

**Makale
(Article)**

Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçü Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Sürelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması

İbrahim TİRYAKİOĞLU*, **Mehmet Ali DERELİ***, **Saffet ERDOĞAN***, **Engin GÜLAL****

* Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fak. Harita Müh. Böl., 03200 Afyonkarahisar/TÜRKİYE

** Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. Harita Müh. Böl., İstanbul/TÜRKİYE

itiryakioğlu@aku.edu.tr

Özet

Bu çalışmada tektonik hareketlerin belirlenmesine yönelik oluşturulan bir GNSS ağında gözlem tekrarlılığının ve süresinin konum doğruluğuna olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla Güneybatı Anadolu Fay Zonunda bulunan 12 TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonlarına ait farklı gözlem sürelerine ($t = (1, 2, 3 \text{ gün})$) 6, 8, 12, 24 saat ilişkin veri kümeleri kullanılmıştır. Veri kümeleri GAMIT yazılımı ile ayrı ayrı değerlendirilip istasyonlara ilişkin koordinatlar elde edilmiştir. Elde edilen koordinatlar karşılaştırılmış, farklılıkların anlamlı olup olmadığı istatistiksel testler kullanılarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: GNSS, Ölçü süresi, Ölçü tekrarlığı, GAMIT/GLOBK

Research for Effects of Number and Timing of Observations on Position Accuracy at Measured Campaign in Order to the Determination of Tectonic Movements

Abstract

In this study, the effects of timing and repetition of observations on position accuracy is sought within a GNSS network which is created in order to determine tectonic movements of crustal. For this purpose, data groups concerning the different timing of observations ($t = (1, 2, 3 \text{ days and } 6, 8, 12, 24 \text{ hours})$) that belong to 12 TUSAGA-Active (CORS-TR) stations located at Southwest Anatolian fault zone have been used. The coordinates regarding stations are acquired by evaluating data groups separately with GAMIT software. Acquired coordinates was compared and then whether the differences are meaningful or not was examined with using statistical tests.

Keywords: GNSS, Time of measurement, Repetition of measurement, GAMIT/GLOBK

1. GİRİŞ

Bilim insanlarına doğal bir laboratuvar ortamı sunan Türkiye, Dünyanın sismik ve tektonik hareketler bakımından aktif bölgelerinden biridir. Kuzeyde Avrasya, doğuda Kafkas, güneydoğuda Arap ve güneyde Afrika plakalarının etkileşimi Anadolu ve çevresinde farklı bir fay sistemi ortaya çıkmasına neden olmuştur (Şekil 1) [1].

Bu makaleye atf yapmak için

Tiryakioğlu, İ., Dereli, M.A., Erdoğan, S., Güral, E., "Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçü Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Sürelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, 2(2) 32-38

How to cite this article

Tiryakioğlu, İ., Dereli, M.A., Erdoğan, S., Güral, E., "Research for Effects of Number and Timing of Observations on Position Accuracy at Measured Campaign in Order to the Determination of Tectonic Movements" Electronic Journal of Map Technologies, 2010, 2 (2) 32-38



Şekil 1. Plaka hareketleri [2]

Son yıllarda uydu teknolojilerinde ki hızlı gelişmeler sonucu birkaç yıllık süren GNSS gözlemleri ile tektonik hareketleri belirlemek mümkün olabilmektedir. Yapılan çalışmalarda elde edilmek istenen sonucun, büyük ölçekteki levhalar referans alınarak küçük ölçekteki levhaların hareketlerinin belirlenmesi olduğu düşünüldüğünde ve elde edilen verilerin doğruluk kalitelerine bakıldığında, jeodezik uzay teknikleri ve özellikle GNSS tekniği levha hareketlerinin belirlenmesi için en uygun teknik olarak ortaya çıkmaktadır [3].

Jeodinamik amaçlar için tasarlanmış GNSS ağlarında kabuk deformasyonu çalışmalarından elde edilen GNSS hızları, elastik deformasyon hakkında önemli bilgiler sağlamakta ve tekrarlı jeodezik ölçmelerden gelen bu verilerin analizi, yer kabuğu deformasyonu çalışmalarına ışık tutmaktadır [4].

Tektonik ve deformasyon amaçlı kurulan GNSS ağlarında genellikle tekrarlı ve eş zamanlı gözlemler yapılmaktadır. Bunun en önemli nedeni elde edilen ölçülerden meydana gelen sapmaların belirlenmesi ve ölçüler arası korelasyonun artırılmasıdır [5]. Bölgesel ve yerel yer kabuğu hareketlerinin veya büyük mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi amacıyla oluşturulan ve belli periyotlarla ölçülen bir GNSS ağına gözlem süresi, genellikle 4-12 saat arasında seçilir. Gözlem süresi için böylesi bir aralık seçiminin başlıca nedenleri;

- Konum belirlemede 4 saat den daha fazla sürede toplanan veri kümesiyle tam sayı belirsizliklerinin çözümünde %100 başarı oranına daha kolay ulaşılabilmesi,
- Ölçü tekrarlılığı artırılarak daha yüksek doğruluk elde edebilme olasılığı,
- 12 saatten daha fazla gözlem süresinin, kampanya türündeki ölçmelerin gerçekleştirilmesine uygun olmamasıdır.

Ancak, gözlem süresi için bu sınır değerler arasında yapılan bir seçim, tektonik ağın duyarlılığı açısından oldukça sezgisel bir yaklaşımdır; gözlem süresi-maliyet ilişkisinin amaca uygunluğu da göz önüne alınmamaktadır [6].

Temel olarak GPS ölçülerinin duyarlılığı baz uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bunun başlıca nedenlerinden biri, baz uzunluğu arttıkça kullanılan göreceli konumlama modelindeki başta yörünge ve atmosferik (iyonosferik ve troposferik) etkiler olmak üzere diğer fiziksel etkilere ait mekansal korelasyonunun azalmasıdır. Jeodezik çalışmalarda göreceli GNSS uygulamalarına ait ölçü duyarlıklarının baz uzunluğuna bağlı olarak ifade edilmesi genel olarak yörünge hatalarına bağlıdır [7]. Zamanla yayın

efemeris bilgilerinin duyarlılığın 20 m'den, 1 m'ye, IGS Final efemeris verilerinin duyarlılığı 15 cm den, 2.5 cm'e dūřmūřtur [8-9]. Bunun sonucu olarak uzun süreli gözlemlerde, ölçü duyarlılığının baz uzunluğunun etkisini yitirdiği gözlenmiştir. Baz uzunluğu, duyarlık ve ölçü süresinin ilişkisi farklı çalışmalar mevcuttur [5-10-11-12-13-14].

Eckl ve diğ., 2001'de yaptıkları çalışmada 3 saatten fazla ölçü içeren uygulamalarda baz uzunluğunun etkisini yitirdiğini gözlemlemişler [5]. Weston ve diğ., 2009 da yaptıkları çalışmada 600 km ye kadar olan bazların anlamlı duyarlık kaybı olmadan çözülebildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca yatayda iki, düşeyde ise üç saatten sonra ölçü süresinin artırılması anlamlı değişim oluşturmadığını belirtmektedirler [14]. Aktuğ 2010'da yaptığı çalışmada, mevcut yörünge duyarlılıklarının ulaştıları düzey dikkate alındığında, 3 saatten az ölçü sürelerinde baz uzunluğu ile en önemli sınırlamanın troposferik ve iyonosferik gecikmeden olduğunu belirtmiştir [10]. Yıldız ve diğ. 2009'da yaptıkları çalışmada GNSS gözlemlerinde, önemli bir parametre olan tekrarlılıklar ve gözlem süreleri arasındaki ilişkileri incelenmişlerdir. İnceleme Kuzey ve Doğu bileşenleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışma ile GNSS gözlem sürelerinde aynı gün içerisinde elde edilen sürekli verilerin farklı günlerde ve toplamda eşit sürede elde edilen verilerden daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir [15].

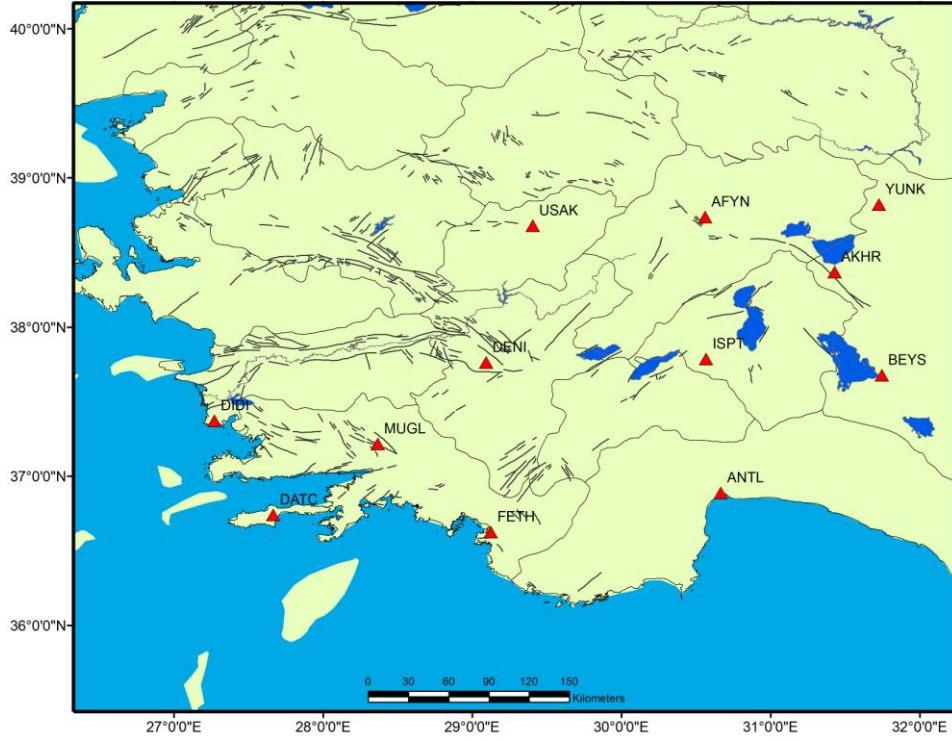
Bu çalışmada Güneybatı Anadolu'da bulunan TUSAGA-Aktif noktalarından oluşan bir GNSS ağında, ağ uzunluğundan bağımsız olarak tekrarlı günlerde (1, 2, 3 gün) yapılan farklı gözlem süreleri (4, 6, 8, 12 ve 24 saat) arasındaki ilişkinin konum ve hız değerleri için değerliimleri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIşMALAR

2.1. GNSS Gözlemlerinin Değerlendirilmesi

TÜBİTAK ve İstanbul Kültür Üniversitesi tarafından 2006-2008 yılları arasında tasarlanan ve 2008 yılı son aylarında faaliyete geçen Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonları (TUSAGA-Aktif (CORS-TR)) yayımları ile, anlık olarak noktasal konum bilgilerini cm doğruluğunda, sonradan değerlendirme (post processing) yöntemler ile de mm'ler mertebesinde elde etmek mümkün olmaktadır [16].

Çalışmada, Güneybatı Anadolu'da bulunan 12 adet TUSAGA-AKTİF istasyonun 24, 12, 8 ve 6 saatlik ölçüleri ile 1, 2 ve 3 gün tekrarlı veriler kullanılmıştır (Şekil 2). Değerlendirme çalışmasında GNSS gözlem sürelerinin konum doğruluğuna olan etkisinin araştırılması için çalışma alanı içerisinde bulunan TUSAGA-AKTİF istasyonlarından elde edilen günlük ölçüler 6 saat, 8 saat ve 12 saatlik alt veri gruplarına bölünmüştür. GNSS verileri GAMIT/GLOBK yazılımı takımı ile değerlendirilmiştir. GAMIT değerlendirmesinde hassas yörünge bilgisi, Uluslararası GPS Servisi (IGS) tarafından SP3 formatında, SOPAC'ın internet sitesinden alınmıştır. Radyasyon basınç etkileri için SOPAC tarafından da standart olarak kullanılan Berne modeli kullanılmıştır. Anten faz merkezleri için yüksekliğe bağlı model tercih edilmiştir. Değerlendirmede, L1 ve L2 taşıyıcı dalga fazlarının iyonosferden bağımsız LC (L3) doğrusal kombinasyonu, yer dönme parametreleri, USNO_bull_b değerleri, Referans sistemi tanımlamada ise ITRF2005 koordinat çözümleri kullanılmıştır. Değerlendirme kullanılan strateji Tablo 1'de, kullanılan IGS istasyonları Tablo 2'de özetlenmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan TUSAGA-AKTİF istasyonları

Tablo 1. Değerlendirme stratejisi

DEĞERLENDİRME STRATEJİSİ	
Veri Toplama Aralığı	30 saniye
Uydu Yükseklik Açısı	05 derece
Yörünge Bilgisi	IGS-F
Anten Faz Merkezi Bilgisi	Yükseklİğe Bağlı Model
Yer Dönme Parametre Bilgisi	USNO_bull_b
Çözüm İçin İterasyon Sayısı	4
Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği Çözümü	İyonosferden Bağımsız (Ionosphere-free)

Tablo 2. Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları

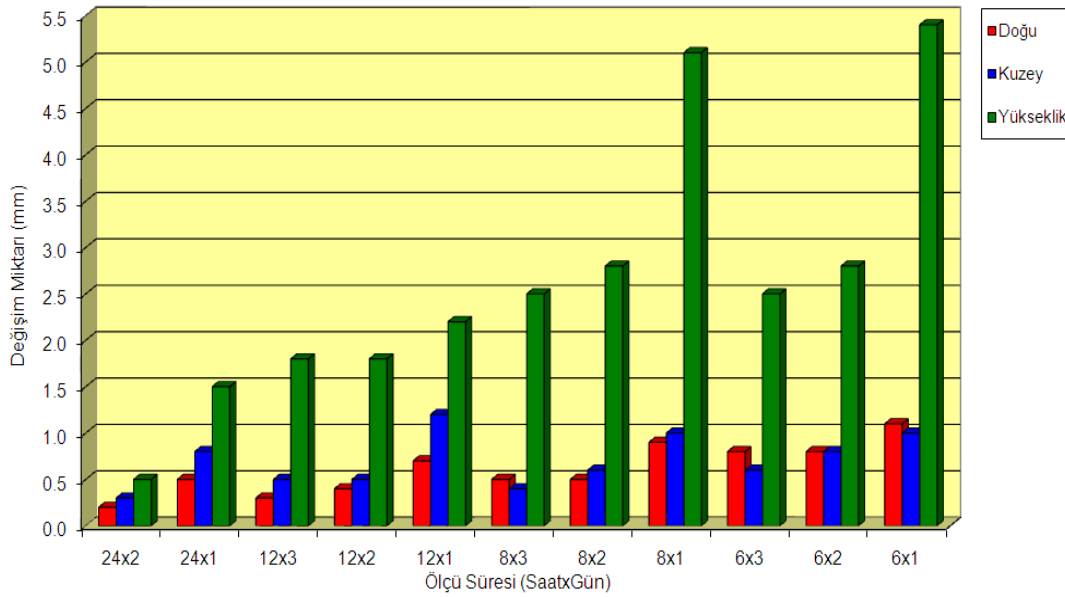
Nokta Adı	Şehir/ülke	Nokta Adı	Şehir/ülke
MATE	Matera, İtalya	ZECK	Zelenchukskaya Rusya
NICO	Nicosia, G. Kıbrıs	TRAB	Trabzon Türkiye
NSSP	Yerevan, Ermenistan	SOFI	Sofya Bulgaristan
MERS	Mersin Türkiye	ISTA	İstanbul Türkiye
CRAO	Simeiz Ukrayna	GLSV	Kiev Ukrayna
TEHN	Tahran İnan	RAMO	Mitzpe Ramon İsrail

Çalışma alanına dağılmış olan sürekli sabit GNSS istasyonlarından elde edilen veriler, Uluslararası GNSS Servisleri (IGS) tarafından sunulan ölçülerle birlikte değerlendirmeye sokulmuştur. Bu şekilde CORS ölçülerinin IGS istasyonları ile entegrasyonu sağlanmış olup, verilerden çıkarılacak sonucun daha güvenli olması amaçlanmaktadır. GAMIT yazılımı kullanılarak yukarıda anlatılan değerlendirme stratejileri ile 12 adet TUSAGA-AKTİF istasyonunda ölçü süreleri ve tekrarlılıkların doğruluk üzerine etkisini araştırmak üzere bir test yapılmıştır. 12 adet noktada sırasıyla 24, 12, 8 ve 6 saatlik ölçülerin 1, 2 ve 3 gün tekrarlılıkları değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Test çalışması veri kümesi

24 saat ve 3 gün tekrarlı ölçü	24 saat ve 2 gün tekrarlı ölçü	24 saat ve 1 gün tekrarlı ölçü
12 saat ve 3 gün tekrarlı ölçü	12 saat ve 2gün tekrarlı ölçü	12 saat ve 1gün tekrarlı ölçü
8 saat ve 3 gün tekrarlı ölçü	8 saat ve 2gün tekrarlı ölçü	8 saat ve 1gün tekrarlı ölçü
6 saat ve 3 gün tekrarlı ölçü	6 saat ve 2gün tekrarlı ölçü	6 saat ve 1gün tekrarlı ölçü

Kampanya tipi ölçü planlamalarında en ideal olarak kabul edilebilecek 24 saat ve 3 gün tekrarlı ölçü kümesinin sonuçları diğer ölçü gruplarının sonuçları ile karşılaştırılmış ve istatistiksel olarak anlamlılıkları test edilmiştir. Şekil 3'te 12 TUSAGA-AKTİF istasyonunda 24 saat ve 3 günlük ölçü sonucundan diğer 11 ölçü grubunun ortalama koordinat değişimlerini (mm) göstermektedir.

**Şekil 3.** Koordinat farklarının incelenmesi

2.2. İstatistiksel Analizler

Ölçü süreleri ve tekrarlılıklarının farklarının belirlenmesine yönelik olarak parametrik ve parametrik olmayan çoklu karşılaştırma teknikleri kullanılmıştır. Parametrik testlerin uygulanışında bazı varsayımların sağlanması gerekir. Bu varsayımlar çok rijit olmamakla beraber, verilerin normal dağılıma uyması, varyansların homojen olması ve her testte farklı olmak üzere başka koşulların da sağlanmasıdır [17]. Parametrik olmayan testlerin uygulanmasında ise varsayımların sağlanmasına gerek yoktur. Bu testler için yalnız gözlemlerin bağımsızlığı ve rastgele seçilmeleri gibi varsayımların sağlanmasına karşın, bunlar parametrik testlerdeki varsayımlardan daha az ve daha zayıftır [17]. Ayrıca örneklem hacmi 30'dan az olduğunda parametrik olmayan tekniklerden yararlanmak daha uygundur. Bu nedenlere bağlı olarak, çalışmada kullanılan veri seti için gruplar arasındaki farkın karşılaştırılmasında parametrik olmayan Kruskal Wallis H testinden yararlanılmıştır.

Kruskal-Wallis H testi bir değişkene ilişkin iki ya da daha fazla grubun karşılaştırılması amacı ile kullanılmaktadır. Bu sebeple üç ve daha fazla gruba ilişkin verilerin karşılaştırılması sonucu gruplar arasında anlamlı bir fark bulunması durumunda farklılığın kaynağını tespit etmek için gruplara, ikili olarak Kruskal-Wallis H testinin içinde bulunan ikili karşılaştırma testleri uygulanmaktadır. Kruskal-Wallis testinin uygulanmasında orijinal değerler yerine onların küçükten büyüğe dizilmesiyle elde edilen sıra numaraları kullanılır. İlgili tablo değeri test istatistiği ile karşılaştırılarak ya da analiz sonucundaki p

değeri ilgili anlamlılık seviyesi ile karşılaştırılarak H_0 kabul ya da reddedilir. Çalışma istatistiksel olarak %5 anlam seviyesinde gerçekleştirilmiş, karşılaştırılan gruplar ve test sonuçları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Kruskal-Wallis testine ilişkin sonuçlar

Değerlendirme grubu	Uygulanan Test	Test Sonucu		
		K	D	Y
12x1-12x2-12x3	Kruskal-Wallis	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
8x1-8x2-8x3	Kruskal-Wallis	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
6x1-6x2-6x3	Kruskal-Wallis	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
6x1-8x1-12x1-24x1	Kruskal-Wallis	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$
8x1-6x1	Kruskal-Wallis İkili Karşılaştırma	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$
12x1-6x1	Kruskal-Wallis İkili Karşılaştırma	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$
24x1-6x1	Kruskal-Wallis İkili Karşılaştırma	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$
24x1-8x1	Kruskal-Wallis İkili Karşılaştırma	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
12x1-8x1	Kruskal-Wallis İkili Karşılaştırma	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
24x1-12x1	Kruskal-Wallis İkili Karşılaştırma	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- GNSS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan strateji Tablo 1’ de verilmiştir. Yapılan bütün değerlendirmelerde aynı strateji kullanıldığı için elde edilen koordinat farklarının değerlendirme stratejisinden değil ölçü sürelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- TUSAGA-Aktif istasyonlarının tamamında zorunlu merkezlendirme kullanıldığı için yine koordinat farklarının nokta konumlandırma hatalarından arındırılmış olduğu düşünülmektedir.
- Şekil 3’te ideal kampanya ölçü grubu olan 3 gün x 24 saat değerlendirme sonucunda elde edilen koordinatlardan diğer veri gruplarının farkları alınmıştır. En büyük fark 1 gün x 8 saat ölçü grubunun yükseklik bileşeni ile 1 gün x 6 saat ölçü grubunun yükseklik bileşenidir. Veri grupları incelendiğinde ölçü süresi azaldıkça özellikle yükseklik bileşeninde farkların arttığı gözlenmiştir.
- Kuzey, Doğu, Yükseklik bileşenlerinde meydana gelen farkların istatistiksel olarak anlamlılığı parametrik olmayan testler kullanılarak tespit edilmiştir. Kruskal-Wallis test sonuçları incelendiğinde 6, 8, 12 ve 24 saatlik tek günlük ölçü sürelerinin konum hatalarının anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Bu anlamlılıklar beklenen değerlerle uyum göstermektedir.
- Anlamlı olan 6x1-8x1-12x1-24x1 test grubunda farkın hangi ikili grup arasında olduğu test edilmiş ve 1 gün 6 saatli ölçü ile diğer gruplar arasındaki farkın anlamlı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak tek günlük 6 saatlik gözlem yapılarak bulunan farklarda tüm metotlarla anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Bu nedenle tektonik hareketlerin modellenmesi için en az 8 saat ve üzeri tekrarlı gözlem yapılmasının daha sağlıklı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2007, The Earthquake Catalogues for Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), Vol. 17, 2008, pp. 405–418. 28 December 2007.
2. <http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/marmara.htm>.
3. Yavaşoğlu, H., 2003, Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümünün Kinematığının 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Özener, H., Doğru, A., 2009, Jeodezik ve Sismik verilerden Yararlanarak Kabuk Deformasyonu Alanının Belirlenmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2009/3 Özel Sayı 96-102.

5. Eckl, M.C., R. Snay, T. Soler, M.W. Cline & G.L. Mader, 2001, Accuracy Of GPS-Derived Relative Positions As A Function Of İnterstation Distance And Observing-Session Duration, *Journal Of Geodesy*, 75(12),633-640.
6. Aydın, C., Doğan, U., Demirel, H.,2006, GPS Deformasyon Ağlarında Gözlem Süresi İle Ağ Duyarlılığı Arasındaki İlişki, *Harita Dergisi*, 135, Ankara
7. Seeber G., 1993, *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, And Applications*, Walter De Gruyter, Berlin-New York, 1993.
8. Kouba,J., 2003, A Guide To Using International GNSS Service (IGS) Products, <http://acc.igs.org/usingigsproductsver21.pdf>, 01.08.2010.
9. IGS, 2009, IGS Products, <http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>, 01.08.2010
10. Aktuğ, B., Lenk, O., 2010, Yeni Gelişmeler Işığında Ağ Hiyerarşisi, Ölçü Süreleri Ve Duyarlık Ölçütlerinin İncelenmesi *Harita Dergisi*, 135, Ankara.
11. Snay, R.A., T. Soler & M. Eckl, 2002, GPS Precision With Carrier Phase Observations: Does Distance And/Or Time Matter?, *Professional Surveyor*, 22(10), 20, 22, 24.
12. Doğan, U., 2007, Accuracy Analysis Of Relative Positions Of Permanent GPS Stations In The Marmara Region, Turkey. *Survey Review*, 39, 304, Pp. 156-165.
13. Soler, T., P. Michalak, N.D. Weston, R.A. Snay & R.H. Foote 2006). Accuracy Of OPUS Solutions For 1- To 4-H Observing Sessions, *GPS Solutions*, 10(1), 45-55.
14. Weston, N.D., T. Soler, And G.L. Mader, 2009, Rover Station Positional Accuracies From OPUS As A Function Of Reference Station Spacing And Rover Station Occupation Time. *Proc. FIG Working Week*, Eilat, Israel, 3-8 May 2009, 11 P.
15. Yıldız, S. S., Yağcı, A., Özkan, A., Yavaşoglu, H., Altın, M. U., Tarı, E., 2009. GPS Gözlem Süresinin Yüksek Doğruluklu Çalışmalarda Zaman Serileri Ve Hız, Vektörleri Üzerine Etkisi. 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 11-15 Mayıs 2009, Ankara
16. Eren, K., Uzel T., Gülal E., Yıldırım Ö., Cingöz A., 2009, “Results From A Comprehensive Global Navigation Satellite System Test In The CORS-TR Network: Case Study”, *Journal Of Surveying Enginnering*, Volume 135 Issue 1, Ph.10-18.
17. Kayri, M., 2009, Araştırmalarda Gruplar Arası Farkın Belirlenmesine Yönelik Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Teknikleri, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19 (1), 51-64.