

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

IGS AĞI ÖLÇEĞİNDE GPS KONUM BELİRLEME DOĞRULUĞU

Müh. Kadri Çetin ENGİN

FBE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Geomatik Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. D. Uğur ŞANLI

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ii
ABSTRACT	ii
1. GİRİŞ	1
2. ÖLÇÜM SIRASINDA OLUŞABİLECEK HATA TÜRLERİ.....	3
2.1 Sistem Kaynaklı Hatalar	3
2.2 Çevre Kaynaklı Hatalar.....	4
2.3 Diğer Etkiler.....	5
3. ÖLÇME PLANLAMA	7
3.1 Uydu İle İlgili Faktörler	8
4. UZUN BAZLARDA ÇÖZÜM DUYARLIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER ..	10
5. GPS KONUM BELİRLEME DOĞRULUĞU ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
6. GPS VERİLERİNİN HAZIRLANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	15
7. UYGULAMA.....	17
7.1 Uygulamanın Amacı.....	17
7.2 Ekl vd. 2001 İle Karşılaştırma.....	36
8. SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR.....	63
İNTERNET KAYNAKLARI.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGE LİSTESİ

Sn	Kuzey bileşen boyunca oluşan RMS değeri
Se	Doğu bileşen boyunca oluşan RMS değeri
Su	Yukarı bileşen boyunca oluşan RMS değeri
T	Ölçüm süresi (GPS Oturum süresi)
L	Baz uzunluğu

KISALTMA LİSTESİ

BFB	Başlangıç Faz Belirsizliği
EKK	En Küçük Kareler
EUREF	European Referans Frame
DOP	Dilution of Precision
GDOP	Geometric Dilution of Precision
GPS	Global Position System
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
IGS	İnternational GPS Service
ITRF	İnternational Terrestrial Referans Frame
PDOP	Position Dilution of Precision
TDOP	Time Dilution of Precision
VDOP	Vertical Dilution of Precision

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1.1	Kötü uydu geometrisi – İyi uydu geometrisi..... 3
Şekil 2.1.2	Kötü uydu geometrisi - İyi uydu geometrisi..... 4
Şekil 2.2.1	Çevre kaynaklı etkiler..... 5
Şekil 5.1	Eckl vd. 2001 uygulamasına göre ölçüm süresi ile RMS değerleri arasındaki ilişki..... 12
Şekil 5.2	Soler vd. 2006 uygulamasına göre kısa süreli ölçümler ile RMS değerleri arasındaki ilişki 13
Şekil 6.1	EUREF ve IGS GPS istasyonları 15
Şekil 7.1	295 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 19
Şekil 7.2	627 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 19
Şekil 7.3	993 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 20
Şekil 7.4	1216 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 20
Şekil 7.5	1588 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 21
Şekil 7.6	1906 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 21
Şekil 7.7	2739 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 22
Şekil 7.8	Kuzey bileşeninin RMS değerleri’nin baz uzunluğuna göre değişimi 22
Şekil 7.9	Özer 2004 tarafından 6 ölçü ile yapılmış “kuzey” bileşenlerinin değerlendirme sonuçları 23
Şekil 7.10	295 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 25
Şekil 7.11	627 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 25
Şekil 7.12	993 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 26
Şekil 7.13	1216 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 26
Şekil 7.14	1588 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 27
Şekil 7.15	1906 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 27
Şekil 7.16	2739 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 28
Şekil 7.17	Doğu bileşeninin RMS değerlerinin baz uzunluğuna göre değişimi 28
Şekil 7.18	Özer 2004 tarafından 6 ölçü ile yapılmış “doğu” bileşenlerinin değerlendirme sonuçları 29
Şekil 7.19	295 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 31
Şekil 7.20	627 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 31
Şekil 7.21	993 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri 32
Şekil 7.22	1216 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine RMS değerleri 32
Şekil 7.23	1588 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine RMS değerleri 33
Şekil 7.24	1906 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine RMS değerleri 33
Şekil 7.25	2739 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri .. 34
Şekil 7.26	Yukarı bileşeninin RMS değerlerinin baz uzunluğuna göre değişimi 34
Şekil 7.27	Özer 2004 tarafından 6 ölçü ile yapılmış “Yukarı” bileşenlerinin değerlendirme sonuçları 35
Şekil 7.2.1	Sjdv-Gras bazının Eckl modeline uygulanması 38
Şekil 7.2.2	Morp-Helg bazının Eckl modeline uygulanması 39
Şekil 7.2.3	Hobu-Bras bazının Eckl modeline uygulanması 40
Şekil 7.2.4	Lama-Zimm bazının Eckl modeline uygulanması 41
Şekil 7.2.5	Helg-Glsv bazının Eckl modeline uygulanması 42
Şekil 7.2.6	Acor-Graz bazının Eckl modeline uygulanması 43
Şekil 7.2.7	Soda-Geno bazının Eckl modeline uygulanması 44
Şekil 7.2.8	Sjdv-Gras bazının Eckl modeline uygulanması 46
Şekil 7.2.9	Morp-Helg bazının Eckl modeline uygulanması 47
Şekil 7.2.10	Hobu-Bras bazının Eckl modeline uygulanması 48

	Sayfa
Şekil 7.2.11 Lama-Zimm bazının Eckl modeline uygulanması	49
Şekil 7.2.12 Helg-Glsv bazının Eckl modeline uygulanması	50
Şekil 7.2.13 Acor-Graz bazının Eckl modeline uygulanması	51
Şekil 7.2.14 Soda-Geno bazının Eckl modeline uygulanması	52
Şekil 7.2.15 SjdV-Gras bazının Eckl modeline uygulanması	54
Şekil 7.2.16 Morp-Helg bazının Eckl modeline uygulanması	55
Şekil 7.2.17 Hobu-Bras bazının Eckl modeline uygulanması	56
Şekil 7.2.18 Lama-Zimm bazının Eckl modeline uygulanması	57
Şekil 7.2.19 Helg-Glsv bazının Eckl modeline uygulanması	58
Şekil 7.2.20 Acor-Graz bazının Eckl modeline uygulanması	59
Şekil 7.2.21 Soda-Geno bazının Eckl modeline uygulanması	60

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Tablo 7.1	Kuzey Bileşenlerinin Karesel Ortalama Hataları (RMS'ler).....	18
Tablo 7.2	Doğu bileşenlerinin Karesel Ortalama Hataları (RMS Değerleri).....	24
Tablo 7.3	Yukarı Bileşenlerinin Karesel Ortalama Hataları (RMS Değerleri)	30
Tablo 7.2.1	Kuzey bileşenlerinin ölçüm süresine bağlı olarak elde edilen Karesel ortalama Hataları (RMS Değerleri).....	37
Tablo 7.2.9	Doğu bileşenlerinin ölçüm süresine bağlı olarak elde edilen Karesel Ortalama Hataları.	45
Tablo 7.2.17	Yukarı bileşenlerinin ölçüm süresine bağlı olarak elde edilen Karesel Ortalama Hataları	53

ÖNSÖZ

Çalışmamın başlangıcından, bitimine kadar bilgi ve deneyimlerini paylaşan, yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam Yrd. Doç.Dr. Uğur ŞANLI başta olmak üzere, hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen ve her zaman manevi desteklerini hissettiren arkadaşlarım ve kardeşlerim Fatih ESER, Ersin GÜNGÖR, Seçkin ENGİN ve Önder ENGİN'e, son olarak bana yaşamım boyunca destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

GPS'in haritacılık sektörü içerisine girmesiyle noktaların konum duyarlılığı konusunda pek çok çalışmalar yapılmıştır. Harita mühendisleri için nokta konum duyarlılığının "mm" düzeyinde belirlenmesi önem taşımaktadır. Nokta konum belirlemede, böylesi yüksek bir duyarlık elde etmek için, gözlemler yapılırken ölçü süresi ve baz uzunluğu da önemli bir yer teşkil etmektedir.

Kısa bazlarda GPS ile konum belirleme çalışmaları yapılırken alıcının nokta üzerinde bir kaç saat kalmasıyla istenilen hassasiyette çözüme ulaşılması mümkündür. Daha uzun bazlarda ise bu hassasiyetin baz uzunluğuna bağlı olarak farklılık gösterip göstermeyeceği tartışma konusudur (Eckl vd. 2001, Doğan 2007).

Bu çalışmada GIPSY yazılımı kullanılarak IGS (International GNSS Service) ağı sıklığında (~1000 km) GPS konum belirleme doğruluğu test edilmiş ve elde edilen sonuçlar bu konuda daha önceden gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları çerçevesinde irdelenmiştir. Uzunlukları 295km ile 2739km arasında değişen 7 baz ile, 10 güne ait veriler kullanılmıştır. Her bir güne ait veriler, 4-6-8-12 ve 24 saatlik dilimlere bölünüp, ayrı ayrı değerlendirmeye alınarak ölçüm süresinin ve baz uzunluklarının konum doğruluğu üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bulgular IGS sıklığında (ya da küresel ölçeklerde) konum belirleme doğruluğunun 2000 km'ye kadar mesafeden çok ölçüm süresine göre değiştiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: GPS konum belirleme doğruluğu, IGS verileri, oturum süresi, baz uzunluğu.

ABSTRACT

As the GPS came into the surveying engineering, a lot of studies have been done in the fields of the precision of point positioning. It is really important for surveying engineers, to determine the precision of point location in the level of mm. Technically, the observation window (or data span) plays an important role to determine the point position sufficiently well.

While, over short baselines, as one tries to determine the point location, it is possible to reach the desired precision by making the receiver stay on the point for few hours. It is an uncertain topic that precision is dependent on baselines for longer baselines (Eckl vd. 2001, Doğan 2007).

In this study, GPS point positioning accuracy is tested in IGS network and the results are compared with recent researches by using GIPSY software. 7 bases and data of 10 days have been used in this research. Base lengths are between 295km and 2739km. The data of each day have been divided into sub sessions (4-6-8-12 and 24 hours) and then evaluated separately. Thus, relation have been examined among GPS point positioning, baseline and duration of observation.

The results show that, the point positioning accuracy in IGS network does not depend on baseline up to 2000 km. It is rather depend on duration of observation.

Keywords: GPS point positioning precision, IGS datas, observation window, baseline.

1. GİRİŞ

Tektonik hareketler, çökmeler, heyelanlar, volkanlar vb. sebeplerden dolayı yeryüzü sürekli hareket halindedir. Jeodezi biliminin hedeflerinden olan yeryüzü üzerindeki bir noktanın üç boyutlu konumunun belirlenmesi problemi yıllar boyunca klasik jeodezik yöntemler ile çözülmeye çalışılmış, ancak yüksek duyarlık elde etmede zorluklarla karşılaşmıştır. Özellikle uydu ölçmelerindeki gelişmelere paralel olarak, bu zorluklar günümüzde aşılmıştır. GPS ölçme teknikleri kullanılarak bir noktanın konumu yüksek duyarlıkla belirlenebilmektedir.

GPS'in jeodezik kullanıma girmesinden sonra belli standartlarda çözüm üretmek amacıyla Uluslararası GNSS Servisi (IGS) kurulmuş ve bugün IGS ürünleri rutin olarak kullanılmaktadır. IGS ağı sabit GPS istasyonları da, bölgesel çalışmalarda nokta sıklaştırmak amacı ile kullanılabilir (<http://igsceb.jpl.nasa.gov/>).

Bu çalışmada, 24 saatten kısa ölçüler ile sürekli GPS'ten elde edilen doğruluk düzeyine erişebilmek amacı ile IGS ağı noktalarında bir inceleme gerçekleştirilmiştir. İnceleme için, uzunlukları 295km-2739km arasında değişen bazlar kullanılmış ve 4h, 6h, 8h, 12h ve 24 saatlik verilerle bulunan sonuçlar ile daha önceleri yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak ölçüm süresinin ve baz uzunluğunun sonuçlara ne gibi etkileri olduğu incelenmiştir (Eckl vd. 2001, Soler vd. 2005, Özer 2004, Doğan 2007). Çalışmamız sırasında SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) sitesi tarafından arşivlenen 2005 yılının 1. ve 10. günleri arasındaki 24 saatlik sabit istasyon verileri kullanılmıştır. Kullanmış olduğumuz veriler GIPSY yazılımı ile değerlendirilerek sonuçlar yerel toposentrik sistemde üretilmiştir (Zumberge vd. 1997).

Eckl vd 2001 yapmış oldukları çalışmada; atmosferik etkiler giderildiğinde, duyarlı IGS yörüngeleri kullanıldığında ve başlangıç faz belirsizliği (ambiguity fixing) çözüldüğü takdirde, GPS konum doğruluğunun baz uzunluğuna göre değil ölçüm süresine göre değiştiğini öne sürmüşlerdir. Bu bulgulara 4 saat - 24 saat arası veri grupları ve 20km-300 km arasında değişen bazlar üzerinde yapılan deneyler yardımıyla ulaşmışlardır. Elde edilen sonuçlardan ölçüm süresinin fonksiyonu olan, GPS konum doğruluğunun belirlenmesine yönelik basit formüller türetilmiş ve ölçü planlaması amacıyla kullanılmasını sağlamışlardır.

Özer 2004 tarafından yapılan uygulama sırasında 2 güne ait toplam 6 veri ve Bernese 4.2 yazılımı kullanılarak 500km ve daha uzun bazlar üzerinde uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak 500-800km uzunluğundaki bazların $\pm 1\text{cm}$ duyarlıkta belirlenmesi için 4 saatlik ölçüm yapılmasının yeterli olacağı bilgisine ulaşılmıştır. Ancak, daha uzun bazlar üzerinde yapılan çalışmalar sırasında 4cm - 4,5cm'ye varan hatalar ile karşılaşmış ve ölçüm duyarlığının baz uzunluğuna bağlı olarak arttığı gözlenmiştir.

Soler vd. 2005 kısa süreli ölçümler üzerinde yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçların 4 saatten küçük gözlemler için Eckl 2001 modeli ile uyuşmadığı ortaya konmuş olup ilerleyen bölümlerde bu çalışmalar daha detaylı ifade edilmiştir.

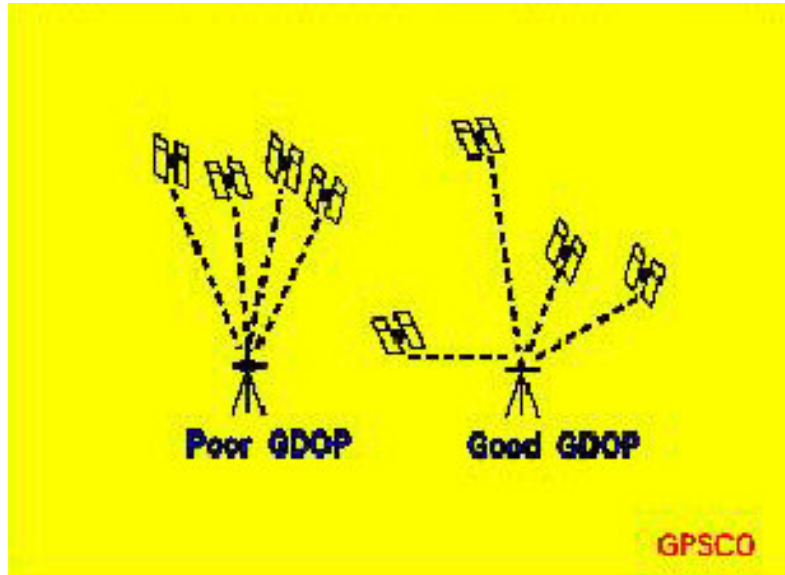
Özer 2004'de sunulan sonuçların örneklem boyutunun küçük seçilmesi nedeniyle istatistiksel anlamlılığının düşük olacağı değerlendirilmektedir. Buradan hareketle bu kez daha fazla veri ve farklı bir yazılım (GIPSY) kullanarak sonuçların ne derecede değiştiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca Eckl ve çalışma arkadaşlarının, ölçüm süresine bağlı olarak GPS konum doğruluğunun hesaplanmasını sağlayan denklemlerinin uzun bazlarda geçerli olup olmadığı yönünde araştırmalar yapılmış ve her türlü baz için uyum sağlayıp sağlanmadığı incelenmiştir.

2.ÖLÇÜM SIRASINDA OLUŞABİLECEK HATA TÜRLERİ:

GPS konum belirlemede 24 saatlik veri kullanıldığında çok yolluluk (multipath), uydu-alıcı geometrisi ve birtakım sistematik etkiler doğrudan ortadan kalkmaktadır. Bunun nedeni, 24 saat içinde uydu geometrisinde (constellation) olabilecek tüm değişikliklerin gerçekleşmesi ve bunun takip eden günde sistemin aynen tekrar etmesidir. Kısa süreli gözlemlerin değerlendirilmesinde ise ölçüm süresi azaldıkça yukarıda sözü edilen etkiler belirlenen konum üzerinde iyice etkisini göstermeye başlar. Bu nedenle, deney kısmına geçmeden önce bu bağlamda GPS hata kaynaklarını gözden geçirmede yarar görülmektedir.

2.1 Sistem Kaynaklı Hatalar:

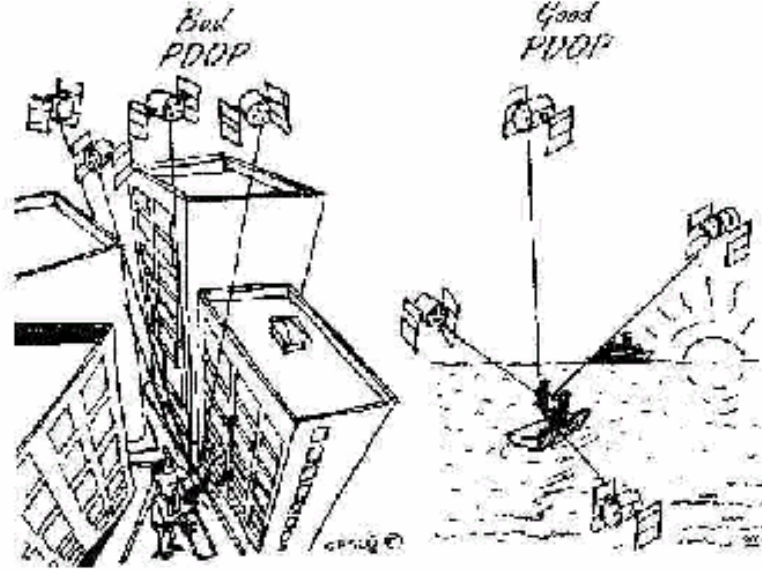
Daha çok kısa süreli ölçümlerde GPS alıcısının bulunduğu noktanın konumuna göre bazı sistematik hatalar oluşmaktadır. Gözlenen 4 uydu birbirine çok yakın konumda bulunduğunda (iç içe girdiğinde) veya doğrusal bir çizgi halinde sıralandığında kötü uydu geometrisi (Poor GDOP) ile karşılaşmaktadır (Şekil 2.1.1). Bu tür veriler ile yapılan değerlendirme sırasında oluşturulan matrislerin tersinin alınamaması vb. gibi birçok nümerik sorunlar ile karşılaşıldığından yeterli doğruluk elde edilmemektedir.



Şekil 2.1.1 Kötü uydu geometrisi – İyi uydu geometrisi.

Örnek verilecek olursa, şehir içerisinde yoğun yapılaşmanın bulunduğu bir bölgede, bloklar arasında bulunan bir GPS alıcısının izleyebileceği 4 uydu muhtemelen birbiri içerisine girmiş

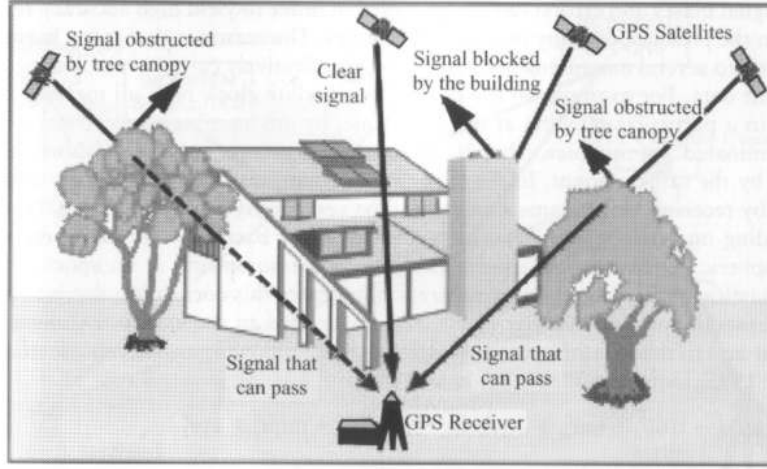
konumda olacaktır. Bu gibi durumlarda kötü uydu geometrisi ile karşılaşılacaktır. Ancak açık bir denizde uyduların izlendiği varsayıldığında, geniş bir alana yayılmış konumda bulunan bir çok uydu görülebileceğinden “iyi uydu geometrisi” söz konusu olacaktır (Şekil 2.1.2).



Şekil 2.1.2 Kötü uydu geometrisi - İyi uydu geometrisi.

2.2 Çevre Kaynaklı Hatalar:

GPS alıcısının bulunduğu çevrede yer alan her türlü yapı, ağaç, araç vb. varlıklar yapılan GPS gözlemleri üzerinde risk teşkil etmektedir. Örneğin, GPS alıcısının yakınında bulunan bir bina, uydudan gönderilen GPS sinyalini tamamen engelleyebileceği gibi, üzerinden yansıyarak alıcıya ulaşmasına da sebep olabilir. Bu gibi durumlarda “çok yolluluk” etkisini de göz önünde bulundurmak gerekecektir.



Şekil 2. 2.1 Çevre kaynaklı etkiler.

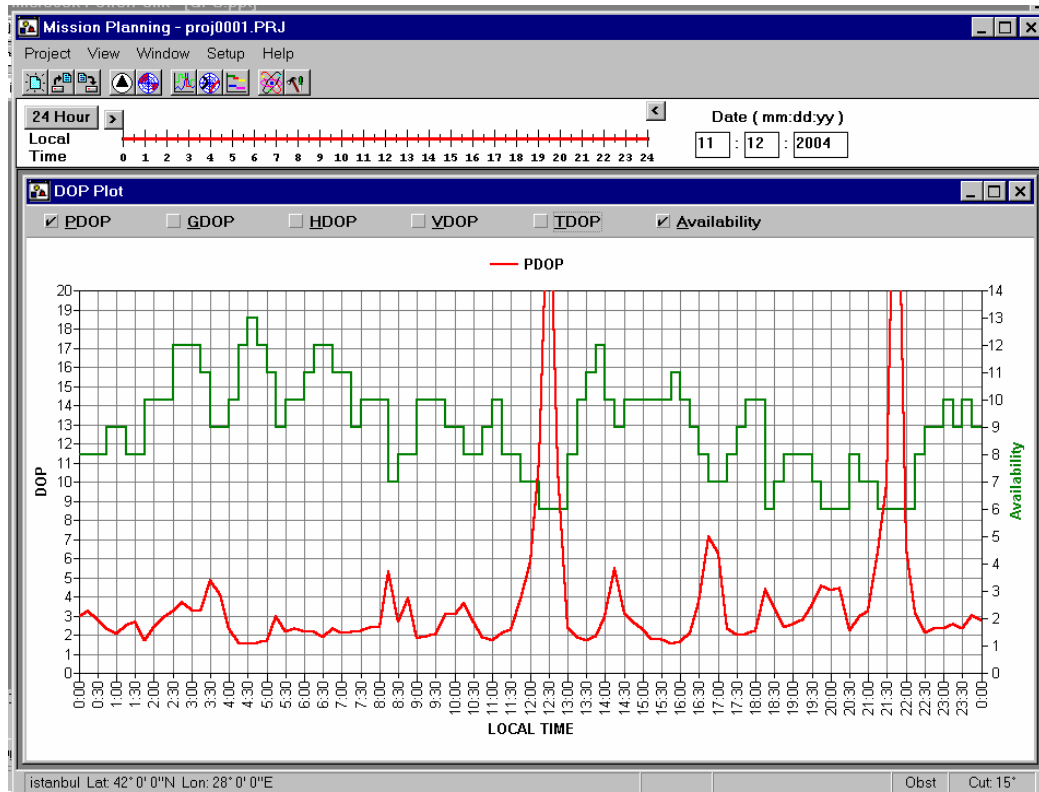
2.3 Diğer Etkiler

1. İnsan kaynaklı etkiler
 - Anten sehpası kurulum hataları
 - Antenlerin Yönlendirilmesi
2. Değerlendirmede yapılan hatalar
 - Anten faz merkezi kayıklıkları
 - Strateji
 - İnce ayar
3. Yükleme etkileri
 - Atmosfer
 - Okyanus
 - Hidrolojik çevrim
4. Anlık atmosferik anomaliler
 - Cephe sistemleri

Yukarıda sayılan etkiler ile ilgili ayrıntılı bilgi için Stewart ve Rizos 2002, Şanlı 2002 ve Gregorius ve Blewitt 1999'a bakılabilir.

3. ÖLÇME PLANLAMA

Yapılacak GPS gözlemleri uygun bir şekilde planlandığı takdirde baz çözüm duyarlılığını arttırmak mümkündür. Araziye çıkmadan önce Almanak verileri kullanılarak, ölçüm yapılacak günün, hangi saat aralığının ölçüm için uygun olduğu belirlenebilmektedir. Bunun için, bulunulan noktanın coğrafi koordinatlarının veya elipsoidal yüksekliğinin bilinmesi yeterli olacaktır. Herhangi bir nokta üzerinde GPS alıcısı ile 15 dakikalık bir alım yapıldığında, gelecek olan Almanak verisi kullanılarak bir sonraki günün uydu geometrisini 4dk fark ile tespit etmek mümkün olacaktır.



Şekil 3.1 Uydu sayısı ve PDOP değerlerinin değişim grafiği.

Şekil 3.1 üzerindeki yeşil çizgi, uydu sayılarının dağılımını, kırmızı çizgi ise PDOP değerlerini göstermektedir. Genel olarak uydu sayısı az olduğunda kötü uydu geometrisi ile karşılaşmaktadır. Örneğin, 11:00 ile 13:00 saatleri arasında az sayıda uydu yakalanabildiğinden kötü bir uydu geometrisi görülmektedir. Ancak uydu sayısının az olup,

uydu geometrisinin düzgün olduğu aralıklar da bulunduğundan böyle bir genelleme yapmak doğru olmayacaktır.

GPS ölçümleri planlanırken üç temel faktör göz önünde tutulur (Stewart ve Rizos 2002).

- Uydularla ilgili faktörler: kaç uydu, ne kadar süre ile gözlenmeli vb.
- Uydu-alıcı geometrileri ile ilgili faktörler
- Bunlar lojistik dizayn ile ilgilidir: günde kaç kez gözlem yapılacak, kaç noktaya alet kurulacak vb.

3.1 Uydu İle İlgili Faktörler:

GPS gözlemleri için bir ölçme planı hazırlayabilmek için öncelikle izlenecek uydular tanımlanmalıdır. Bunun için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir (Stewart ve Rizos 2002).

- Uyduların doğuş ve batış zamanları belirlenmesi (atmosferik modelleme güçlükleri nedeniyle 15^0 - 20^0 yükseklik açısı altındaki uyduların izlenmesi tercih edilmez.)
- Uyduların sağlığı: her bir uydu navigasyon mesajı yayımlamaktadır. Navigasyon mesajında uydu sağlığı ile ilgili bilgi mevcuttur. Bir uydunun sağlığı konum belirleme açısından iyi değilse, bu uydu değerlendirme yaparken kullanılmamalıdır.
- Uydu-yer geometrisi: zamanın bir fonksiyonu olarak uyduların azimutu ve yüksekliği
- Uyduların konumu ve bilgileri, örneğin; yörünge manevralarının planlanması, testler, yeni uydu fırlatmaları vb.

Gözlem süresinin planlanması ile ilgili iki husus vurgulanmalıdır:

- İstasyon başına gözlem süresinin minimum uzunluğunu belirlemek: Bu da aşağıdaki kısıtlara bağlıdır:
 - Gözlenecek uyduların geometrisi
 - Bazların uzunlukları
 - Statik GPS ölçmelerinin ya da kinematik ve hızlı statik ölçme tekniklerinin kullanılması.
 - Gözlem süresi, bazı periotlarda oluşmayabilir. (bu klasik GPS ölçmeleri için önemli olmasada modern kinematik ölçmeleri için oldukça önemlidir.)

- Eş zamanlı çalışan alıcılar yardımıyla hangi uyduların gözleneceğinin belirlenmesi. Eğer alıcılar görüntüdeki tüm uyduları izleyecek kapasitede değilse ozaman uydu seçimi önem kazanır. Günümüzde kullanılan modern alıcılar görüntüdeki bütün uyduları izleyecek kapasitededir.

4. UZUN BAZLARDA ÇÖZÜM DUYARLIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Uzun bazlarda çözüm duyarlığını etkileyen temel faktör taşıyıcı faz gözlem modelinin doğru oluşturulamaması sonucu BFB'nin uygun belirlenememesidir. Uygun gözlem modelinin oluşturulmamasının temel nedenlerinden bazıları mesafe arttıkça atmosferik (troposferik ve iyonosferik) modelleme güçlüğü ve yer dönmesi etkisinin (kara ve okyanus gel-gitleri, kutup hareketleri vb.) yeterince dikkate alınamamasıdır. Diğer bir etken de L1 ve L2 sinyalleri için belirsizlik parametrelerinin önemli ölçüde korelasyonlu olmasıdır (Blewitt 1993). Tabii bu sayılanlar 24 saatlik gözlemler için geçerlidir. Gözlem süresi azaldıkça BFB çözümü, gün boyunca uydu konfigürasyonunun kullanılmaması ve kısa gözlemler üzerindeki diğer (atmosferik yükleme, multipath vb.) sistematik etkiler nedeniyle bir miktar daha kötüleşir.

Yukarıda sayılan faktörler 90'lı yılların başında araştırmacıların kafasını oldukça meşgul etmiş ve buna paralel olarak zamanımıza gelinceye kadar uzun bazlar için belirsizlik çözüm yöntemleri yeterli doğrulukta geliştirilmiştir.

Günümüzde yaygınca kullanılan BERNESE, GAMIT, GIPSY araştırma yazılımları uzun bazlar için BFB'ni yeterli doğrulukta çözebilmektedir. Özer 2005 GPS konum belirleme duyarlığının baz uzunluğuna göre değişimini araştırmak için BERNESE 4.2 yazılımı ile veri değerlendirmesi yapmıştır. Bu çalışmada ise veri değerlendirme programı olarak BERNESE 4.2'nin çalışma prensibinden tamamen farklı olan ve temelde farkı alınmayan gözlemlerin değerlendirmesi esasına dayanan GIPSY tercih edilmiştir (Zumberge vd. 1997). GIPSY ile bu tezde üretilen sonuçların aynı alanda daha önceden gerçekleştirilen çalışmalara farklı bir bakış açısı kazandıracağı umulmaktadır (Eckl vd. 2001, Soler vd. 2005, Doğan 2007).

5. GPS KONUM BELİRLEME DOĞRULUĞU ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

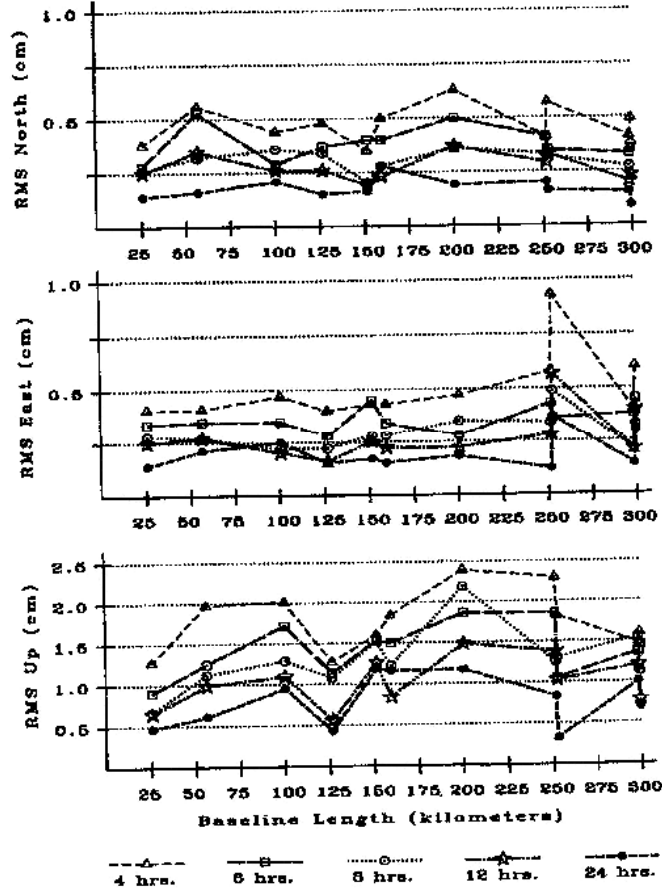
Eckl vd. 2001, 1998 yılına ait 10 günlük GPS verileri üzerinde değerlendirmeler yaparak GPS antenleri arası mesafeyi oluşturan baz uzunluğunun (L) ve oturum süresinin (T) üç boyutlu bağıl konum belirleme üzerindeki etkilerin incelenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak baz uzunluğunun, duyarlık üzerindeki etkisinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu saptanmıştır. Ancak bu etkinin ihmal edilebilmesi için; IGS tarafından belirlenmiş uydu yörüngeleri kullanılmış, tam sayı belirsizlikleri giderilmiş, atmosferik gecikme parametreleri belirlenmiş, baz uzunluğu $20\text{km} < L < 300\text{km}$ arasında seçilmiş ve ölçü süresi $4\text{ saat} < T < 24\text{ saat}$ arasında yapılmış olmalıdır. Aynı koşullar altında bağıl konum belirlerken güney-kuzen bileşenleri üzerinde oluşan RMS değeri (S_n ile gösterilir ve mm düzeyindedir) $S_n = k_n / T^{0.5}$ bağıntısı ile yeterli doğrulukta belirlenebilmektedir. Burada $k_n = 9,5 \pm 2,1 \text{ mm.h}^{0.5}$ ile bulunur ve T; saat türünden ifade edilir. Yine aynı şekilde doğu, batı ve düşey yönde oluşan RMS değerleri $S_e = k_e / T^{0.5}$ ve $S_u = k_u / T^{0.5}$ bağıntısı ile hesaplanır. Burada $k_e = 9,9 \pm 3,1 \text{ mm.h}^{0.5}$ ve $k_u = 36,5 \pm 9,1 \text{ mm.h}^{0.5}$ denklemleri ile bulunur.

Eckl ve çalışma arkadaşlarının, duyarlığın belirlenmesine yönelik oluşturduğu bu basit formüllere göre 10 saat süre ile ölçüm yapıldığı varsayıldığında;

S_n : 3mm

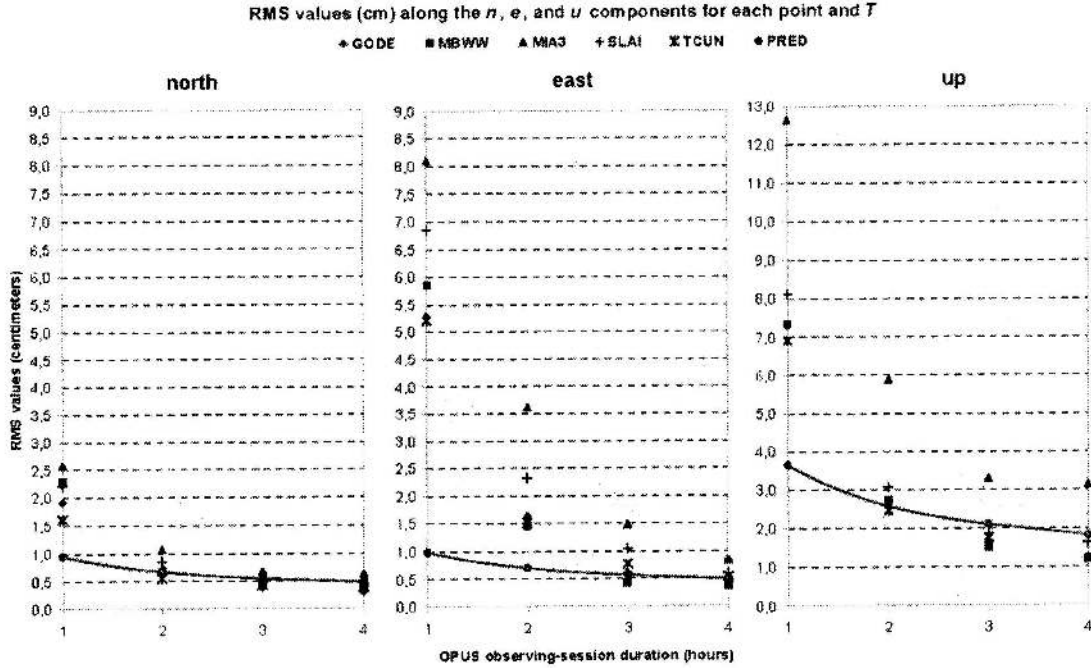
S_e : 3mm

S_u : 12mm olarak belirlenir. Yani, 10 saatlik ölçüm ile yatayda 3mm, düşeyde ise 12mm duyarlık elde edilir.



Şekil 5.1 Eckl vd. 2001 uygulamasına göre ölçüm süresi ile RMS değerleri arasındaki ilişki.

Soler ve çalışma arkadaşları, 2006 yılında kısa süreli ölçümler ile benzer bir çalışma yapmışlar ve Eckl vd. 2001 çalışmasında oluşturulan modeller ile kısa süreli gözlemlerin duyarlılığının uyum sağlamadığını ortaya koymuşlardır. Şekil üzerinde görüldüğü gibi özellikle 1 ve 2 saatlik ölçümler üzerinde yoğun bir şekilde uydu-alıcı geometri etkisi, çok yolluluk etkisi ve troposferik anomalilerin etkisi görülmektedir.



Şekil 5.2 Soler vd. 2006 uygulamasına göre kısa süreli ölçümler ile RMS değerleri arasındaki ilişki.

Başlangıç faz bilinmeyenlerinin ve atmosferik etkilerin başarılı bir şekilde giderilmesini sağlayabilen GIPSY yazılımını kullandığımız bu çalışmada, uzun bazlar kullanıldığı takdirde GPS konum duyarlılığın etkilenip etkilenmediğini ortaya koymak amacı ile Eckl ve arkadaşlarının yapmış olduğu uygulamanın benzeri 295km ile 2739km arasında değişen bazlar ile tekrarlanarak, gerekli şartlar sağlandığı müddetçe GPS konum duyarlılığının 2000 km'ye kadar baz uzunluğuna bağlı olmayıp, ölçüm süresine göre değişim gösterdiği ortaya konmuştur.

Doğan 2007 gerçekleştirdiği çalışmada Eckl vd. 2001'de sunulana benzer bir biçimde 5-300 km aralığında değişen bazlarda GPS konum belirleme doğruluğunun değişimini incelemiştir. Eckl vd. 2001'dekinin aksine burada konum belirleme doğruluğunun baz mesafesi arttıkça azaldığı ileri sürülmektedir. Çalışmada BERNESE 4.2 yazılımı kullanılmış ve de vurgulanmaktadır. Ancak yapılan incelemede uzun bazların kısa bazlara oranla daha az

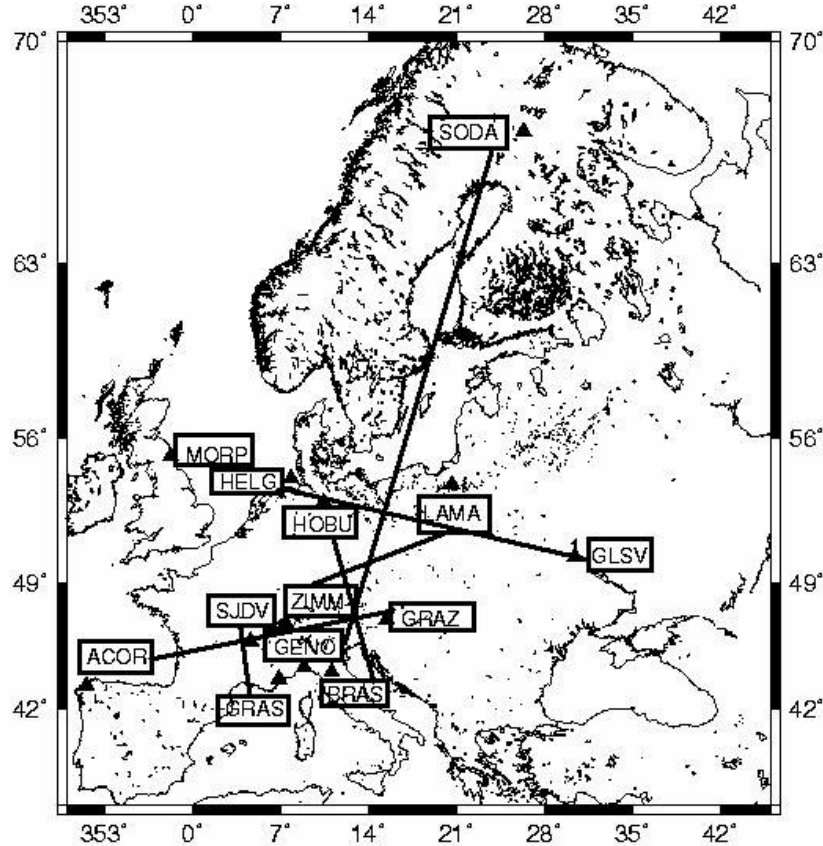
sıklıkta örneklendiği gözlenmiş ve bunun da sonuçlar üzerinde istatistiksel olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada uzun bazların örneklenmesi 300 km'den başlayarak 3000 km'ye kadar olabildiğince homojen bir şekilde gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Baz uzunluğu anılan çalışmalardakine göre 10 kat daha arttırılmış ve GPS konum belirleme doğruluğunun baz uzunluğu ile ilintisi derinlemesine araştırılmaya çalışılmıştır.

6.GPS VERİLERİNİN HAZIRLANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ:

GPS verileri SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) arşivleri yardımıyla EUREF (European Reference Frame) ve IGS ağlarından elde edilmiştir. SOPAC İnternet sayfasından elde edilen EUREF ve IGS ağı istasyonlarının bazıları Şekil 6.1’de gösterilmektedir. GPS verileri RINEX formatında elde edilmiş olup 30sn aralıklı ve 15° yükseklik açısı ile IGS standartlarında örneklenmişlerdir. Değerlendirmede IGS duyarlı yörüngeleri kullanılmış ve yine bu yörüngeler de SOPAC arşivlerinden elde edilmiştir.

GPS verilerinin değerlendirilmesinde JPL’in GIPSY OASIS II yazılımı kullanılmıştır. GPS baz bileşenleri başlangıç faz bilinmeyenleri çözülerek ve Zumberge vd. 1997 tarafından geliştirilen PPP (Duyarlı Konum Belirleme) algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Çözümde okyanus yüklemesi etkisi Schernek’in modeli kullanılarak giderilmiş (<http://www.oso.chalmers.se/~loading/>), troposferin kestiriminde ise Random Walk yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 6.1 EUREF ve IGS GPS istasyonları.

Ölçüm süresine bağlı etkiyi araştırmak üzere 10 günlük sürekli GPS verisi 4, 6, 8 ve 12 saatlik alt aralıklara bölünmüş ve bu veriler tek tek değerlendirilerek kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri Soler vd. 2005’de anlatıldığı gibi hesaplanmıştır. 10 adet 24 saatlik verinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen GPS baz bileşenlerinin aritmetik ortalaması doğru değerler olarak alınmış ve kısa ölçüm sürelerinden kestirilen baz bileşenlerinin doğruluğu bu değerlerden olan farkların Karesel Ortalama Hatası (kaynaklarda sıkça RMS olarak geçiyor) alınarak belirlenmiştir. 24 saat boyunca yapılan gözlemler sonucunda tüm uydu konfigürasyonu verileri ile çalışıldığından, uydu-alıcı geometri hataları ve çok yolluluk hatalarının büyük ölçüde giderildiği düşünülmektedir.

7.UYGULAMA

7.1 Uygulamanın Amacı

Bu çalışmada GPS verileri kullanılarak GIPSY Duyarlı Konum Belirleme (Precise Point Positioning – PPP) yapılırken baz uzunluğunun, veri sayısının ve ölçüm süresinin elde edilen sonuçların doğruluğunu nasıl etkilediği incelenmiştir.

Genel olarak bir bölgede GPS ölçümü yapılırken belirlenen noktalarda ne kadar çok durulursa elde edeceğimiz duyarlılığın o derece artması gerekmektedir. Daha önce Özer 2004'te az veri kullanarak 500km ile 2400km arası uzunluğa sahip bazlar üzerinde çalışmalar yapılmış, yeterli duyarlılıkta sonuçların en kısa sürede nasıl elde edileceği konusuna değinilmiştir. Ancak az veriye dayanması nedeniyle bu çalışmanın sonuçlarının istatistiksel anlamlılığının düşük olacağı değerlendirilmektedir.

Yaptığımız çalışmada, benzer uzunluktaki bazlar kullanılarak veri sayısı en az 10 kat kadar artırılmıştır. Ayrıca, bazları oluşturacak noktalar aynı doğrultuda seçilmeyip dağınık bir yapıda bulunmaları sağlanmıştır. Her bir baz üzerinde elde edilen veriler sırası ile 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik periyotlara ayrılarak GIPSY programı ile değerlendirilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar ile daha önceki çalışmaların sonuçları karşılaştırılarak, sonuçlarda bir iyileşme olup olmadığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafik şeklinde yorumlanarak baz uzunluğunun GPS konum doğruluğu üzerinde etkisi olup olmadığı gösterilmiştir.

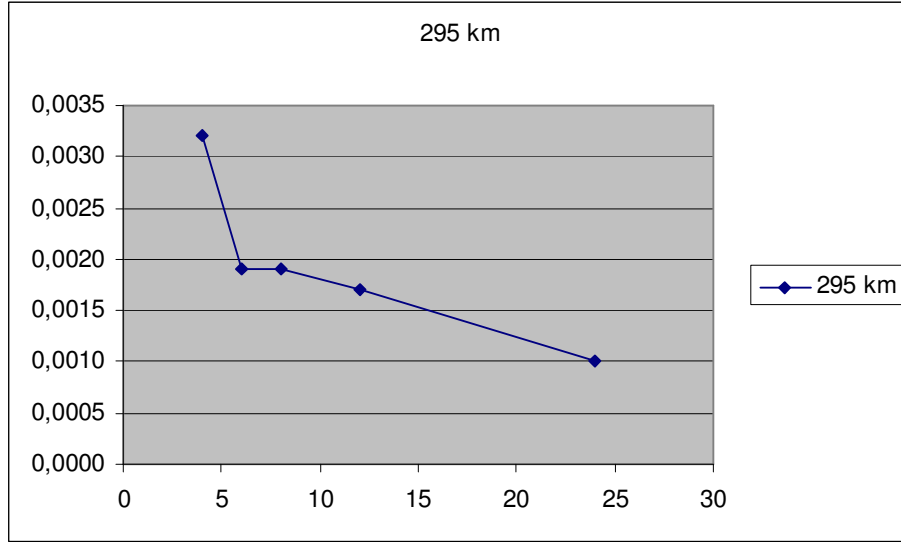
Tabii ölçüm sırasında uygun uydu konfigürasyonunun belirlenememesi, atmosferik etkiler, faz sıçramaları, multipath vb. etkiler istenilen sonuçlara ulaşılmasını engelleyecektir. Kısa süreli ölçüm yapıldığında, bunları ya elimine etmek ya da minimuma indirmek bizim elimizdedir. GPS ölçülerini bu gibi etkenlerden arındırdığımızda istenilen duyarlık elde edilecektir.

Bu çalışma uzun bazlardaki ölçmeleri ilgilendirdiği için ve birebir uygulama şansı olmayacağından kullandığımız GPS verileri, uluslararası GPS Servisi (IGS) ağından temin edilmiştir. Avrupa'da bulunan EUREF noktalarından amacımıza yönelik bir seçim yapıldı. SOPAC internet sitesinde bulunan Avrupa haritasından 14 nokta belirlenmiştir. Bazları oluşturan noktaların isimleri sırası ile Sjd, Gras, Morp, Helg, Hobu, Bras, Lama, Zimm,

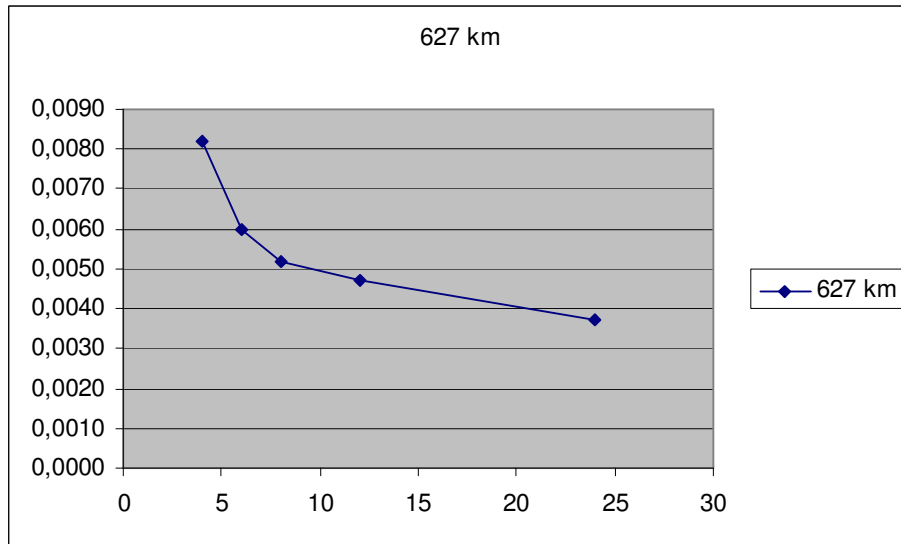
Helg, Glsv, Acor, Graz, Soda, Geno dur. Bu noktaların aralarındaki mesafeler 295km ile 2739km arasında değişen bazları oluşturmaktadır.

Tablo 7.1 Kuzey Bileşenlerinin Karesel Ortalama Hataları (RMS'ler)

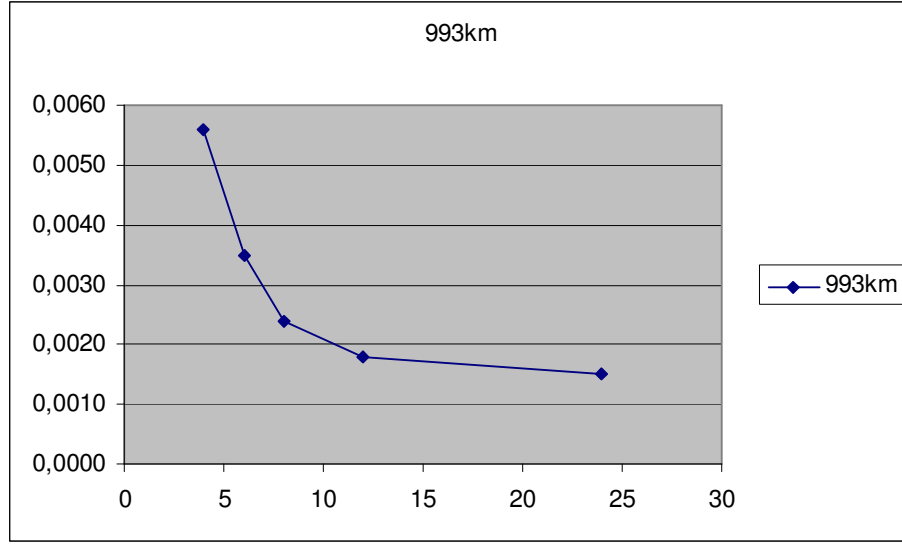
SJDV-GRAS	295 km	MORP-HELG	627 km	HOBUBRAS	993 km
4	0,0032	4	0,0082	4	0,0056
6	0,0019	6	0,0060	6	0,0035
8	0,0019	8	0,0052	8	0,0024
12	0,0017	12	0,0047	12	0,0018
24	0,0010	24	0,0037	24	0,0015
LAMAZIMM	1216km	HELGLSV	1588km	ACORGRAZ	1906km
4	0,0075	4	0,0093	4	0,0061
6	0,0049	6	0,0080	6	0,0023
8	0,0052	8	0,0044	8	0,0027
12	0,0042	12	0,0046	12	0,0018
24	0,0036	24	0,0030	24	0,0016
SODAGENO	2739km				
4	0,0157				
6	0,0110				
8	0,0098				
12	0,0056				
24	0,0023				



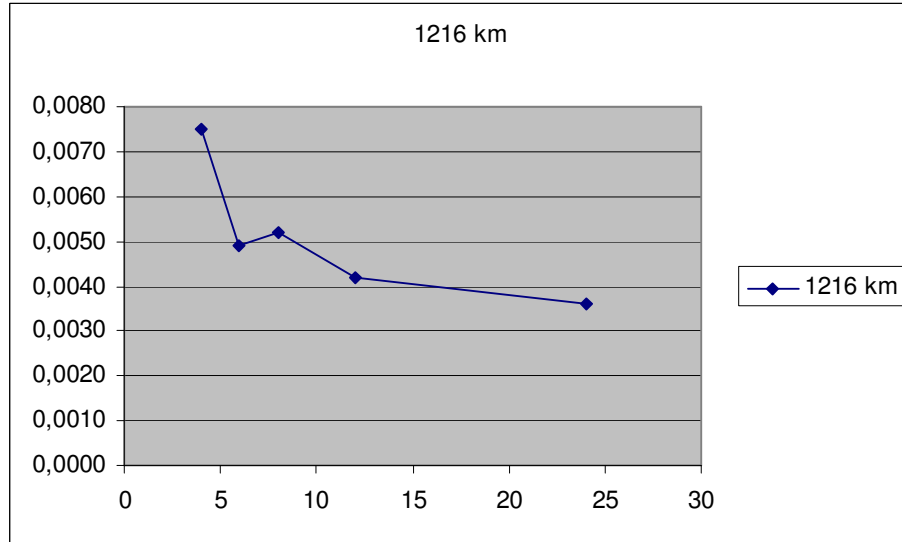
Şekil 7.1 295 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



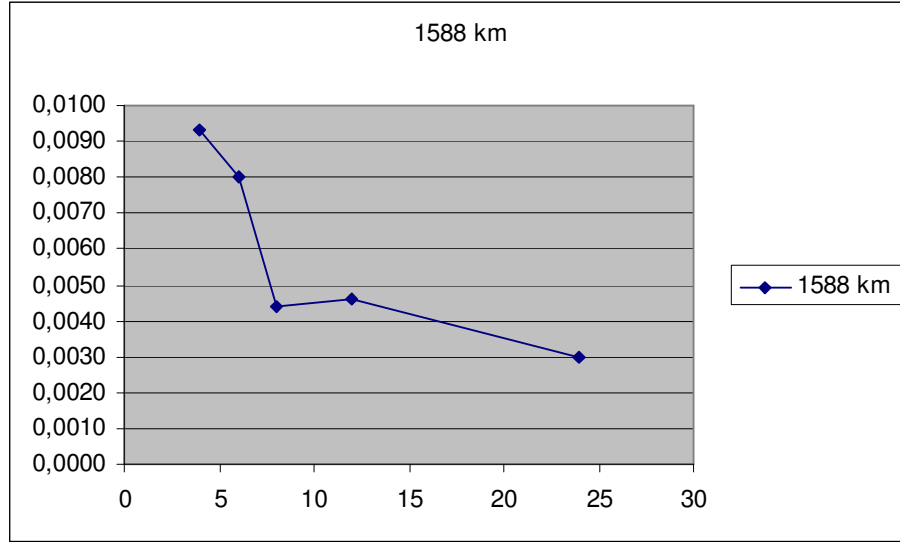
Şekil 7.2 627 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri



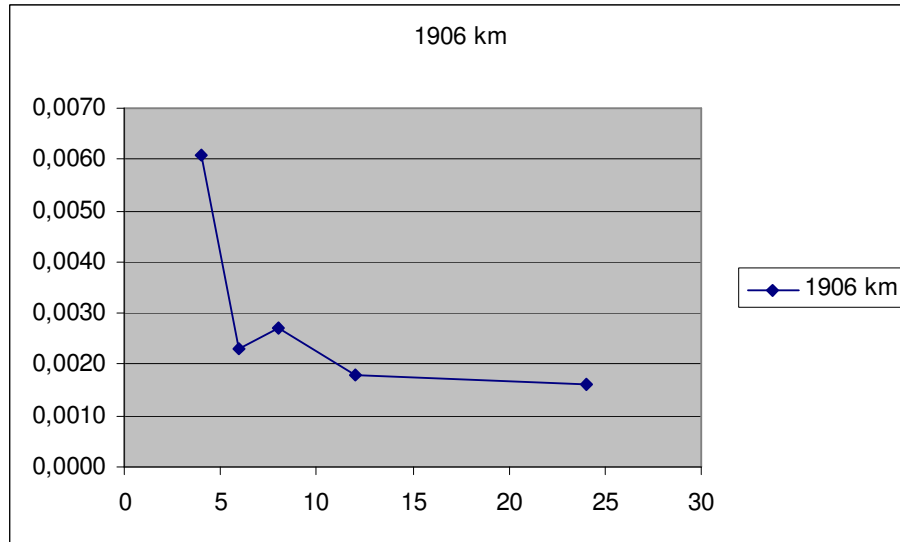
Şekil 7.3 993 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



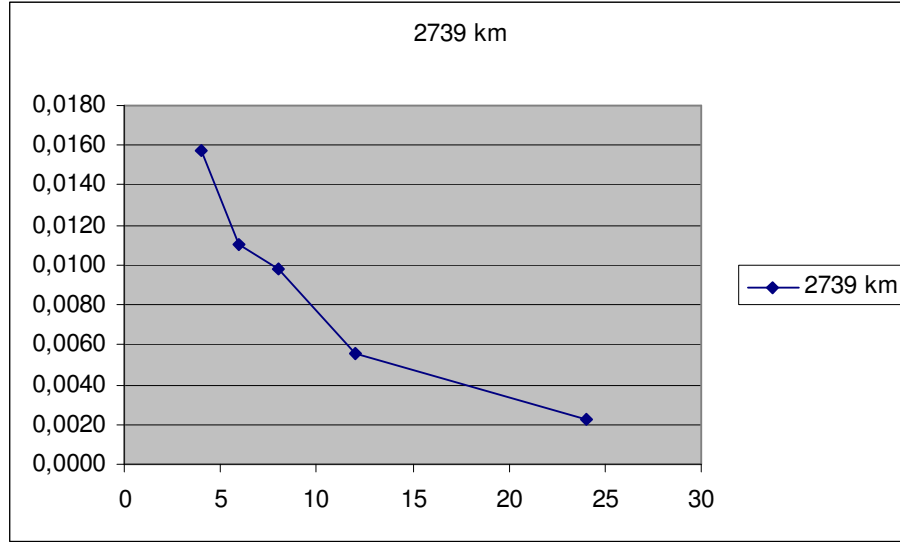
Şekil 7.4 1216 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



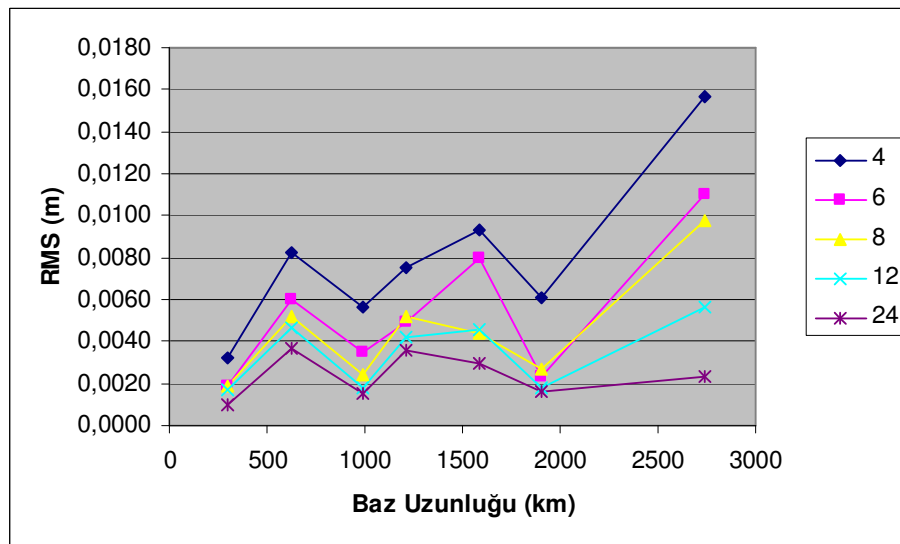
Şekil 7.5 1588 km'lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



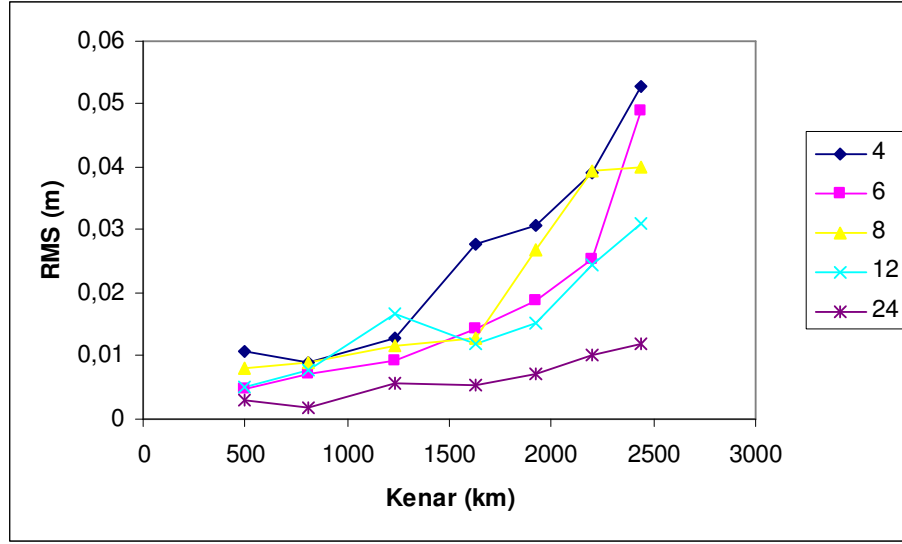
Şekil 7.6 1906 km'lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri



Şekil 7.7 2739 km’lik bazın kuzey bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



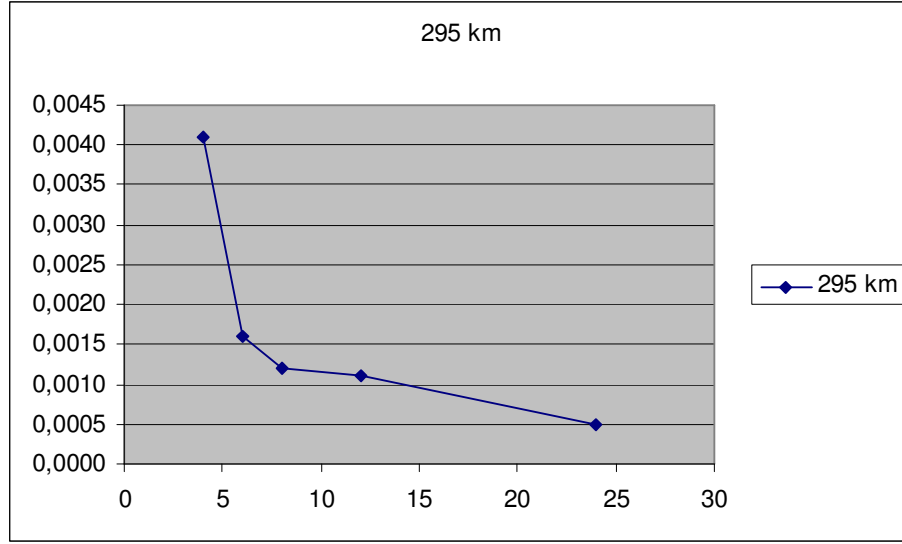
Şekil 7.8 Kuzey bileşeninin RMS değerleri’nin baz uzunluğuna göre değişimi.



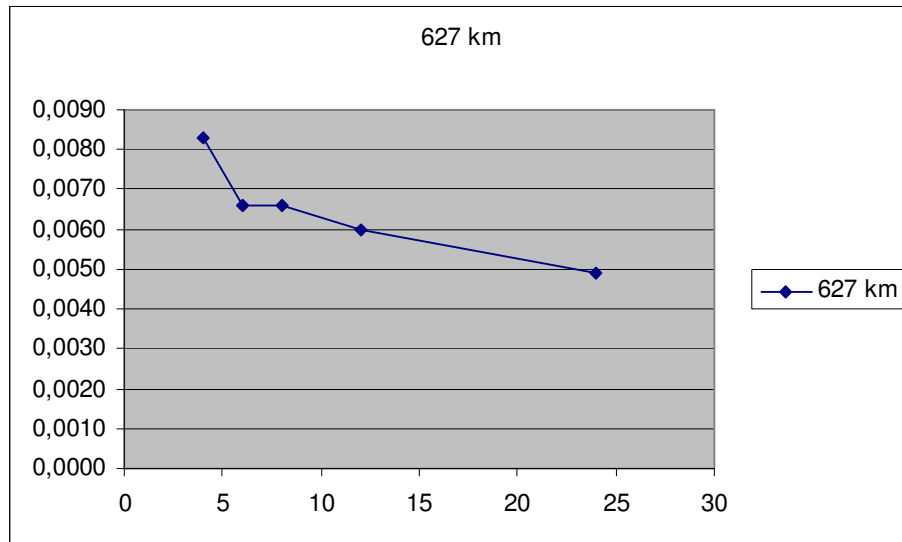
Şekil 7.9 Özer 2004 tarafından 6 ölçü ile yapılmış “kuzey” bileşenlerinin değerlendirme sonuçları.

Tablo 7.2 Doğu bileşenlerinin Karesel Ortalama Hataları (RMS Değerleri)

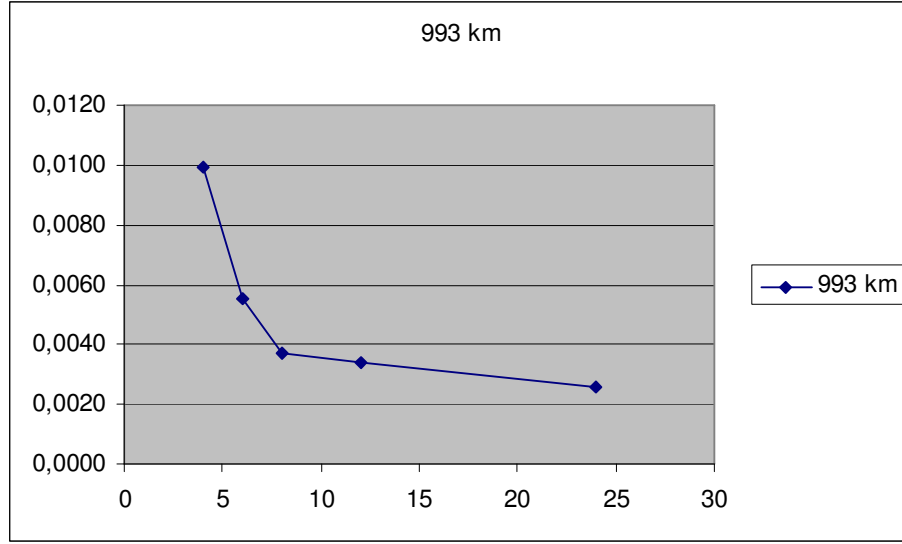
SJDV-GRAS	295 km	MORP-HELG	627 km	HOBUBRAS	993 km
4	0,0041	4	0,0083	4	0,0099
6	0,0016	6	0,0066	6	0,0055
8	0,0012	8	0,0066	8	0,0037
12	0,0011	12	0,0060	12	0,0034
24	0,0005	24	0,0049	24	0,0026
LAMAZIMM	1216 km	HELGLSV	1588 km	ACORGRAZ	1906 km
4	0,0118	4	0,0101	4	0,0087
6	0,0086	6	0,0093	6	0,0054
8	0,0057	8	0,0074	8	0,0050
12	0,0047	12	0,0053	12	0,0050
24	0,0042	24	0,0062	24	0,0022
SODAGENO	2739 km				
4	0,0249				
6	0,0202				
8	0,0122				
12	0,0126				
24	0,0048				



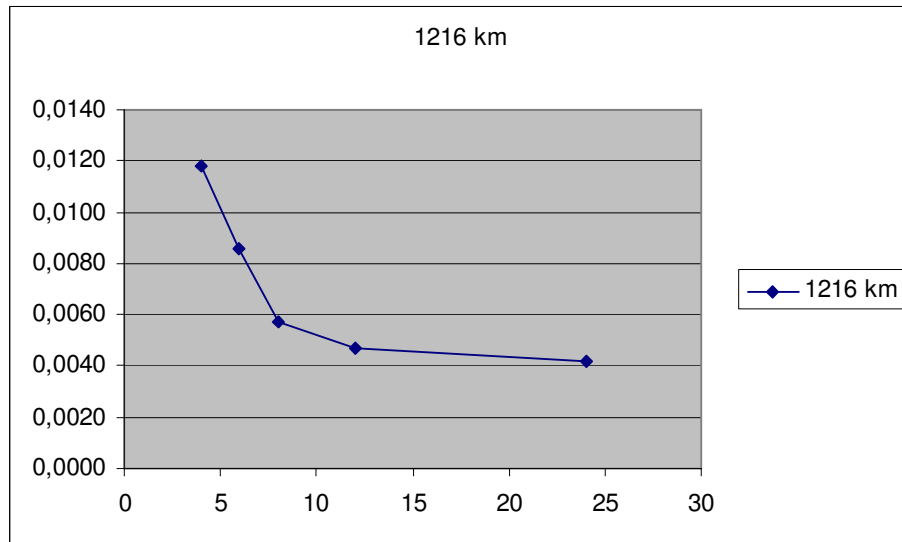
Şekil 7.10 295 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



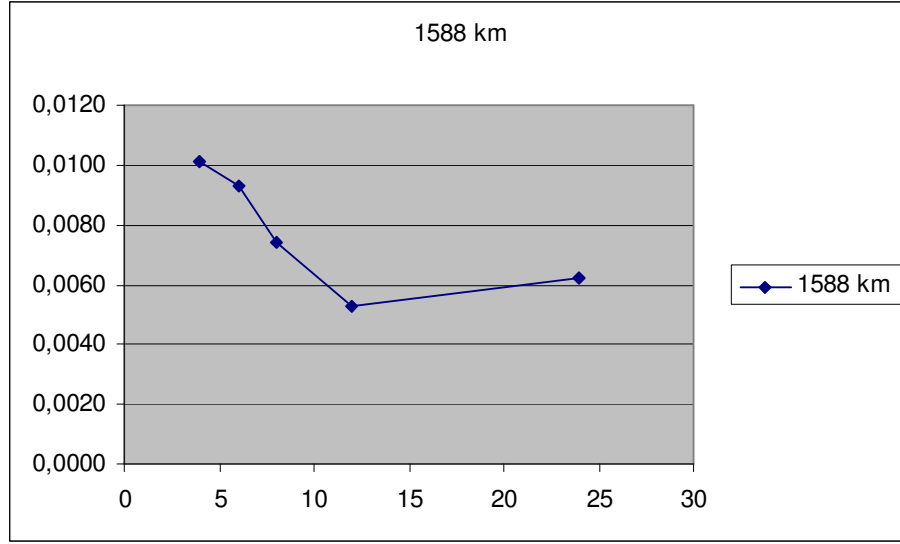
Şekil 7.11 627 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



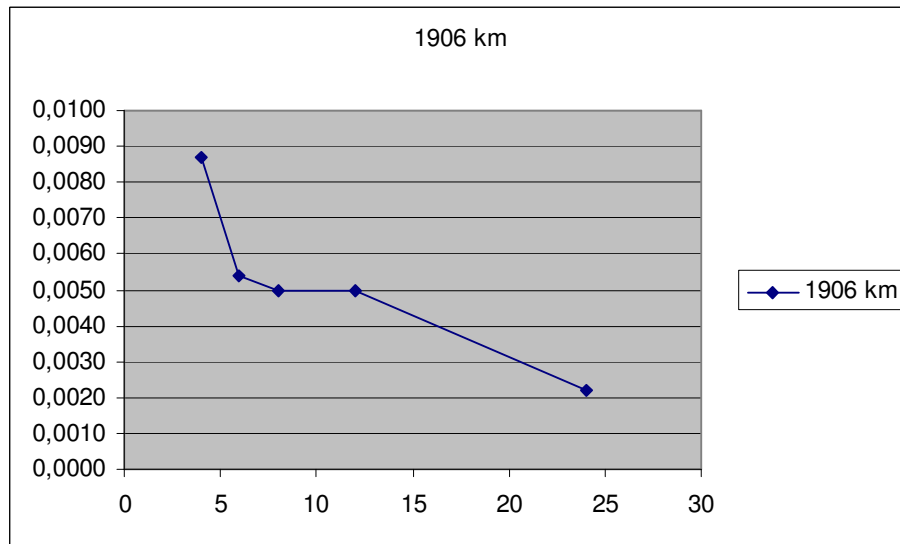
Şekil 7.12 993 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



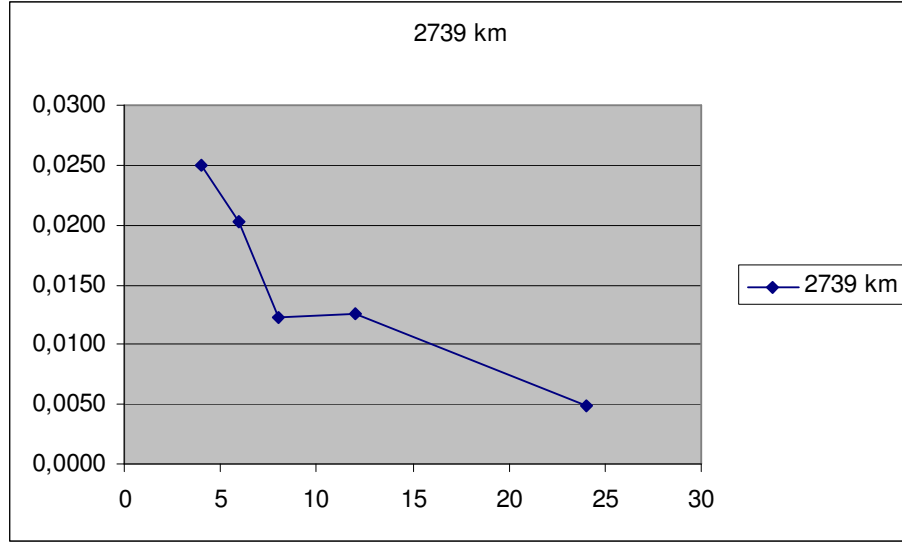
Şekil 7.13 1216 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



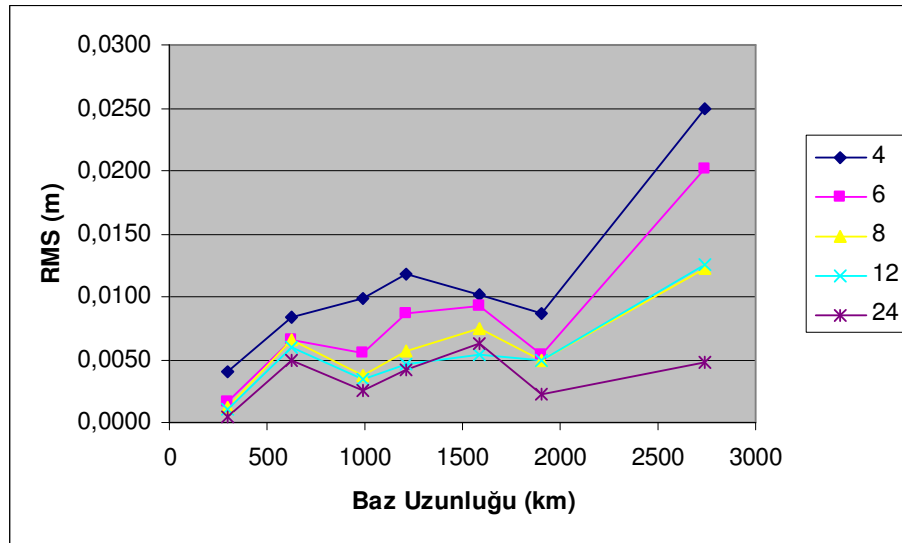
Şekil 7.14 1588 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



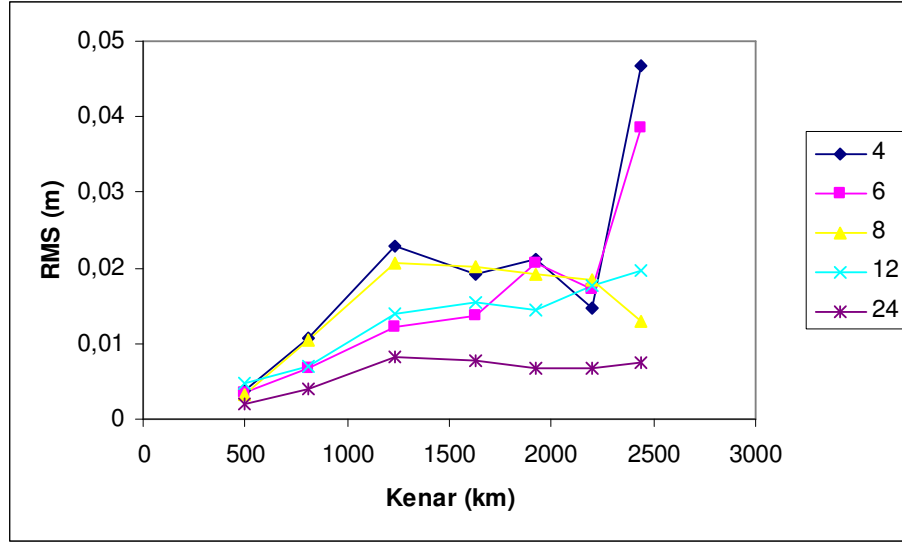
Şekil 7.15 1906 km’lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



Şekil 7.16 2739 km'lik doğu bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



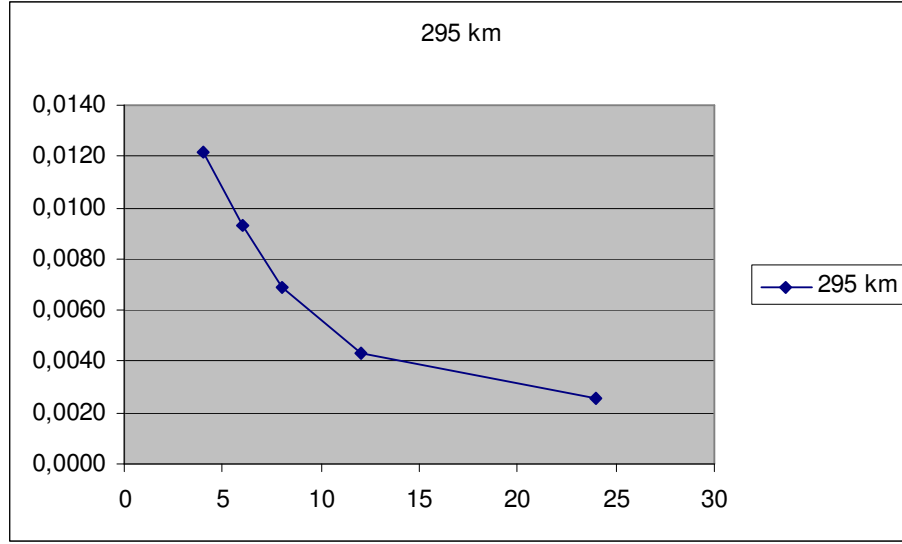
Şekil 7.17 Doğu bileşeninin RMS değerlerinin baz uzunluğuna göre değişimi.



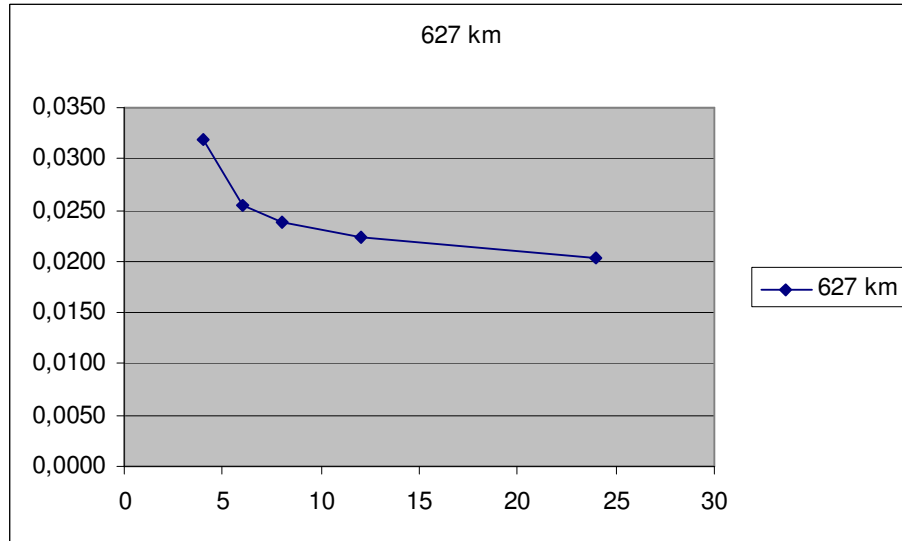
Şekil 7.18 Özer 2004 tarafından 6 ölçü ile yapılmış “doğu” bileşenlerinin değerlendirme sonuçları.

Tablo 7.3 Yukarı Bileşenlerinin Karesel Ortalama Hataları (RMS Değerleri)

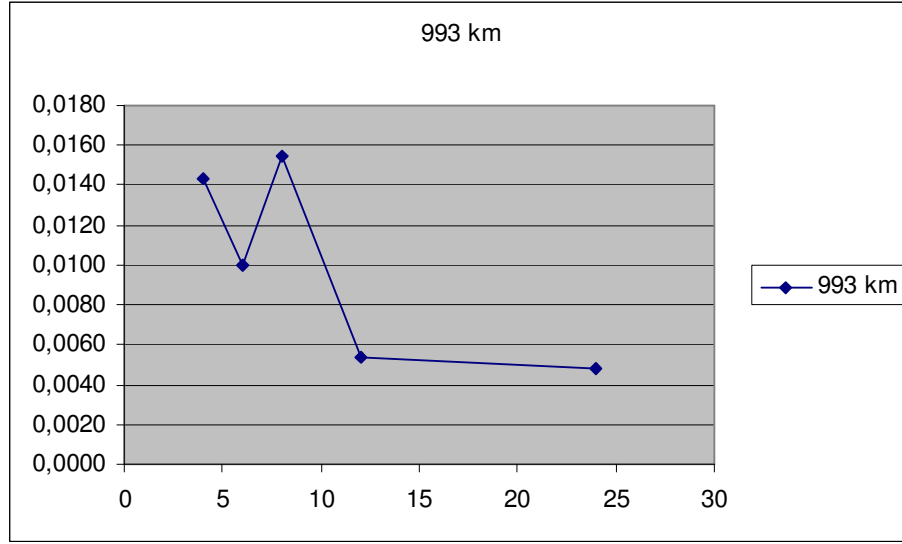
SJDV-GRAS	295 km	MORP-HELG	627 km	HOBUBRAS	993 km
4	0,0122	4	0,0319	4	0,0143
6	0,0093	6	0,0254	6	0,0100
8	0,0069	8	0,0238	8	0,0155
12	0,0043	12	0,0223	12	0,0054
24	0,0026	24	0,0204	24	0,0048
LAMAZIMM	1216 km	HELGLSV	1588 km	ACORGRAZ	1906 km
4	0,0119	4	0,0261	4	0,0207
6	0,0092	6	0,0220	6	0,0150
8	0,0082	8	0,0199	8	0,0110
12	0,0072	12	0,0154	12	0,0062
24	0,0044	24	0,0097	24	0,0064
SODAGENO	2739 km				
4	0,0324				
6	0,0412				
8	0,0266				
12	0,0227				
24	0,0104				



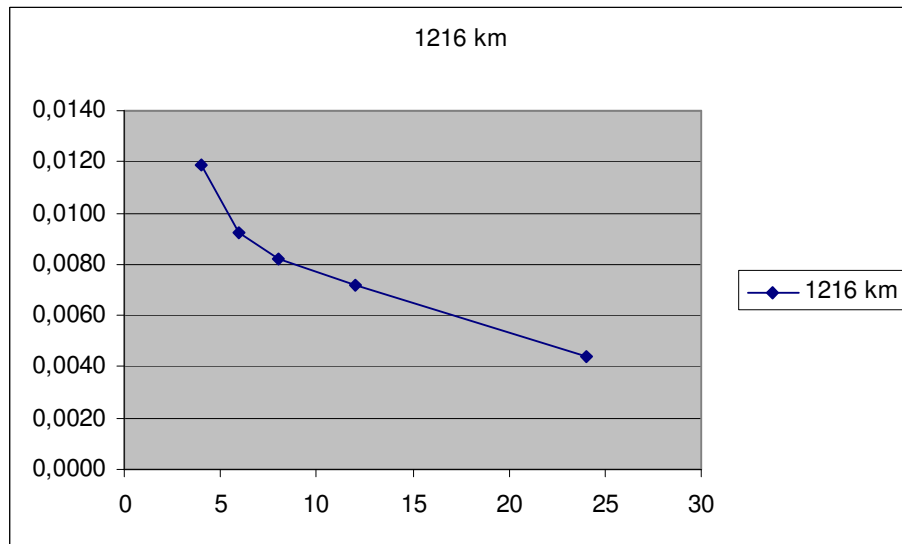
Şekil 7.19 295 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



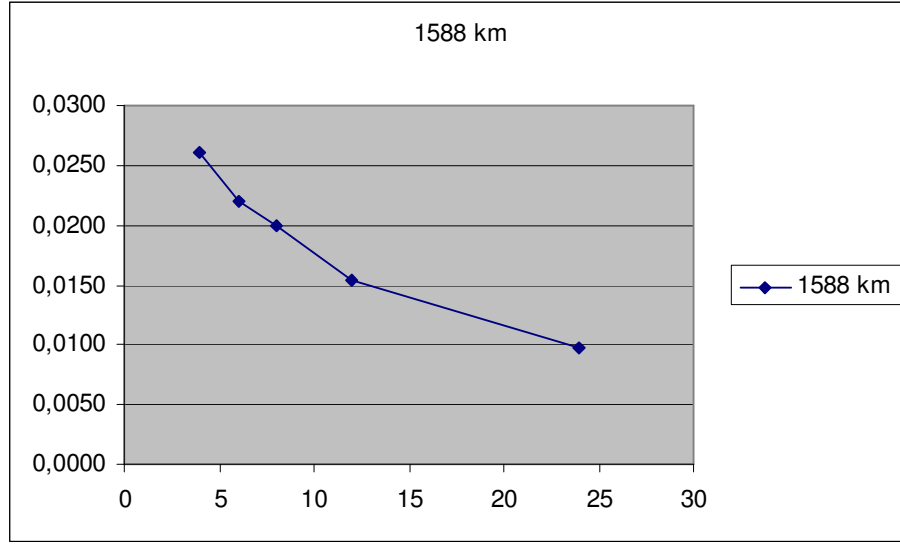
Şekil 7.20 627 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



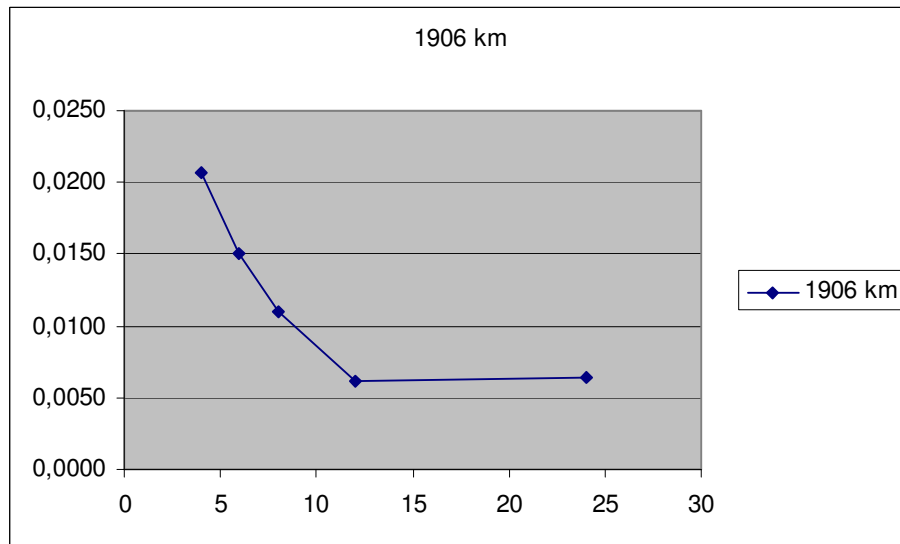
Şekil 7.21 993 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



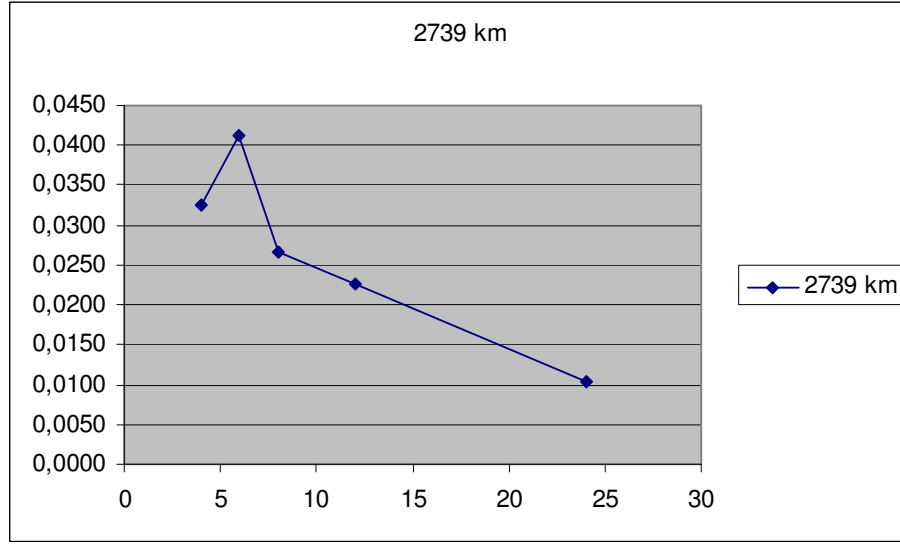
Şekil 7.22 1216 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine RMS değerleri.



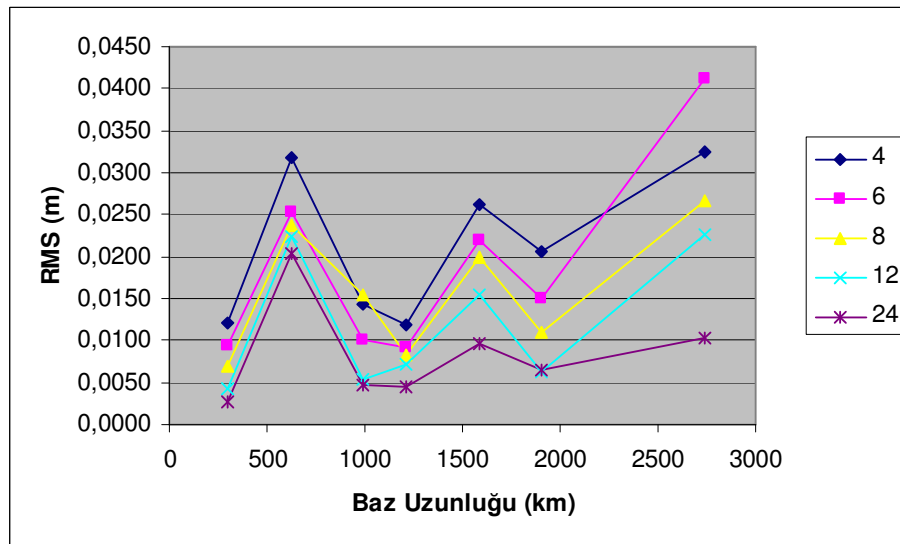
Şekil 7.23 1588 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine RMS değerleri.



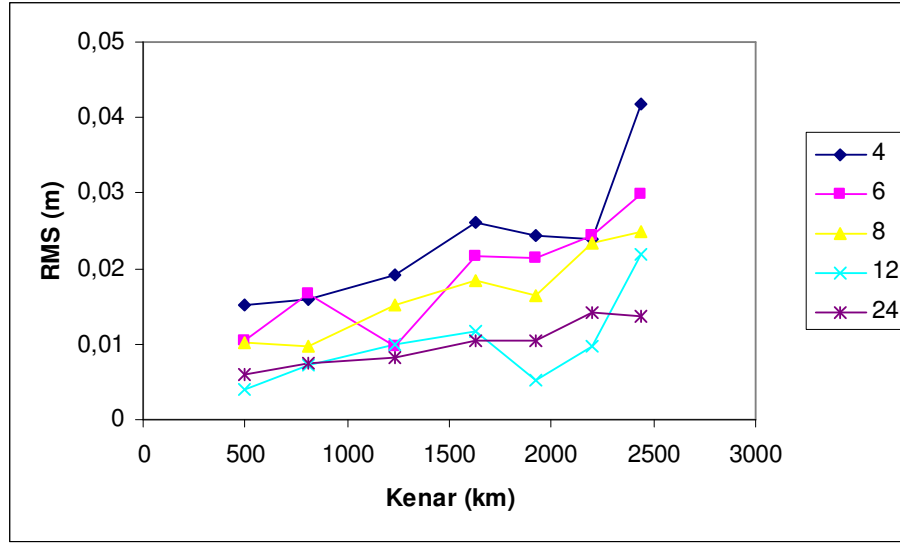
Şekil 7.24 1906 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine RMS değerleri.



Şekil 7.25 2739 km’lik bazın yükseklik bileşeninin ölçü süresine göre RMS değerleri.



Şekil 7.26 Yukarı bileşeninin RMS değerlerinin baz uzunluğuna göre değişimi.



Şekil 7.27 Özer 2004 tarafından 6 ölçü ile yapılmış “Yukarı” bileşenlerinin değerlendirme sonuçları.

Değerlendirmenin sonucu olarak ortaya çıkarılan grafikler karşılaştırıldığında; genelde tüm baz bileşenlerinde bir iyileşme görüldüğü ortaya çıkmaktadır. Ancak burada göz önünde bulundurulması gereken bir husus Özer 2004’de yapılan değerlendirmenin bir “duyarlık” değerlendirmesi olduğudur. Bu çalışmada ise literatürde önerildiği şekilde bir “doğruluk” değerlendirilmesi yapılmıştır. Bununla beraber, bu çalışmada yapılan bir “doğruluk”-“duyarlık” karşılaştırmasında sonuçların ihmal edilecek küçük miktarlarda (< 1 mm) bir birinden fark ettiği görülmüştür. Dolayısıyla sonuçların doğrudan Özer 2004 ile karşılaştırılmasında istatistiksel anlamda bir sakınca bulunmamaktadır.

Baz bileşenlerindeki iyileşmeye “kuzey” bileşen örnek verilebilir. 6 ölçü ile yapılan değerlendirme sonucunda kuzey bileşen üzerinde, 4 saatlik veriler kullanılarak elde edilen maksimum hata oranı 5 cm iken fazla sayıda veri kullanıldığında bu oran 1,5-2,0 cm’ye düşmektedir. Oturum süresi arttıkça hata miktarı azalmaktadır. 24 saatlik veriler ile çalışıldığında yaklaşık 2,5 mm karesel ortalama hata ile baz çözümü sağlanabilmektedir.

Özer 2004 sonuçlarında da konum belirleme doğruluğunun genel anlamda istasyonlar arası mesafeye bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada da BERNESE 4.2 kullanılmış ve çalışma sonuçları Doğan 2007’de verilen sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Ancak Doğan

2007’de mesafeye bağlı örneklemenin homojen olmayışı ve zer 2004’de ise veri adedinin çok az oluşunun sonuçların istatistiksel anlamlılığını düşürebileceği değerlendirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, genel anlamda konum belirleme doğruluğunun istasyonlar-arası mesafeye (baz uzunluğuna) ve gözlem süresine bağlılığı bir kez daha incelemeye alınmıştır. Eckl vd. 2001 ve Doğan 2007’ye göre 10 kat daha uzun bazlar kullanıldığından, baz uzunluğu homojen bir şekilde arttırıldığından ve baz doğrultularının tüm yönlerde seçilmesi nedeniyle sonuçların tutarlılığının daha yüksek olacağı değerlendirilmektedir.

7.2 Eckl vd. 2001 ile Karşılaştırma

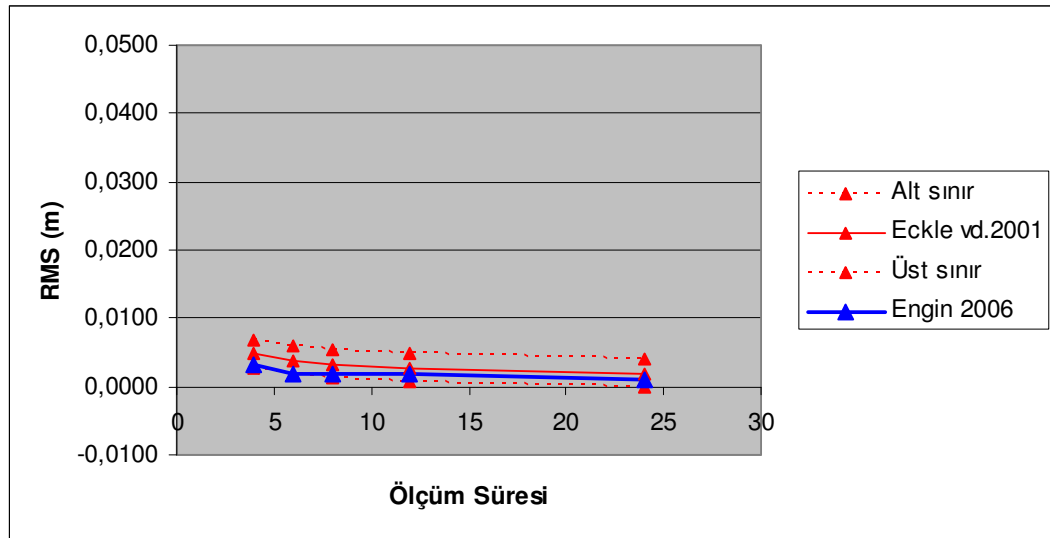
Uzun bazlar ile yapmış olduğumuz çalışmanın Eckl vd. 2001 modeli ile uyum sağlayıp sağlamadığını test etmek, daha doğrusu çok daha uzun seçilen bazlarda uzunluğuna bağlı konum doğruluğunu inceleyebilmek için, değerlendirme sonucunda elde edilen değerler, Eckl vd. 2001 modelini oluşturan formüller üzerine uygulanmıştır. Özetle Eckl 2001’de önerilen formüllere göre, ölçüm süresi (T) ye bağlı değişim ile bu değişimin alt ve st sınırları grafik olarak gösterilmiş ve bu çalışmadan bulunan değerler Ekle vd. 2001 sonuçları ile çakıştırılarak sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır.

Tablo 7.2.1 Kuzey bileşenlerinin ölçüm süresine bağlı olarak elde edilen Karesel ortalama Hataları (RMS Değerleri).

Kuzey Bileşenleri İçin Eckle Testi						
	km	4	6	8	12	24
SJDV-GRAS	295	0,0032	0,0019	0,0019	0,0017	0,0010
MORP-HELG	627	0,0082	0,0060	0,0052	0,0047	0,0037
HOBU-BRAS	993	0,0056	0,0035	0,0024	0,0018	0,0015
LAMA-ZIMM	1216	0,0075	0,0049	0,0052	0,0042	0,0036
HELG-GLSV	1588	0,0093	0,0080	0,0044	0,0046	0,0030
ACOR-GRAZ	1906	0,0061	0,0023	0,0027	0,0018	0,0016
SODA-GENO	2739	0,0157	0,0110	0,0098	0,0056	0,0023

Tablo 7.2.2 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

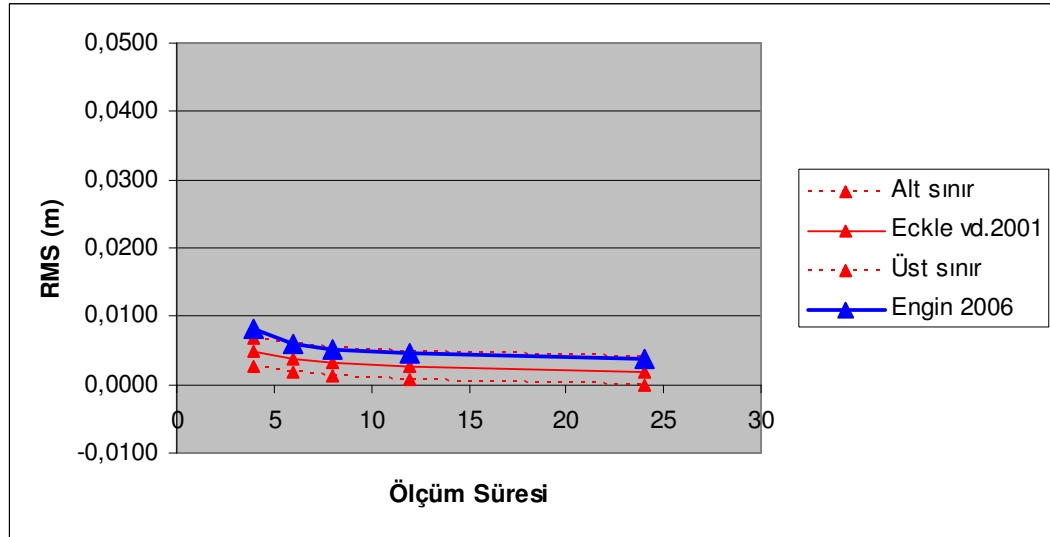
Ölçüm Süresi	$S_{n-2,1}$	S_n	$S_{n+2,1}$	Sjdv-Gras
4	0,0026	0,0048	0,0068	0,0032
6	0,0017	0,0038	0,0059	0,0019
8	0,0012	0,0033	0,0054	0,0019
12	0,0006	0,0027	0,0048	0,0017
24	-0,0002	0,0019	0,0040	0,0010



Şekil 7.2.1 Sjdv-Gras bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.3 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

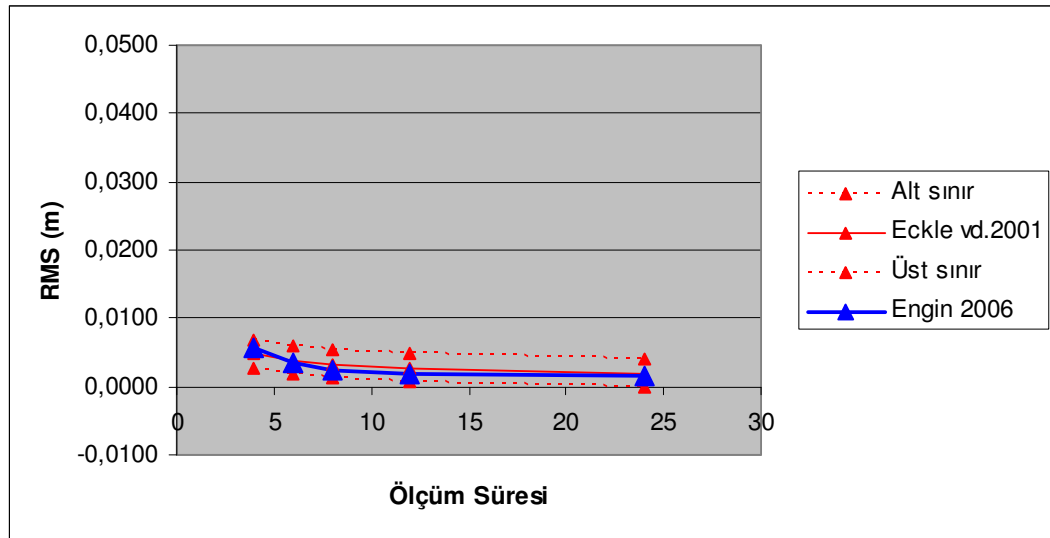
Ölçüm Süresi	Sn-2,1	Sn	Sn+2,1	Morp-Helg
4	0,0026	0,0048	0,0068	0,0082
6	0,0017	0,0038	0,0059	0,0060
8	0,0012	0,0033	0,0054	0,0052
12	0,0006	0,0027	0,0048	0,0047
24	-0,0002	0,0019	0,0040	0,0037



Şekil 7.2.2 Morp-Helg bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.4 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

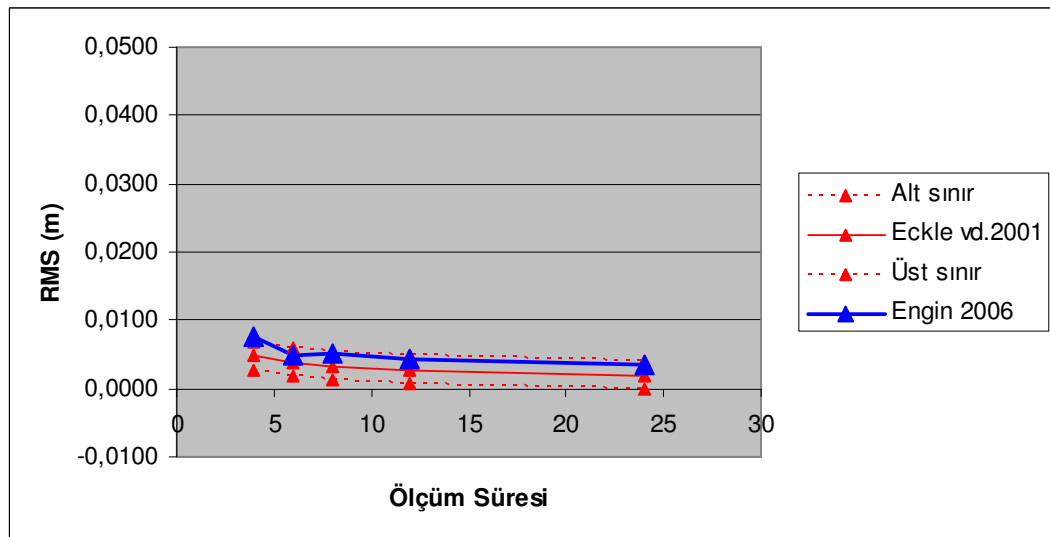
Ölçüm süresi	$S_{n-2,1}$	S_n	$S_{n+2,1}$	Hobu-Bras
4	0,0026	0,0048	0,0068	0,0056
6	0,0017	0,0038	0,0059	0,0035
8	0,0012	0,0033	0,0054	0,0024
12	0,0006	0,0027	0,0048	0,0018
24	-0,0002	0,0019	0,0040	0,0015



Şekil 7.2.3 Hobu-Bras bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.5 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

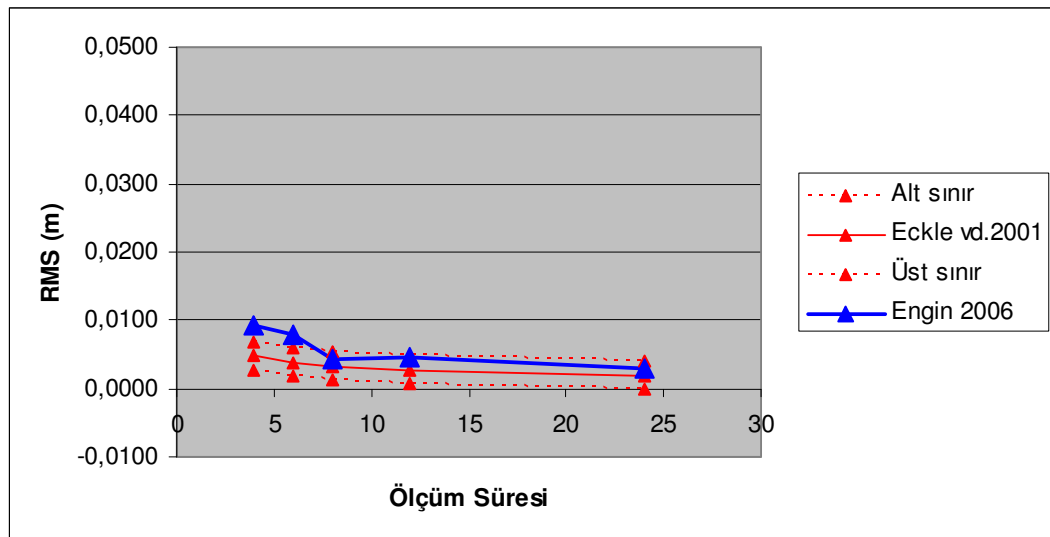
Ölçüm Süresi	$S_{n-2,1}$	S_n	$S_{n+2,1}$	Lama-Zimm
4	0,0026	0,0048	0,0068	0,0075
6	0,0017	0,0038	0,0059	0,0049
8	0,0012	0,0033	0,0054	0,0052
12	0,0006	0,0027	0,0048	0,0042
24	-0,0002	0,0019	0,0040	0,0036



Şekil 7.2.4 Lama-Zimm bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.6 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

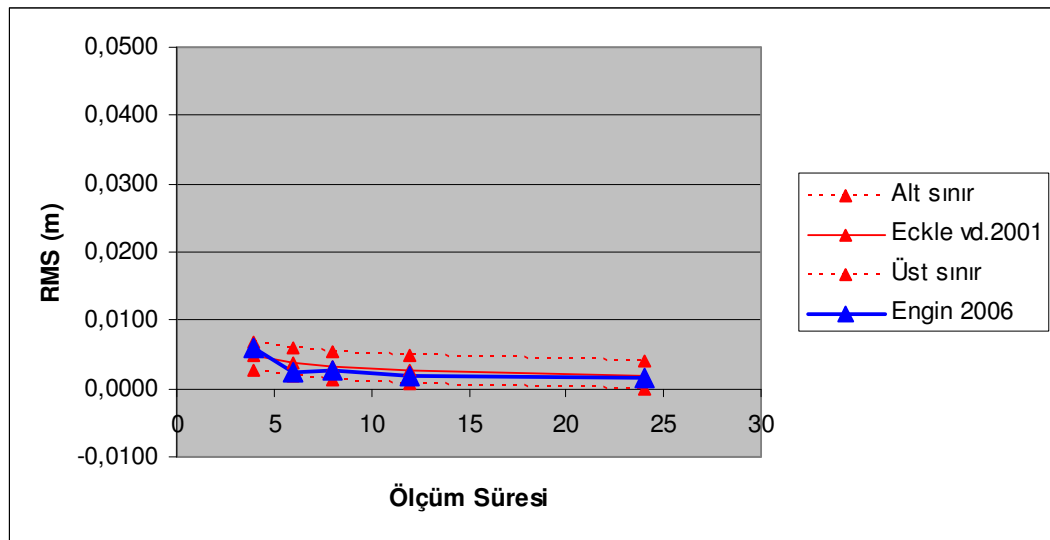
Ölçüm Süresi	$S_{n-2,1}$	S_n	$S_{n+2,1}$	Helg-Glsv
4	0,0026	0,0048	0,0068	0,0093
6	0,0017	0,0038	0,0059	0,0080
8	0,0012	0,0033	0,0054	0,0044
12	0,0006	0,0027	0,0048	0,0046
24	-0,0002	0,0019	0,0040	0,0030



Şekil 7.2.5 Helg-Glsv bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.7 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

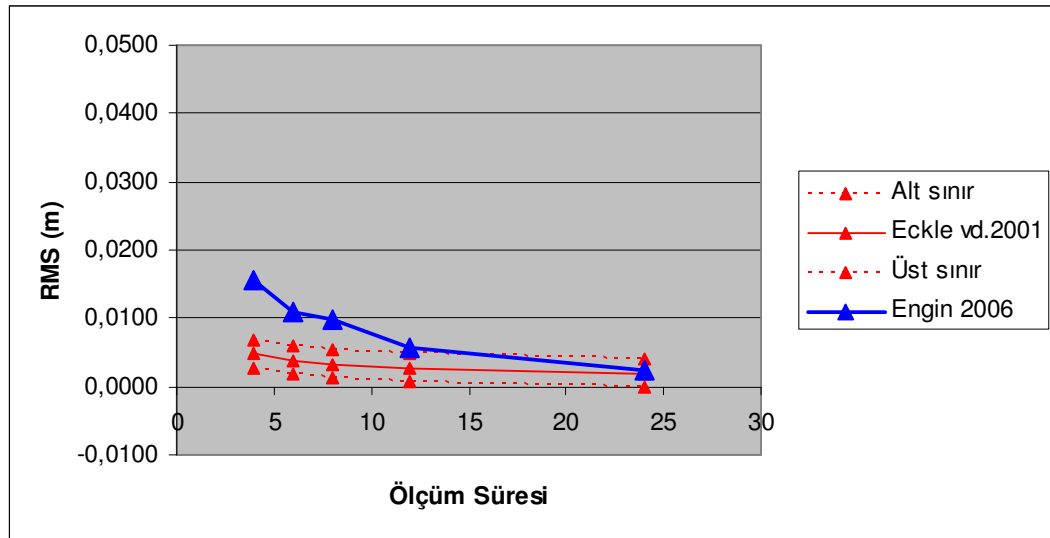
Ölçüm Süresi	$S_{n-2,1}$	S_n	$S_{n+2,1}$	Acor-Graz
4	0,0026	0,0048	0,0068	0,0061
6	0,0017	0,0038	0,0059	0,0023
8	0,0012	0,0033	0,0054	0,0027
12	0,0006	0,0027	0,0048	0,0018
24	-0,0002	0,0019	0,0040	0,0016



Şekil 7.2.6 Acor-Graz bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.8 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

Ölçüm Süresi	$S_{n-2,1}$	S_n	$S_{n+2,1}$	Soda-Geno
4	0,0026	0,0048	0,0068	0,0157
6	0,0017	0,0038	0,0059	0,0110
8	0,0012	0,0033	0,0054	0,0098
12	0,0006	0,0027	0,0048	0,0056
24	-0,0002	0,0019	0,0040	0,0023



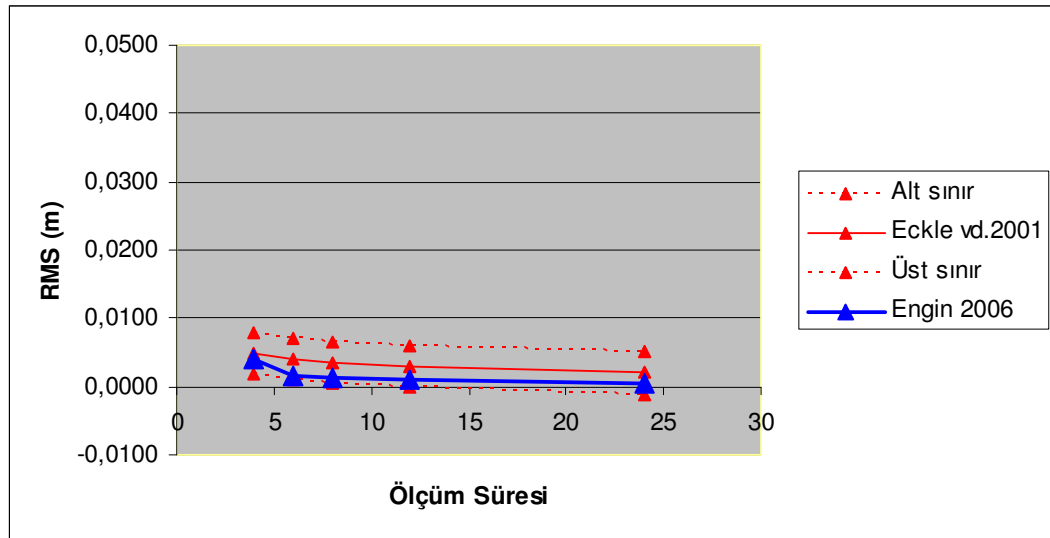
Şekil 7.2.7 Soda-Geno bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.9 Doğu bileşenlerinin ölçüm süresine bağlı olarak elde edilen Karesel Ortalama Hataları.

Doğu Bileşenleri İçin Eckle Testi						
	km	4	6	8	12	24
SJDV-GRAS	295	0,0041	0,0016	0,0012	0,0011	0,0005
MORP-HELG	627	0,0083	0,0066	0,0066	0,0060	0,0049
HOBV-BRAS	993	0,0099	0,0055	0,0037	0,0034	0,0026
LAMA-ZIMM	1216	0,0118	0,0086	0,0057	0,0047	0,0042
HELG-GLSV	1588	0,0101	0,0093	0,0074	0,0053	0,0062
ACOR-GRAZ	1906	0,0087	0,0054	0,0050	0,0050	0,0022
SODA-GENO	2739	0,0249	0,0202	0,0122	0,0126	0,0048

Tablo 7.2.10 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

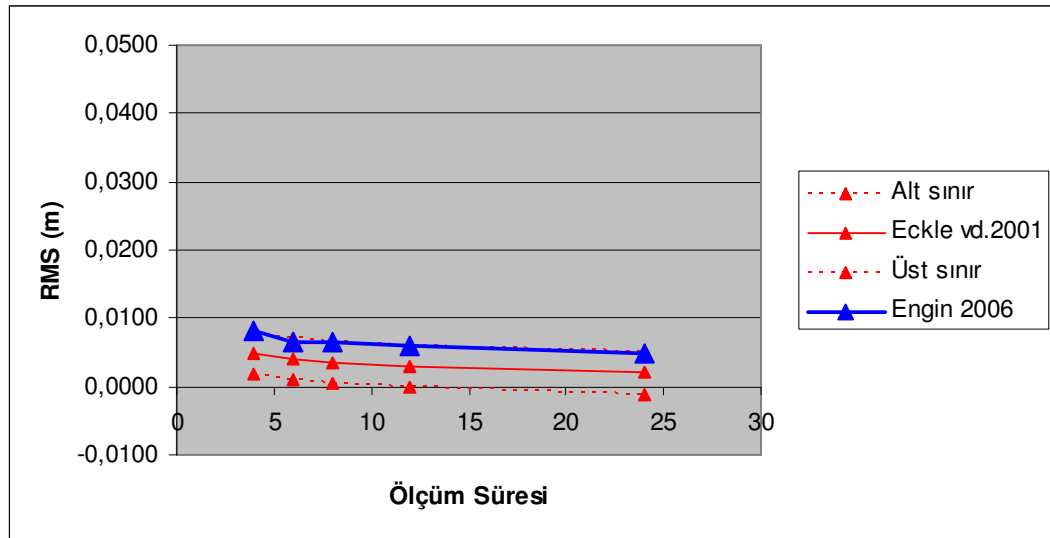
Ölçüm süresi	Se-3.1	Se	Se+3.1	Sjdv-Gras
4	0,0018	0,0049	0,0080	0,0041
6	0,0009	0,0040	0,0071	0,0016
8	0,0004	0,0035	0,0066	0,0012
12	-0,0002	0,0028	0,0060	0,0011
24	-0,0011	0,0020	0,0051	0,0005



Şekil 7.2.8 Sjdv-Gras bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.11 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

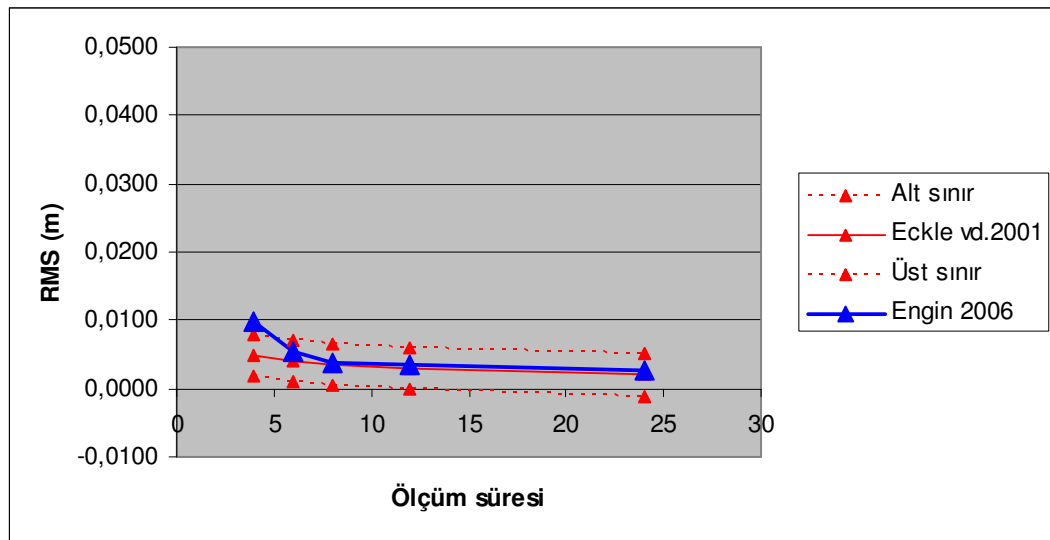
Ölçüm süresi	Se-3.1	Se	Se+3.1	Morp-Helg
4	0,0018	0,0049	0,0080	0,0083
6	0,0009	0,0040	0,0071	0,0066
8	0,0004	0,0035	0,0066	0,0066
12	-0,0002	0,0028	0,0060	0,0060
24	-0,0011	0,0020	0,0051	0,0049



Şekil 7.2.9 Morp-Helg bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.12 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

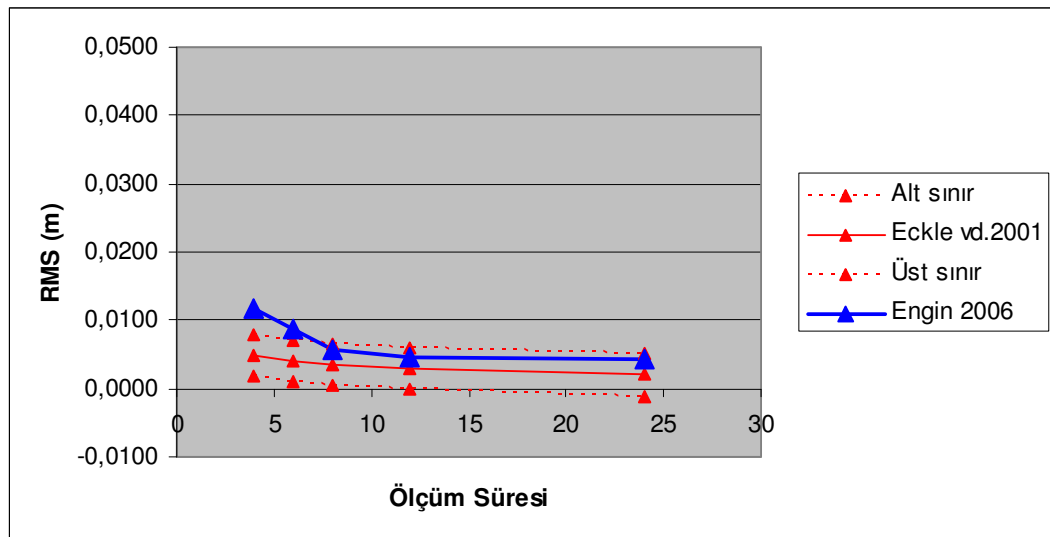
Ölçüm süresi	Se-3.1	Se	Se+3.1	Hobu-Bras
4	0,0018	0,0049	0,0080	0,0099
6	0,0009	0,0040	0,0071	0,0055
8	0,0004	0,0035	0,0066	0,0037
12	-0,0002	0,0028	0,0060	0,0034
24	-0,0011	0,0020	0,0051	0,0026



Şekil: 7.2.10 Hobu-Bras bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.13 Eckle modeline göre bulunan sonuçlar.

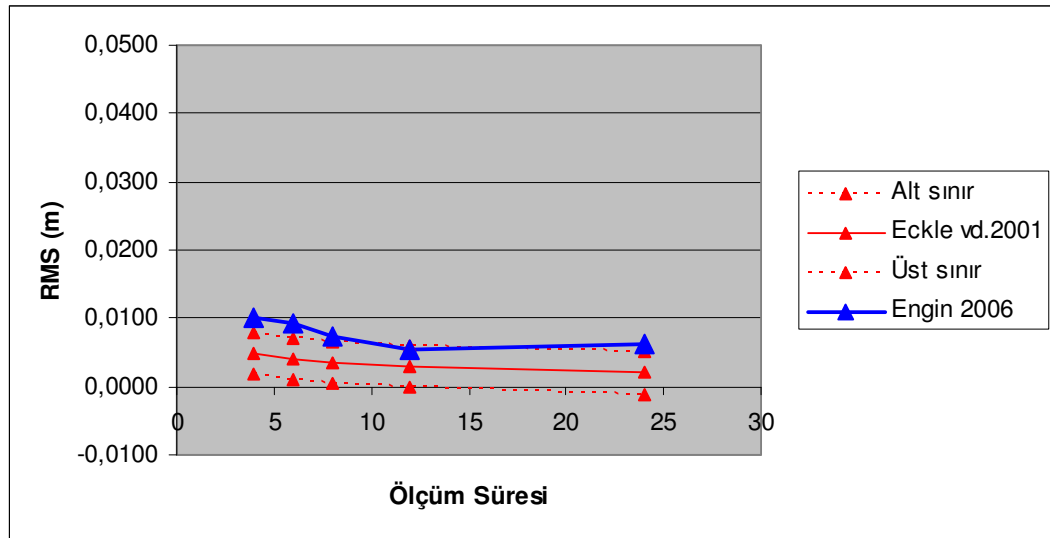
Ölçüm süresi	Se-3.1	Se	Se+3.1	Lama-Zimm
4	0,0018	0,0049	0,0080	0,0118
6	0,0009	0,0040	0,0071	0,0086
8	0,0004	0,0035	0,0066	0,0057
12	-0,0002	0,0028	0,0060	0,0047
24	-0,0011	0,0020	0,0051	0,0042



Şekil 7.2.11 Lama-Zimm bazının Eckle modeline uygulanması.

Tablo 7.2.14 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

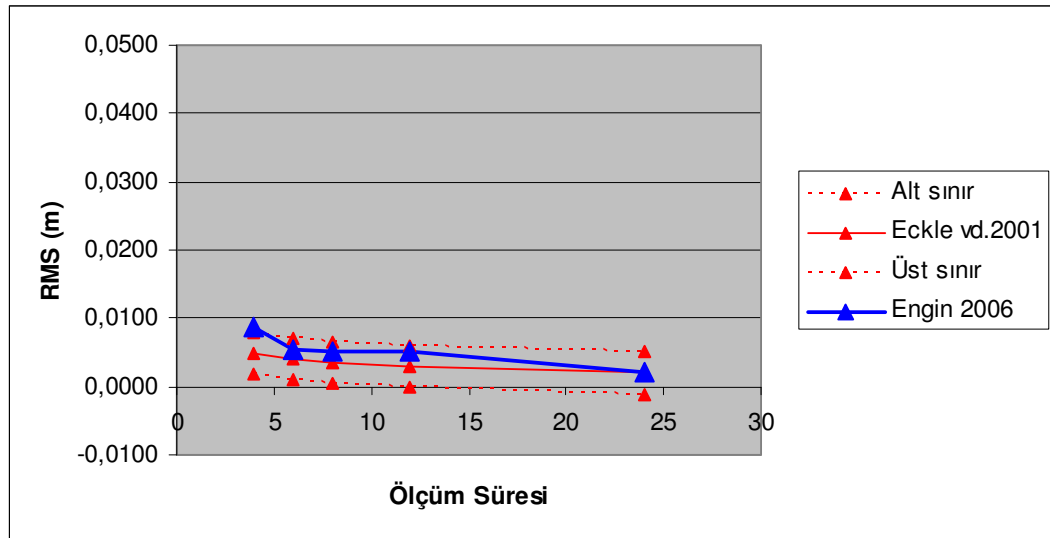
Ölçüm süresi	Se-3.1	Se	Se+3.1	Helg-Glsv
4	0,0018	0,0049	0,0080	0,0101
6	0,0009	0,0040	0,0071	0,0093
8	0,0004	0,0035	0,0066	0,0074
12	-0,0002	0,0028	0,0060	0,0053
24	-0,0011	0,0020	0,0051	0,0062



Şekil 7.2.12 Helg-Glsv bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.15 Eckle modeline göre bulunan sonuçlar.

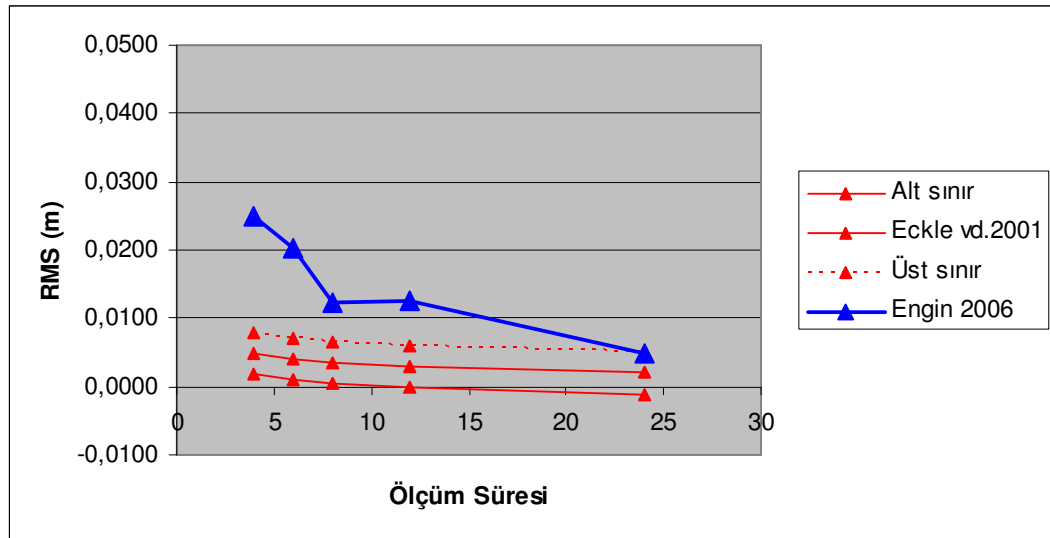
Ölçüm süresi	Se-3.1	Se	Se+3.1	Acor-Graz
4	0,0018	0,0049	0,0080	0,0087
6	0,0009	0,0040	0,0071	0,0054
8	0,0004	0,0035	0,0066	0,0050
12	-0,0002	0,0028	0,0060	0,0050
24	-0,0011	0,0020	0,0051	0,0022



Şekil 7.2.13 Acor-Graz bazının Eckle modeline uygulanması.

Tablo 7.2.16 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

Ölçüm süresi	Se-3.1	Se	Se+3.1	Soda-Geno
4	0,0018	0,0049	0,0080	0,0249
6	0,0009	0,0040	0,0071	0,0202
8	0,0004	0,0035	0,0066	0,0122
12	-0,0002	0,0028	0,0060	0,0126
24	-0,0011	0,0020	0,0051	0,0048



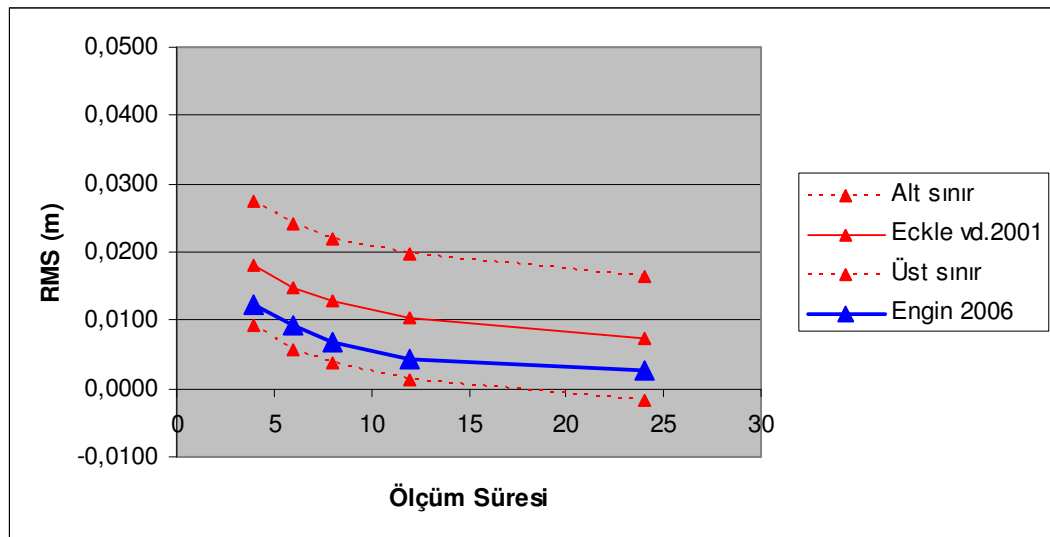
Şekil 7.2.14 Soda-Geno bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.17 Yukarı bileşenlerinin ölçüm süresine bağlı olarak elde edilen Karesel Ortalama Hataları.

Yukarı Bileşenleri İçin Eckle Testi						
	km	4	6	8	12	24
SJDV-GRAS	295	0,0122	0,0093	0,0069	0,0043	0,0026
MORP-HELG	627	0,0319	0,0254	0,0238	0,0223	0,0204
HOBV-BRAS	993	0,0143	0,0100	0,0155	0,0054	0,0048
LAMA-ZIMM	1216	0,0119	0,0092	0,0082	0,0072	0,0044
HELG-GLSV	1588	0,0261	0,0220	0,0199	0,0154	0,0097
ACOR-GRAZ	1906	0,0207	0,0150	0,0110	0,0062	0,0064
SODA-GENO	2739	0,0324	0,0412	0,0266	0,0227	0,0104

Tablo 7.2.18 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

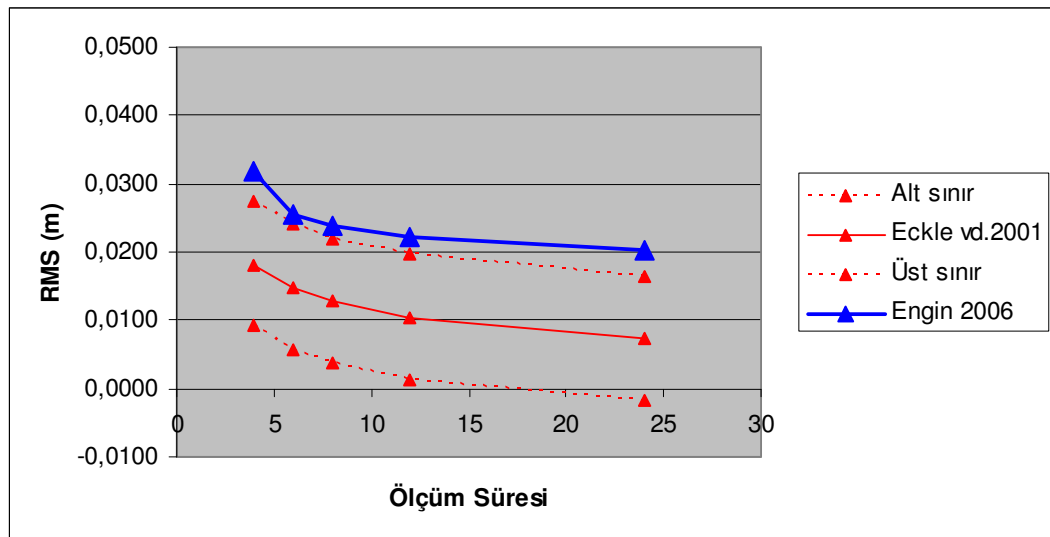
Ölçüm süresi	Su-9.1	Su	Su+9.1	Sjdv-Gras
4	0,0092	0,0182	0,0273	0,0122
6	0,0058	0,0149	0,0240	0,0093
8	0,0038	0,0129	0,0220	0,0069
12	0,0014	0,0105	0,0196	0,0043
24	-0,0017	0,0074	0,0165	0,0026



Şekil 7.2.15 Sjdv-Gras bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.19 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

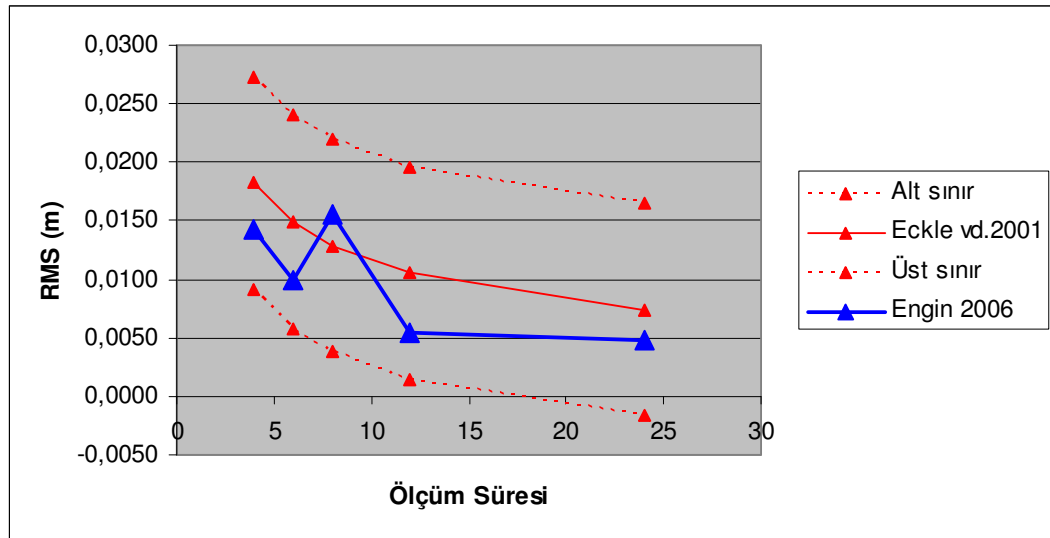
Ölçüm süresi	Su-9.1	Su	Su+9.1	Morp-Helg
4	0,0092	0,0182	0,0273	0,0319
6	0,0058	0,0149	0,0240	0,0254
8	0,0038	0,0129	0,0220	0,0238
12	0,0014	0,0105	0,0196	0,0223
24	-0,0017	0,0074	0,0165	0,0204



Şekil 7.2.16 Morp-Helg bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.20 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

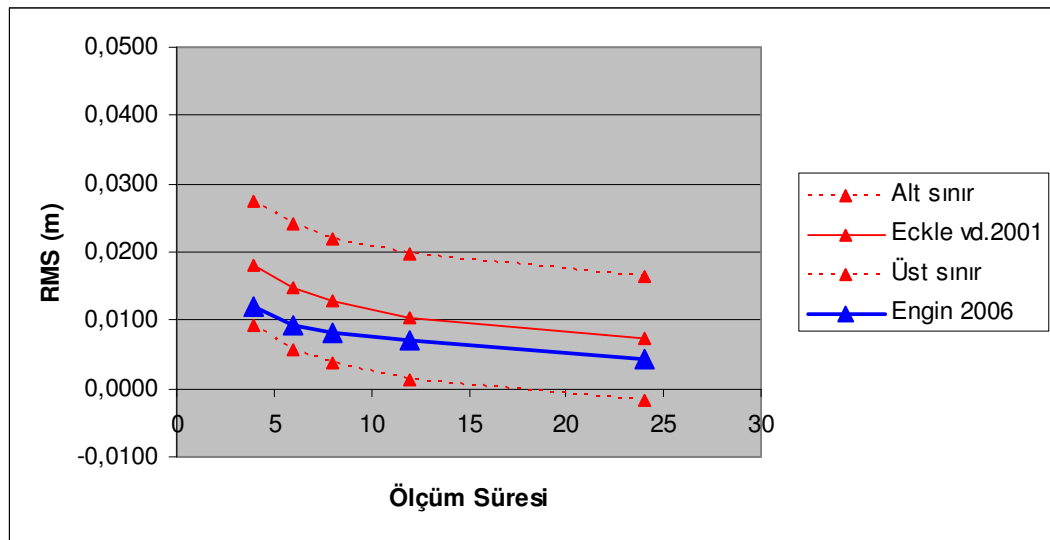
Ölçüm süresi	Su-9.1	Su	Su+9.1	Hobu-Bras
4	0,0092	0,0182	0,0273	0,0143
6	0,0058	0,0149	0,0240	0,0100
8	0,0038	0,0129	0,0220	0,0155
12	0,0014	0,0105	0,0196	0,0054
24	-0,0017	0,0074	0,0165	0,0048



Şekil 7.2.17 Hobu-Bras bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.21 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

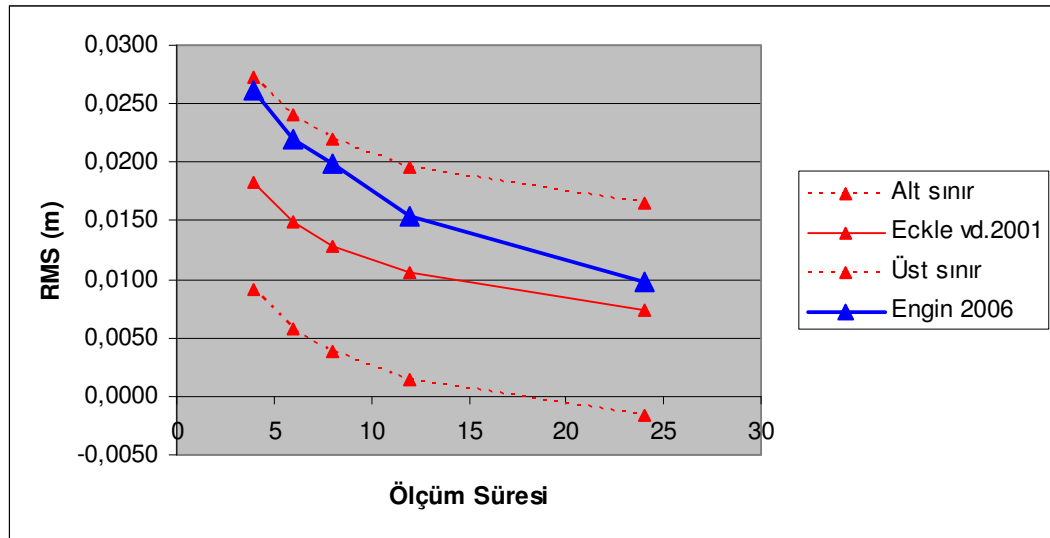
Ölçüm süresi	Su-9.1	Su	Su+9.1	Lama-Zimm
4	0,0092	0,0182	0,0273	0,0119
6	0,0058	0,0149	0,0240	0,0092
8	0,0038	0,0129	0,0220	0,0082
12	0,0014	0,0105	0,0196	0,0072
24	-0,0017	0,0074	0,0165	0,0044



Şekil 7.2.18 Lama-Zimm bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.22 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

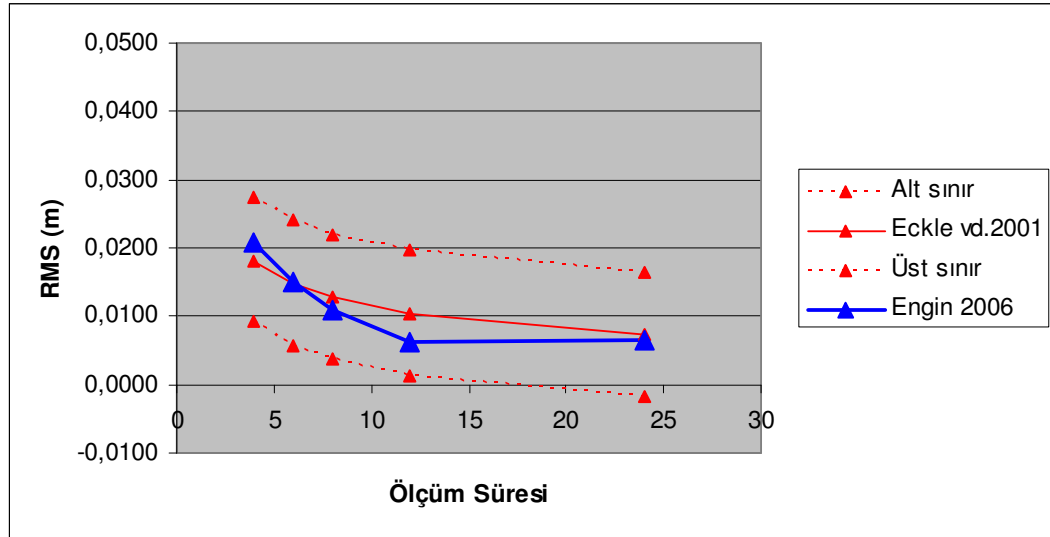
Ölçüm süresi	Su-9.1	Su	Su+9.1	Helg-Glsv
4	0,0092	0,0182	0,0273	0,0261
6	0,0058	0,0149	0,0240	0,0220
8	0,0038	0,0129	0,0220	0,0199
12	0,0014	0,0105	0,0196	0,0154
24	-0,0017	0,0074	0,0165	0,0097



Şekil 7.2.19 Helg-Glsv bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.23 Eckle modeline göre bulunan sonuçlar.

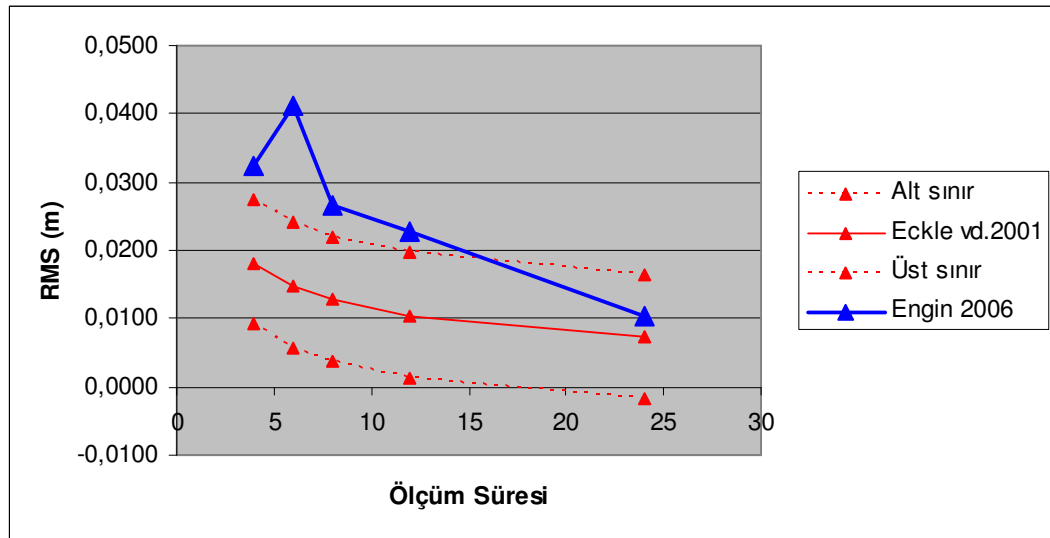
Ölçüm süresi	Su-9.1	Su	Su+9.1	Acor-Graz
4	0,0092	0,0182	0,0273	0,0207
6	0,0058	0,0149	0,0240	0,0150
8	0,0038	0,0129	0,0220	0,0110
12	0,0014	0,0105	0,0196	0,0062
24	-0,0017	0,0074	0,0165	0,0064



Şekil 7.2.20 Acor-Graz bazının Eckl modeline uygulanması.

Tablo 7.2.24 Eckl modeline göre bulunan sonuçlar.

Ölçüm süresi	Su-9.1	Su	Su+9.1	Soda-Geno
4	0,0092	0,0182	0,0273	0,0324
6	0,0058	0,0149	0,0240	0,0412
8	0,0038	0,0129	0,0220	0,0266
12	0,0014	0,0105	0,0196	0,0227
24	-0,0017	0,0074	0,0165	0,0104



Şekil 7.2.21 Soda-Geno bazının Eckl modeline uygulanması.

Sonuçlar genel anlamda incelendiğinde, 2739 km SODA-GENO bazı haricinde diğer tüm bazların Eckl vd. 2001 tarafından belirlenen güven sınırları içinde seyrettiği görülmektedir. Bu sonuç tüm baz bileşenleri (kuzey, doğu ve yukarı) için geçerlidir. Buradan diğer bir anlamda, konum belirleme doğruluğunun 2000 km'den sonra baz uzunluğuna bağlı etkilendiği söylenebilir. Yalnızca MORP-HELG bazının yukarı değerleri diğerlerine göre öngörülen güven aralığının biraz daha fazla dışına taşmaktadır. Bunun nedeninin de MORP sabit GPS istasyonu üzerinde modelle giderilemeyen okyanus yüklemesi etkisinden kaynaklanacağı değerlendirilmektedir (Şanlı 1999).

8. SONUÇLAR

Ondört noktanın oluşturduğu 7 baz arasında gerçekleştirilen bu çalışmada, GPS konum belirleme doğruluğunun ölçüm süresine ve baz uzunluğuna göre değişimi incelenmiştir. Literatürde, konum belirleme doğruluğunun istasyonlar arası mesafeye bağlı olup olmadığı tartışmalarına kenarları 10 kat daha arttırarak ve sık ve homojen bir veri örnekleme yaparak yanıt vermeye çalışılmıştır. Ayrıca uygulamada bu zamana kadar diğer çalışmalarda kullanılmayan GIPSY yazılımına yer verilmiştir.

Bu amaçla Avrupa’da bulunan EUREF noktalarından amacımıza yönelik bir seçim yapılmıştır. Noktaların seçiminde baz doğrultularının olası tüm yönlerde olmalarına özen gösterilmemiştir. Noktalar arasında oluşturulan 7 baz üzerinde 10 günlük veriler 4,6,8,12 ve 24 saatlik parçalara bölünerek ve fazla sayıda veri kullanarak her bir periyot için ayrı ayrı değerlendirme yapılmıştır. Her bir baz bileşeni üzerindeki etkiyi inceleyebilmek için SOPAC çözümleri doğru değerler kabul edilerek yatay ve düşey (n,e,u) bileşenlerinin Karesel Ortalama Hataları (RMS Değerleri) hesaplanmış ve sonuçlar diğer çalışmalar çerçevesinde yorumlanmaya çalışılmıştır.

Elde edilen bulgular GPS konum belirleme doğruluğunun 2000 km’ye kadar istasyonlar arası mesafeden çok gözlem uzunluğuna bağlı olduğunu göstermektedir. Mesafeler Eckl vd. 2001’dekine oranla 10 kat daha uzatıldığından ve örnekleme olabildiğince homojen yapıldığından sonuçların tutarlılığının ve istatistiksel anlamlılığının yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

Sonuçların 2000 km’den büyük bazlar için Eckl vd. 2001’de önerilen hesap modeli ile – özellikle 12 saat ve daha küçük gözlem süreleri için - uyum göstermediği belirlenmiştir. Buradan da GPS konum doğruluğunun belirlenmesi çalışmalarında yapılan modellemelerin çalışma çerçevesindeki deney koşullarıyla sınırlı olduğu gibi bir sonuca ulaşılmaktadır.

Bu tezde elde edilen çözümler 2000 km’ye kadar Eckl vd. 2001 ile uyum göstermesine karşın yine de Eckl vd. 2001’de türetilen formüllerin bu uzunluktaki bazlar için kullanılması önerilmez. Burada bulunan sonuçlardan uygun modellemeler yapılarak yeni formüller türetilmeli ve 300-3000 km arasındaki bazlar için bunlar kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

Blewitt (1993), G., "Advances in Global Positioning System technology for geodynamics investigations," in Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Technology, Ed. by D.E. Smith and D.L. Turcotte, p. 195-213, Pub. by American Geophysical Union (Geodynamics Series Vol. 25), Washington DC, ISBN 0-87590-526-9

Doğan, U. (2007), Accuracy Analysis of Relative Positions of Permanent GPS Stations in the Marmara Region, Turkey, Survey Review, 39, 304 pp.156-165.

Eckle M.C., Snay R.A., Soler T., Cline M.W., Mader G.L., 2001. Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of inter-station distance and observing-session duration, Journal of Geodesy 75: 633-640

Gregorius, T.L.H and G. Blewitt (1999), Modeling weather fronts to improve GPS heights: A new tool for GPS meteorology? J. Geophys. Res. Vol. 104, No. B7, p. 15,261-15,279, 1999

Özer, E. (2004), “Ölçüm Süresinin GPS Uzun Baz Çözüm Duyarlığı Üzerindeki Etkisi” Yüksek Lisans Bitirme Tezi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.

Soler T., Michalak P., Weston N.D., Snay R.A., Foote R.H., 2005. Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-h observing sessions, GPS Solutions 10: 45-55, DOI 10.1007/s10291-005-0007-3

Stewart M, Rizos C (2002) GPS Projects: Some planning issues. Manual of Geospatial Science and Technology, J D Bossler et al., ed., Taylor&Francis, London and Newyork, pp 162-182.

Şanlı, D. U. (1999), GPS Strategies for Tide Gauge Monitoring with Assessment of Sea Level Analysis Models, PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, UK

Şanlı, D.U. (2000), “Uydu Verilerinin Değerlendirilmesi” Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.

Şanlı, D.U. (2002), GPS Zaman Serilerinin Analizi ve Türkiye İçin Değerlendirmeler, Tektonik ve Jeodezik Ağlar, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK), 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı, 10-12 Ekim

Zumberge, J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H., 1997. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large Networks, *Journal of Geophysical Research*, 102 (B3), 5005-5018

INTERNET KAYNAKLARI

- [1] <http://sopac.ucsd.edu/>
- [2] <http://igscb.jpl.nasa.gov/>
- [3] www.gmat.unsw.edu.au

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	05.03.1982	
Doğum yeri	Çatalca/İstanbul	
Lise	1995-1998	Çatalca Çok Programlı Lisesi
Lisans	1999-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-Devam	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı.
Çalıştığı kurum(lar)		
	2004-2005	Meteor Harita ve İnşaat Ltd. Şti.
	2005-Devam	Turyap Gayrimenkul Değerleme A.Ş

