Harita Dergisi*, 166, 10-24.
- Sjöberg, L. E. (2003). A general model for modifying Stokes' formula and its least-squares solution. *Journal of Geodesy*, 77(7), 459-464.
- Solak, H. İ., Sentürk, M. D., Çakan, E. B., Yaşar, Ş. Ş., Eyübagil, E. E., Erdoğan, A. O. ve Tiryakioğlu, İ. (2024). Earthquake magnitude estimation based on peak ground displacements recorded by high-rate GNSS for February 6, 2023, earthquake sequence in Türkiye. *The European Physical Journal Plus*, 139(9), 1-11.
- Steketee, J. A. (1958). On Volterra's dislocations in a semi-infinite elastic medium. *Canadian Journal of Physics*, 36(2), 192-205.
<https://doi.org/10.1139/p58-024>
- Tiryakioğlu, İ., Aktuğ, B., Yiğit, C. Ö., Yavaşoğlu, H. H., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç. ve Özener, H. (2018). Slip distribution and source parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos earthquake (Mw6.6) from GPS observations. *Geodinamica Acta*, 30(1), 1-14.
- Tiryakioğlu, İ., Gezgin, C., Aktuğ, B., Solak, H. İ., Özkaymak, Ç., Yaşar, Ş. Ş. ve Akgül, F. M. (2026). Revealing the source mechanism of the August 10, 2025 Sındırgı Earthquake (Mw 6.3) with Geological and geodetic evidence. *Advances in Space Research*.
- Yıldız, H., Andersen, O. B., Simav, M., Aktug, B. ve Özdemir, S. (2013). Estimates of vertical land motion along the southwestern coasts of Türkiye from coastal altimetry and tide gauge data. *Advances in Space Research*, 51(8), 1572-1580.
- Yıldız, H., Simav, M., Sezen, E., Akpınar, İ., Akdoğan, Y. A., Cingöz, A. ve Akabali, O. A. (2021). Determination and validation of the Turkish geoid model-2020 (Tg-20). *Bulletin of Geophysics and Oceanography*, 62(3), 495-512.
<https://doi.org/10.4430/bgta0345>

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, 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 ortalarak yazar adı ve soyadı koyu (bold) ve 10 punto harf büyüklüğünde yazılmalıdır (Soyadı büyük harflerle). Yazar adının altına ortalarak 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 ortalanarak yazılmalı (örneğin, Şekil 1. CBS tasarımı.); tablo isimlerinden ve şekillerden önce, şekil isimlerinden ve tablolardan sonra bir satır boşluk bırakılmalı; tablolar ve şekiller sayfaya ortalanmalıdır. Tablolar ve şekillerin boyutu tek sütundan büyük olduğu durumlarda, sayfanın tamamına ortalı olarak yazılabilir. Bu durumda tablo ve şekiller metni bölmemeli sayfanın en altında ya da en üstünde yer almalıdır.

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

e. Makaleler, "MAKALE ÖRNEĞİ"nde sunulan boşluk ve 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 faydalanan 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.

Sürelî 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.

Web sitesi:

Atlasus Martı İnsansız Sistemleri, (t.y.). Erişim adresi (20 Ekim 2025): <https://www.atlasus.com.tr/marti/>

Gönderme: (Atlasus Martı İnsansız Sistemleri, t.y.)

SNAP (Sentinel Application Platform). (2021, 24 Haziran). <https://step.esa.int/main/download/snap-download>.

Gönderme: Sentinel Application Platform (SNAP) yazılımı (SNAP, 2021)

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

Gönderme: (IZMIRAN, n.d.)

2. Makalelerin Gönderilmesi

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

(MAKALE ÖRNEĞİ)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (Makale Başlığı-Türkçe)

(XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX) (Makale Başlığı- İngilizce)

(1 satır boşluk)

XXXX XXXX (Yazar ismi)

XXXXXX XXXX XXXX, XXXXX XXXXX (Adres)

xxxxxxxx@xxxxxx (e-posta)

(1 satır boşluk)

ÖZ

0.5 cm

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX XXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX; XXXXXXX XXXX
XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

Anahtar Kelimeler: XXXXXXX XXXXX XXXXX XXXXX
XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXX

(1 satır boşluk)

ABSTRACT

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX XXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXX. XXXXXXX
XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXX XXXX XXXX.

(1 satır boşluk)

Keywords: XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXX.

(1 satır boşluk)

1. GİRİŞ

(1 satır boşluk)

XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXX XX
XXXX XXXXX /1/.

(1 satır boşluk)

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

(1 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX
(1) XXXXXXX XXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX
XXXX XXXXX XXXXX XXXX.

(2 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

2. XXXXX XXXXX XXXX (Ana bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

a. XXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXX
XXXXXXXX

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXX XXXXXXX
XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

(1 satır boşluk)

(1) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXXXXX
XXXXXX XXXXXXX

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX 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 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XX
XX
XX
XX
XX
XX
XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
XX
XX

(1 satır boşluk)

(b) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXX

XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

(I) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX

XXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
XX
XX
XX XXXX
XXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX
XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXX

(1 satır boşluk)

(aa) XXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX

(5 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
XX XXXXXXXXXXXXXXX
XX XXXXXXX XXXX
XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXX
XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

b. XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXX XXXXXXX
XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

3 cm

0.5 cm

2 cm

xx

3 cm

1.25 cm

(MAKALE ÖRNEĞİ)

(1) Xxxxx XXXXXX XXXXXX XXXXXXXX.

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xXXXXXXXX

xxxx xxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx.

(2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf)

(1 satır boşluk)

(a) Xxxxx XXXXXX XXXXXX XXXX

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxx xxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx.

(1 satır boşluk)

(b) Xxxxx XXXXXX XXXXXX XXXX

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxx

xxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxx xxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxx.

(1 satır boşluk)

(l) Xxxxx XXXXXX XXXXXX XXXX

(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

Xxxx xxxxx xxxx xxxxxxx xxxxxxx

xxxxxxx xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxx xxxxxx

xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxx

xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxxxxxxxxxx xxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxx xxxx.

(1 satır boşluk)

Tablo 1. Xxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx

(1 satır boşluk)

Xxxxxxxx xxxxxx xxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx

xxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxx xxxxxxx.

(1 satır boşluk)

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

