Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **20** (2020) 035505 (479-486) AKU J. Sci. Eng. **20** (2020) 035505 (479-486)

DOI: 10.35414/akufemubid.711658

Araştırma Makalesi / Research Article

Kuzey Anadolu Fayı İznik-Gemlik Segmentlerindeki Yerkabuğu Hareketlerinin GNSS Ölçmeleri ile İncelenmesi

Hüseyin Onur YILMAZ

Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.

e-posta: onur.yilmaz@boun.edu.tr. ORCID ID 0000-0002-0436-5109

Geliş Tarihi: 30.03.2020 Kabul Tarihi: 18.06.2020

Anahtar kelimeler
Kuzey anadolu fayı; İznik-Gemlik fay segmenti; GNSS; Tektonik; Deformasyon analizi

Öz

Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara bölgesindeki yerbilimcilerin en fazla ilgi gösterdiği bölgelerden bir tanesidir. GNSS teknikleri yardımıyla hem fayın kilitlenme derinliği, hem de fayın neden olduğu deformasyon belirlenebilmektedir. Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fayı'nın güney kolunda, İznik-Gemlik arasında kalan bölgede, kuzey-güney profili doğrultusunda 8 noktadan oluşan bir ağ oluşturulmuş, 2 kampanya gözlem yapılmış ve öncül sonuçlar elde edilerek güncel hız alanı ve gerinim birikimine dair ihtimaller değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, çalışma bölgesinin bir bölümünde uzun yıllardır yapılmakta olan GNSS ölçme değerlerinden elde edilen vektörlerin yönleriyle uyumlu olduğunu görülmüştür. Ayrıca, fay düzlemine dik şekilde tasarlanan profil ölçmelerinin kitlenme derinliği hakkında bilgi vereceği konusunda öncül fikirler edinilmiştir.

Monitoring fault activities by means of geodetic observations on the Iznik and Gemlik segments of the North Anatolian Fault

Keywords
North Anatolian fault; İznik-Gemlik fault segment; GNSS; Tectonics; Deformation analysis

Abstract

Marmara segments of the North Anatolian Fault Zone has an attraction region by the geoscientists. Using GNSS techniques allows us to detect not only the locking depth but also the deformation caused by fault movement. In this study, we have set up a network with 8 stations in the Iznik-Gemlik region and made 2 campaign observations in order to evaluate the up-to-date velocity field and strain accumulation through North-south profiles and evaluated the results. From the results obtained, it was observed that vectors obtained from GNSS measurement values, which have been done for a long time in a part of the study area, are compatible with vector directions. In addition, preliminary ideas were obtained that the profile measurements designed as perpendicular to the fault plane would provide information about the depth of fault locking.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

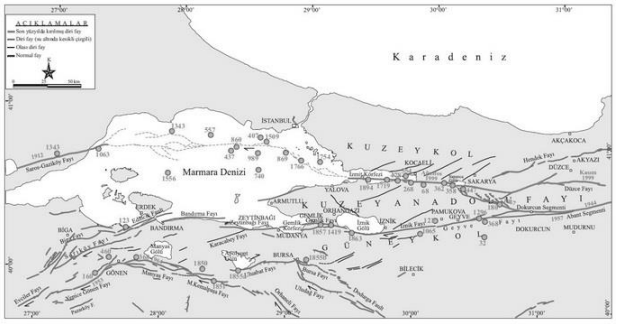
1. Giriş

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), 1600 km'ye yakın uzunlukta, Avrasya sabit bakış açısıyla Anadolu plakasının batıya doğru hareket etmesine neden olan sağ-yanal doğrultu atımlı, aktarıcı bir faydır (Ketin 1957, Şengör 1979). KAF, Karlıova çıkış noktasından segmentler halinde Türkiye'nin batısına dek uzandıktan sonra, Marmara bölgesinin doğusunda iki kola ayrılmaktadır

Yerbilimcilerin yoğun ilgi gösterdiği çalışma alanlarından birisi olan KAF, deprem katalogları incelendiği zaman, sürekli tekrarlanan ve doğu batı yönünde ilerleyen büyük depremlerin kayıt edildiği bir yapıya sahiptir. 1939 yılından başlayarak 1999 yılına dek bu fayda meydana gelen 9 büyük deprem sonrasında tüm fay hattı boyunca toplamda 1100 km uzunluğuna varan yüzey faylanması tespit edilmiştir. Bu deprem silsilesi süresince deprem yaratan segmentler, komşu segmentlere stres aktarımı yaparak sonraki depremlerin tetikleyicisi olmuşlardır. (Ambraseys 1970, Toksöz vd. 1979, Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Stein *et al.* 1996).

KAF, Bandırma ile Dokurcun Vadileri arasında kalan bölgede güney kolu sağa yönelik sıçramalardan oluşan segmentlerle birbirinden ayrılarak, doğu batı yönünde Geyve, İznik ve Gemlik şeklinde

adlandırılan üç ana fay segmentine ayrılır. Marmara bölgesi genelinde tektonik hareketler, çoğunluğu KAF'ın kuzeyde kalan kolunda oluşmaktadır. Bu kol 24±1 mm/yıl hız üretmektedir. (McClusky *et al.* 2003, Reilinger *et al.* 2006). GPS verileri güney kolda 5 mm/yıl kayma hız göstermektedir ve KAF'ın üretmiş olduğu yatay hareketlerin dörtte birine karşılık gelmektedir. (Meade *et al.* 2002). Tarihsel veriler kuzey kol boyunca çok daha yoğun bir sismik aktivitenin varlığını göstermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Marmara Bölgesinde Yer Alan Aktif Faylar Ve Son İkibin Yıl İçerisinde Gerçekleşmiş Büyük Deprem (Ms>6,8) Merkezlerinin Dağılım Haritası. (Özalp vd. 2013)

Kuzey kolda meydana gelen 17 Ağustos 1999 İzmit (Mw 7,4) ve 12 Kasım 1999 Düzce (M_w 7,1) depremlerinin ardından stresin aktarıldığı Marmara Denizi içerisinde deprem tehlikesinin artış gösterdiği konusunda yerbilimciler arasında fikir birliği oluşmuştur.

İzmit ve Düzce depreminde kırılma gerçekleşmeyen güney kolu dikkat çekici bir bölgedir. Tektonik hareketliliğin çok uzun zamandır gerçekleşmemesi nedeniyle güney kol fayın kitli olduğu düşünülmektedir. Bir bölgede deprem olabilmesi için enerjinin birikmesi, fayın iki yanındaki bloğun fay düzlemi boyunca birbirine yapışarak sabitlenmesi yani kitlenmesi gerekmektedir. Böylesi bir durum bu bölgenin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Az sayıda yapılan paleosismolojik çalışmalarda güney kol üzerinde yüzey kırığına neden olan büyük depremleri tespit edilmiştir. Fakat elde edilen bu sonuçlar, güney kol üzerinde gerçekleşen büyük depremlerin yinelenme aralığını ve depremsel karakteristiğini ortaya koymaya yetmemektedir. Güney kol üzerinde 7,0 ve üzeri büyüklüğünde depremlerin yinelenme aralığının 600 ila 1000 yıl arasında olduğu öne sürülmektedir (Utkucu vd. 2011). Çizelge 1'de Kuzey Anadolu Fayı güney kolunda gerçekleşen büyük tarihsel depremler yer almaktadır.

Şiddet skalasına göre bilinen en son şiddetli deprem, 1863 tarihinde Bursa-İznik civarında gerçekleşen depremdir. Bu depremden 13 yıl önce Bursa-Gemlik-Mudanya üçgeni içerisinde gerçekleşen tahmini büyüklüğü 6.6 olan deprem ise daha şiddetli bir deprem olarak kayıtlara geçmiştir. Şiddet skalasında bilinen son şiddetli deprem ise 1897 tarihinde Gemlik'te gerçekleşmiştir.

Pamukova havzasından İznik Gölü'ne uzanan bölgeyi kapsayan İznik fay segmenti 56 km uzunluğundadır. Her iki ucundan çek-ayır havzalarıyla sınırlandırılmış olan fay boyunca mevcut olan fay gölcükleri, drenaj, kapatan sırtlar, faya ilişkin Kuvaterner-Holosen aktifliğini gösteren morfolojik yapılardır (Honkura ve Işıkara 1991). İznik Gölü ile Mekece arasında kalan bölgede Kuvaterner çökellerinin doldurduğu ve baskın doğrultu atım morfolojisi güney kenarını takip eder. Fay, İznik Gölü'nün güney kıyısı doğrultusunda sağa sıçramalı bir geometri ile bölümlere ayrılır. Çek-ayır havzasında yerleşmiş olan göl çöküntü alanı, İznik ile Gemlik segmentleri arasında meydana gelmiştir (Barka ve Kadinsky- Cade 1988). Öztürk vd. 2009'ye göre fay, İznik Gölü içerisinde, bu havzanın güney kenarını izlemektedir. İznik Gölü'nün güneyinde ise fay eğim atım bileşenlidir (Ikeda *et al.* 1991).

Gemlik fay segmenti, Gemlik Körfezi ve İznik Gölü havzaları arasındaki bölgeyi kapsamaktadır. Doğu-Batı doğrultulu fayın karada kalan kısmı 15 km uzunluğundadır, sualtında kalan kısmını dikkate aldığımızda toplamda 40 km'ye ulaşır. 99 depremlerinin ardından, KAF'ın batı yönünde ilerleyen deprem göçünün ağırlıklı olarak kuzey kol üzerinde devam edeceği varsayılmaktadır. Ancak güney kolda yer alan fay segmentleri de düzensiz büyük depremler üretmektedir ve kuzey kolun oluşturduğu depremlerden çok farklı olmayan büyüklüklerde deprem üretme potansiyeli olduğu tarihsel kayıtlara baktığımızda bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Jeodezi Anabilim Dalı,

1988 yılından itibaren Marmara Bölgesinde yersel jeodezik yöntemlerle ölçmelere başlamıştır. Doksanlı yılların ortasından itibaren, ülkemizde ilk sivil GPS (Küresel Konum Belirleme Sistemi) gözlem cihazlarını demirbaşına ekleyen ilk üniversite ve anabilim dalı olarak, jeodinamik amaçlı gözlemlerde kullanmaya başlamıştır. 1999 İzmit depremi öncesi ve sonrasında yapılan gözlemler ile fayın karakteristiğine dair veriler elde edilmiştir.

Çizelge 1. Kuzey Anadolu Fayının Güney Kolu Üzerinde Meydana Gelen Büyük Tarihsel Depremler. (soru işareti ile gösterilen kısımlar, bilinmeyen ya da kesin olmayan bilgileri ifade etmektedir.). Kaynaklar; (a) Pınar ve Lahn 1952; (b) Ergin vd. 1967; (c) Soysal vd. 1981; (d) Ambraseys ve Finkel 1991; (e) Guidoboni vd. 1994; (f) Ambraseys ve Jackson 1998; (g) Ambraseys 2002.

No	Tarih	Koordinat	Yer	Büyüklük (Ms)	Şiddet (I_o)	Kaynaklar
1	??.??.29 veya 24.11.29 (*e*)	40,50K – 28,90D	İznik, İzmit İznik (*e*)	?	IX IX≤ I_o ≤XI (*e*)	*a, b, e*
2	??.??.32	40,50K - 30,50D 40,60K – 29,90D	İznik	7,0 (*g*)	? VII	*d, g*
3	??.??.68 (g) veya ??.??.69	40,70K – 30,00D (*g*)	İznik, İzmit	7,2 (*g*)	VIII≤ I_o ≤X (*e*)	*a, b, e, g*
4	??.??.121/122 veya ??.??.120/128 (*e*)	40,60K – 29,90D	İzmit, İznik	?	VII IX≤ I_o ≤XI (*e*)	*a, b, d, e*
5	03.05.170 veya 03.05.181 (*e*)	40,10K – 28,00D	Bandırma, Erdek, Gemlik İzmit (*e*)	?	IX VIII≤ I_o ≤X (*e*)	*a, c, e*
6	02.12.362	?	İznik	?	VIII-IX	*e*
7	11.10.368	40,40K – 29,70D (*c*) 40,50K – 29,50D (*f*) 40,50K – 30,50D (*g*) 40,40K – 28,90D	İznik Persis (Geyve?) (g)	7,0<Ms<7,8 (*f*) 6,8 (g)	VII (*c*) IX≤ I_o ≤XI (*e*)	*c, d, e, f, g*
8	??.??.715	40,40K – 29,70D (*c*)	İznik, Gemlik	?	IX	*a, b, c*
9	26.10.740	?	İstanbul, İznik, İzmit	?	IX≤ I_o ≤XI	*e*
10	23.09.985	40,40K – 28,90D	İznik, Bandırma, Erdek	?	VIII	*a, c*
11	23.09.1064 veya ??.09.1065 (g)	40,40K – 28,90D 40,40K – 30,00D (*g*)	İznik, Bandırma, Erdek	6,8 (*g*)	IX VIII (*b*)	*a, b, c, g*
12	01.06.1296	40,50K – 30,50D	Bithynia *	7,0	VIII (*c*)	*c, g*
13	15.03.1419	40,50K – 30,50D 40,40K – 29,30D (*g*)	Geyve ? Bursa (g)	7,0<Ms<7,8 7,2 (*g*)	?	*f, g*
14	11.04.1855	40,20K – 29,10D (*c*) 40,30K – 29,10D (*f*)	Bursa Gemlik, Mudanya (*d*)	6,6 (*f*)	X (*c*)	*c, d, f*
15	17.09.1857	?	Gemlik	?	?	*d*
16	04.06.1860	40,20K – 29,10D	Bursa	?	VII	*c*
17	06.11.1863	?	Gemlik, Umurbey, Bursa İznik (*d*)	?	IX (*c*)	*c, d*
18	16.01.1895 veya 21.01.1895 (*c*)	40,44K – 29,70D 40,40K – 29,70D (*c*)	İznik	?	V	*b, c*
19	14.03.1897	40,40K – 29,10D	Gemlik	?	V	*c*

GNSS gözlemleriyle elde edilen bulgular çalışma bölgesindeki sismik tehlikelerin değerlendirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Deprem bölgelerinde meydana gelen deformasyonların tespit edilmesinde jeodezinin sağladığı katkı; meydana gelen hareketin yönünü ve hızını üç boyutlu bir şekilde belirlemek, deformasyon vektörünü sistematik ve sistematik olmayan bileşkelere ayırmak ve bulunan sonuçları deprem bilimcilerin yorumlarına sunmaktır.

Deprem sırasında meydana gelen yer değiştirme, fay üzerindeki derinliği ve atım miktarı ile bağıntılı olarak değişir. GNSS ölçmeleri sayesinde fayın kilitli olduğu derinliği belirlenebilmekte, GNSS ölçmeleri ile hesaplanan hız vektörleri yardımıyla bölgenin gerinim miktarı hesaplanmakta ve bu sayede sismik tehlike analizi yapma imkânı bulunabilmektedir.

2. Materyal ve Metot

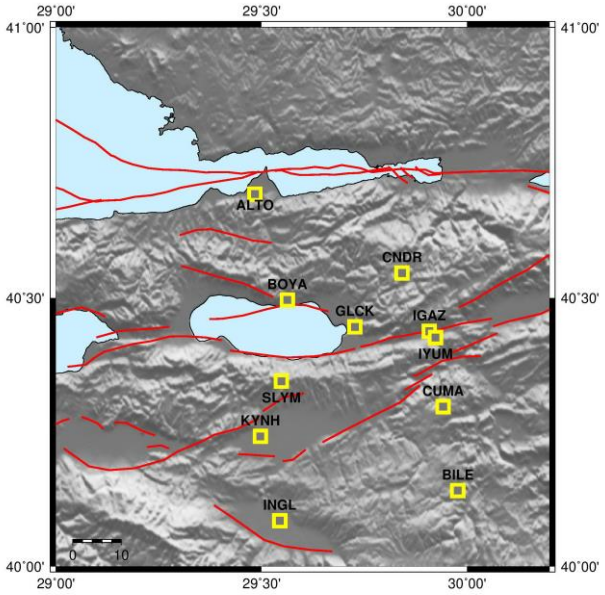
Bu çalışmada, BÜ KRDAE Jeodezi Anabilim Dalı tarafından kurulmuş olan İznik mikrojeodezik ağı içinde yer alan noktalardan da yararlanarak, yerbilimciler tarafından çok seyrek çalışılmış bir alan olan İznik-Gemlik arasında, dikey profillerden oluşan bir GPS ağı oluşturularak deformasyon analizine yönelik olarak 2017 ve 2018 yıllarında 2 kampanya ölçme yapılmıştır. İlerleyen yıllarda çalışmanın devamı getirilmesi amaçlanarak, zamana bağlı güncel hız alanını ve gerinim birikimini tespit etmek bir hedef olarak belirlenmiştir.

İlk aşamada, ölçmelerde kullanılmak üzere çalışma bölgesinde mevcut bulunan çeşitli kurumlara ait beton pilyelerin mevcudiyeti sorgulanmıştır. Öncelikle, Tapu-Kadastro Genel Müdürlüğü ve bölge belediyeleri ile iletişime geçilmiş, kurumlardan temin edilen yer noktalarının koordinatları ile çalışma bölgesinde bir istikşaf çalışması yapılmıştır. Ölçme planına uygun dağılım gösterebilecek yer noktaları belirlenerek sahada tespit edilmek üzere araştırılmıştır. İstikşaf çalışmasında bu istasyonların büyük bir kısmının kullanılamaz olduğu, bir kısmının tamamen yok olduğu (yol çalışması, erozyon, İznik gölü su seviyesinin yükselmesi sonucu bazı noktaların su altında kalması), bir kısmının da jeolojik zeminlerinin uygun olmadığı belirlendikten sonra en uygun durumda olanlar tercih edilmiştir.

2.1 Gözlem Planının Oluşturulması

İstikşaf sonrasında belirlenen ve ölçülmesi planlanan yer noktalarının fay düzleminde dikey bir profil oluşturabilecek olanları tespit edilmiştir.

Bunun asıl amacı deformasyonların fayın yakın ve uzak alanlarındaki dağılımını görmek ve hız alanını tanımlayan modeli belirlemektir. Bu amaçla genişleyen deformasyon örüntüsünü gözlemleyebilmek adına fayın çok yakınında, daha uzağında ve en uzağında dikey profil oluşturulması hedeflenmiştir. İstikşaf çalışması sonrasında İznik-Gemlik hattında doğu batı yönünde iki dikey profil oluşturulmuştur (Şekil 2). Oluşturulan profil 75 x 90 km'lik bir alanı kapsayıp toplamda 11 noktadan meydana gelmektedir. Bu noktalardan 4 tanesi sabit istasyondur. Sabit istasyonlardan birisi Bursa Belediyesi Sabit GNSS Ağına aittir, diğeri Türkiye Sabit GNSS Ağı (TUSAGA-Aktif) istasyonudur. Diğer iki istasyon ise anabilim dalımız tarafından 2016 yılında kampanya noktasından sabit GNSS noktasına dönüştürülen IGAZ ve IYUM istasyonlarıdır.



Şekil 2. İznik ve Gemlik Segmentleri Üzerinde Belirlenmiş Olan İki Ayrı Dikey Profildeki Noktalar.

2.2 GNSS Gözlemlerinin Gerçekleştirilmesi

İstasyonların kesinleştirilmesi sonrasında 24 Mayıs 2017 tarihinde ve 4 Temmuz 2018 tarihinde GNSS gözlem kampanyaları gerçekleştirilmiştir. Kampanyaların ilk gününde İznik segmenti üzerindeki noktalarda gözlem yapılmıştır. Bu profilde 3 adet kampanya noktası ve 3 adet sabit GNSS istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlarda eş zamanlı olarak 8 saat süresince kesintisiz ölçme yapılmıştır. İkinci günde ise Gemlik segmenti üzerinde bulunan 4 kampanya noktası ve 1 sabit GNSS istasyonunun ölçmeleri yapılmıştır. Kampanya ölçmelerinde Trimble 4000 SSI cihazları ve Trimble Permanent L1/L2 antenleri kullanılmıştır. Sabit istasyonların o gün o saatlere dair kayıtları ilgili kurumlardan temin edilmiştir.

2.2 Verilerin Analizi

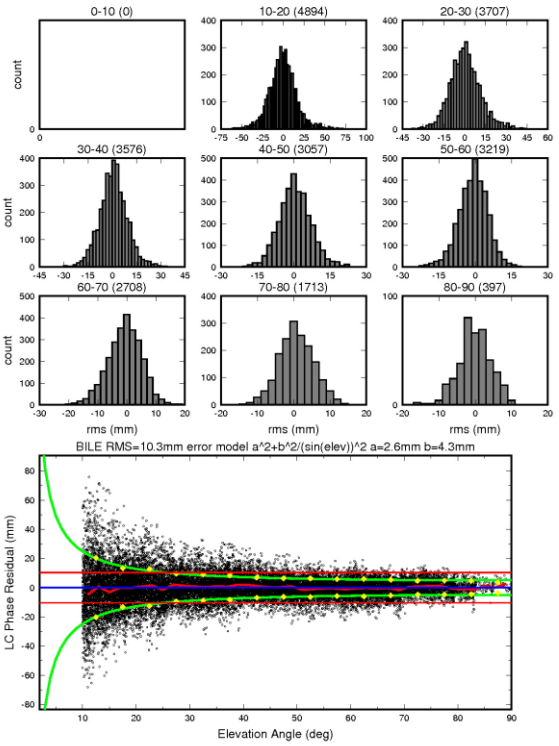
Ölçmeler sonrasında elde edilen tüm veri ve bilgiler MIT tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK (Herring *et al.* 2010) akademik yazılımı kullanılmıştır.
Hassas yörünge bilgisi, Uluslararası GPS Servisi (IGS) tarafından SP3 formatında, SOPAC adresinden alınmıştır. USNO değerleri ile Yer dönme parametreleri hesaplanmıştır. Değerlendirmeye IGS istasyonlarından 15 tanesi dahil edilmiştir. Bu istasyonların 6 tanesi ölçme zamanı ile uyuşumludur (Çizelge 2). Referans sistemi tanımı ITRF2008 koordinat çözümü ile yapılmıştır. Hesaplamalarda dokuz parametreli Berne modelinden yararlanılmıştır. Scherneck modeli Okyanus yüklemesi etkisini hesaplamada kullanılmıştır.

Saastamoinen öncül standart troposfer modeli temel alınarak Zenith gecikme bilinmeyenleri iki saatlik aralıklar ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda L1 ve L2 taşıyıcı dalga fazlarının iyonosfer-bağımsız LC (L3) doğrusal kombinasyonundan yararlanılmıştır. Anten faz merkezleri hesaba dahil edilirken yüksekliğe bağlı model seçilmiştir.
GAMIT çözümleri sonrasında elde edilen zorlamalı ve gevşek günlük çözümler ITRF 2008 referans sisteminde, 15 IGS noktası dahil edilerek 7 parametreli (3 dönüklük, 3 öteleme 1 ölçek) dönüşümle yapılmıştır. Günlük hassas koordinatlar Kalman analizi ile birleştirilmiş, trend analizi ile istasyonların hızları elde edilmiştir.

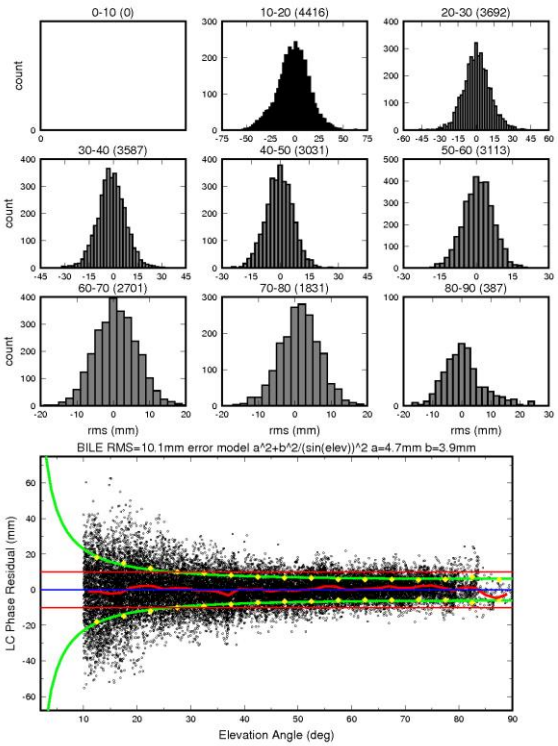
3. Bulgular

Sabit istasyonlarda yapılan ilk ölçmelerin GLOBK ile hesaplanan ilk koordinat değerleri Çizelge 3'deki gibidir. GAMIT ile hesaplanan baz çözümleri ise Çizelge 3'de verilmiştir. Örnek olarak BILE

istasyonunun günlük ölçümünün RMS değerleri - İlk ölçüm Şekil 3'de ve ikinci ölçüm Şekil 4'de gösterilmiştir. Histogramlar yükselme açıları için toplanan veri miktarlarını göstermektedir. Tekrarlı yansımaların önlenmesi açısından 10 ° altında veri toplanmadığı şekilde görülmektedir. Alt kısımdaki grafik ise LC faz artanları arasındaki ilişkiyi topluca göstermektedir. Düz çizgi 1-sigma aralığını, mavi çizgi, ortalamayı, pembe çizgi ise orta değerden sapmayı, yeşil çizgi ise şeklin üzerinde tanımlı olan bağıntı ile kestirilen bu noktaya ait gürültü modelini temsil etmektedir. Veri işlemde bu eğrinin dışındaki noktalar bozuk yansımalar nedeniyle atılmıştır. Özetle bu görseller, bir noktanın veri toplama potansiyelini göstermektedir. Bu örnekte ise seçilen noktada sıfır civarında dengeli bir salınım olduğu için bozucu yansıma (multipath) olmadığı, anten modelin doğru monte edildiği ve ek artanlar oluşturmadığı görülmektedir.



Şekil 3. BILE istasyonunun 1. ölçüm günlük ölçümünün RMS değerleri



Şekil 4. BILE istasyonunun 2. ölçüm günlük ölçümünün RMS değerleri

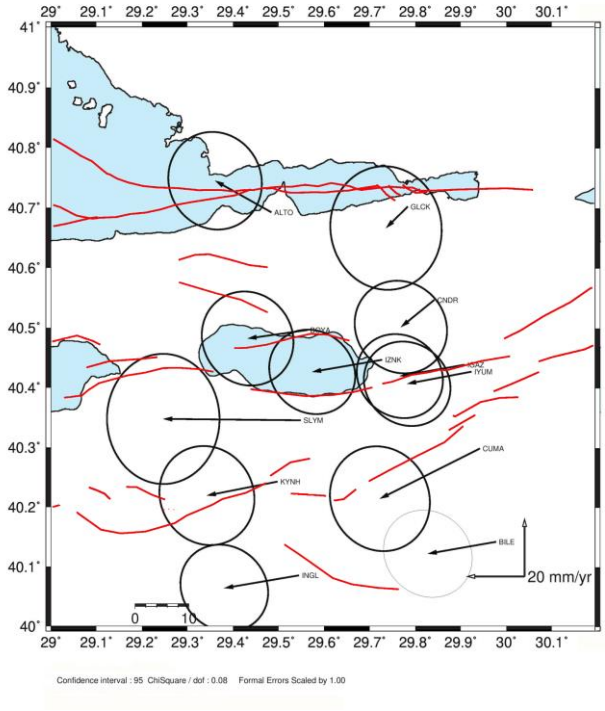
Çizelge 2. Çözümde kullanılan referans (IGS) istasyonları

İst.	v_d *(mm/yr)*	v_k *(mm/yr)*	σ_{Vd} *(mm/yr)*	σ_{Vk} *(mm/yr)*	ρ_{VdVk}
BILE	-23.42	-23.42	6.22	6.09	-0.106
CUMA	-34.29	-17.15	7.01	7.32	-0.073
IYUM	-22.06	-4.13	6.07	5.90	-0.106
IGAZ	-22.18	-3.89	6.04	5.87	-0.105
CNDR	-11.45	-9.26	6.48	6.47	-0.081
GLCK	-7.45	-7.33	7.81	8.63	-0.032
IZNK	-23.98	-4.12	6.03	5.90	-0.099
BOYA	-20.48	-2.91	6.43	6.57	-0.072
SLYM	-47.15	0.47	7.89	9.09	-0.004
INGL	-25.60	-4.35	6.15	6.07	-0.104

Çizelge 3. GLOBK ile hesaplanan hız kestirimleri

İstasyon	Boylam (°)	Enlem (°)	r_d (mm/yr)	r_k (mm/yr)	σ_{rd} (mm/yr)	σ_{rk} (mm/yr)
JOZE_2PS	21.03154	52.09728	-2.94	-1.11	1.26	1.50
KIRU_5PS	20.96845	67.85735	-1.04	-4.06	0.79	1.55
POTS_5PS	13.06609	52.37930	-0.09	0.40	0.99	1.24
ONSA_4PS	11.92552	57.39530	-0.62	-0.43	0.90	1.21
ZIMM_2PS	7.46528	46.87710	0.61	0.78	0.84	1.03
GRAS_4PS	6.92058	43.75474	1.96	3.62	0.85	1.15

Şekil 5'de ise 2017 ve 2018 yıllarında yapılan ölçümlerin Avrasya levhasına GPS hızlarını ve % 95 güven elipslerini göstermektedir.



Şekil 5. 2017 ve 2018 yıllarında yapılan ölçümlere ilişkin yatay yer değiştirme vektörleri ve güven elipsleri

4. Tartışma ve Sonuç

2017 ve 2018 yılında gerçekleştirilen ölçümlerin dengelemeleri, detaylı analizleri yapıldıktan sonra yapılan değerlendirmeler şu şekildedir:

Faya uzak noktalardaki gözlemler ile sağ yanal atılımlı Kuzey Anadolu Fayının genel blok davranışını (bu çalışma özelinde levha hızını) gözlemlemek mümkün olmuştur. Elde edilen sonuçların sağlıklı olması için gözlemlerin sürdürülmesi gerekmektedir.

İstasyonlar gözlemler öncesi titizlikle seçildiği ve ardından ölçüldüğü için gözlem yapılan fayda gerçekleşen tüm deformasyonun faydan kaynaklandığı ve bloğun esnek davranmadığı kabul edilmektedir. Fay üzerinde birikmiş olan yamulmayı (gerinimi) derinliğin bir fonksiyonu şeklinde tanımlayabilmek için, fay düzlemine dik şekilde ve ayrıca kilitlenme derinliğinin yaklaşık 2 katı civarında alanı kapsayacak şekilde profiller oluşturmanın en uygun yaklaşım olduğu sonucuna varılmıştır.

Yatay yer değiştirme vektörleri ve güven elipslerini incelediğimizde, bölgenin çok dar bir alanında 15 yıldan fazla zamandır yapmakta olduğumuz GNSS gözlemlerinden (Özener vd. 2013) elde ettiğimiz vektörlerin yönleriyle uyumludur. Şekil 5'de GNSS hızlarının bazı noktalarda anlamsız değerler göstermesi, bu çalışmada yeterli sayıda kampanya ve gözlem yapılamaması ile alakalıdır. Zaman içerisinde gözlem ve kampanya sayısı arttıkça elipsler küçülecek ve anlamsız değerler çıkmayacaktır.

Vektörlerin dönüklükleri ise geniş bir makaslama zonu olan Marmara'daki açılma bileşenin devreye girmesinden kaynaklı olduğu açıktır, bunu tüm Marmara bölgesiyle ilgili yayınlanmış tüm hız bilgilerinde görmekteyiz. İlerleyen zamanlarda yapılacak yeni gözlemlerle faya paralel hızlara bakılarak daha anlamlı yorumlar mümkün olacaktır. Çalışmaya dâhil edilen TUSAGA-Aktif noktalarında hesaplanan hızların, yayınlanmış güncel hızlar ile uyumlu olduğu görülmüştür (Özdemir 2016).

Blok sınırlarının belirlenmesinde kullanılan verilerin blok içindeki dağlımı son derece önemlidir. Oluşturulan blokların kontrolü için, blok içerisinde homojen dağılmış veriler (bu çalışmada tasarlanmış ölçme planı ve istasyonların yerleri) amaçlanan sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır.

Sağ yanal atılımlı faydaki doğu-batı yönündeki kayma değerlerin yapılan ölçmelerle belirlenmesine rağmen, projenin süresi 2 yıl ile sınırlı kaldığı için, en az 3 yıllık bir ölçme süreci ile elde edilebilen dikey profildeki statik deformasyon değişimleri tespit etmek mümkün olamamıştır. Daha uzun

süreli gözlemler sonucu belirlenecek deformasyonların, ne kadarının elastik deformasyonlara bağlı olduğunu ve elastik yaklaşımlar ile modellenme olanağı bulunmayan viskoelastik deformasyonların ilişkisi de kurulabilecektir. Ölçümlerin ilerleyen yıllarda sürdürülmesi halinde faya yakın noktalardan elde edilecek gözlemlerle fayın kitli olduğu derinlik hakkında bilgi sahibi olunabilecektir.

Bu çalışmaya jeolojik, sismik çalışmalar haricinde ayrıca yapılacak INSAR gözlem değerlendirmeleri ve gravite ölçmeleri ile GNSS'in zayıf bileşeni olan düşey bileşenlerin güçlendirilmesi ile önemli katkılar sağlanabilir. Deformasyonların izlenmesinde zaman boyutunun etkilerini, deformasyon davranışındaki farklılıkların deprem riski taşıyan ülkemiz için kritik bir husus olduğu bir gerçektir. Bu nedenle jeodinamik amaçlı sabit ve kampanya istasyon gözlemlerinin tektonik hareketlerden kaynaklanan deformasyonları tespit etmek adına önemli bir rolü olduğunu vurgulamak gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Boğaziçi Üniversitesi BAP 16TP4 kodlu projesi ile desteklenmiştir. GNSS verileri MIT, SIO ve Harvard Üniversitelerinin hazırlamış olduğu GAMIT/GLOBK yazılımlarından yararlanılmıştır. Metin içindeki haritalar ve görseller için GMT yazılımı kullanılmıştır. Çalışmaya öneri ve destekleri ile katkıda bulunan Haluk Özener, Semih Ergintav, Bahadır Aktuğ, Aslı Sabuncu ve Bengisu Gelin'e çok teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

Ambraseys, N.N. and Finkel C.F., 1995. The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas -A Historical Review, 1500-1800. Muhittin Salih Eren, İstanbul.

Ambraseys, NN., 2002. The seismic activity of the Marmara Sea region over the last 2000 years. *Bulletin of the Seismological Society of America,* **92**(1):1-18: Mineralogists Special Publication 37:227-264

Barka, AA., 1992. The North Anatolian Fault. Annales *Tectonicae,* **6**:164-195.

Barka, A. and Reilinger R., 1997. Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Analli di Geofisica,* **40**(3):587-610

Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey–a synthesis. *Geodinamica Acta,* **14**:3-30.

Doğan, B., Tüysüz, O. and Şanlı, F., 2015. Tectonostratigraphic Evolution of the basins on the Southern Branch of the North Anatolian Fault System in the SE Marmara Region, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, **104** , 2, 389-418.

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. and Şaroğlu, F., 2013. Active Fault Map of Turkey with an Explanatory Text 1:1,250,000 scale. *General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series,* **30**, 89.

Herring, T.A., King, R.W., and McClusky, S., 2010. Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.4: Cambridge, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology, 48.

Hubert-Ferrari, A., Armijo, R., King, G.C.P., Meyer B. and Barka, A., 2002. Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey. *Journal of Geophysical Research*, **107**:2235.

Ikeda, Y., 1991. Postglacial crustal deformation associated with slip on the western part of the North Anatolian Fault Zone in the Iznik Lake Basin, Turkey. *Bulletin of the department of Geography*, *University of Tokyo*, **23**.

Ketin, İ., 1957. Kuzey Anadolu Deprem Fayı. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, **15**, 49-52.

Kozacı, Ö., Dolan, J., Finkel, R. and Hartleb, R., 2007. Late Holocene slip rate for the North Anatolian fault, Turkey, from cosmogenic 36Cl geochronology: Implications for the constancy of fault loading and strain release rates. *Geology* **35**(10):867-870.

Kurultay, O., Yaltırak, C., Alpar, B. and Vardar, D., 2008. Effect of the North Anatolian fault on the evolution of Lake Iznik, Turkey. *International Geological Congress*, Oslo, 2008.

Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R., Tok, B., 2001.

The Active Main Marmara Fault. *Earth and Planetary Science Letters*, **192**:595-616.

McClusky, S. *et al.*, 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res*, **105**:5695–5719

Meade, BJ. et al., 2002. Estimates of Seismic Potential in the Marmara Sea Region from Block Models of Secular Deformation Constrained by Global Positioning. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**:208–215.: Tübitak Deprem Katalogu.

Özdemir, S., 2016. TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine. *Harita Dergisi*, **155.** Ocak 2016.

Ozener, H., Yılmaz, O., Doğru A., Turgut, B. and Gürkan, O., 2013. GPS-derived velocity field of the Iznik-Mekece segment of the North Anatolian Fault Zone. *Journal of Geodynamics*, **67**. 46-52

Özalp, S., Emre, Ö. ve Doğan, A., 2013. Kuzey Anadolu Fayı Güney Kolu'nun Segment Yapısı ve Gemlik Fayının Paleosismik Davranışı. KB Anadolu, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **147**:1-17.

Sipahioğlu, S., Matsuda, T., 1986. Geology and Quaternary fault in the İznik-Mekece area. In: Electric and Magnetic research on Active faults in the North Anatolian Fault Zone, A.M. Işıkara and Y. Honkura, Eds., 25-41: Anatolian fault, Geyve, İznik, Gemlik area. *ITIT project,* **8513**, 68-91.

Soysal, H., Sipahioglu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981. Earthquake Catalogue of Turkey and Its Surroundings. *TUBITAK Project*, no.TBAG 341.

Şengör, A.M.C., 1979. The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society*, *London,* **136**:269-282

Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroglu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In Biddle KT, Christie-Blick N (Eds.).

Tsukuda, E., Herece, E., Kuşcu, İ., 1988. Some geological evidence on activity of the western North Anatolian fault, Geyve, İznik, Gemlik area, *ITIT Project*, **8513**, 68-91.