



Büyük depremler sonrası kadastral noktalardaki değişimlerin izlenmesi: 30.10.2020 Sisam depremi (Mw:6.9) örneği

Monitoring changes in coordinates of cadastral sites after major earthquakes: The example of 30.10.2020 Samos earthquake (Mw:6.9)

Erdi Yenice¹ , İbrahim Tiryakioğlu^{2,*} , Mustafa Yılmaz³  Halil İbrahim Solak⁴ 

^{1,2,3,4} Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar Türkiye

Öz

Bu çalışmada 30 Ekim 2020 (Mw:6.9) Sisam depremi sonrasında İzmir bölgesi sınırları içerisinde yer alan ve periyodik olarak ölçümleri yapılan 18 adet kadastro noktasının (C1 ve C2) koordinatlarındaki değişim incelenmiştir. Deprem sonrası bölgedeki hız alanlarında 2020-2021 ve 2021-2022 yıllarında sırasıyla 1-35 mm ve 1-40 mm arasında koordinat değişimleri hesaplanmıştır. Maksimum koordinat farkları depreme yakın olan SFRH (~35 mm) ve KBR5 (~40mm) noktalarında gözlenmiştir. Bu noktaların hareketlerinin D-KD yönlü olduğu görülmektedir. BSYL noktası ise deprem merkez üssüne en uzak nokta olmasına rağmen bu noktada yaklaşık 38 mm KD yönlü bir hareket görülmektedir. Bu durum, depremden etkilenen noktaların deprem öncesi hızlarla koordinat taşınarak kadastral çalışmalarda kullanılması durumunda farklı sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Sisam depremi, GNSS, Koordinat değişimi, GAMIT/GLOBK

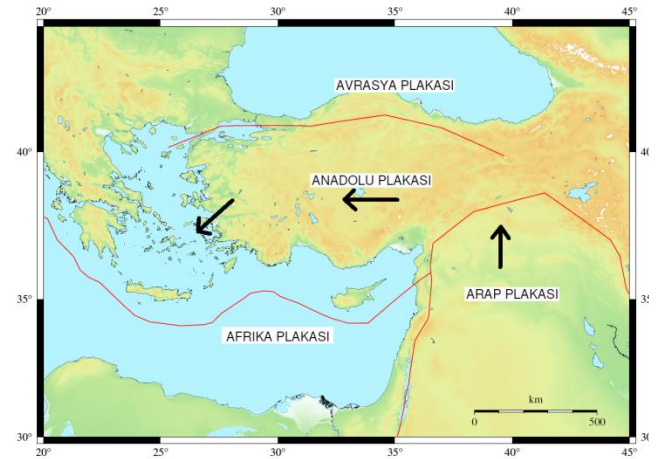
1 Giriş

Ülkemizde ilk kadastral çalışmalar ulusal ve uluslararası bir koordinat sistemine bağlı olmayıp lokal koordinat sistemleri oluşturularak yapılmıştır. Bu çalışmalara 1950'li yıllardan sonra ED50 (Eurepan Datum) datumunda devam edilmiş, 1980 li yılların sonlarına doğru ise uydu teknolojisi ile birlikte ITRF-96 (International Terrestrial Reference Frame-1996) datumunda devam edilmiştir. ITRF sisteminde kadastral çalışmaların ülke genelinde uygulanabilmesi için Uzay ve Uydu teknikleriyle oluşturulan üç boyutlu ağlar oluşturulmuştur. Bu ağlar Türkiye Yatay Kontrol (Nirengi) Ağı ve bu ağı dayalı olarak yersel tekniklerle üretilen ağlar ve Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı ve bu ağı dayalı olarak oluşturulan düşey kontrol ağlarıdır. Bu kontrol ağları için oluşturulan noktaların başında Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) noktaları gelmektedir. Diğer tüm alt noktaların koordinatları TUTGA noktalarından ya da TUTGA noktalarından üretilen alt noktalara dayanarak hesaplanır [1].

Abstract

In this study, the changes in the coordinates of 18 cadastral sites (C1 and C2) located within the borders of İzmir after the 30 October 2020 (Mw: 6.9) Samos earthquake were investigated. Coordinate changes of the post-earthquake periods (2020-2021 and 2021-2022) were calculated as 1-35 and 1-40 mm, respectively. Maximum coordinate changes are at SFRH (~35 mm) and KBR5 (~40 mm) sites close to the earthquake. Although the BSYL site is the farthest site from the earthquake epicenter, it shows a 38 mm change in NE direction. When the results are examined, it is evaluated that both the establishment of new sites should be avoided and updates should be made in the cadastral sites due to the velocity differences in the post-earthquake periods. This shows that different results can be obtained if the sites affected by the earthquake are used in cadastral studies by transforming coordinates with pre-earthquake velocities.

Keywords: Samos earthquake, GNSS, Coordinate changes, GAMIT/GLOBK



Şekil 1. Anadolu plakası ve çevresinde yer alan plakalar

Ülkemiz Alp-Himalaya kuşağında bulunan önemli tektonik bölgelerinden birinde yer almaktadır. Bulunduğu coğrafi konum dolayısıyla Avrasya, Arap ve Afrika levhalarının yer değiştirme hareketleri etkisi altında kalmaktadır (Şekil 1).

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: itiryakioğlu@aku.edu.tr (İ. Tiryakioğlu)

Geliş / Received: 21.03.2023 Kabul / Accepted: 08.05.2023 Yayınlanma / Published: 15.07.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1268589

Bu hareketler ise noktasal koordinat değişimlerine sebep olmaktadır. Bu değişimler genellikle TUTGA noktalarında zamana bağlı olarak hesaplanarak her bir noktanın koordinat ve hız verisi üretilmektedir. Bu hız verisi özellikle ülkemizin ulusal datumu olarak kullanılan Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) 2005.00 epöğü ve ITRF-96 datumu için yapılacak koordinat ötelemeleri için önemlidir. Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağına alternatif olarak Harita Genel Komutanlığı tarafından 1997 ve 1999 yılları arasında gözlem yapılması sonucunda ITRF-96 datumunda üretilen koordinat sisteminin de temelini oluşturan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-99) üretilmiştir. Ancak 17 Ağustos 1999 İzmit, 12 Kasım 1999 Düzce ve 6 Haziran 2000 Çerkeş/Çankırı depremleri sonrası, deprem bölgelerindeki TUTGA noktalarındaki yer değiştirmeden dolayı TUTGA-99 güncellenerek TUTGA-99A oluşturulmuştur. 1992 yılı ve 2001 yılları arasında GPS kampanyaları ve deprem sonrası TUTGA-99A nokta koordinatlarının hesabı ile depremler öncesi ve sonrası inter-sismik hız alanı ve oluşan ko-sismik yer değiştirmeler elde edilmiştir [2-3].

Tarihte birçok kez yıkıcı depremlerin meydana geldiği bu coğrafyada son 5 yılda $M \geq 6$ olmak üzere toplam 7 deprem meydana gelmiştir (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Katalogu, 2023). Bu depremler hem önemli can ve mal kayıplarına neden olmuş hem de ilgili bölgelerde kadastral altyapılarda büyük hasarlar meydana getirmiştir. Ülkemizde bu tip depremler sonrası kadastral alt yapının yenilenmesi için önemli çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizi de kapsayan ilk çalışma ve yapılan birçok çalışmaya altık olan McClusky vd. (2000)'dir [4]. Bu çalışma ile Avrasya plakası, Anadolu plakası, Arap Plakası ve Afrika plakasına kadar olan bölgede uzun süre GNSS (Global Navigation Satellite Systems) gözlemleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada 189 noktanın hızları hesaplanarak Arap plakasının yıllık 18 mm/yıl hareket ile Avrupa plakasına doğru hareketinin olduğu görülmüş olup, Anadolu plakasının ise ortalama 20 mm/yıl ile batıya yöneliminin olduğu görülmüştür.

Son yıllarda Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğü tarafından aktif hale getirilen TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sistemi kadastral çalışmalar yanı sıra tektonik hareketliliğin incelenmesinde de büyük rol oynamaktadır. Bu istasyonlar sayesinde özellikle depremlerden sonra bölgede meydana gelen deformasyonları belirlemeyi amaçlayan birçok çalışma yapılmıştır [5-11]. Tiryakioğlu (2017)'de [5] 23 Ekim 2011'de meydana gelen aletsel büyüklüğü 7.1 (Mw) olan Van depremi sonrasında 21 adet TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki deformasyonun tespiti için 2012 ve 2015 yılları arasındaki veriler ile değerlendirme yapılarak deprem merkezine daha yakın istasyonlardaki deformasyonların devam ettiği gözlemlenmiştir. Yalvaç (2020)'de [12] 20 Ocak 2020 yılında meydana gelen Elazığ ili Sivrice ilçesinde meydana gelen Mw:6.8 büyüklüğündeki deprem sonrasında bölgede bulunan 11 adet TUSAGA-Aktif verilerinin GAMIT/GLOBK ile değerlendirilmesi sonucunda 30 km uzaklıktaki noktanın güneybatı yönünde 57 mm'lik yatay yer değiştirmenin olduğu deprem merkezinden uzaklaştıkça yer değiştirmenin azaldığı gözlenmiştir [12].

Tuz Gölü Fay Zonu'nun (TGFZ) güncel deformasyonunun incelenmesi ve blok modelinin üretilmesi için toplam 44 noktadan oluşan bir GNSS ağı (24 adet Tuz Gölü Tektonik GNSS Ağı (TUZGA), 16 adet TUTGA noktası ve 4 adet TUSAGA-Aktif noktası) oluşturulmuştur. Zonda yapılan GNSS çalışmalarından elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyum içerisinde olduğu belirtilmiş ve daha yüksek hız doğrulukları GNSS ölçümlerin devam edilmesi değerlendirilmiştir [10]. Son olarak Eyübagil vd. (2023)'de [11] ülkemizde asrın felaketi olarak nitelendirilen 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri (Mw:7.7 ve 7.6 (AFAD Deprem Katalogu 2023) sonucunda bölgede 4.6 metreye varan atımların olduğu ifade edilmiştir.

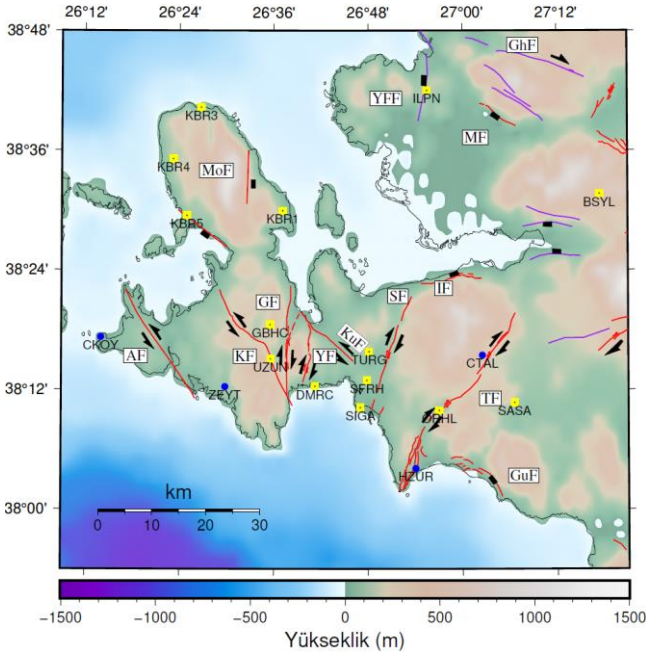
GNSS tekniği ile kabuk deformasyonu belirleme çalışmaları sürekli istasyonlara ek olarak kampanya tipi noktalarda gerçekleştirilen ölçümlerle de yapılmaktadır. Kampanya tipi istasyonlar ile daha düşük maliyet ile daha büyük zonları inceleme olanağı bulunmaktadır. Örneğin [13-16] tarafından İzmir'de bulunan Güzelbahçe fayının incelenmesi için fayı temsil edecek şekilde Karaburun, Çeşme ve Urla ilçelerinde bulunan 17 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda Avrasya sabit yaklaşık yıllık olarak 20-25 mm'lik batı ve güneybatı yönünde hareket söz konusu olduğu anlaşılmıştır.

Bu çalışmada 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen Mw:6.9 Sisam depreminden sonra bölgede yer alan noktalardaki koordinat değişimlerinin incelemek için 18 noktalık bir GNSS ağı oluşturulmuştur (Şekil 2). Bu noktalardan 4'ü kayada bronz (CKOY, CTAL HZUR, ZEYT) 14'ü ise (SASA, ORHL, SFRH, TURG, SIGA, DMRC, UZUN, GBHC, KBR1, KBR3, KBR5, KBR4, ILPN, BSYL) pilye tipi tesise sahip olup İzmir Foça ile Çeşme arasında bulunmaktadır (Şekil 2).

2 Materyal ve metot

Ülkemizde kadastral yapının güncellenmesi sürekli yapılmamaktadır. Ancak Türkiye, bulunduğu coğrafya itibarıyla tektonik açıdan aktif bir konumdadır. Bu nedenle kadastral-mühendislik çalışmalarında kullanılan ölçüm noktalarının koordinatlarının güncellenmesi ve koordinat doğruluklarının artırılması yapılan çalışmaların güvenilir sonuçlar sunması açısından önem arz etmektedir. Bölgede 30 Ekim 2020 yılında Ege denizinde Sisam adası kuzeyinde meydana gelen Mw:6.9 büyüklüğündeki deprem sonrasında Karaburun yarımadası, Çeşme, Seferihisar, İzmir bölgelerindeki noktalarda kalıcı yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Bu nedenle bu bölgelerde yer alan noktaların koordinatlarının güncellenmesi ve yıllara göre deformasyon tespiti yapılması önem arz etmektedir. Bu kapsamda İzmir sınırlarında yer alan ve deprem öncesine ait en az 1 kampanya GNSS ölçüsü bulunan 18 adet kadastral nokta kullanılarak bir GNSS ağı oluşturulmuştur (Şekil 2).

Çalışma bölgesinde bulunan 18 noktalı GNSS ağında 30.10.2020 Mw:6.9 Sisam depremi öncesinde arasında farklı çalışmalar kapsamında GNSS ölçümleri yapılmıştır [13-16]. Daha sonra çalışma bölgesinde 30.10.2020 tarihinde Mw:6.9 büyüklüğünde Sisam depremi meydana gelmiştir.



Şekil 2. Oluşturulan GNSS ağındaki noktalar ve coğrafi dağılımları (Faylar Emre vd. 2011 [17] den alınmıştır.) (Sarı kareler pilye, mavi daireler kayada bronz tipi noktalar) (AF: Alaçatı Fayı, MoF: Mordoğan Fayı, KF: Kenelidağ Fayı, GF: Gülbağçe Fayı, YF: Yağcılar Fayı, KuF: Kuşçular Fayı, SF: Seferihisar Fayı, TF: Tuzla Fayı, GuF: Gümüldür Fayı, MF: Menemen Fayı, YFF: Yenifoça Fayı, GhF: Güzelhisar Fayı)

Deprem sonrası bölgedeki noktalarda meydana gelen deformasyonları belirlemek için 6-9 Kasım 2020 tarihleri arasında arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş ve ağda TÜBİTAK 1002C projesi desteği ile 1 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır [18]. Tüm ölçüler minimum 8 saat ve 30 saniye kayıt aralığı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. GNSS ölçümlerine ait görüntü

Elde edilen veriler GAMIT (GPS Analysis at MIT) / GLOBK (Global Kalman Filter) v10.71 yazılımı ile değerlendirilmiştir [19]. Tüm değerlendirmeler hassas uydu yörünge bilgileri (IGS Final) ile gerçekleştirilmiş olup değerlendirmeye zaman serilerinde sorun olmayan 22 adet stabil IGS istasyonu dahil edilerek global çözümler elde edilmiştir. GAMIT/GLOBK v10.71 yazılımı ile yapılan

çözümlerde kullanılan, çözüm stratejileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Değerlendirme stratejisi ve parametreleri [13-15].

Veri Toplama Aralığı	15 saniye
Uydu Yükseklik Açısı	10°
Yörünge Bilgisi	IGS Final
Anten Faz Merkezi Bilgisi	Yükseklığe Bağlı Model (IGS14_2022_plus.atx)
Yer Dönme Parametre Bilgisi	USNO_bull_b
Çözüm İçin İterasyon Sayısı	4
Kullanılan Troposfer Model	Sastamoinen öncül standart modele dayalı olarak 2 saat
Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği Çözümü	İyonosferden Bağımsız (Ionosphere-free)

3 Bulgular ve tartışma

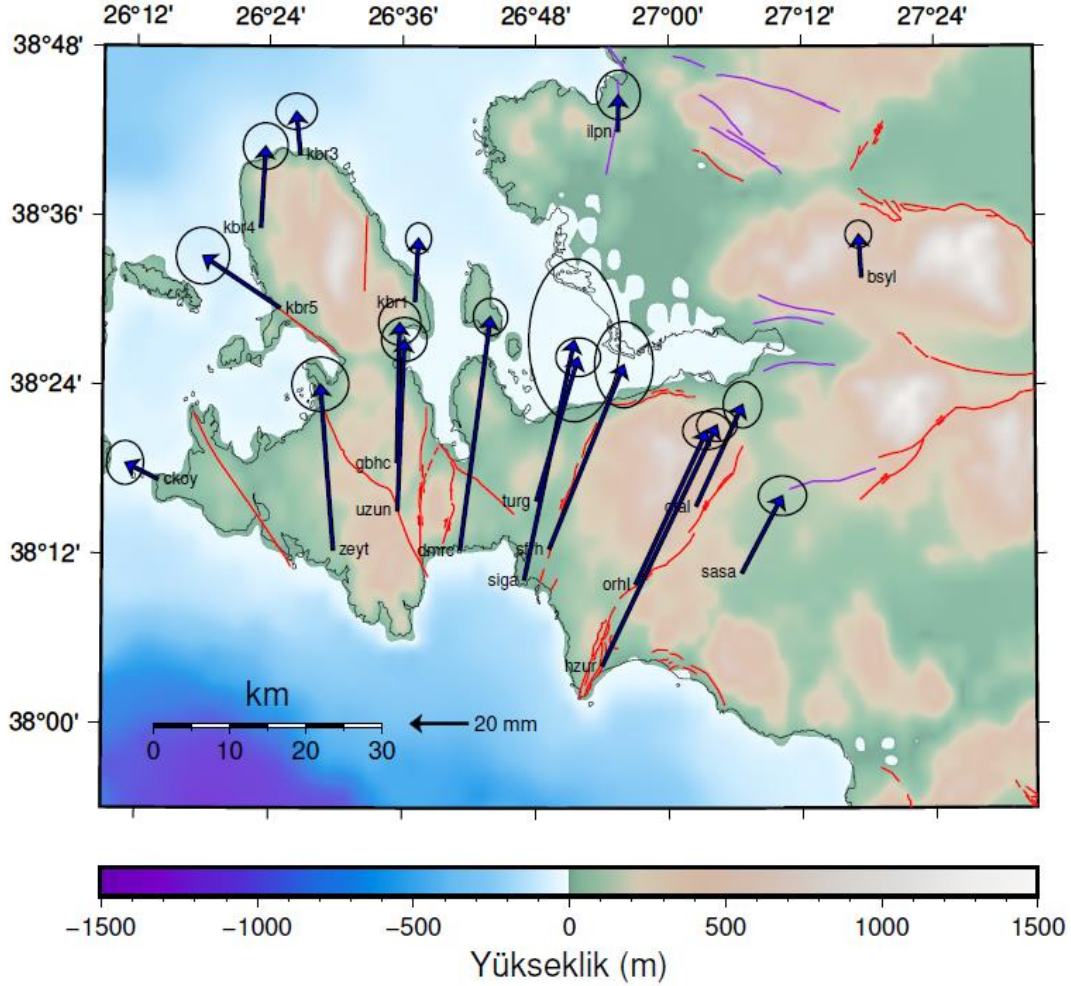
Çalışma kapsamında ağda verilen noktalarda deprem sonrası hareketleri belirlemek için 2021-2022 yıllarında 2 kampanya ölçü yapılmıştır. 2021 yılındaki kampanya ölçüleri 19.06.2021 ile 27.12.2021 tarihleri arasında, 2022 yılı ölçüleri ise 25.03.2022 ile 02.12.2022 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Her iki kampanyada da pilye tipi noktalarda minimum 8 saat, kayada bronz tipi noktalarda ise 2 gün tekrarlı minimum 8 saat 30 saniye kayıt aralıklı GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Bu ölçüler Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 121Y259 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Bu ölçülerden elde edilen veriler de yukarıda açıklanan ve Tablo 1'de yer alan strateji ile değerlendirilmiştir.

Yıkıcı büyüklükteki ($M \geq 6$) depremlerde binalar değil kademal yapılar da zarar görmektedir. 2020 yılı deprem sonrası yapılan ölçüler değerlendirmeleri yapıldıktan sonra hesaplanan depremin atım miktarları Aktuğ vd. (2021)'de yayımlanmıştır (Aktuğ vd. 2021) (Şekil 4). Bu atımlar incelendiğinde Sığacık civarında 130 mm kuzey ve 25 mm doğu yönlü deformasyonlar belirlenmiştir (Şekil 3). Depremden etkilenen bir noktanın deprem sonrası davranışı (hızının yönü ve büyüklüğü) deprem öncesine göre farklılık göstermektedir. Çünkü deprem sonrası dönem olan post-sismik dönemlerde noktalar geçmiş hızlarından farklı lineer ya da parabolik olarak hareket ederler [20]. Buna bağlı olarak bir noktanın hem deprem sonrası (post-sismik dönem) ile deprem öncesi (pre-sismik dönem) arasındaki hareketi hem de deprem sonrasında farklı zaman aralıklarındaki hareketleri birbirlerinden farklı olabilmektedir [5]. Bu dönem deprem büyüklüğüne göre 10 yıla kadar sürebilmektedir. Bu nedenle deprem sonrası bölgedeki deformasyonlar periyodik olarak incelenmelidir.

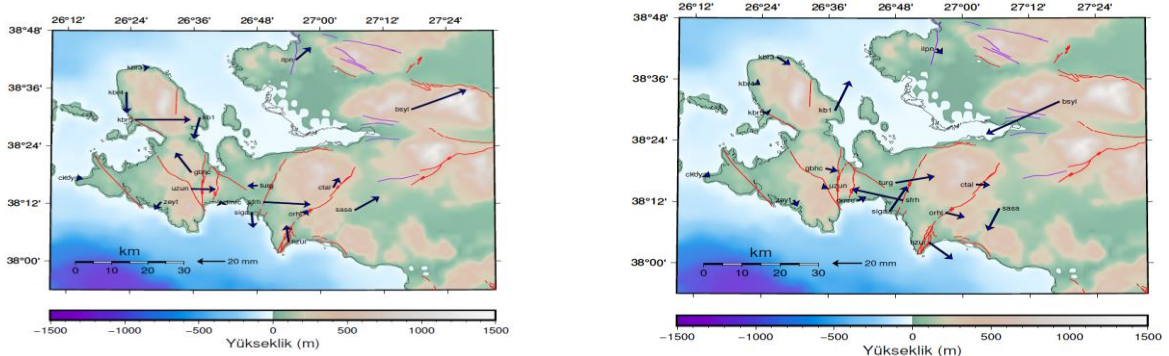
Bu çalışma kapsamında yapılan GNSS ölçülerinden 2020-2021 ve 2021-2022 yılları arasındaki ITRF sisteminde koordinat farkları hesaplanmıştır (Şekil 5a, 5b). Ölçü zamanları arasındaki farklar 1 yıl olmadığı için elde edilen koordinat farkları birim zamana dönüştürülmüş ve deprem öncesi yıllık değişimler ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5a'da gösterilen 2020-2021 koordinat farkları ~40 mm, Şekil 5b'de

gösterilen 2021-2022 koordinat farkları ~35 mm civarındadır. Elde edilen sonuçlar deprem sonrasında 1 yıl arayla hesaplanan toplam koordinat değişimlerinin büyüklük ve yönlerinin belirgin şekilde farklı olduğunu göstermektedir. Bu farkların, ilgili noktalar kullanılarak gerçekleştirilecek kadastral çalışmalarda hatalı sonuçlar elde

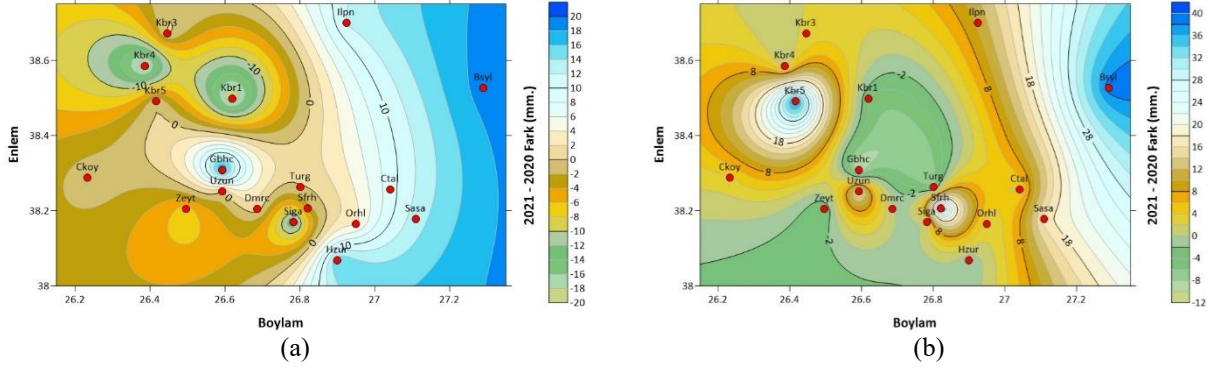
edilmesine yol açabileceği değerlendirilmektedir. Elde edilen koordinat farkları kullanılarak SURFER v20 programında bileşen bazında yüzey geçirilmiştir (Şekil 6a, 6b, 7a, 7b). Şekil 6a, 6b, 7a ve 7b incelendiğinde KBR5, SFRH ve SIGA noktalarındaki koordinat değişimlerinin yüksekliği görülmektedir.



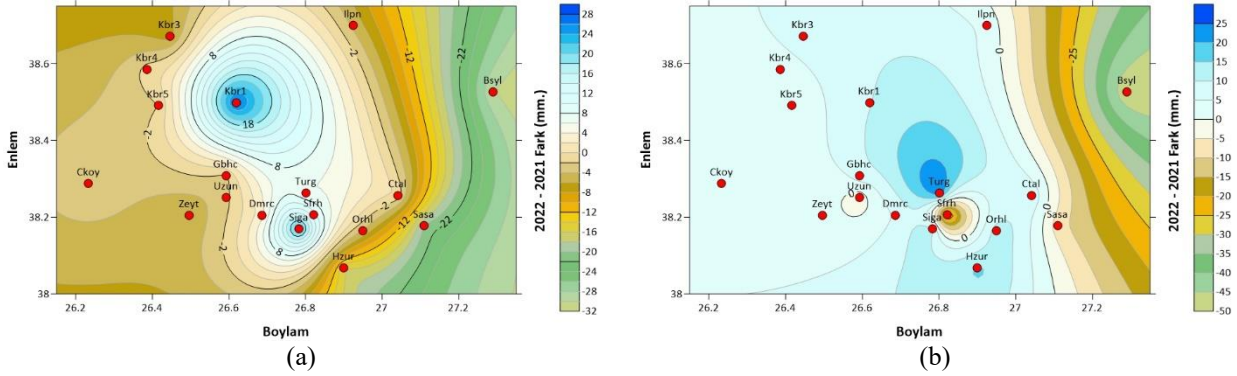
Şekil 4. 30 Ekim 2020 Sisam depremi atım miktarları [18]



Şekil 5. TUREF koordinat farkları. (a) 2020-2021 yılı (b) 2021-2022 yılı



Şekil 6. 2020-2021 yılı deformasyon yüzey haritası. (a) Yukarı bileşen farkına ait (b) Sağa bileşen farkına ait



Şekil 7. 2021-2022 yılı deformasyon yüzey haritası. (a) Yukarı bileşen farkına ait (b) Sağa bileşen farkına ait

4 Sonuçlar

Bu çalışmada 30 Ekim 2020'de Mw:6.9 büyüklüğündeki Sisam depremi sonrası bölgedeki koordinatların zamansal değişimi incelenmiştir. Aktuğ vd. (2021) tarafından depremden sonra yapılan 2020 yılı ölçüleri ile depremin kosmik etkisi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda bölgede deprem merkez üssüne en yakın nokta olan SIGA ve DMRC istasyonlarında kuzey yönlü yaklaşık 130 mm ve doğu yönlü yaklaşık 25 mm koordinat değişimleri (atım) hesaplanmıştır. Depremin merkez üssünden uzaklaştıkça koordinat değişiminin miktarlarında azalma görülmekle beraber genel olarak kuzey (yukarı) bileşende 5-90 mm arasında, doğu (sağa) bileşende ise 1-65 mm arasında değişmektedir (Şekil 4).

Sonraki yıllarda yapılan ölçülerden elde edilen koordinatlardan 2020-2021 ve 2021-2022 yılları koordinat farkları hesaplanmıştır (Şekil 4,5,6). Depremden hemen sonrasındaki yıl olan 2020-2021 yıllarındaki koordinat değişimleri incelendiğinde 1-40 mm'ye varan farklar hesaplanmıştır. Maksimum koordinat farkları deprem merkez üssüne en yakın noktalardan olan SFRH, SIGA ve KBR5 noktalarındadır. Bu noktaların hareketleri D-KD yönlü olduğu görülmektedir. BSYL noktası deprem merkez üssüne en uzak nokta olmasına rağmen yaklaşık 38 mm KD yönlü bir hareket görülmektedir (Şekil 6). 2021-2022 yılları arasındaki farklar incelendiğinde benzer şekilde deprem merkez üssü yakınındaki noktalarındaki değişimlerin büyüklük olarak yaklaşık 35 mm civarında olduğu ancak bazılarında yönsel farklılıklar (SFRH noktasında K-KB) görülmektedir. BSYL noktasında ise yine benzer büyüklükte

ancak GB yönlü hareket görülmüştür. Bu durum özellikle BSYL noktasında lokal deformasyonlar olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 7).

Büyük depremlerden sonra post sismik dönemlerde noktaların hareketlerinin deprem öncesi hareketlerden farklı olduğu bilinmektedir. Bu hareketlerin deprem öncesi hareketlerine dönebilmesi için deprem büyüklüğüne göre değişmekle birlikte uzun zaman (10 yıla kadar) geçmesi gerekmektedir [5]. 30 Ekim 2020 tarihinde Sisam depremi sonrası İzmir civarında meydana gelen deformasyonların 2 yıllık sürede farklı yön ve büyüklüklerde olduğu görülmektedir. Bu durum, özellikle kadastral çalışmalar için deprem öncesi hızlar ile post sismik dönemden koordinat taşınmasında farklı sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir. Bu nedenle özellikle büyük depremler sonrası yapılacak kadastral çalışmalarda post sismik dönemlerde sabit noktaların koordinatlarının belirli periyotlarda kontrol edilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 121Y259 numaralı TÜBİTAK Projesi tarafından desteklenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 16

Kaynaklar

- [1] B. Aktuğ, S. Seymen, M. Kurt, E. Parmaksız, O. Lenk, S. Sezer ve S. Özdemir, ED-50 (European datum-1950) ile TUREF (Türkiye Ulusal referans çerçevesi)

- arasında datum dönüşümü, Harita Dergisi, 77(146), 8-17, 2011a.
- [2] B. Aktuğ, S. Sezer, S. Özdemir, O. Lenk ve A. Kılıçoğlu, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı güncel koordinat ve hızlarının hesaplanması, Harita Dergisi, 145, 1-14, 2011b.
- [3] A. İ. Kurt, A. Cingöz, S. Özdemir, S. Peker, Ö. Özel ve M. Simav, Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) Güncel Koordinat ve Hızlarının GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesi Kapsamında Hesaplanması. Harita Dergisi, 86(164), 1-17, 2020.
- [4] S. McClusky, S. Balassanian, A. Barka, C. Demir, S. Ergintav, I. Georgiev, O. Gurkan, M. Hamburger, K. Hurst, H. Kahle, K. Kastens, G. Kekelidze, R. King, V. Kotzev, O. Lenk, S. Mahmoud, A. Mishin, M. Nadariya, A. Ouzounis, D. Paradissis, Y. Peter, M. Prilepin, R. Reilinger, I. Sanli, H. Seeger, A. Tealeb, M. N. Toksöz and G. Veis, Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics And Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, Journal of Geophysical Research, 5695-5719, 2000. <https://doi.org/10.1029/1999JB900351>
- [5] I. Tiryakioğlu, H. Yavaşoğlu, M. A. Uğur, Ç. Özkaymak, M. Yılmaz, H. Kocaoğlu and B. Turgut, Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van Earthquakes Using Long-Term GNSS Time Series, 2017. Earth Science Research Journal, 21, (3), 147-156, 2017. <https://doi.org/10.15446/esrj.v21n3.62812>
- [6] F. Poyraz, K. O. Hastaoğlu, F. Koçbulut, İ. Tiryakioğlu, O. Tatar, M. Demirel, H. Duman, C. Aydın, A. F. Çiğir, O. Gursoy, T. Turk and R. Sıgırcı, Determination Of The Block Movements In The Eastern Section Of The Gediz Graben (Turkey) From Gns Measurements, (2019). Journal of Geodynamics, 123, 38-48, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2018.11.001>
- [7] İ. Tiryakioğlu, C. O. Yiğit, Ç. Özkaymak, T. Baybura, M. Yılmaz, M. A. Uğur, M. A. Yalçın, F. Poyraz, H. Sözbilir and E. Güllal, Active Surface Deformations Detected By Precise Levelling Surveys In The Afyon-Akşehir Graben, Western Anatolia, Turkey GEOFİZİKA, VOL. 36, NO. 1, 33-52, 2019. <https://doi.org/10.15233/gfz.2019.36.4>
- [8] H. H. Yavasoglu, I. Tiryakioglu, M. F. Karabulut, E. E. Eyubagil, A. Ozkan, F. Masson, E. Klein, V. E. Gulal, R. M. Alkan, M. N. Alkan, M. Isiler and A. E. Arslan, New Geodetic Constraints to Reveal Seismic Potential of Central Marmara Region, Turkey, "Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 62, n. 3, pp. 513-526, 2021. <https://doi.org/10.4430/bgta0351>
- [9] O. Doğan, H. İ. Solak, E. E. Eyübagil, Ç. Özkaymak ve İ. Tiryakioğlu, Bozkurt (Denizli) Depremi Sonrası (Mw=6.0, 08.08.2019) GNSS Ölçüleri ile Kosismik Deformasyonların Belirlenmesi, AKÜ FEMÜBİD 21 025502 (362-373), 2021. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.864937>
- [10] C. Gezgın, S. Ekercin, İ. Tiryakioğlu, B. Aktuğ, H. Erdoğan, E. Gürbüz, O. Orhan, S. S. Bilgilioglu, A. T. Torun, H. İ. Gündüz, O. Oktar, C. Türkmen and E. Kaya, Determination Of Recent Tectonic Deformations Along The Tuz Gölü Fault Zone In Central Anatolia (Turkey) With Gns Observations, Turkish J Earth Sci, 31, 20-33, 2022. <https://doi.org/10.3906/yer-2108-10>
- [11] E. E. Eyübagil, Ş. Şafak Yaşar, E. B. Çakanşimşek, H. Duman, H. İ. Solak, A. Özkan, C. Gezgın, H. H. Yavaşoğlu, İ. Tiryakioglu, F. Poyraz, B. Aktuğ, C. Ö. Yiğit, Ç. Özkaymak, ve H. Özener, 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw:7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw:7.6) Depremlerinin GNSS Gözlemlerine Bağlı Öncül Sonuçları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23 (1), 160-176, 2023. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1251601>
- [12] S. Yalvaç, Determining the Effects of the 2020 Elazığ-Sivrice/Turkey (Mw 6.7) Earthquake from the Surrounding CORS-TR GNSS Stations, Turkish Journal of Geosciences, 1(1), 15-21, 2020.
- [13] E. E. Eyübagil, GNSS Ölçüleri ile Tektonik Hareketlerin Modellenmesi: Gülbahçe Fayı Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2020.
- [14] S. Kavak, GNSS Ölçüleriyle Fayların İzlenmesi: Karaburun Fayı Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2020.
- [15] H. İ. Solak, 2020, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu ve Çevresindeki Güncel Deformasyonların GNSS Yöntemi ile Güncellenmesi, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2020.
- [16] E. E. Eyübagil, H. İ. Solak, U. S. Kavak, İ. Tiryakioğlu, H. Sözbilir, B. Aktuğ and Ç. Özkaymak, Present-Day Strike-Slip Deformation Within The Southern Part Of İzmir Balıkesir Transfer Zone Based On GNSS Data And İmplications For Seismic Hazard Assessment, Western Anatolia, Turkish Journal of Earth Science, (2021) 30: 143-160, 2021. <https://doi.org/10.3906/yer-2005-26>
- [17] Ö. Emre, S. Özalp, 1: 250,000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Urla (NJ 35-7) Paftası, Seri No: 5, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2011.
- [18] B. Aktuğ, I. Tiryakioglu, H. Sözbilir, H. Özener, Ç. Özkaymak, C. O. Yiğit, H. İ. Solak, E. E. Eyübagil, B. Gelin, O. Tatar and M. Softa, GPS Derived Finite Source Mechanism of the 30 October 2020 Samos Earthquake, Mw=6.9 in Aegean extensional region. Turkish J Earth Sci. (2021) 30: 718-737, 2021. <https://doi.org/10.3906/yer-2101-18>
- [19] T. A. Herring, King, R. W., & McClusky, S. C. (2010). Introduction to gamit/globk (Vol. 37).
- [20] C. Gezgın 2020, GNSS ve INSAR Teknikleri İle Tuz Gölü Fay Zonu'nun (TGFZ) Kinematik Analizi. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

