

**RTK GPS SİSTEMİNİN POLİGON ÖLÇMELERİNDE KULLANIMI****Ömer AYDIN, Erçenk ATA\*, Atınc PIRTI***Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü,  
Yıldız-İSTANBUL***Geliş /Received: 13.02.2002 Kabul/Accepted: 07.01.2004****USING RTK GPS SYSTEM IN THE POLYGON SURVEYING****ÖZET**

Önceleri askeri amaçlar için tasarlanmış olsa da sağladığı avantajlardan her alanda yararlanılmak istenen GPS haritacılığın da vazgeçilmezleri arasına girmiştir. Bugün dünyanın her yerinde, bir çok farklı alanda kullanılan GPS, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde de ölçme ve navigasyon uygulamalarında başarıyla kullanılmaktadır. İlk kullanılmaya başlandığından beri bir çok gelişme gösteren GPS teknolojisinin en son keşiflerinden biri de RTK (Real Time Kinematic) konumlama tekniğidir. RTK, GPS' in yalnızca poligon ve nirengi noktalarının ölçümüyle sınırlanmış çalışma alanını genişleterek ölçme endüstrisinde bir devrim yaratmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** RTK, GPS, Referans Noktası**ABSTRACT**

Firstly, GPS was used for military purpose, now is used to surveying concepts. Today GPS is used to surveying and observations on surveying engineering. Until firstly GPS is one of the new useful methods RTK GPS is enlarged the GPS techniques, for example surveying detail points and stake – out points.

**Keywords:** RTK, GPS, Reference point**1. GİRİŞ**

GPS sistemindeki hızlı gelişmeler bilim adamlarını ve üreticileri her tür ihtiyaca cevap verebilecek yeni yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. GPS alıcılarının en son üretimleri beş uydunun eşzamanlı gözlenebilirliğiyle eş zamanlı ölçümlere, obje hareketlerinin izlenmesine ve bu sayede araç takip sistemlerinin gelişmesine olanak sağlamaktadır.

RTK – GPS (Real Time Kinematic GPS) eş zamanlı ölçümlere olanak sağlayan ve bu amaçlar için kullanılmak üzere tasarlanan bir GPS ölçü yöntemidir.

Eş zamanlı uydular konum belirleme geleneksel yöntemlere göre ekip ve zaman açısından çok daha avantajlıdır. Ancak sistemin değişik uygulamalarda kullanılabilirliği ve doğruluğu araştırmalarla test edilmelidir.

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: e-mail: [ata@yildiz.edu.tr](mailto:ata@yildiz.edu.tr) ; tel: (0212) 259 7070/2712

## **2. REAL TIME KINEMATIC GPS (RTK-GPS) İLE KONUMLAMA**

### **2.1. Genel Bilgiler**

RTK – GPS (Real Time Kinematic Global Position System) eş zamanlı ölçümlere olanak sağlayan ve bu amaçlar için kullanılmak üzere tasarlanmış bir ölçü yöntemidir. RTK yöntemi, ölçü yöntemi olarak DGPS (Differential GPS)' e benzer ve bu nedenle de gerçek zamanda hassas diferansiyel GPS (PDGPS) olarak da tanımlanabilir [1].

RTK - GPS yöntemi ile nokta konumları cm duyarlıkla kayıt anında belirlenebilmektedir. RTK alıcısından alınan temel çıktılar 3 boyutlu kartezyen koordinatlar (x,y,z) veya jeodezik koordinatlar (enlem, boylam ve yükseklik), WGS 84 koordinat sistemindedir. Bazı yazılımlar ülke koordinatlarını ve bir lokal datum üzerindeki yükseklikleri de verebilmektedir. Bütün RTK sistemlerinin temelinde GPS alıcılarının eş zamanlı olarak 5 ortak uyduya gözlem yapabilmeye şartı vardır. Ek olarak, RTK sisteminin “eş zaman” unsuru gezici ve referans alıcı arasındaki radyo bağlantısına bağlıdır [2]. RTK uygulamalarında koordinatları bilinen bir noktada bir GPS alıcısı sürekli gözlem yaparken, bir veya daha fazla gezici GPS alıcısı da, hızlı bir şekilde, konum çözümünü gerçekleştirir.

Referans istasyonundaki alıcı ile uydular arasındaki herhangi bir t epoğunda ölçülen taşıyıcı faz uzunluğu ile, uydular – alıcı arasındaki koordinat farklarından hesaplanan geometrik uzunluk karşılaştırılır ve taşıyıcı faz ölçülerine getirilecek düzeltme ve düzeltme oranı hesaplanarak gezici alıcılara iletilir. Gezici alıcılar, kodlanarak radyo dalgaları üzerine modüle edilmiş olan bu düzeltmeleri alarak kendi taşıyıcı faz ölçülerine düzeltme olarak getirirler.

### **2.2. RTK GPS'in Kullanılması**

RTK tekniğinin başlangıcından önce, birçok kinematik uygulamada konumlama DGPS ile yapılabiliyordu. DGPS ise kod ölçülerini kullanma tekniğiyle sınırlanmıştı. Bu nedenle bu tekniklerin kullanımı navigasyon amaçlarıyla sınırlı kalmış, genel mühendislik uygulamalarında onlardan yararlanılmamıştır [1].

Nokta konumlarının eş zamanlı elde edilmesine gerek duyulmadığında çok yaygın olarak kullanılan sonradan değerlendirme (Postprocessing) yöntemi kullanılır. Bazı ölçme işleri eş zamanlı konum belirlemeye gereksinim duymaktadır [3].

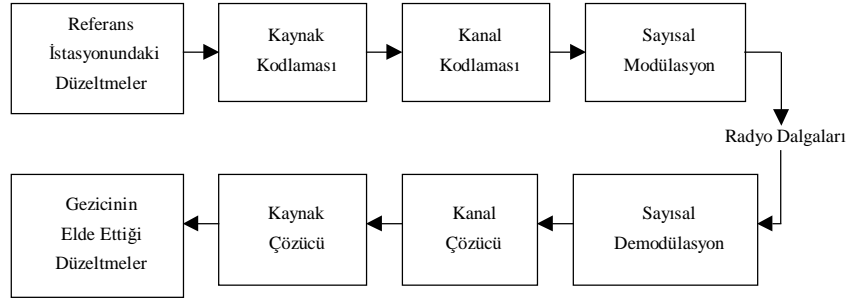
Harita yapımı için gerekli olan ölçmeler yalnızca nirengi ölçmeleri olmayıp, poligon ölçmeleri, detay noktalarının alımı, mülkiyete konu olan taşınmazların zeminde belirlenmesi amacıyla araziye aplikasyonu, eş zamanlı ölçüleri gerektiren temel haritacılık uygulamalarıdır. Özellikle aplikasyon uygulamalarında, GPS ölçümlerinin Postprocessing değerlendirilme imkanı olmadığından, tüm veriler arazide tanımlanmalıdır. Bu yüzden GPS ile aplikasyon ancak eş zamanlı teknikler kullanılarak gerçekleştirilebilir.

RTK ölçü yöntemi ile çok uzun zaman ve ön çalışma gerektiren aplikasyon işleri çok kısa bir sürede ve en az yersel sistemlerden elde edilebilecek doğrulukla gerçekleştirilebilmektedir [1].

### **2.3. RTK'nın Prensipleri**

RTK uygulamalarında, koordinatları doğru olarak bilinen bir noktada referans GPS alıcısı sürekli gözlem yaparken, bir gezici GPS alıcısı da konum çözümünü gerçekleştirir. Referans alıcı gözlemler esnasında bilinen koordinatlarıyla ölçme anında uydulardan hesapladığı koordinatlarını karşılaştırarak buradan hesapladığı farkları radyo modemlerle düzeltme olarak gezici alıcılara yayınlamaktadır. Düzeltmeleri alan gezici alıcılar referans alıcıya göre o andaki konumlarını hesaplarlar.

Düzeltilmeler radyo vericisi tarafından yayınlanırken kaynak ve kanal kodlamalarından sonra, düzeltme sembolleri sayısal bir modülatör tarafından radyo dalgalarına dönüştürülür. Bu radyo dalgaları gezicideki başka bir radyo alıcısı tarafından alınır ve sayısal bir demodülatör tarafından sembolere dönüştürülür. Kanal kodlanması ve kaynak kodlanması çözüldükten sonra, düzeltilmeler gezici tarafından elde edilmiş olur (Şekil 2.1) [3].



Şekil 2.1. Düzeltilmelerin Üretimi ve Aktarılması

Real time kinematic ölçü sisteminde tamsayı belirsizliği OTF (On The Fly) yöntemiyle gerçekleştirilir. Hareket eden cisimlerde ölçü yapan bir alıcıda, başlangıçtaki tamsayı bilinmeyenini belirlemek için statikte kullanılan yöntemlere başvurmak pratikte imkansızdır. Bu nedenle alıcı hareketliken tamsayı bilinmeyeninin çözülmesine uçuş halinde tamsayı bilinmeyenini çözüm tekniği (OTF– Ambiguity Resolution) denir [4].

OTF belirsizlik çözüm tekniğinin başarısı

- Gözlemlenen Uydu Geometrisi,
- Fonksiyon Sayısı,
- Ölçü Kalitesi,
- Referans İle Gezici Arasındaki Uzaklık,
- Ölçü Hatalarının Etkisine Bağlıdır (Özellikle İyonosferik ve Sinyal Yansıma Hataları).

#### 2.4. Uygulamada Karşılaşılan Problemler ve Giderilmesi

Tüm GPS yöntemlerinde olduğu gibi RTK’ daki en önemli hata kaynaklarından biri GPS sinyallerinin alıcılara yansiyarak gelmesidir (Multipath). Yansıma özellikle inşaatların, binaların vb. yakınında beklenmelidir. Yansıma faz durumunda değişikliklere ve sinyalleri, sinyal ulaşım durumunun değişmesine götürmektedir. Bu etkiler, alıcı açıldığında faz ve frekansların ulaşmasını güçleştirmekte ve bu durumda verilerde nitelik kaybı meydana gelmektedir. Faz tamsayı bilinmeyeninin doğru şekilde çözülmemesi konum çözümünde bir doğruluk kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle yansıma ve faz tam sayı bilinmeyeninin doğru şekilde hesaplanması problemin temelini oluşturur [6].

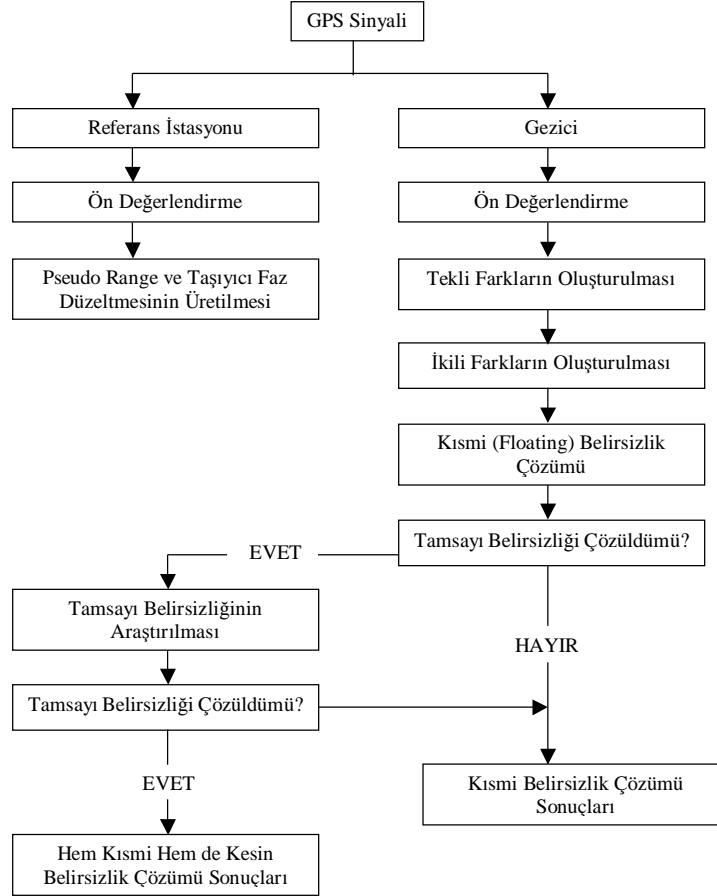
Diğer taraftan veri iletim teçhizatının menzilin test edilmesi gereklidir. Baz istasyonu çevresinden maksimum uzaklık 10 – 20 km civarında sınırlandırma içermektedir.

#### 2.5. Doğruluğu Etkileyen Faktörler

GPS ile mutlak konum belirlemesi birkaç saatlik ölçü ve hassas efemeris ile ancak 0.5m düzeyinde olabilmektedir. Daha duyarlı sonuçlar ancak eş zamanlı ölçülerin birlikte

## RTK GPS Sisteminin Poligon Ölçmelerinde...

değerlendirilmesiyle elde edilebilmektedir. Kinematik konum belirlemede de aynı şekilde hareket edilir. Alıcılardan biri koordinatı bilinen noktada sürekli gözlem yaparken hareket halindeki diğer alıcılarda anlık veya birkaç epokluk ölçü yapar. Sabit istasyondaki ölçüler ile yeni noktadaki her bir eşzamanlı ölçü birlikte değerlendirilerek sabit noktadan yeni noktalara giden vektörler hesaplanır. Hesaplarda kodların veya taşıyıcı fazların kullanılmasına bağlı olarak duyarlık değişmektedir. RTK uygulamalarında genellikle taşıyıcı faz moduyla çalışılır. Taşıyıcı faz ölçüleriyle yüksek doğruluk elde etmek için uydular ve gezici GPS antenleri arasındaki GPS dalgı boyunun tamsayı değeri hesaplamak için referans alıcısındaki bilgiler gezici alıcılar için gereklidir. Uygulanan bu teknik cm mertebesinde doğruluk edilmesini sağlamaktadır [7].



Şekil 2.2. RTK GPS sisteminin data değerlendirme prosedürü [5]

Bir RTK ölçümünde doğruluğu etkileyen faktörler [8],

- Referans noktasının koordinatlarının doğruluğu,
- Referans noktasının bulunduğu bölge (çevresel etkenler örneğin Multipath),
- Referans alıcı ile gezici alıcı arası uzaklık,
- Gezen alıcının hareketlilik derecesi,

- Yazılımlarda kullanılan çözüm algoritmaları,
- Veri transferi için kullanılan donanım ve yazılımın hızı,
- Kullanılan ana istasyon sayısıdır.

### 3. ARAŞTIRMA ÇALIŞMASI

RTK uygulamalarında referans alınan noktanın koordinatlarının güvenilir olması gerekmektedir. Bunun için referans noktası olarak ya çok güvenilir noktalar seçilmeli, ya da bu güvenilir noktalara bağlı uzun süreli statik ölçüler gerçekleştirilerek referans noktasının duyarlı koordinatları belirlenmelidir.

Araştırma çalışmasında referans olarak aralarında 2.5 km uzaklık bulunan iki İGNA (İstanbul GPS Nirengi Ağı) noktası kullanılmıştır. RTK ile bu referanslara bağlı olarak 12 poligon noktası ölçülmüştür. Ayrıca tüm poligonların total station ile yapılan ölçülerinden koordinatları hesaplanmıştır. Bu noktalardan 5 tanesinde statik ölçüler gerçekleştirilmiştir.

12 noktadan oluşan poligon güzergahı yaklaşık 2400 m uzunluğundadır. Çizelge 2.1' de bu noktalardan 5 tanesinin referans noktasına uzaklığı ve güzergah uzunluğu verilmiştir.

Tüm noktaların ölçümü 5 saatlik bir sürede tamamlanmıştır. Kullanılan donanım doğrudan ülke koordinatlarını verebilen yazılımlara sahiptir.

**Çizelge 2.1.** Poligonların güzergah ve referansa olan uzaklıkları

N.N	Referansa Uzaklık	Güzergah Uzunluğu
P100	576,796	976,931
P96	917,431	1359,129
P95	1184,019	1628,465
P94	1496,522	1957,710
P93	1839,589	2399,634

Geleneksel yöntem (Total-Station) ve RTK ile belirlenen koordinatların karşılaştırılması amacıyla, referans noktasından yaklaşık 500 m uzaklıkta bulunan P100 numaralı noktadan başlamak üzere 5 poligon noktasının statik (30-35 dakikalık) GPS ölçüleri ile koordinatları belirlenmiştir. RTK ölçümlerinde 34082 nolu nirengi noktası referans seçilmiştir. Referanstan 1850 m uzaklıktaki. 93 numaralı poligon da dahil olmak üzere 12 poligonun alımında bu referans kullanılmıştır. Ölçümler 6 ila 10 arasında uydu sayısı ve 1,9 ile 3 arasında PDOP değerleriyle gerçekleştirilmiştir. Uydu sayısı 6'nın altına düştüğünde belirsizlik çözümü için en az 5 dakika beklenmiştir. 7 uydu ile birkaç dakikada gerçekleştirilen belirsizlik çözümünün 8 ve daha fazla uydu sayılarıyla 10-15 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleştiği görülmüştür.

Öğleden önce başlanan ölçüler tamamlandıktan sonra öğleden sonra da dönüş ölçüleri gerçekleştirilerek koordinatlardaki değişimler incelenmiştir. Kesin değer olarak bu iki ölçüden elde edilen koordinatların ortalaması alınmıştır.

Ölçüler sırasında uydu sayısındaki değişimin koordinatları ne şekilde etkilediği de sürekli olarak izlenmiştir. Çizelge 2.2' de farklı uydu sayılarının koordinatlarda oluşturduğu farklılıklar görülmektedir.

Poligon noktalarının koordinatları, RTK ile tek bir referanstan hesaplanmıştır. Ayrıca 4 poligon noktasının koordinatları iki ayrı referanstan hesaplanarak koordinatlar karşılaştırılmıştır. Buna göre aynı noktanın farklı referanslardan bulunan koordinatları ortalama 2 cm ile uyum sağlamaktadır. Elde edilen farklar RTK tekniğinin 2 km' lik bir güzergahtaki poligon noktalarının ölçümünde kullanılabileceğini göstermektedir.

RTK ve Total Station ile belirlenen koordinatların karşılaştırmasını yapmak için, her iki yöntemden bulunan koordinatların, statik ölçüler sonucu hesaplanan koordinatlardan farkları alınmıştır. Buna göre RTK ve statik ölçülerden hesaplanan koordinatlar arasında Y yönünde 5

## RTK GPS Sisteminin Poligon Ölçmelerinde...

mm ile 19 mm, X yönünde 4 mm ile 21 mm arasında farklar vardır. Referans noktaya 1840 m ile en uzak nokta olan 93 numaralı poligonda bu fark Y' de 19 mm, X' de 21 mm' dir (Şekil 2.3, Şekil 2.4).

**Çizelge 2.2.** Uydu sayısındaki değişimin koordinatlara etkisi

NN	Y	X	H	Uydu Sayısı	Y	X	H	Uydu Sayısı	Farklar (mm)		
									DY	DX	DH
93	434153,991	4564622,776	27,957	8	434154,001	4564622,773	27,956	6	10	27	-1
94	434062,250	4565055,094	6,808	8	434062,269	4565055,090	6,834	6	19	-4	26
95	434152,515	4565371,729	3,515	9	434152,522	4565371,712	3,533	6	7	-17	18
96	434284,767	4565606,374	5,897	9	434284,772	4565606,364	5,930	7	5	-10	33
100	434436,817	4565928,837	7,037	9	434436,826	4565928,832	7,077	7	9	-5	40

Klasik ölçülerden hesaplanan koordinatlar, statik ölçüden hesaplanan koordinatlarla karşılaştırıldığında farklar, Y yönünde 12 mm ile 32 mm, X yönünde ise 10 mm ile 35 mm arasındadır. P.93 numaralı noktada ise bu farklar, Y' de 31.9 mm, X' de ise 35 mm' dir.

Sonuçlar göstermektedir ki, RTK ile belirlenen koordinatlar statik ölçülerle belirlenen koordinatlara daha yakındır. Bu farklar referans olarak seçilen noktadan uzaklaştıkça artmaktadır.

**Çizelge 2.3.** RTK ve Total Station ile belirlenen poligon koordinatları

Total Station			RTK		
N.N.	Y	X	N.N.	Y	X
P100	434436,835	4565928,852	P100	434436,817	4565928,837
P96	434284,779	4565606,382	P96	434284,767	4565606,374
P95	434152,525	4565371,756	P95	434152,515	4565371,729
P94	434062,216	4565055,130	P94	434062,250	4565055,094
P93	434153,940	4564622,832	P93	434153,991	4564622,746

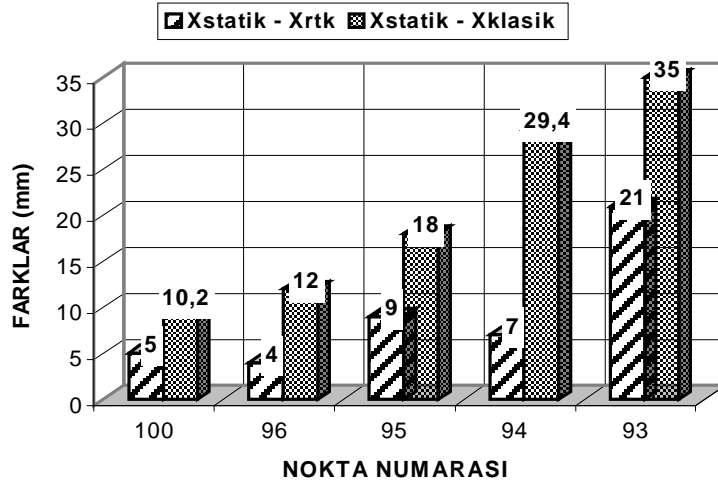
## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

GPS teknolojisinde bir devrim olarak kabul edilen RTK konumlama, Jeodezi Fotogrametri Mühendisliği' ne büyük yararlar sunmaktadır. Avrupa ve Amerika' da her alanda kullanılan bu teknolojinin ülkemizde yaygın olarak kullanılması büyük avantajlar sağlayacaktır.

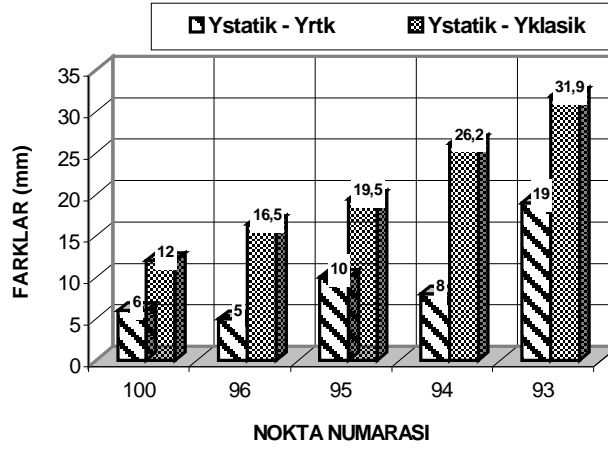
RTK uygulamalarında referans noktasının seçimi çok önemlidir. Çünkü RTK ile duyarlı koordinat belirlenmesi büyük ölçüde referans olarak seçilen noktanın duyarlılığına bağlıdır.

İkinci uygulamada seçilen iki farklı referanstan birinden diğer noktanın alımı yapıldığında, Y koordinatının 1.7 cm, X koordinatının 4.1 cm' lik farklarla uyum sağladığı görülmüştür. Bu karşılaştırma bile, literatürlerde belirtilen şartlar sağlandığında, RTK tekniğiyle gerçekten cm duyarlılıkla koordinat belirlenebileceğini göstermektedir.

Uygulama sırasında karşılaşılan en önemli sorun Radyo Modemler arasındaki iletişimin bazı bölgelerde kesilmesidir. Bölge engebeli bir yapıya sahip olduğundan radyo sinyalleri engeller nedeniyle geziciye ulaşamamıştır. İkinci bir referans seçiminin en önemli nedenlerinden biri budur. Ayrıca bazı noktalarda bina, ağaç veya başka engellerin etkisiyle uydu sayısı azalmış,



Şekil 2.3. X Yönünde RTK ve klasik koordinatların statik koordinatlardan farkları



Şekil 2.4. Y Yönünde RTK ve klasik koordinatların statik koordinatlardan farkları

bu noktalarda belirsizlik çözümü için uzun süre beklemek gerekmiştir. Hatta bazı noktalarda RTK çözümü gerçekleştirilememiştir. Bu nedenle çalışma esnasında radyo modemler arasındaki iletişim de sürekli gözlenmelidir.

#### KAYNAKLAR

- [1] El-Mowafy A., (2000), "Performance Analysis RTK Technique in an Urban Environment", The Australian Surveyor, Vol. 45, No. 1, Technical Papers, 2000, 47-54.

### ***RTK GPS Sisteminin Poligon Ölçmelerinde...***

- [2] Stewart M., Tsakiri M., (1997), "The Future of RTK GPS/GLONASS Positioning in the Urban Canyon", The Australian Surveyor, Vol. 42, No. 4, December 1997, 172-178.
- [3] Langley Richard B., (1998), "RTK GPS", www.GPS world.com, September 1998.
- [4] Kartal F., (1998), "Havada Kinematik GPS ve Bir Uygulama", Doktora Tezi, İstanbul.
- [5] Lan H., Cannon M.E., (1996), "Development of a Real-Time Kinematik GPS System: Design, Performance and Results", Presented at the ION National Technical Meeting, Session: Surveying and Precise Positioning, Santa Monica, January 22-24, 1996.
- [6] Aydın Ö., Soycan M., (2001), "GPS Tekniği", Ders Notları, İstanbul, 2001.
- [7] R. Lemmon T., (1999), "The Influence of the Number of Satellites on the Accuracy of RTK GPS Positions", The Australian Surveyor, Vol. 44, No. 1, June 1999, 64-70.
- [8] Ata E.,(2001), "RTK GPS Yönteminin Poligon Ölçmeleri ve Detay Alımında Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.