

RTK GPS VE YARDIMCI SENSÖR ÖLÇMELERİ İLE YÜKSEK YAPI DAVRANIŞLARININ ANALİZİ

H. Pehlivan¹, Ö. Aydın², F. Poyraz²

¹ GYTE, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Anabilim Dalı Gebze Kocaeli, hpehlivan@gyte.edu.tr

² YTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı Davutpaşa İstanbul, oaydin@yildiz.edu.tr, fpovraz@yildiz.edu.tr

ÖZET

RTK GPS tekniği günümüzde yüksek frekansta kayıt alabilme özelliği ile yatayda μ 1 cm ve düşeyde μ 2 cm'ye ulaşan doğruluk imkanı vermektedir. Bu imkan, uzun periyotlu yapıların güvenilir bir biçimde izlenmesini sağlamıştır (20 katlı ya da daha yüksek katlı binalarda). Ülkemizde de yüksek bina sayısı özellikle büyük şehirlerde giderek artmaktadır.

Bu kapsamda, yapısal izleme için RTK GPS ve yardımcı ölçme aletleri kullanılarak bir ölçme sistemi tasarlanmıştır. Sistem bir prototip üzerinde test edildikten sonra Endem TV kulesinde kurularak özgün bir uygulama yapılmıştır. Orijinal GPS verileri 20Hz örnekleme kapasitesine sahip iki adet GPS alıcısı kullanılarak kaydedilirken, eğim değişimi verisi aynı zaman diliminde toplanmıştır. İki günlük yersel ölçme ile kulenin yerdeğiştirme hareketi, total station kullanılarak 2 dakika kayıt aralığında ölçülmüştür. Bu şekilde yerdeğiştirme ölçümlerinin farklı sensörlerle karşılaştırılması ve GPS ölçümlerinin kontrolü amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: RTK GPS, Eğim Ölçümü, Totalstation, Yapısal İzleme.

ABSTRACT

ANALYSIS OF HIGH BUILDINGS BEHAVIORS WITH RTK GPS AND AUXILIARY SENSOR MEASUREMENTS

The RTK-GPS technique with its property of recording at high frequencies provides the ability of accurate measuring up to 1 cm at horizontal and 2 cm at perpendicular coordinates nowadays. That ability of measuring gives the chance of tracing the buildings with long periods accurately (buildings with 20 or more floors). The number of high buildings with many floors is being increased in our country especially in big cities.

Within that context, for constructional tracing a measuring system was designed by using RTK-GPS and assistant measuring devices. After the designed system tested with a prototype, it was constructed on the tower. The original GPS data had recorded by using two GPS receptors which had the capacity of sampling at 20 Hz and the direction and the change in slope were also noted in that period. With a grounded measurement of two days, the movement of the tower was measured by using totalstation within recording intervals of 2 minutes. The aim of that process was having the chance of comparing displacement measurements by different sensors and also controlling the GPS measurements.

Keywords: RTK GPS, Slope Measurement, Totalstation, Structural Monitoring.

1. GİRİŞ

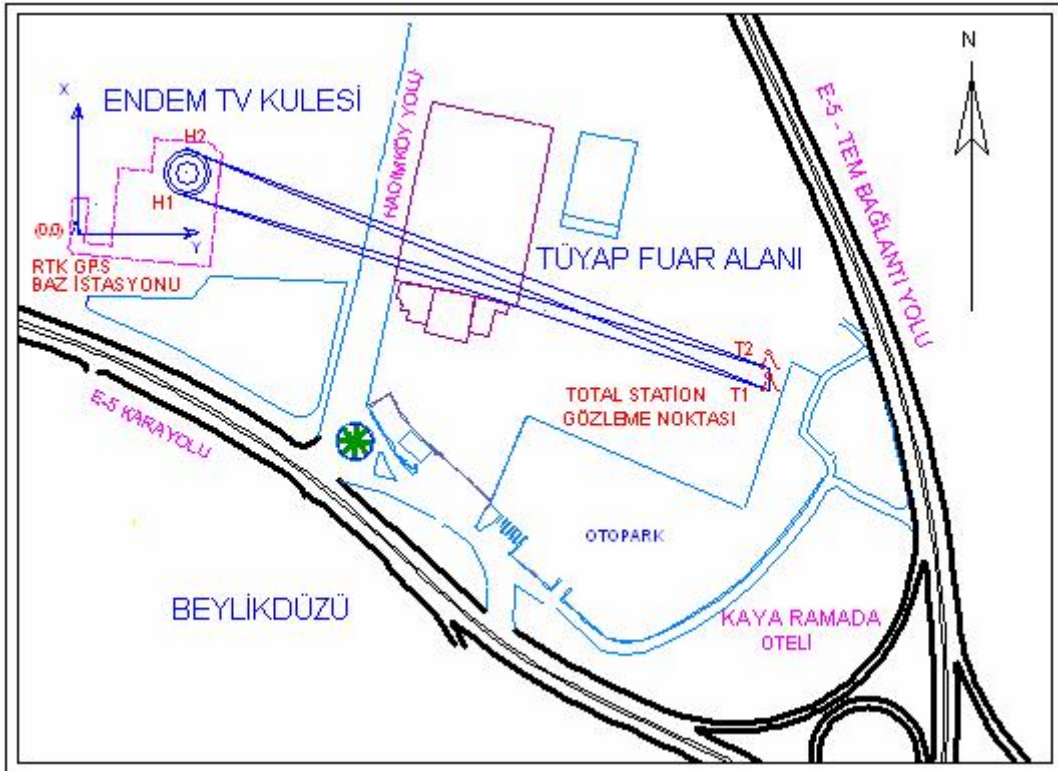
Büyük mühendislik yapı davranışlarının sürekli izlenmesi; yapıların deprem ve rüzgar gibi dış etkilere karşı güçlendirilmesi, olası tehlikeli durumlar için zarar tespit kestirimlerinin yapılması gibi çalışmalarda kullanılan bir yöntemdir. RTK GPS teknolojisi, ± 1 cm yatay ve ± 2 cm düşey doğrulukla, 20 Hz (100 Hz'e kadar) kayıt frekansına ulaşmıştır. Veri örnekleme kapasitesindeki bu ilerlemeler ve teknolojiadaki diğer gelişmeler, gerçek zamanlı yapı izlemelerinin geliştirilmesinde belirleyici olmuştur.

Kule, yüksek bina, asma köprü gibi yapıların izlenmesinde GPS kullanılan çalışmalardan bazıları, Lovse vd., (1995); Ashkenazi vd., (1996); Duff ve Hyzak, (1997); Çelebi vd., (1998); Ogaja., (2002); Çelebi ve Şanlı, (2002); Larocca ve Schaal, (2005); Erdoğan, (2006) tarafından yapılmıştır.

Yapının tip ve şartlarına bağlı izleme sistemleri, kısa periyotlu deformasyon etkileri ve uzun periyotlu trendleri ölçmeye yeterli olmalıdır. Uzun periyotlu deformasyonlar uzun dönemlerde oluşur (aylar hatta yıllar), sürekli ve ya periyodik ölçümlerle belirlenebilir. Kısa periyotlu deformasyonlar kısa zaman aralıklarında oluşur (1 sn yada daha az) ve yüksek frekanslı kısa verilerle belirlenebilir. Yapının kısa periyotlu davranışlarının izlenmesi için sürekli ve direkt ölçmeler yapılır. Eğim ölçer, gerilme ölçer gibi bina üzerine monte edilen ölçme aletleri ile kısa periyotlu bağlı deformasyonlar saptanabilir. Bu yöntemler ölçme aletleri otomatize edildiğinde çok etkilidir.

2. KULE ORTAMINDA TEST ÇALIŞMASI

İstanbul'da bulunan 234 m yüksekliğe sahip Endem TV Kulesinde, GPS ve diğer yardımcı ölçme aletleri eş zamanlı kullanılarak, yapı davranışlarının izlenmesinde yeni bir test çalışması yapılmıştır. Çalışma alanında; baz noktası (0,0) koordinatlı, X eksenini kuzey, Y eksenini doğu yönünü gösterecek şekilde lokal bir koordinat sistemi tasarlanmıştır. ECEF koordinat sisteminde kayıt edilen GPS ölçümleri, veri yoğunluğunu azaltmak ve işlem kolaylığı sağlamak için bu sisteme dönüştürülmüştür. Kule hareketlerinin yersel gözlemleri; ≈ 519 m yatay uzaklıkta T1 (gözlem istasyonu) ve T2 (semt alınan) noktalarından yapılmıştır (Şekil 1). Totalstation ile yapılan yersel gözlemlerde lokal koordinat sistemine dönüştürülmüştür.



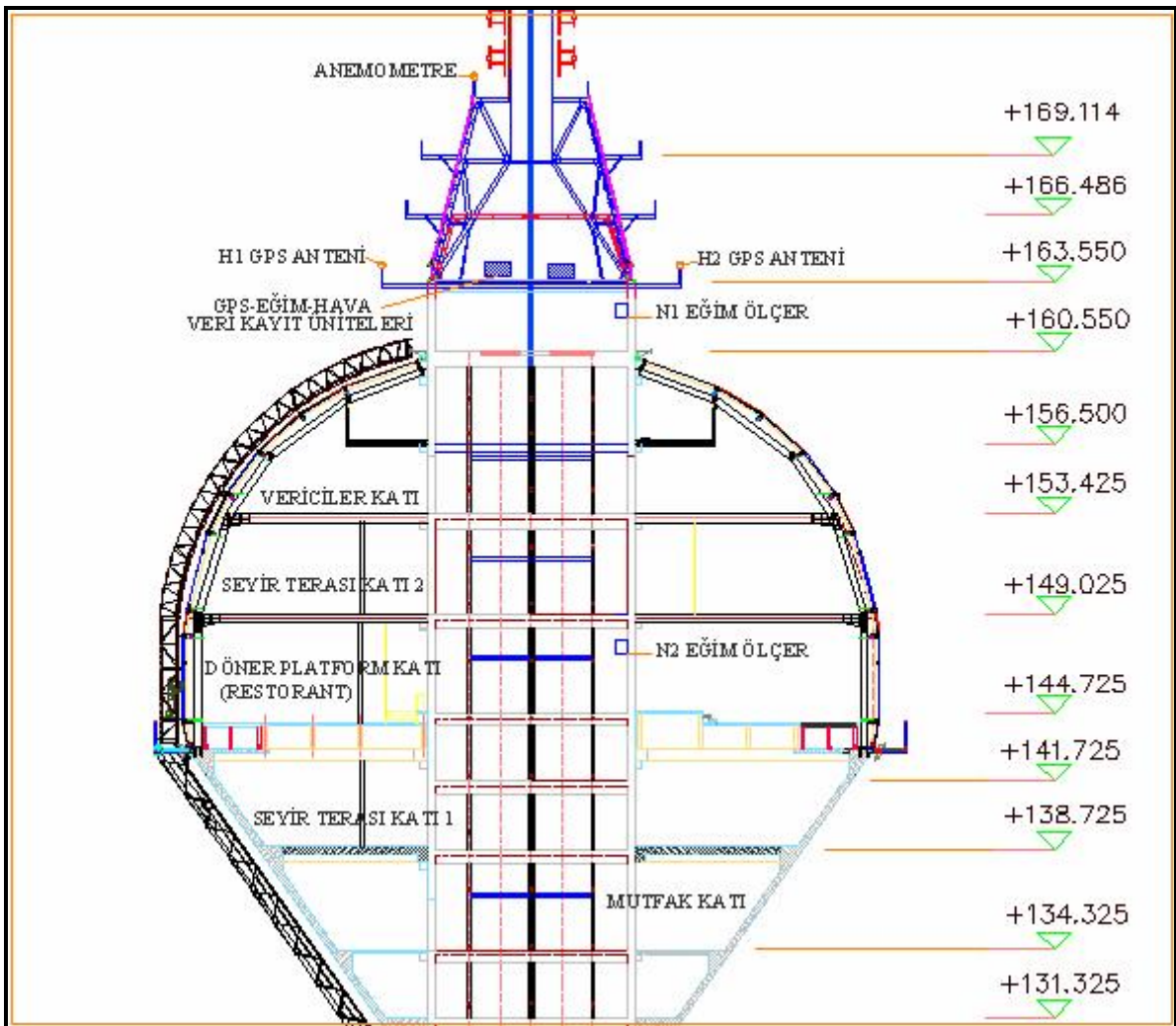
Şekil 1 Endem kulesi ölçme alanı krokisi

GPS ile belirlenen konum değişimlerinin, yardımcı sensör konum verileri ile karşılaştırılması ve analizin güçlendirilmesi amacıyla eğim sensörleri ve totalstation ölçmelerinin faydalı sonuçlar vereceği öngörülmüştür. Bu nedenle 2 adet eğim ölçer ve 2 adet Geodimeter aletleri ile ölçme sistemi tamamlanmıştır. Test çalışmasından resimler şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2 Totalstation ile izleme, referans GPS istasyonu, hareketli obje noktası

2.1 Donanımların Yerleştirilmesi ve Ölçümler



Şekil 3 Ölçme donanımlarının yerleştirildiği çanak kısmı

Endem Tv kulesine kurulan ölçme sistemi Şekil 3'te şematik olarak gösterilmiştir. Ölçme sensörleri, kule hareketlerini en belirgin şekilde tespit edilebilmek amacıyla çanak kısmında kurulmuştur. Tüm alıcılar yapının betonarme kısmının en üst seviyesine yerleştirilmiştir. GPS sistemi için referans istasyonu, kuleye yaklaşık olarak 100 m uzaklıkta bulunan korunaklı ve açık görüşe sahip bir zemine konumlandırılmıştır.

Eşzamanlı gözlemlerde tek ortak parametre olan zaman bilgisinde olabilecek kayıklıklar analizlerde önemli sorunlar oluşturmaktadır. Çalışmada ölçüme başlamadan önce bütün sensörler, kayıt üniteleri ve bilgisayarların zaman bilgileri senkronize edilmiştir.

Kule test çalışmasında aşağıdaki ölçümler gerçekleştirilmiştir.

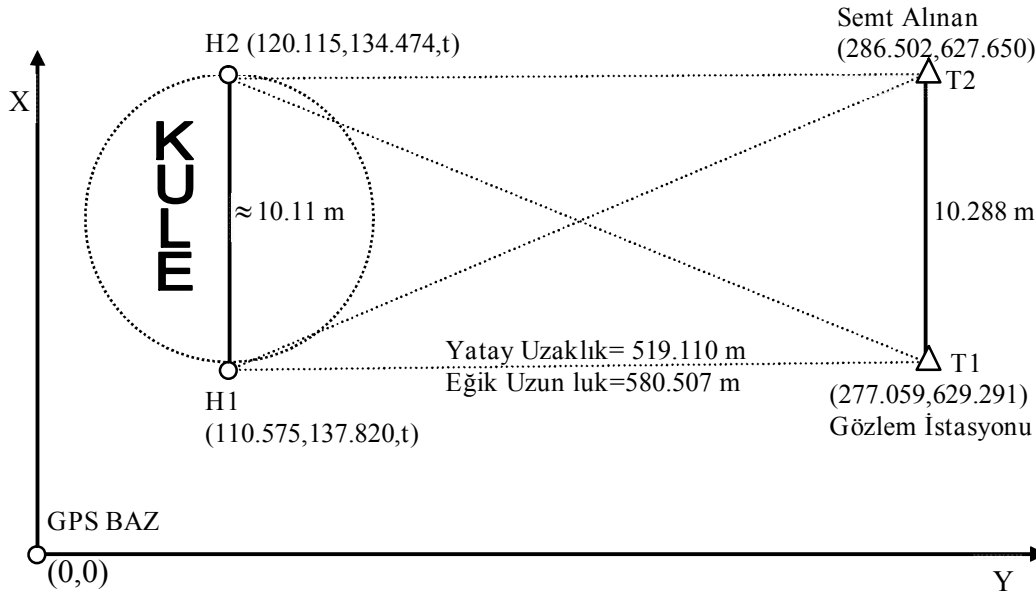
- RTK GPS ölçmelerini yapacağımız bir sabit, iki geziciden oluşan üçlü set ile test ölçümleri yapılmış ve kulede kurularak günlük veriler kayıt edilmiştir.
- Eğim sensörü (Nivel20) Kulede kurulumu yapılarak veri kaydı yapılmıştır. Eğim ölçerin çözünürlüğü 0.001 mrad, ölçme doğruluğu ise μ 0.005 mrad'dır
- Geodimeter 600S aletleri ve izleme programı kullanılarak 2 günlük, açı-uzunluk gözlemleri toplanmıştır. Kullanılan Geodimeter aletinin uzunluk ölçme doğruluğu μ 1 ppm (1 mm/km), açı ölçme doğruluğu μ 0.1 mgon (1° , grad saniyesi)'dir.
- Meteorolojik veriler Advantage Pro2 hava istasyonu kurulumu yapılarak rüzgar hızı ve yönü, sıcaklık, basınç, nemlilik oranı verileri kaydedilmiştir. Rüzgar ve sıcaklık ölçümlerinde doğruluklar sırasıyla; rüzgar hızı için 0.01 m/s ve rüzgar yönü için 1° , sıcaklık sensörü için yaklaşık olarak 0.5° C'dir.

3. TOTALSTATION-NİVEL20-GPS SERİLERİNİN ANALİZİ

23 Kasım 2007 tarihinde, 10:00 ile 18:00 saatleri arasında (toplam 8 saat); eşzamanlı olarak yapılan Totalstation, GPS ve Nivel20 ölçümlerinin uzun periyotlu bileşenlerini ortaya çıkarmak ve gürültü bileşenini azaltmak için serilere alçak geçişli filtre uygulanmıştır. H1 ve H2 gözlem noktalarının yaklaşık 8 saatlik X-Y değişkenleri, 60 saniye ile yeniden örneklenmiş ve 478 elemanlı $X_{1,2}$ - $Y_{1,2}$ zaman serileri elde edilmiştir. Bütün gözlem serilerinde zamana göre model araştırması yapılmış ve polinom fonksiyonlarla modelleri belirlenmiştir.

3.1 Totalstation Verisi

10:00-18:00 saatleri arasında, Geodimeter 610S aleti kullanılarak Şekil 3'te görülen H1 ve H2 gözlem noktalarına periyodik ölçümler yapılmıştır. Gözlem noktalarının periyodik ölçme aralığı 112 saniye, H1 ve H2 arasındaki ölçme anındaki gecikme 24 saniye olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4'te H1 ve H2 izleme noktalarının t zamanında (saat:dakika:saniye=10:00:10-34) hesaplanan koordinatları verilmiştir.

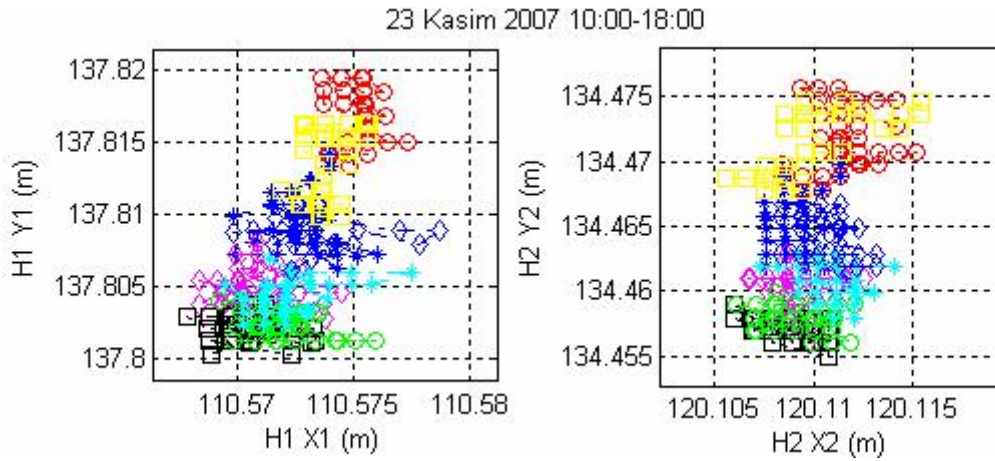


Şekil 4 Yersel ölçme istasyonları

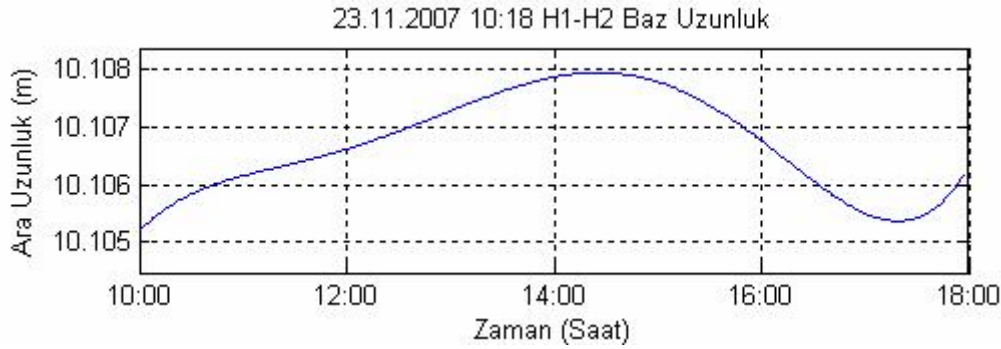
Yersel ölçümleri, GPS ölçümleri ile karşılaştırmak için T1, T2 koordinatları, H1, H2 obje noktalarının eşzamanlı GPS koordinatları kullanılarak kestirme yöntemi ile hesaplanmıştır. T1 ve T2 noktalarının hesaplanan koordinatları ile (yatay doğrultu, düşey açı ve eğik uzunluk değerlerinden) H1 ve H2 noktalarına ait $X_{1,2}$, $Y_{1,2}$ bileşenleri hesaplanmıştır. Kullanılan Geodimeter aletinin uzunluk ölçme doğruluğu μ 1 ppm (1 mm/km), açı ölçme doğruluğu μ 0.1 mgon (1° , grad saniyesi)'dir. Buna göre X ve Y yönlü ölçme doğruluğu;

$$m_x = m_y = \pm 580 m \times \frac{m_\alpha}{\rho} = 580.000 \times \frac{1^{\circ}}{636620} \cong \pm 1 \text{ mm} \text{ hesaplanmıştır.}$$

H1 ve H2 noktalarında totalstation ile ölçülen konum değişimleri Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5 H1, H2 ölçülen konum değişimleri



Şekil 6 H1, H2 izleme noktaları arası baz uzunluğu

X_1 ve X_2 serilerinin 5. dereceden bir polinom fonksiyon modeli: $P(x) = P_1x^5 + P_2x^4 + P_3x^3 + P_4x^2 + P_5x + P_0$ eşitliği ile belirlenmiştir. Y_1 ve Y_2 serilerinin 3. dereceden polinom fonksiyon modeli: $P(x) = P_1x^3 + P_2x^2 + P_3x + P_0$ eşitliği ile belirlenmiştir. H1 ve H2 noktaları arası uzunluk her zaman dilimi için model fonksiyonlardan hesaplanmıştır (Şekil 6). H1-H2 noktaları arası uzunluğun ortalama değeri; 10.1067 m, standart sapması; 0.85 mm hesaplanmıştır. Model fonksiyonlardan hesaplanan istatistik bilgileri Tablo 1'de sunulmuştur.

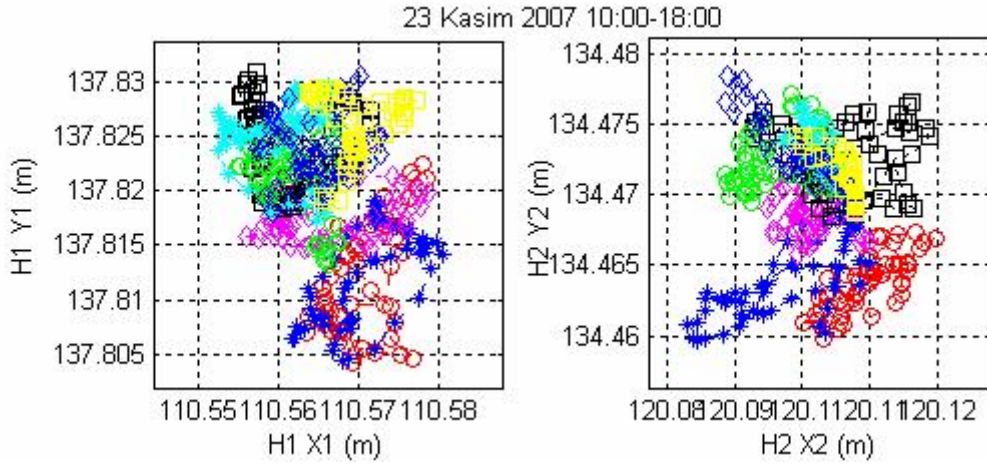
Tablo 1 Totalstation serileri istatistik bilgileri

Model	N (dk)	Minimum	Maximum	Ortalama	Fark (m)	Std. Sapma
X_1 (m)	480	110.5708	110.5756	110.5726	0.0048	0.0014
X_2 (m)	480	120.1084	120.1124	120.1100	0.0040	0.0010
Y_1 (m)	480	137.8020	137.8207	137.8077	0.0187	0.0051
Y_2 (m)	480	134.4572	134.4767	134.4634	0.0195	0.0055

Y_1 , Y_2 gözlemlerinin kendi aralarında korelasyon katsayısı; 0.9789 hesaplanmıştır. Y ekseninde ortalama deplasman genliği $\Delta y = 19$ mm hesaplanmıştır. X_1 , X_2 gözlemlerinin korelasyon katsayısı; 0.3914 olarak hesaplanmıştır X yönlü ortalama deplasman genliğinin $\Delta x = 5$ mm olduğu belirlenmiştir.

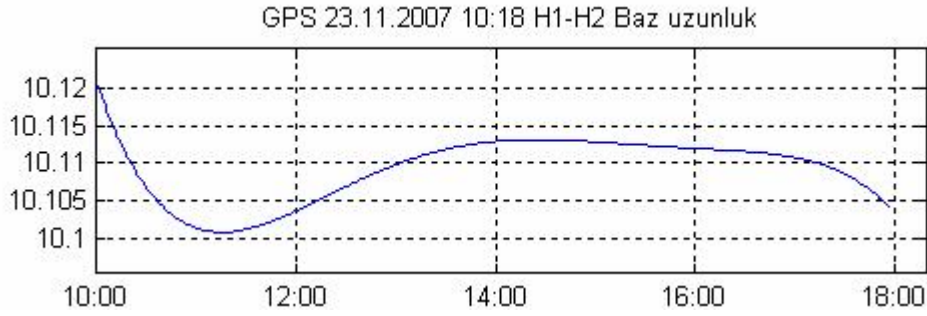
3.2 GPS Verisi

GPS serilerinde alçak geçiren filtreleme uygulandıktan sonra polinom model araştırması yapılmıştır. X_1 ve X_2 serileri 5. dereceden polinom fonksiyon modeli ile Y_1 ve Y_2 serileri 3. dereceden polinom fonksiyon modeli ile belirlenmiştir.



Şekil 7 H1 H2 noktası GPS ölçümleri

Şekil 7’de H1 ve H2 noktalarında GPS ile ölçülen konum değişimleri görülmektedir. Hesaplanan polinom modellerinden konum değişimleri Şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 8 H1, H2 izleme noktaları arası baz mesafesi

H1 ve H2 noktaları arası uzunluk her zaman dilimi için model fonksiyonlardan hesaplanmıştır. H1-H2 noktaları arası uzunluğun ortalama değeri; 10.1092 m , standart sapması; 0.42 mm hesaplanmıştır. Model fonksiyonlardan hesaplanan istatistik bilgiler Tablo 2’de sunulmuştur.

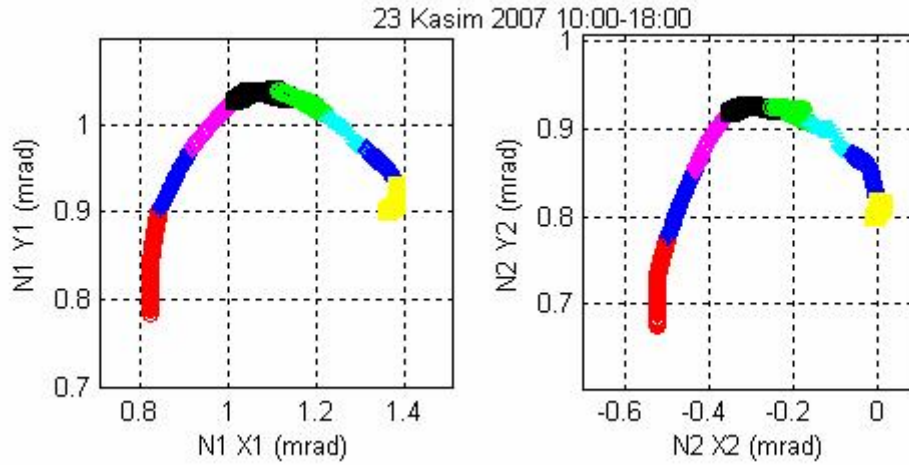
Tablo 2 GPS serileri istatistik bilgileri

Model	N (dk)	Minimum	Maximum	Ortalama	Δ (m)	Std. Sapma
X_1 (m)	480	110.5601	110.5723	110.5655	0.0122	0.0041
X_2 (m)	480	120.1003	120.1192	120.1033	0.0189	0.0030
Y_1 (m)	480	137.8090	137.8252	137.8201	0.0162	0.0050
Y_2 (m)	480	134.4621	134.4728	134.4696	0.0106	0.0032

Y_1, Y_2 gözlemlerinin korelasyon katsayısı; 0.9579 hesaplanmıştır. Y ekseninde ortalama deplasman genliği $\Delta y= 13.4$ mm hesaplanmıştır. X_1, X_2 gözlemlerinin korelasyon katsayısı; 0.3264 olarak hesaplanmıştır X yönlü ortalama deplasman genliği; $\Delta x=15.5$ mm hesaplanmıştır.

3.3 Nivel20 Verisi

X_1, X_2 ve Y_1, Y_2 serileri, 3. dereceden polinom fonksiyon modeli ile belirlenmiştir. Şekil 9’da H1 ve H2 noktalarında Nivel20 ile ölçülen eğim değişimleri görülmektedir. Model fonksiyonlardan hesaplanan istatistik bilgiler Tablo 3’de sunulmuştur.



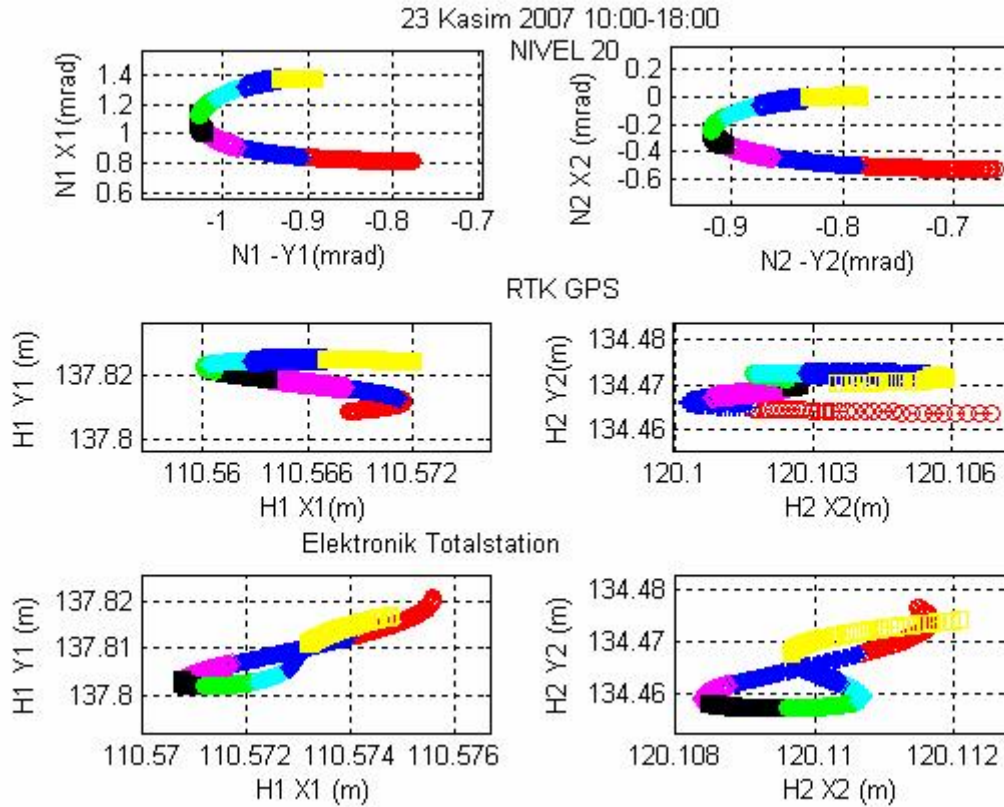
Şekil 9 N1 N2 ölçülen eğim değişimleri

Tablo 3 Nivel20 serileri istatistik bilgileri

Model	N (dk)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Δ (mrad)	Std. Sapma
X_1 (mrad)	480	0.8193	1.3771	1.1120	0.5579	0.2009
X_2 (mrad)	480	-0.5251	0.0077	-0.2530	0.5328	0.1892
Y_1 (mrad)	480	0.7765	1.0282	0.9623	0.2517	0.0612
Y_2 (mrad)	480	0.6630	0.9178	0.8525	0.2548	0.0626

Y_1, Y_2 gözlemlerinin korelasyon katsayısı; 0.9854 hesaplanmıştır. Y ekseninde ortalama eğim değişimi $\Delta y = 0.2532$ mrad hesaplanmıştır. X_1, X_2 gözlemlerinin korelasyon katsayısı; 0.9627 olarak hesaplanmıştır X yönlü ortalama eğim değişimi $\Delta x = 0.5454$ mrad hesaplanmıştır.

3.4 Hesaplanan Modellerin Karşılaştırılması ve Değerlendirme



Şekil 10 Nivel20-GPS-Totalstation verileri

Şekil 10'da Nivel20, GPS ve Totalstation ölçümlerinden elde edilen hareket modelleri sunulmuştur. her renk değişimi 1 saatlik yerdeğişimini göstermektedir. Bütün ölçme yöntemleri kendi içinde tutarlı sonuçlar vermiştir. GPS ölçümleri

H1 ve H2 noktalarında birbirine genlik ve geometrik şekil olarak benzer özellikler göstermektedir. Aynı şekilde Nivel20 ölçümlerinde N1 ve N2 noktalarında aynı sonuçları vermiştir. Üç ölçme yöntemi ile X - Y yönlü eğim ve konum değişimleri polinom modellerden hesaplanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4 Farklı ölçme yöntemlerinden hesaplanan genlik değerleri

Ölçme Sensörü	Δx	Δy	S (genlik)
Totalstation (mm)	5	19	19.6
GPS (mm)	15.5	13.4	20.5
Nivel20 (mrad)	0.5479	0.2517	0.6121

Bu sonuçlara göre; totalstation genlikleri (Δx :5 mm, Δy :19 mm), GPS genlikleri (Δx :15.5 mm, Δy :13.4 mm) farklı sonuçları vermiştir. Bu sonuç iki koordinat sisteminin birbirine göre dönük olmasından kaynaklanmıştır. Ancak hesaplanan toplam yerdeğişimleri ($S_{TS}= 19.65$ mm, $S_{GPS}=20.50$ mm) yaklaşık aynı sonucu vermiştir. 165 m kotundaki GPS ve 162 m kotundaki Nivel20 ölçülerinden hesaplanan salınım genliklerinin yaklaşık eşit olduğunu düşündüğümüzde; $\frac{S_{gps}}{h} = S_{Nivel}$ eşitliğinden $h=33$ m (yaklaşık yarıçap) hesaplanmıştır. GPS ve Nivel20 verileri arasında matematiksel ilişki kurulmuştur.

4. SONUÇ

Bu çalışmada kulenin hareketleri, farklı ölçme yöntemleri ile modellenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Her bir ölçme yöntemi ile hesaplanan; $X_1 - X_2$ ve $Y_1 - Y_2$ yönlü genlik değerlerinin uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu sonuç ölçme yöntemlerinin kendi içinde kontrolünü sağlamıştır. H1 ve H2 gözlem noktaları arası baz uzunluğun ortalama değeri, GPS ölçümlerinden 10.1092 m, totalstation gözlemlerinden 10.1067 m hesaplanmıştır. 8 saatlik ölçümlerden hesaplanan bu değerlerin standart sapmaları dikkate alındığında uyumlu olduğu görülmüştür. Toplam genlikler ($S_{TS}= 19.65$ mm, $S_{GPS}=20.50$ mm) yaklaşık aynı değerler hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre kulenin 8 saat içindeki yerdeğişimi, her iki ölçme yöntemi ile de aynı doğrulukla belirlenmiştir. GPS ve Nivel20 ölçülerinin, kulenin 129 m yüksekliğindeki merkez açı altında birbirine uyum sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Ashkenazi V., Dodson A. H., Moore T., Roberts G. W., 1996. Real time GPS monitoring of the Humber Bridge, Surveying World, May/June 1996, ISSN 0927-7900, 26-28.
- Çelebi M., Prescott W., Stein R., Hudnut K., Behr J. ve Wilson S., 1998. Structural monitoring using GPS. 11th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. Of Navigation, Nashville, Tennessee, 15-18 Sept., 929-935.
- Çelebi M., Şanlı A., 2002. GPS in pioneering dynamic monitoring of long-period structures, Earthquake Spectra, 18(1), 47-61, 2002.
- Duff K., Hyzak M., 1997. Structural monitoring with GPS, Public Roads Magazine, 60, 39
- Erdoğan H., 2006. 'Mühendislik yapılarındaki dinamik davranışların jeodezik ölçmelerle belirlenmesi', Doktora tezi, YTÜ, İstanbul.
- Erol B., Çelik N.R., 2002. Presizyonlu Eğim Sensörlerinin Büyük Yapıların Hareketlerinin İzlenmesinde Kullanılması. Selçuk Üniversitesi 30. Yıl Sempozyumu, Konya, 2002.
- Larocca A. P. C., Schaal R. E., 2005. Millimeters in motion: Dynamic response precisely measured, GPS World, 16(1), 16-25.
- Lovse J. W. ve Teskey W. F., 1995. "Dynamic Deformation Monitoring of Tall Structure Using GPS technology", Journal of Surveying Engineering, Vo. 121(1), 16-22
- Ogaja C., 2002. A Framework in Support of Structural Monitoring by Real Time Kinematic GPS and Multisensor Data, PhD Thesis, The University of New South Wales, Australia.
- Özoner B., 2000. "Presizyonlu eğim sensörüyle büyük yapıların deformasyonlarının izlenmesi", Y. Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Pehlivan H., 2009. 'Gerçek zamanlı kinematik GPS yöntemiyle yapıların dinamik davranışlarının incelenmesi', Doktora tezi, YTÜ, İstanbul.