

STATİK GPS GÖZLEMLERİ KULLANILARAK ELDE EDİLEN BAZ VE NOKTA KOORDİNAT DUYARLIKLARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Ömer YILDIRIM¹, Cevat İNAL²

¹Araklı Kadaastro Müdürlüğü, TRABZON, email: omeryildirim2002@mynet.com

²Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği
Bölümü, 42031 Kampüs KONYA, email: cevat@selcuk.edu.tr

***Özet:** Bu çalışmada, GPS (Global Positioning System) alıcıları ile ülkemizde hangi mertebelerde hassasiyet elde edilebileceğine ilişkin bir araştırma yapılmıştır. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için, ölçüler esnasında GPS alıcı antenin üzerine monte edilebildiği ve aynı anda hem yatay düzlem, hem de düşey düzlemde, diferansiyel koordinat farklarının izlenebildiği bir ölçü düzeneği tasarlanmış ve referans noktasına uzaklıkları 65m ile 12000m arasında değişen, özel olarak yer seçimi ve tasarımı yapılan 7 adet pilye tesis edilmiştir. Tasarlanan bu ölçü düzeneği yardımıyla, kısa kenarlarda (65, 250, 500, 1000, 2000 metre) her bir koordinat farkı için birer saat, uzun kenarlarda (8000, 12000 metre) ise birer buçuk saatlik zaman dilimlerinde Statik Ölçü Yöntemi ile veriler toplanmıştır. Toplanan bu veriler Leica SKI 2.3 yazılımıyla değerlendirilip, ölçü düzeneğinden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda elde edilen koordinat doğrulukları üretici firma ve literatürde verilen X,Y yönünde 5mm+1 ppm, H yönünde 10mm+1 ppm değerlerinden daha iyidir.*

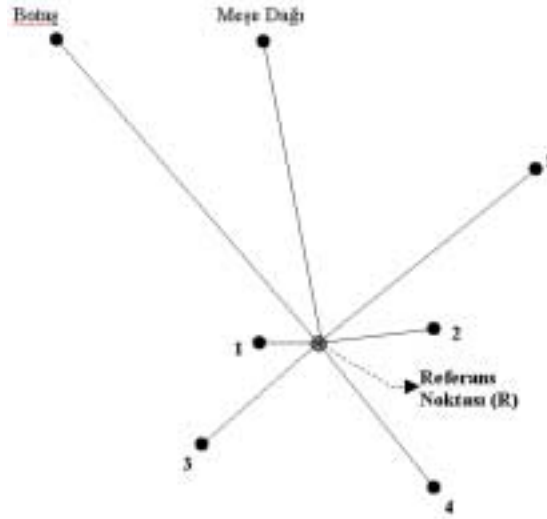
1. GİRİŞ

GPS alıcılarının ölçme doğruluğu, ölçü yöntemine bağlı olarak üretici firmalar tarafından verilmektedir. Bu çalışmada LEICA System 300 GPS alıcıları ile, statik ölçü yönteminde, elde edilebilecek koordinat doğruluğu araştırılmış ve üretici firma tarafından verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu amaçla ölçüler esnasında alıcı antenin diferansiyel hareketlerinin izlenebileceği bir ölçü düzeneği geliştirilmiştir. Referans noktasına uzaklıkları 65m, 250m, 500m, 1000m, 2000m, 8000m ve 12000m olan pilyeler tesis edilmiştir. Geliştirilen ölçü düzeneği yardımıyla kısa kenarlarda birer saat, uzun kenarlarda (8000 m ve 12000 m) bir buçuk saatlik dilimlerde statik ölçü yöntemi ile veriler toplanmıştır. Toplanan bu veriler SKI 2.3 yazılımıyla değerlendirilip, ölçü düzeneğinden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİNİN SEÇİMİ ve ÖLÇÜ NOKTALARININ TESİS EDİLMESİ

Çalışma bölgesi olarak Ankara'nın güneyindeki, Beytepe ile Dodurga köyü kırsal alanı ve Ankara'nın batısında bulunan Meşe Dağı ile BOTAŞ Yapracık doğalgaz ana dağıtım tesisleri seçilmiştir (Şekil 1). Nokta yerlerinin seçiminde;

- Noktaların manyetik etkilerden ve enerji nakil hatlarından uzak olmasına,
- Ulaşımın kolay ve zeminin sağlam olmasına,
- Gökyüzü görüşünü kapatacak veya sınırlandıracak engellerin olmamasına,
- Ana yollardan uzak ve canlı trafiğinin en az seviyede olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı

Yukarıda sayılan hususlar göz önünü alınarak, 400 dozajlı beton hazırlanıp daha önceden belirlenmiş yerlere yüksekliği 1.30 m. ve çapı 40 cm olan 7 adet pilye BÖHY (Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği) esaslarına uygun olarak tesis edilmiştir. Ayrıca tesis edilen bu pilyelerde, tarafımızdan dizayn edilmiş ölçü düzeneğini kolayca monte edebilmek için 7 cm boyunda montaj vidaları kullanılmıştır. Belirlenen noktaların referans noktasına olan uzaklıkları Tablo.1'de verilmiştir.

Tablo 1: Referans noktasının diğer noktalara olan uzaklıkları

Referans Noktası-Nokta 1	65 m
Referans Noktası-Nokta 2	250 m
Referans Noktası-Nokta 3	500 m
Referans Noktası-Nokta 4	1 000 m
Referans Noktası-Nokta 5	2 000 m
Referans Noktası-Meşe Dağı	8 000 m
Referans Noktası-Botaş	12 000 m

Günümüzde çok özel amaçlar dışındaki GPS uygulamalarında, referans noktası ile koordinatı belirlenecek nokta arasındaki baz uzunlukları gerek alıcı üreten firmalarca, gerekse aktif kullanıcılar tarafından edinilen tecrübeler ışığında, en fazla 15000 metre alınması önerilmektedir. Çünkü çok uzun bazların değerlendirilmesinde genellikle başlangıç faz belirsizliği şu anda piyasada mevcut olan ticari yazılımlar ile çözülemeyebilir. Doğal olarak da, uygulayıcıların kullandığı max. 12000 metrelik bazlar yeterli olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle çalışmada en uzun baz 12000 metre alınmıştır.

2.1 Pilye Betonlarının Üzerinde Kuzey İşaretlerinin Belirlenmesi

Pilye betonları tesis edildikten sonra, Harita Genel Komutanlığı tarafından oluşturulmuş ve baz uzunluğu 5 km'yi geçmeyen ağdaki WGS84 koordinatları yüksek duyarlılıkta belirlenmiş olan referans noktasından, statik ölçü yöntemi kullanılarak 4 saatlik veri

toplamak suretiyle tesis edilen pilyelerin koordinatları eşzamanlı ölçülerle belirlenmiştir. Ayrıca bu pilyelerin yaklaşık kuzeyinde ve 100 metre uzağında, pilye üzerinde kuzey doğrultularının total station ile belirlenebilmesi için, birer adet noktanın da aynı yöntemle pilyeler ile eşzamanlı olarak koordinatları belirlenmiştir. Pilyeler ile 100 metre yakınındaki noktaların koordinat değerleri kullanılarak, pilye ile yakınındaki nokta arasındaki açıklık açıları;

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1)$$

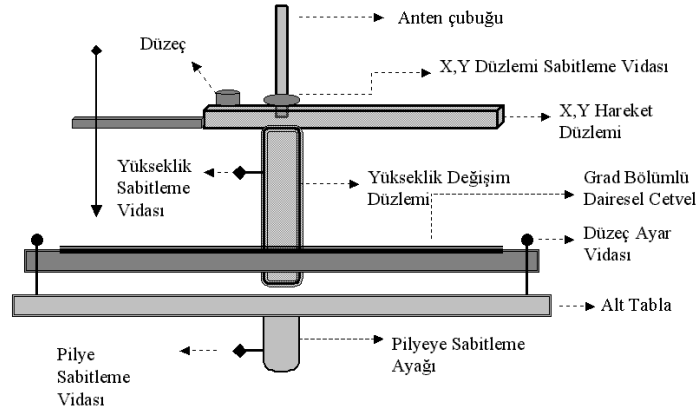
bağıntısı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan açıklık açıları kullanılarak, açı ölçme duyarlılığı $\pm 2''$ olan LEICA TC1800 total station aracılığıyla, pilyeler üzerinde kuzey doğrultusu belirlenmiş ve bu doğrultu sayesinde GPS antenlerinin kuzeye yönlendirilmesi yapılmıştır.

3. ÖLÇÜMLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ İÇİN DİZAYN EDİLEN "ÖLÇME DÜZENEGİ" NİN TANITILMASI

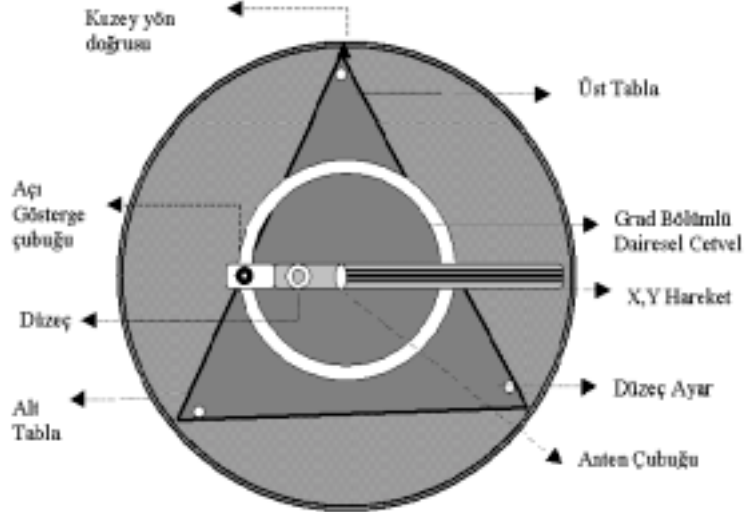
Ölçme düzeneğinin geliştirilmesinde;

- X, Y yatay düzlemindeki ve H yönündeki hareket miktarlarının kullanıcı tarafından kontrol altına alınabilmesi,
- GPS alıcı anteninin düzeneğe üzerine monte edilebilmesi ve düzeçlenebilir olması,
- Rüzgar gibi doğal etkenlerden etkilenmemesi,
- Kaydırma sonrası sabitlenebilir olması amaçlanmıştır (Şekil 2 ve Şekil 3).

Bu kriterler dikkate alınarak, ölçme düzeneğinin X,Y yatay düzlemi ile H düşey düzleminin düzeçlendikten sonra birbirine dik olmaları yani X,Y hareket düzleminin yatay ile, yükseklik değişim düzleminin ise düşey düzlem ile çakışık olması sağlanmıştır. Ayrıca ölçü doğrultusunun kuzeyden olan sapma açıları da, 400 grad bölümlü bir açı ölçeği ile kontrol altına alınmıştır. Bunların sonucunda, uzman kişilerle beraber yapılan fizibilite çalışması sonunda en uygun malzemenin alt tabla, grad bölümlü cetvelin yerleştirildiği tabla ve X,Y hareket düzlemi için sertleştirilmiş alüminyumdan, yükseklik değişim düzlemi, anten çubuğu ve pilyeye sabitleme ayağının da sarı pirinçten yapılmasına karar verilmiş, ölçme düzeneği buna göre hazırlanmıştır[Rehber Ansiklopedisi 1984]. Ölçme düzeneğinin pilye üzerinde düzeçlenmesi işlemi jeodezik ölçmelerde kullanılan aletlerin düzeçlenmesi ile aynı düzende yapılmaktadır. Ölçme düzeneğine ilişkin teknik bilgiler Tablo.2'de verilmiştir.



Şekil 2: Ölçme Düzeneği (Yandan Görünüş)



Şekil 3: Ölçme Düzeneği (Üstten Görünüş)

Tablo 2: Ölçme Düzeneğine İlişkin Teknik Bilgiler

Düzeneğin Ağırlığı	3.5 Kg.
X ve Y Eksenleri Max. Hareket Miktarı	10 cm
H Eksenindeki Max. Hareket Miktarı	8 cm
Kullanılan Düzeç	Küresel Düzeç ve TC1800 Dürbün Düzeci
Alt Tablanın Çapı	26 cm
Anten Çubuğu Uzunluğu	7 cm
Kullanılan Açı Bölümlemesi	400 Grad
Düzeç Tablasının(Üçgeninin) Kenar Uzunluğu	20 cm
Kullanılan Malzeme	Sertleştirilmiş Alüminyum+Sarı Pirinç
Kullanılan Ölçme Duyarlılığı	Milimetre

Tablo 2'de teknik bilgileri verilen ölçme düzeneğinde aynı anda sabit bir açı altında (kuzeyden itibaren) hem X ve Y koordinat eksenleri yönünde, hem de yükseklik yönünde öteleme yapılabilmektedir. Böylece manuel olarak kaydırılan miktarlar, yani

gerçek hareket miktarları belirlenebilmektedir [Yıldırım 2002]. Ölçü sırasında ölçme düzeneği referans noktasında yapılacak ölçülere başlamadan önce bir defa kurulmuş , düzeçleme ve montaj hatalarına sebep olmamak için, bir daha yerinden oynatılmamıştır.

4. ÖLÇMEDE KULLANILAN ALICI SETLERİ VE DİĞER DONANIM

Bu çalışmaya konu olan tüm ölçümlerde LEICA System 300 alıcı setleri (SR 399E Sensor, CR 344 Kontrol Unit, AT 302 Antenna) kullanılmıştır. Noktalar arası ulaşımın ve lojistik desteğin sağlanması ise temin edilen bir adet Renault Toros marka arazi aracı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin gerçekleştirildiği alıcı setlerine ilişkin teknik bilgiler [Leica 1996]'da detaylı olarak verilmektedir.

4.1 Yapılan Ölçülerin Değerlendirildiği GPS Yazılımı

GPS ölçmeleri LEICA System 300 alıcı setleriyle yapılmıştır. Ölçülerin değerlendirilmesinde ise yine aynı firmanın geliştirdiği GPS SKI yazılımının 2.3 versiyonu kullanılmıştır. Bu program bilgisayar ortamında 16.0 MB (16 781 741 bayt) lık bir alan kaplamaktadır. Programın verimli çalışabilmesi içinde, en az Pentium 150 MHz. hızındaki işlemciye sahip bir bilgisayarın işlemlerde kullanılması gerekmektedir. Yapılan ölçümlerin değerlendirildiği yazılıma ilişkin teknik bilgiler [Leica 1996]'da detaylı olarak verilmiştir. Çok özel çalışmalar dışında, sivil kullanıcılar tüm GPS uygulamalarında yayın efemeris bilgilerini kullanmaktadırlar. Ancak, yakın bir geçmişe kadar kurumlar arası özel anlaşmalar ile hassas efemeris bilgileri olarak nitelendirilen Precise Efemeris bilgileri alınabilmekteydi. Fakat günümüzde bu sınırlama kaldırılmış olup, bir çok kurumun internet sitesinden hassas efemeris bilgileri 2 ile 6 gün arasında alınabilmektedir [Kahveci ve Yıldız 2001].

Ayrıca, ticari amaçlı kullanıcılara yönelik çalışmalarda kullanılan çeşitli marka GPS alıcılarında maksimum baz uzunluğu 15 km olarak önerilmektedir. Tabii ki bu alıcılarla 15 km'den daha uzun bazlarda ölçülebilmektedir. Fakat böyle durumlarda ölçü süresinin daha uzun olması gereği göz önünde bulundurulmalıdır. Faz ve kod verilerinin toplanması sırasında çoğu zaman sinyal kesilmeleri(cycle slip) ve buna benzer istenmeyen durumlar oluşmaktadır. Bu durumda oluşan veri bozukluklarının giderilebilmesi için yazılım tarafından gerek otomatik, gerekse manuel olarak uydunun işleminden çıkarılması ve bozuk olan veri aralığının değerlendirmeden atılabilmesi kolaylıkları sunulmuştur.

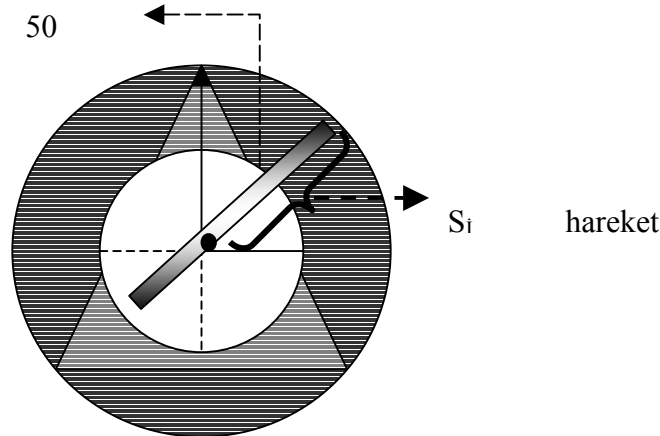
5. GPS ÖLÇÜLERİNİN YAPILMASI

Pilyelerin tesis edilmesi, kuzey yönlerinin belirlenmesi ve ölçme düzeneğinin referans pilyeye monte edilmesinden sonra Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos 1999'da 15.00-01.00 saatleri arasında, Eylül, Ekim, Kasım 1999'da 06.00-18.00 saatleri arasında ölçüler yapılmıştır. Ölçülerin bu saatler arasında yapılmasındaki belirleyici faktör, uyduların geometrik dağılımındaki kısıtlamalar ve gündüz saatlerindeki hava sıcaklığının çok yüksek oluşudur. Şöyle ki; Mayıs-Ağustos aylarında karasal iklime sahip Ankara'da sıcaklık 30-40C° seviyesine kadar çıkmaktadır. GPS alıcılarının soğutma sistemi, çok uzun süreli çalışmalarda kendi iç ısılarının yanında birde dış

ortamın ısı ile karşılaşınca yeterince soğutmayı karşılayamayıp, donanımına zarar vermemek için emniyet konumuna geçerek ölçüleri kesmektedir. Bu durumda faz kesiklikleri oluşup elde edilecek duyarlılık azalmaktadır. Bir diğer husus ise, uydu sayısı ve uydu dağılımının mayıs- ağustos aylarında 15.00-01.00 arasında uygun olmasıdır. Eylül-kasım dönemindeki ölçülerde hava sıcaklığındaki azalma ve uydulara bağlı kriterlerin uygunluğundan, ölçüler 06.00-18.00 diliminde yapılmıştır. Ölçülerin yapılmasını müteakiben değerlendirme (post processing) işlemi hemen yapılmış ve test sonucu kaba hatalı çıkan ölçüler ertesi günü yenilenmiştir. Yapılan tüm ölçüler ΔX ve ΔY koordinat farklarının aynı olması için $\alpha=50.0000$ gradlık semt açısı ile yapılmıştır. GPS uydu verileri 10 saniyelik aralıklarla ile 15° lik yükseklik açısı altında statik ölçüm modunda toplanmıştır. Yapılan ölçülere ilişkin uygulama planı sırası ile aşağıdaki gibidir.

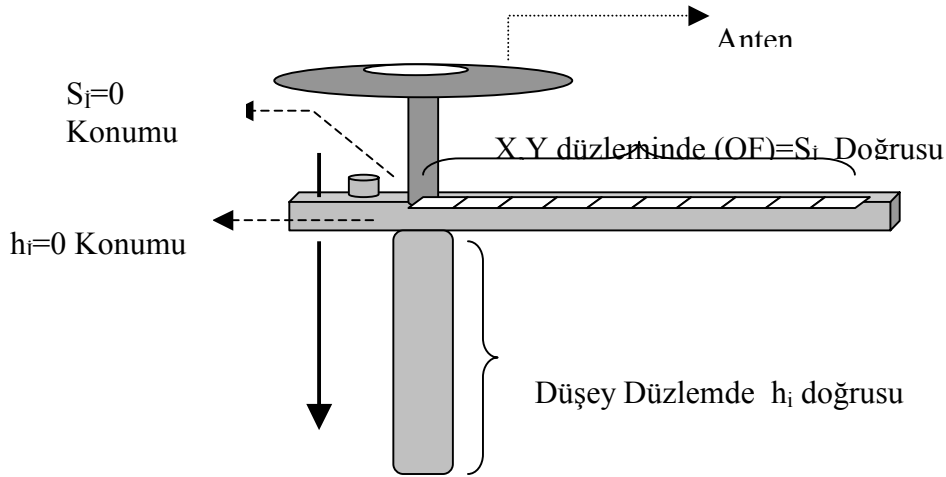
* GPS anteni ölçü düzeneğine takılıp anten, alıcı, batarya bağlantıları yapıldıktan sonra alıcı, ölçme işlemi için "ON" konumuna getirilip anten ve nokta bilgileri girilmiştir.

* Ölçü düzeneğinin düzceci tekrar kontrol edilip, düzeneğin açı göstergesi çubuğu yardımıyla XY düzleminde S_i değişim miktarlarının verildiği, (OF)= S_i doğrultusu, üçgen tabladaki grad bölümlü cetvelin 50° değerini gösteren çizgi ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4). S_i ve h_i kaydırma miktarları 0.5 cm, 1.0 cm, 2.0 cm ve 4.0 cm alınmıştır.

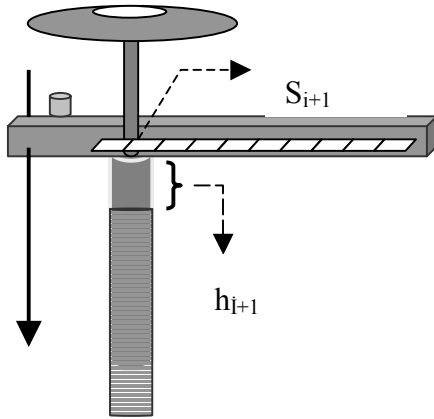
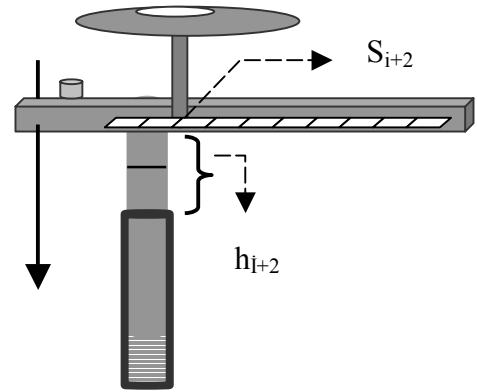


Şekil 4: Hareket Düzlemi ve 50° Çakıştırması

* t_0 anında, $S_i=0$ ve $h_i=0$ konumunda 1 saatlik veri toplanmıştır (Şekil 5). Böylece S_i ve h_i konumuna ait (X_i, Y_i, h_i) koordinat değerleri elde edilmiştir.

Şekil 5: t_0 Anındaki Ölçü Konumu

* t_0 anındaki ölçüler kaydedildikten sonra, anten S_i ve h_i konumundan, S_{i+1} ve h_{i+1} konumuna getirilip t_1 anında tekrar 1 saatlik ölçülerle veriler toplanmış ve $(X_{i+1}, Y_{i+1}, h_{i+1})$ konumuna ilişkin koordinat değerleri elde edilmiştir (Şekil 6).

Şekil 6: t_1 Anındaki Ölçü KonumuŞekil 7: t_2 Anındaki Ölçü Konumu

* t_1 anındaki ölçüler kaydedildikten sonra, anten S_{i+1} ve h_{i+1} konumundan, S_{i+2} ve h_{i+2} konumuna getirilip t_2 anında tekrar 1 saatlik ölçülerle veriler toplanmış ve $(X_{i+2}, Y_{i+2}, h_{i+2})$ konumuna ilişkin koordinat değerleri elde edilmiştir (Şekil 7). t_n anına kadar diferansiyel anlamda değişiklikler yapılarak X_n, Y_n, h_n koordinat değerleri elde edilmiştir. Daha sonra ölçü düzeneğinden gerçek değerlerini bildiğimiz S_n ve h_n değerlerine karşılık, $X_{Ger}, Y_{Ger}, h_{Ger}$ değerleri, $\alpha=50^\circ$ semt açısı yardımıyla,

$$X_{Ger} = S_n \cdot \cos \alpha$$

$$Y_{Ger} = S_n \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

$$h_{Ger} = h_{Ger}$$

bağıntısı ile düzenek değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerden t_n ve t_{n-1} ölçü zamanlarına ilişkin farklar,

$$\begin{aligned}\Delta X_{Ger} &= X_{Ger}(t_n) - X_{Ger}(t_{n-1}) \\ \Delta Y_{Ger} &= Y_{Ger}(t_n) - Y_{Ger}(t_{n-1}) \\ \Delta h_{Ger} &= h_{Ger}(t_n) - h_{Ger}(t_{n-1})\end{aligned}\quad (3)$$

bağıntılarından hesaplanmıştır [Şerbetçi ve Atasoy 1990]. Aynı bağıntı ile GPS koordinatlarının farkıda hesaplanmıştır. Hesaplanan koordinat farkları kullanılarak v_x , v_y , v_h düzeltmeleri,

$$\begin{aligned}v_x &= \Delta X_{Fark} = \Delta X_{Ger} - \Delta X_{GPS} \\ v_y &= \Delta Y_{Fark} = \Delta Y_{Ger} - \Delta Y_{GPS} \\ v_h &= \Delta h_{Fark} = \Delta h_{Ger} - \Delta h_{GPS}\end{aligned}\quad (4)$$

bağıntılarından hesaplanmıştır. 65, 250, 500, 1000, 2000 metrelik bazlarda birer saatlik dilimlerde veri toplanmasına rağmen, 8000 ve 12000 metrelik bazlarda ölçü süresi birer buçuk saatlik dilimlerde yapılmıştır. Ölçü süresi 1.5 saat olan 8000 metre ve 12000 metrelik iki bazda, 1 saatlik ölçüler ile başlangıç faz belirsizliğinin çözülmesinde güçlükler ile karşılaşılacağı düşünülmüş, ölçü süresi yarım saat artırılmıştır. Ayrıca 12000 metrelik bazda artırma miktarına 1.0 cm ile başlanmıştır. Çünkü büyük bazlarda 0.5 cm'lik diferansiyel farkın görülmeyeceği daha küçük bazlarda yapılan ölçülerin sonuçlarından anlaşılmıştır.

(2), (3), (4) bağıntılarından hesaplanan v_x , v_y , v_h düzeltme miktarları gerçek hatalardan elde edildiği için, karesel ortalama hatalar;

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[v_x v_x]}{n}} \quad m_y = \pm \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{n}} \quad m_h = \pm \sqrt{\frac{[v_h v_h]}{n}} \quad (5)$$

eşitlikleriyle hesaplanmıştır [Özbenli ve Tüdeş 1994].

v_x , v_y , v_h düzeltmelerinden, baz uzunluğuna bağlı olarak uzunluk ve yükseklikteki hataların ortalamasının hesabında

$$\begin{aligned}ds_0 &= [\sqrt{v_x^2 + v_y^2}] / n \\ dh_0 &= [|v_h|] / n\end{aligned}\quad (6)$$

eşitlikleri kullanılmıştır [BÖHY 1992].

Tablo 3. $\Delta S = \Delta h = 0.5$ cm için farklar(mm)

Zaman farkı	Baz Uzunluğu																	
	65 m.			250 m.			500 m.			1000 m.			2000 m.			8000 m.		
	vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	Vx	vh	vy	vx	Vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh
Δt_1	-0,8	-0,7	2,2	-0,2	0,3	0,2	-0,6	0,2	-3,7	0,6	1,5	-2,5	0,1	0,0	3,5	3,2	-5,3	-5,2
Δt_2	1,5	0,6	-0,3	-1,0	-1,2	-1,0	1,4	0,1	2,7	1,0	-0,9	3,3	6,8	0,9	6,0	-4,2	3,2	-4,9
Δt_3	-0,5	0,8	-0,1	-0,3	0,4	2,5	-0,9	1,4	6,1	-0,9	-1,2	9,1	-1,9	0,0	-1,2	11,6	-1,4	11,1
Δt_4	0,2	-1,9	1,9	-0,6	-1,1	-1,1	1,5	-4,3	-1,8	2,5	-1,4	-3,5	3,3	0,9	-4,7	-5,0	-7,4	-7,7
Δt_5	-1,5	-0,2	-4,3	0,1	-1,2	-1,2	-2,0	2,2	-2,3	-0,7	0,4	-2,7	1,4	1,0	9,4	2,8	-1,6	-2,2
Δt_6	-2,7	-0,9	6,9	0,4	1,4	1,7	0,5	-4,4	-1,4	1,2	-1,4	-1,7	-0,9	-2,6	-4,8	-6,1	-5,6	11,2
Δt_7	2,2	-1,4	-3,4	-1,4	-1,6	2,4	-1,1	1,6	-3,2	-2,9	0,6	-3,2	4,2	8,4	8,8	7,0	9,2	-6,7
Δt_8	-0,6	3,1	-4,2	1,0	2,8	1,9	1,8	0,6	4,7	2,7	-3,4	2,3	-3,8	-6,5	-2,4	-4,3	1,5	5,6
Δt_9	0,3	-0,8	2,3	-0,6	-0,5	-3,3	-0,2	-1,5	0,0	-1,7	3,3	1,2	-6,2	-4,3	10,2	-3,7	-4,5	-4,9
Δt_{10}	-1,3	-0,3	4,5	-3,1	-2,3	1,9	-1,2	0,6	1,1	-2,6	-2,8	2,4	7,8	7,9	-2,7	4,9	-2,8	-8,9
Δt_{11}	-1,9	-2,1	0,4	-1,1	0,6	-3,9	-1,2	-0,9	-3,4	0,4	-0,7	1,8	-1,3	1,9	3,8	0,9	2,2	-3,7
Δt_{12}	1,9	-1,6	-3,3	-0,4	-2,5	6,2	2,6	-1,7	3,7	2,3	-1,3	0,7	1,2	-2,1	5,1	-1,1	9,5	6,7
Δt_{13}	-0,4	0,4	-1,5	0,6	-1,2	-4,4	0,7	1,3	-1,4	-0,6	1,8	-3,3	3,2	-1,4	8,9	0,2	-6,1	-4,2
Δt_{14}	0,9	1,3	3,3	0,6	0,8	2,7	-0,5	-0,3	-2,9	-2,3	-3,2	3,7	3,6	5,9	-5,4	5,7	6,0	-4,1
Δt_{15}	-2,7	-2,4	2,1	1,4	2,1	-3,3	-3,0	-0,7	2,9	-2,7	-1,9	-3,4	-2,0	1,2	2,2	-2,5	-1,9	-3,1
Δt_{16}	1,4	1,3	-2,0	-0,8	-1,0	1,8	1,0	-4,1	-2,0	1,9	0,7	0,1	1,2	-5,2	9,9	7,0	0,7	2,7
Δt_{17}	-1,7	1,6	0,8	-1,6	-0,7	1,2	1,1	3,0	2,8	1,6	0,5	-1,4	7,9	8,3	1,7	-3,7	-1,4	1,5
Δt_{18}	-1,5	-4,5	4,0	0,1	1,4	-1,2	-2,3	-2,2	-1,1	-0,3	-2,6	-2,0	-5,0	-3,7	2,0	-1,7	5,7	10,9
Δt_{19}	1,8	-2,7	-2,7	0,8	-2,7	-3,0	-1,4	0,5	7,6	-1,0	-2,2	2,5	5,0	-2,0	6,3	-7,6	-4,3	-4,5
Δt_{20}	-3,3	0,5	2,9	-5,3	-4,5	2,9	2,8	1,8	-1,5	-3,1	2,1	2,7	1,0	8,4	-2,0	6,0	-5,8	7,2

Tablo 4. $\Delta S = \Delta h = 1.0$ cm için farklar(mm)

Zaman farkı	Baz uzunluğu																				
	65 m.			250 m.			500 m.			1000 m.			2000 m.			8000 m.			12000 m.		
	vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh	Vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh
Δt_1	0,8	0,1	1,7	-1,1	-0,8	-2,8	0,9	0,4	-1,0	0,7	-0,3	3,2	-1,7	-0,1	8,9	-0,9	4,0	-7,1	-11,5	-5,3	-8,8
Δt_2	-0,2	-1,0	1,8	0,4	-0,6	0,2	0,7	-2,8	4,3	1,7	-2,5	4,6	2,9	4,6	-5,3	-7,6	-9,0	-3,3	-7,4	-9,8	8,8
Δt_3	1,6	-1,0	2,6	0,6	0,3	1,5	-1,4	-2,1	-3,7	0,6	-0,9	-2,4	-0,9	-3,9	2,3	-3,3	-7,8	9,1	-12,3	-7,6	11,9
Δt_4	-0,4	1,8	2,7	-0,3	1,3	3,3	0,8	1,9	1,5	-0,1	1,3	-1,0	-3,8	2,7	-6,3	5,8	11,8	-1,1	9,2	12,9	-9,2
Δt_5	-0,2	-2,6	-3,0	-1,1	-2,7	-6,2	-1,3	0,7	1,1	-2,2	-3,9	3,6	3,1	3,5	4,7	1,3	-5,8	-5,8	3,7	-9,6	6,1
Δt_6	0,9	0,0	2,0	-1,3	-0,9	-1,1	1,0	0,3	-0,5	-1,8	-1,0	-3,7	0,1	-5,1	-2,3	7,9	6,4	3,2	11,5	-5,6	16,8
Δt_7	0,3	-0,9	1,6	0,7	-0,8	0,9	0,9	-0,9	4,1	1,7	-0,1	4,8	1,5	6,2	-5,4	-7,5	-9,8	-5,2	-9,6	-9,9	6,1
Δt_8	-1,6	1,0	-2,0	-0,6	-0,8	1,7	-1,2	-2,4	-4,0	-2,0	-0,7	-2,0	3,8	2,7	3,7	0,7	2,2	2,8	3,9	11,1	-9,8
Δt_9	0,4	1,9	2,8	0,5	0,6	3,0	0,8	0,2	1,2	3,1	0,8	-2,5	-9,4	-6,1	4,1	-2,8	7,7	7,5	-11,9	15,7	-5,3
Δt_{10}	-0,2	-2,7	-3,9	-1,2	-2,9	-4,1	-1,4	0,5	1,0	-1,9	1,1	3,9	3,2	1,8	-8,6	5,3	1,2	-2,9	-5,6	13,0	22,7
Δt_{11}	1,0	-2,3	-0,1	-1,4	-1,8	4,3	1,5	-2,5	0,3	2,8	-0,9	2,5	0,4	1,0	8,5	1,8	2,9	22,0	12,3	2,9	22,0
Δt_{12}	-0,3	0,4	1,2	1,3	-0,3	-4,4	0,3	1,1	-4,3	-0,8	-1,3	-2,6	1,5	-5,0	-5,9	-5,1	-4,5	-9,5	-6,4	13,5	-8,1
Δt_{13}	-1,5	-0,9	1,4	0,7	1,2	1,5	-1,9	-0,6	0,9	-0,7	-1,1	0,7	0,6	-1,5	-4,2	-4,4	-8,1	-5,4	-10,5	-9,3	-7,2
Δt_{14}	-0,5	3,0	-1,2	-1,5	0,8	-1,0	-1,1	0,9	1,7	1,4	-2,0	-3,1	4,5	0,2	-5,6	-2,3	2,7	5,8	2,5	3,3	15,2
Δt_{15}	-0,2	-1,9	-4,5	0,3	-0,7	-1,9	-0,5	1,4	4,5	-3,0	1,9	4,8	-0,3	-4,5	4,8	5,1	0,5	-0,9	10,1	5,5	-7,7
Δt_{16}	1,1	0,8	5,0	-1,6	-1,9	4,4	1,5	-2,7	0,9	2,5	-0,6	3,9	-8,2	-1,2	5,1	9,9	8,5	1,1	9,3	9,8	-8,6
Δt_{17}	1,7	-1,1	-4,5	1,2	-0,4	-4,1	0,3	0,9	-4,6	-1,1	-2,6	-2,1	4,5	0,7	-4,7	-4,2	-11,7	-10,1	-7,1	-12,2	-12,0
Δt_{18}	1,2	-1,0	3,4	0,6	1,2	1,6	-1,7	-0,9	0,7	-1,0	2,7	3,0	2,9	3,2	6,3	9,3	-2,6	4,1	9,3	-7,6	16,9
Δt_{19}	-1,8	1,1	-1,2	-1,4	0,9	2,0	-1,0	0,8	1,5	1,1	-1,6	-4,7	-7,1	-9,6	7,2	-9,1	3,8	4,8	-10,9	3,8	-15,1
Δt_{20}	1,6	0,1	-2,4	0,2	-0,7	-1,6	1,4	2,3	6,0	-1,9	3,7	6,0	3,8	-4,0	-4,5	7,5	-1,7	-0,7	12,1	15,9	6,8

Tablo 5. $\Delta S = \Delta h = 2.0$ cm için farklar(mm)

Zaman farkı	Baz uzunluğu																				
	65 m.			250 m.			500 m.			1000 m.			2000 m.			8000 m.			12000 m.		
	vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh	Vy	Vx	Vh	vy	vx	vh
Δt_1	0,8	-1,0	-2,1	0,1	-2,9	1,0	-0,4	0,4	-2,7	2,9	2,1	-4,4	3,2	2,8	-3,7	1,4	-0,8	-1,1	-5,4	5,8	-10,5
Δt_2	-1,1	0,8	-0,7	1,7	1,6	-4,5	0,6	1,3	1,9	-0,2	-0,7	2,2	-3,0	2,4	-4,0	-2,8	-3,6	2,3	7,7	-8,0	8,7
Δt_3	-0,6	-2,3	4,2	0,1	0,2	3,4	0,4	-1,4	2,2	0,6	-1,7	-2,9	-4,7	-4,3	4,2	3,0	-2,4	1,5	6,7	10,0	-5,6
Δt_4	1,0	0,5	-0,5	-0,2	0,3	-2,6	-0,2	-0,7	-4,2	-1,9	0,0	5,8	1,7	4,1	5,1	1,0	-3,1	-2,4	5,3	7,2	17,4
Δt_5	-0,5	0,2	1,2	2,0	0,1	-3,7	2,0	-1,1	-4,5	-0,3	-1,0	-1,8	-2,8	-1,5	-4,1	3,2	2,4	-3,4	8,7	-5,9	10,4
Δt_6	0,5	-0,6	3,7	-0,1	-1,8	3,2	0,4	-0,1	-2,0	-3,7	-3,3	4,1	-2,2	1,5	-3,4	4,4	3,1	5,0	-7,3	8,3	-8,8
Δt_7	-2,1	0,1	5,3	-0,6	1,1	-1,7	0,9	1,1	-0,5	2,2	-1,1	2,8	-4,8	-2,2	-3,4	-1,0	4,3	8,9	2,9	-6,7	12,6
Δt_8	0,3	-1,1	-2,8	2,1	1,2	-7,0	1,7	-1,0	-2,6	1,4	-0,6	-0,2	-0,3	-4,7	1,7	-4,1	-2,7	-3,7	-6,8	-3,6	10,6
Δt_9	-1,0	0,7	0,7	-1,5	-1,9	6,1	-1,2	1,4	0,1	0,0	0,6	1,7	-4,0	-2,2	6,8	-4,4	2,7	-5,5	-7,9	-5,4	11,3
Δt_{10}	0,3	-1,1	-1,7	-0,7	-0,3	-1,4	-1,4	-0,7	2,9	2,1	1,8	-4,2	2,4	-3,4	3,5	-3,4	-3,7	2,4	3,6	4,3	15,3
Δt_{11}	-1,4	-2,0	3,1	0,2	-0,7	1,7	-1,4	-1,3	5,2	0,2	-0,9	1,5	-3,7	-1,8	2,3	-3,3	-5,5	3,1	-8,3	6,6	11,0
Δt_{12}	0,2	-0,9	2,5	0,1	-1,6	0,2	2,0	1,1	-3,7	0,9	-1,6	-2,6	2,3	2,6	-3,1	6,3	5,3	1,8	-8,2	7,3	12,5
Δt_{13}	0,0	-0,3	-1,3	1,3	0,6	-0,1	-0,7	0,1	0,6	-1,9	-0,5	6,6	1,9	1,2	-4,1	-8,4	-7,0	12,3	5,7	-4,7	4,2
Δt_{14}	0,3	0,8	0,9	1,4	-0,3	-3,8	0,5	-1,6	1,3	-0,2	-1,2	-1,7	3,1	-2,5	3,4	0,3	3,7	-5,0	6,6	3,8	-7,9
Δt_{15}	0,0	-1,5	0,1	0,5	0,1	-3,5	1,1	0,1	-1,6	-2,6	-4,6	4,2	1,1	-4,2	1,9	-2,2	-3,1	10,3	-4,7	-7,4	10,0
Δt_{16}	0,0	1,0	4,2	0,6	0,3	0,7	-0,4	0,4	2,4	1,3	-0,6	0,1	2,4	1,9	-3,0	-5,1	-2,6	-4,9	-10,7	9,0	15,0
Δt_{17}	1,2	-1,7	-1,1	1,7	1,8	-1,2	-0,2	-2,1	0,8	-0,1	0,6	1,9	-3,0	2,1	3,6	-3,9	6,0	5,2	-3,5	-10,8	-6,9
Δt_{18}	-2,2	-1,0	-3,6	-0,3	-0,5	0,7	1,2	0,3	4,0	0,4	0,4	-2,2	2,6	-3,1	4,1	3,5	4,1	9,1	10,0	10,3	-5,2

Tablo 6. $\Delta S = \Delta h = 4.0$ cm için farklar(mm)

Zaman farkı	Baz uzunluğu																				
	65 m.			250 m.			500 m.			1000 m.			2000 m.			8000 m.			12000 m.		
	vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh	vy	vx	vh	Vy	Vx	Vh	vy	vx	vh
Δt_1	-0,2	-0,1	-4,4	-0,4	-0,9	0,3	-2,7	-1,9	5,2	3,1	-2,2	-6,8	-1,9	3,2	6,1	-1,3	3,6	6,1	4,6	2,4	-9,0
Δt_2	-1,6	-1,7	5,2	1,5	-1,1	-0,1	1,4	-0,1	-3,1	-1,3	-1,1	7,2	1,4	-0,7	5,3	-6,8	-4,7	5,3	-8,7	2,7	10,3
Δt_3	0,5	-1,4	4,5	0,4	-2,2	1,9	0,7	1,3	-1,4	0,3	2,2	0,8	1,2	4,2	2,8	-5,2	3,6	4,2	-7,0	-0,4	9,6
Δt_4	0,6	0,8	-1,7	3,2	4,1	-4,6	-0,4	2,0	1,1	0,8	-1,9	-0,9	2,9	2,6	-0,2	2,9	-2,8	-0,2	-3,6	-7,9	2,9
Δt_5	-1,1	-0,5	2,3	2,0	-0,2	-6,3	1,7	-1,4	-0,3	1,5	2,1	1,5	-4,4	-2,9	6,5	-5,6	-4,5	6,5	-10,3	-8,9	11,0
Δt_6	0,3	-1,1	0,6	1,2	2,2	-0,5	-0,5	0,1	3,2	-0,7	0,9	-4,5	2,2	3,9	-6,9	4,9	0,2	-6,9	7,1	8,2	9,5
Δt_7	-1,3	-2,8	5,6	2,3	0,4	-2,8	0,8	-4,0	0,8	0,6	-2,9	-2,3	2,1	4,5	-5,1	-2,7	-4,9	-5,1	-5,8	-10,3	-18,1
Δt_8	0,3	0,6	2,1	0,9	1,7	-1,5	1,1	0,4	-3,2	2,8	1,5	5,1	4,6	0,1	-1,4	-1,6	2,5	-1,4	13,6	-8,9	7,3
Δt_9	1,2	1,4	4,3	1,4	-0,1	-2,2	-0,8	1,6	2,9	-1,2	-1,6	-0,7	-3,7	-3,7	5,6	5,4	3,6	5,6	-3,4	6,2	-9,9
Δt_{10}	1,5	-1,1	-0,2	-0,6	-0,9	1,7	0,3	0,9	-0,8	1,2	-2,3	4,3	5,3	-2,7	-4,2	-6,4	2,2	-4,2	5,7	-7,5	-12,0
Δt_{11}	0,3	-1,0	-3,1	1,2	-0,6	-0,7	0,5	-0,9	-2,0	2,3	-0,9	1,7	-1,5	-1,7	-0,4	-3,6	-3,0	-2,4	-9,5	-10,5	-9,5
Δt_{12}	-2,5	-0,3	3,6	1,8	3,2	-7,8	1,3	-1,0	4,1	2,8	-1,7	-6,8	4,0	-1,1	3,9	-6,9	-7,7	3,9	5,1	-7,4	8,3
Δt_{13}	-1,3	-0,4	-2,1	-1,0	-1,9	-1,3	2,9	1,9	-6,9	-1,7	0,8	4,3	-4,9	-1,4	-4,1	-5,6	-7,1	-4,1	-7,1	-8,2	-10,3
Δt_{14}	-2,4	-2,9	0,5	1,9	-1,2	-2,9	2,5	-1,2	-6,5	-0,4	3,3	1,9	0,4	3,5	-5,0	1,2	1,3	-5,0	7,9	1,1	9,6
Δt_{15}	0,2	0,6	5,1	0,0	0,6	1,6	1,8	2,2	4,9	0,2	1,2	-0,3	0,2	3,3	2,9	-3,3	1,1	2,9	4,8	7,2	5,6
Δt_{16}	0,4	-0,8	-0,8	1,9	2,0	-0,9	0,5	0,7	-2,5	-0,9	-2,0	0,5	-2,6	-2,7	7,1	3,8	-3,1	7,1	8,2	-3,9	14,4
Δt_{17}	0,7	-1,7	-4,0	2,0	1,0	-6,5	-0,8	0,5	-2,7	2,1	0,9	1,5	-0,4	4,4	4,2	-2,2	3,1	4,2	-7,7	-5,6	-7,1
Δt_{18}	-0,9	1,3	-1,7	-2,6	0,1	3,0	3,6	-1,6	3,1	3,3	-1,1	3,9	1,8	2,8	-5,3	1,4	-6,8	-6,3	-5,0	-6,8	6,4

Elde edilen farklar yardımıyla (v_y, v_x, v_h), (5) bağıntısı ile yapılan hesaplamalar sonucunda her ölçü bazındaki ölçü gruplarına ait X, Y ve H yönündeki karesel ortalama hatalar Tablo 7'de , uzunluk ve yükseklikteki hataların ortalamaları ise Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 7 Karesel Ortalama Hatalar

Baz(m)	Kaydırma=0.5 cm			Kaydırma=1.0 cm			Kaydırma=2.0 cm			Kaydırma=4.0 cm		
	m_y ±mm	m_x ±mm	m_h ±mm	m_y ±mm	m_x ±mm	m_h ±mm	m_y ±mm	m_x ±mm	m_h ±mm	m_y ±mm	m_x ±mm	m_h ±mm
65m	1.7	1.8	3.1	1.1	1.5	2.8	1.0	1.1	2.7	1.2	1.4	3.4
250m	1.6	1.8	2.7	1.0	1.3	3.0	1.1	1.2	3.2	1.7	1.7	3.4
500m	1.6	2.1	3.3	1.2	1.6	3.0	1.1	1.1	2.8	1.6	1.6	3.6
1000m	1.9	1.9	3.2	1.8	1.9	3.5	1.7	1.7	3.3	1.8	1.8	3.8
2000m	4.1	4.6	5.8	4.1	4.1	5.7	2.9	2.9	3.8	3.0	3.1	4.7
8000m	5.2	5.0	6.5	5.8	6.6	7.3	3.9	4.0	5.8	4.4	4.2	5.9
12000m	-	-	-	9.4	10.0	12.3	7.0	7.3	10.8	7.4	7.0	10.0

Tablo 8 Uzunluk ve yükseklikteki hataların ortalamaları

Baz (m)	Kaydırma=0.5 cm		Kaydırma=1.0 cm		Kaydırma=2.0 cm		Kaydırma=4.0 cm	
	dS_0 (mm)	dh_0 (mm)	dS_0 (mm)	dh_0 (mm)	DS_0 (mm)	dh_0 (mm)	dS_0 (mm)	dh_0 (mm)
65m	2.21	2.66	1.75	2.45	1.35	2.21	1.59	2.88
250m	1.93	2.39	1.48	2.58	1.44	2.58	2.17	2.60
500m	2.37	2.82	1.80	2.39	1.41	2.41	1.90	3.04
1000m	2.48	2.68	2.41	3.25	1.95	2.83	2.46	3.06
2000m	5.32	4.05	5.15	5.42	4.02	3.63	4.10	4.28
8000m	6.73	5.85	8.13	5.62	5.19	4.88	5.64	4.52
12000m	-	-	13.30	11.26	9.82	10.22	9.82	9.49

Tablo 7'deki karesel ortalama hatalar dikkate alındığında, genel olarak görülüyor ki, Y ve X yönündeki ortalama hatalar oldukça birbirine yakın olmasına rağmen, H yönündeki ortalama hata bu değerlerden daha büyüktür.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, pratik GPS uygulamalarında hangi parametreler etkisinde hangi mertebeye doğruluk elde edilebileceği araştırılmıştır.

Üretici firmalar tarafından duyarlılık sınırı genellikle X ve Y yönünde 5 mm + 1 ppm, H yönünde de 10 mm + 1 ppm olarak verilmektedir[Yıldırım 1995],[Karaali ve Yıldırım 1996]. Örneğin 1 km'lik bir ölçü bazında X ve Y yönünde 6 mm, H yönünde 11 mm duyarlılığın elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmada, kısa ve orta mesafeli bazları içeren bağıl GPS uygulamalarında, yersel yöntemlere göre kıyaslanamayacak derecede doğruluk elde edildiği görülmüştür. Yapılan ölçüler ve değerlendirmeler

sonucunda, Tablo 3-Tablo 6'da verilen düzeltme değerleri istatistiki olarak incelendiğinde ölçülerde sistematik ve kaba bir hatanın olmadığı görülmektedir.

(5) bağıntısı ile hesaplanan ve Tablo 7'de verilen karesel ortalama hatalar X ve Y yönünde en büyük ± 10.0 mm yükseklikte ise ± 12.3 mm dir. Yine Tablo 7'de görüldüğü gibi X ve Y yönündeki duyarlıklar aynı sınırlar içinde kalmakla beraber, H yönündeki duyarlılık yaklaşık iki kat daha kaba değerler içermektedir. Deneysel olarak elde edilen bu değerler üretici firma tarafından verilen X ve Y yönünde 5mm + 1ppm, H yönünde de 10mm +1ppm değerlerinden daha iyidir.

7. KAYNAKLAR

- BÖHYY, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul,1992
- Kahveci, M. ve Yıldız, F.,Global Konumlama Sistemi, Nobel Yayınları, Ankara,2001
- Karaali, C., ve Yıldırım, Ö., Global Konum Belirleme Sistemi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Pamukkale Üniversitesi Matbaası, Denizli, 1996
- Leica, SKI System 300 Documentation, Heerbrugg, 1996
- Özbenli, E. ve Tüdeş, T., Ölçme Bilgisi, KTÜ Yayınları, Trabzon,1994
- Rehber Ansiklopedisi, Alüminyum, Hizmet Gazetecilik ve Matbaacılık, 1. Cilt, İstanbul, 1984
- Şerbetçi, M. ve Atasoy, V., Jeodezik Hesap, KTÜ Yayınları, Trabzon,1990
- Yıldırım, Ö., KTÜ Test Ağında GPS ve Yersel Yöntemle Yapılan Ölçülerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ FBE, Trabzon, 1995
- Yıldırım, Ö., Statik GPS Gözlemleri Kullanılarak Elde Edilen Baz ve Nokta Koordinat Duyarlılıkları Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi,Selçuk Üniversitesi FBE,Konya,2002