

## Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması

Muzaffer KAHVECİ<sup>1</sup>, Hakan KARAGÖZ<sup>2</sup>, M. Oğuz SELBESOĞLU<sup>3</sup>

### Özet

Uydularla konum belirlemede (GNSS: Global Positioning Systems/ Global Navigation Satellite Systems) birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; statik görelî konum belirleme, tek nokta konum belirleme (SPP:Single Point Positioning), tek nokta hassas konum belirleme (PPP:Precise Point Positioning), diferansiyel GPS/GNSS (DGPS/DGNSS ve SBAS:Satelite Based Augmentation Systems), standart RTK (Real Time Kinematic) ve Ağ-RTK (CORS: Continuously Operating Reference Stations) çözümleri olarak özetlenebilir. Bu yöntemler kullanılarak elde edilen çözümler farklı veri yapılarına, alıcı modellerine, veri toplama sıklığına, matematiksel modellemelere vb. dayanmakta olup her bir çözüm yönteminin amacı (jeodezik, jeodinamik, kadastro, meteoroloji, gerçek zamanlı navigasyon vb.) ve hedef kitlesi farklı olabilmektedir.

Diğer taraftan günümüzde jeodezik ve pratik ölçme (kadastro) amaçlı uygulamalarda geleneksel statik görelî GPS ölçme ve hesaplamaları yerine büyük oranda klasik (tek bazlı) RTK yada ağ-RTK (CORS) ölçme ve hesaplamaları kullanılmaktadır. Bunun sonucunda da uydularla konum belirlemenin özellikle jeodezi ve kadastro alanlarında kullanılmasına yönelik bazı sorular ortaya çıkmaktadır. Bunlardan; iş tesliminde arazide toplanan GPS/GNSS verileri kullanılıp büroda hesaplanarak (post-processing) elde edilen koordinatlar mı, yoksa arazide RTK (veya DGPS) yöntemi ile gerçek zamanlı olarak belirlenen koordinatlar mı tercih edilmeli sorusu gerek kullanıcılar gerekse işveren açısından ilk sırayı almaktadır. Bu temel sorunun yanıtı gerçekte iki önemli teknik konuya dayanmaktadır. Bunlar, RTK ile konum belirlemede tek epok ölçünün doğru ve tutarlı bir sonuç için yeterli olup olamayacağı ve RTK ile elde edilecek koordinatların kontrolünün nasıl sağlanacağı şeklinde özetlenebilir.

Bu makalede söz konusu sorular çeşitli boyutlarıyla irdelenmekte, teorik açıklamalara ilave olarak kullanıcılara hizmet vermekte olan farklı iki ağda yapılan denemelerle kontrollü ve somut sonuçların ortaya konması amaçlanmaktadır. Bu çerçevede Türkiye’de halen etkin olan TUSAGA-Aktif ve İSKİ-UKBS ağlarında 15-18.06.2010 ve 03.07.2010 tarihlerinde gerçekleştirilmiş iki periyot ölçü ve hesaplama sonuçları sunulmaktadır.

### Anahtar Sözcükler

GNSS, DGNSS, RTK, Post-Process, Statik, CORS

### Abstract

#### Comparison of Static and RTK GNSS Observations and Processings

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) provide various types of positioning solutions, such as single point positioning (SPP), precise point positioning (PPP), differential GPS (DGPS), SBAS, standard real time kinematic (RTK) and Net-RTK (CORS) solutions. These solutions are obtained involving different data types, receiver models, data intervals,, mathematical models etc. And serving different classes of users.

Today, standard RTK and net-RTK techniques are used to a great extent when compared to conventional relative static GPS technique. Consequently, some questions arise when the point coordinates are determined using a few epochs of RTK techniques in geodetic and cadastral applications. The first and the most important of these questions is to decide whether to determine and rely coordinates using one epoch of RTK observations or obtain coordinates by performing static observations in the field and postprocessing in the Office? This basic question actually rely on two important technical questions. These are; first, if one epoch of RTK observation will be sufficient for a reliable and accurate coordinate determination? And secondly, how can we provide the coordinate checks of RTK observations?

In this study these questions are examined from different aspects; and in order to reach concrete and reliable results observations were carried out in two different net-RTK in Turkey, namely, CORS-TR and İSKİ-UKBS. Achieved results are presented to readres in addition to the basic theoretical explanations. Fort his purpose observations and processing results are presented related to two periods of RTK and one period of static observations were carried out in CORS-TR and İSKİ-UKBS Networks on 15-18.06.2010 and 03.07.2010.

### Key Words

GNSS, DGNSS, RTK, Post-Process, Static, CORS

### 1. Giriş

1978 yılında ilk GPS uydusu yörüngeye yerleştirildiğinde, ilk kez üç boyutlu ve yaklaşık 150 metre doğruluğunda gerçek zamanlı konum belirlenmeye başlandığında özellikle bilim dünyasında büyük bir coşku yaşanmıştı. Zaman içerisinde bu alanda çok yoğun çalışmalar yapılmış ve bugün artık gerçek zamanlı santimetre doğruluğunda üç boyutlu konum belirleme standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu gelişmelerle ilave olarak, söz konusu alandaki çalışmalar hızla devam etmiş ve bunun sonucunda yeni GPS sinyalleri (L2C, L5) ve

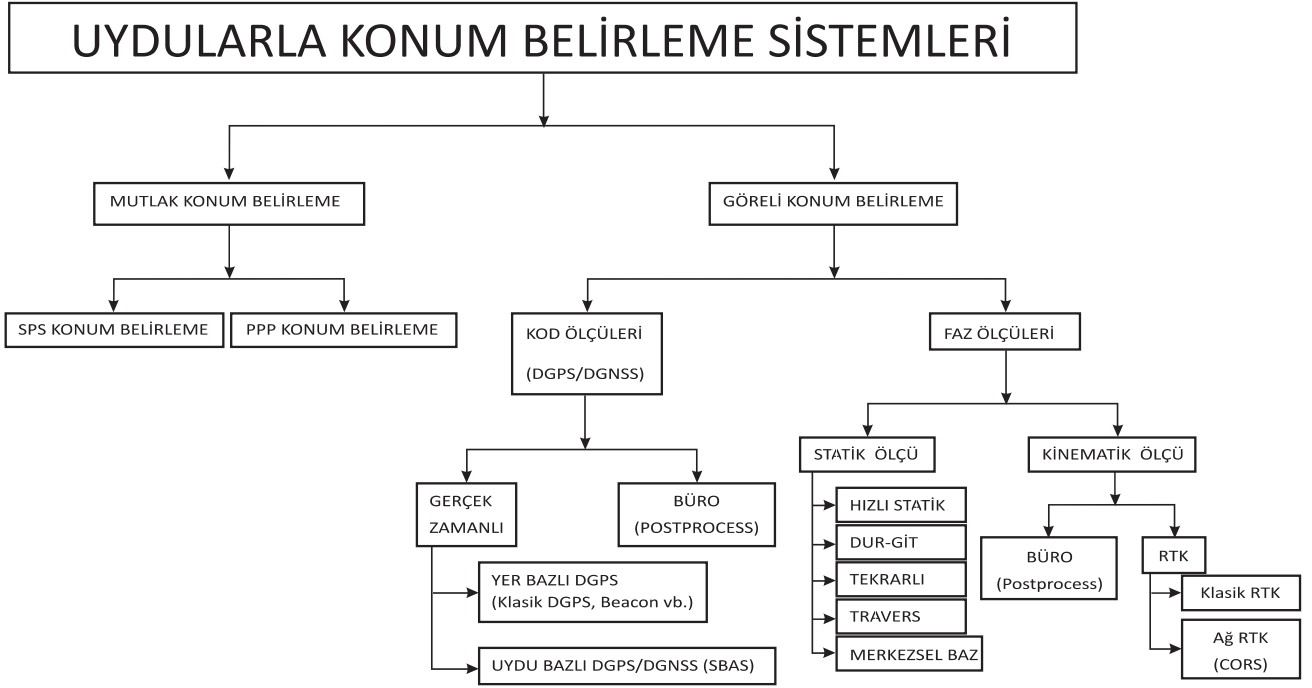
<sup>1</sup> Doç. Dr., GNSS Harita Teknik Danışmanlık, Ankara, muzaffer@gnssteknik.com.tr

<sup>2</sup> Harita Mühendisi

<sup>3</sup> Arş. Gör., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, oguzs@yildiz.edu.tr

farklı ülkelere ait yeni uydu sistemleri ve bunların sinyalleri kullanılmaya başlanmıştır (McDonald 2002, Kahveci 2009, Kirk 2007). Bunun sonucunda da kısa sürede yüksek doğru-

luklu ve güvenilir konum belirlemek için çok sayıda yöntem ortaya çıkmıştır (Şekil 1).



Şekil 1: GNSS konum belirleme yöntemleri

Bu yöntemlerden birisi olan kod ölçüleri ile Diferansiyel GPS/GNSS (DGPS/DGNSS) tekniğinde koordinatları bilinen bir referans istasyonuna dayalı olarak gezen bir alıcının koordinatları kod (pseudorange) gözlemleri kullanılarak metre düzeyindeki doğruluklarla belirlenmektedir. Ancak, daha yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda faz gözlemleri kullanılmakta olup bu da sistemin kullanımında oldukça karmaşık yapılara yol açmaktadır. Bu karmaşık yapının en önemli nedenlerinden birisi faz belirsizliklerinin yüksek doğrulukla çözümündeki sorunlardır. Bu durum özellikle GPS/GNSS donanım ve yazılımlarında önemli yeniliklerin geliştirilmesine yol açmıştır. Son yıllarda bu konuda yaşanan gelişmeler sonucu faz gözlemleri ile yüksek doğruluklu gerçek zamanlı kinematik uygulamaların yapılması olanaklı hale gelmiştir. Gerçek zamanlı konum belirlemede yaşanan bu gelişmeler yaklaşık aynı seviyelerdeki doğrulukların hareket halindeki GNSS alıcıları (Rover) için de geçerli olmasını sağlamıştır. Söz konusu sistemlere gerçek zamanlı kinematik GNSS (RTK GNSS) adı verilmekte olup RTK, zamanın oldukça önemli olduğu alanlarda etkili şekilde kullanılan bir teknik ve sistem haline gelmiştir (Kahveci 2009, Wellenhorst vd. 1994, Seeber 1993).

Şekil 1’de görülen tablodaki konum belirleme yöntemleri; hesaplamada kullanılan gözlem verisine (kod ya da faz), doğru bir çözüm elde edebilmek için gerekli ölçü epok sayısına ve alıcı sayısına bağlı olarak tanımlanmaktadır. Örneğin; tek nokta konum belirleme yöntemi SPS (Standard Positioning Service) tek bir alıcıda toplanan C/A kod kullanılarak hesaplanan ve genelde navigasyon amaçlı bir çözümdür. Hassas konum belirleme (PPP) ise tek bir alıcıda birkaç dakikadan

saatlere uzanan kod ve faz verisi toplanmasına dayanan bir yöntemdir. Diferansiyel GPS, sabit bir referans istasyonundan yayımlanan kod ölçü düzeltmelerine dayanmaktadır. Diğer taraftan gerçek zamanlı kinematik (RTK) yöntemi de özünde diferansiyel bir yöntem olup DGPS’den farkı kod ölçüleri yerine faz ölçülerinin kullanılmasıdır.

Yukarıda kısaca anlatılan ölçme yöntemleri ile elde edilen verilerin (kod veya faz) işlenmesinde de farklı yöntemler söz konusudur. Mühendislik amaçlı uygulamalarda ve mm veya cm düzeyinde yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda faz gözlemleri kullanılmaktadır. Ancak faz gözlemlerinin hesabı kod gözlemlerine göre daha karmaşıktır ve uygulanan projenin amacına bağlı olarak hesaplamalarda uzmanlık gerektirmektedir. Bunun en önemli nedenini taşıyıcı dalga faz belirsizlikleri (phase ambiguity) oluşturmaktadır. Kod gözlemlerinde faz belirsizliği ya da faz kesikliği (cycle slip) sorunları olmadığı için elde edilen koordinat doğrulukları metre düzeyindedir. Dolayısıyla mm veya cm düzeyinde doğruluklar ile konum bilgisi elde edebilmek için faz ölçüleri kullanılmakta, bu da faz belirsizliklerinin ve faz kesikliklerinin doğru ve güvenilir olarak çözülmesini gerektirmektedir. Bu amaca ulaşmak için günümüze kadar GPS ölçmeleri klasik olarak statik faz gözlemleri şeklinde gerçekleştirilmiş ve arazide saatlerce toplanan veriler bürodaki yazılımlarla (post processing) değerlendirilmiştir. Gerek teknolojiye gerekse hesaplama ve modelleme yöntemlerindeki hızlı gelişmeler gerçek zamanlı kinematik (RTK) uygulamaların ve sabit RTK ağlarının (Ağ-RTK ya da CORS) yaşantımızda yer almasına neden olmuştur. Bunun sonucunda da özellikle pratik GPS kullanıcılarında büro hesaplamalarına gerek olmadığı, artık

sabit RTK ağları ve/veya klasik RTK ölçüleri ile her zaman üç boyutta çok hassas koordinat belirlenebileceği şeklinde düşünce oluşmaya başlamıştır.

İkinci bölümde büro hesaplamaları ile koordinat belirleme ve gerçek zamanlı koordinat belirlemeleri arasındaki farklar anlatılmakta, üçüncü bölümde İstanbul bölgesinde gerçekleştirilmiş statik GPS/GNSS ile Ağ-RTK ölçü ve hesaplama sonuçları karşılaştırılmakta, dördüncü bölümde sonuç ve öneriler sunulmaktadır.

## 2. Büroda Yapılan GPS Hesabı (Post Processing) ve RTK ile Koordinat Belirlemeleri Arasındaki Farklılıklar

GPS gözlemlerinin ölçme sonrası büroda değerlendirilmesi (post-processing) işlemi; koordinatları bilinen referans noktaları (ör. TUTGA, TUSAGA-Aktif, IGS vb.) ile koordinatları hesaplanacak yeni noktalarda (ör. gezen alıcılar, yeni tesis nirengi ve poligon noktaları vb.) ham (raw) GPS/GNSS gözlemlerinin toplanması ve bu gözlemlerin daha sonra büroda ticari veya bilimsel amaçlı "post-process" yazılımları ile değerlendirilerek yüksek doğrulukta nokta koordinatları ve/veya baz bileşenlerinin (dolayısıyla uzunlukların) elde edilmesidir.

Diğer taraftan, gerçek zamanlı koordinat belirleme yönteminde gezen alıcı (rover) konumu, koordinatları hassas olarak bilinen referans istasyonlarından yayınlanan düzeltmeler (ham GPS verisi veya RTK düzeltmeleri) ile anında belirlenmektedir. Eğer bilinmeyen parametrelerin doğru çözümü için gerekli yeterli sayıda ortak uyduya (referans istasyonu ile gezen alıcılar arasında) gözlem yapıldıysa belirsizlik çözümü doğru olarak gerçekleştirilmiş olur (fixed solution) ve cm doğruluğunda sonuçlar elde edilir. Eğer yeterli sayıda ortak uyduya (en az 4 uydu) gözlem yapılmadıysa doğru bir belirsizlik çözümü olanaklı olamayacağından dm doğruluğunda bir çözüm (float solution) elde edilir. Yeterli sayıda ortak uydu olmaması uzun mesafe ve/veya zayıf uydu geometrisinden kaynaklanmaktadır. Bu yöntemin ilk kullanım şekli diferansiyel GPS (DGPS)'dir. DGPS yönteminde yalnızca kod ölçüleri kullanıldığından elde edilen standart doğruluklar 1-2 metre düzeyindedir. Ancak zaman içerisinde teknolojiye ve hesaplama tekniklerindeki gelişmeler gerçek zamanlı koordinat belirlemede faz ölçülerinin de kullanılmasını olanaklı hale getirmiş ve böylece yüksek doğruluklu (dm, cm) konum belirleme olanaklı hale gelmiştir. DGPS yönteminin bir başka şekli olan bu yöntem ise gerçek zamanlı kinematik (RTK: Real Time Kinematic) GPS adı verilmiştir. Günümüzde ise Ağ-RTK (CORS) tekniği cm doğrulukla konum belirlemeye olanak veren gerçek zamanlı bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde düzeltme hesaplamaları yükü Ağ-RTK kontrol merkezinde olup, gezen alıcılar yalnızca GSM/GPRS/UYDU/Radyo modem vb. tekniklerden birisi ile aldıkları düzeltmeleri kullanarak kendi konumlarını hesaplamaktadırlar. Sonuç olarak DGPS, Standart RTK ve Ağ-RTK yöntemlerinin hepsi gerçek zamanlı konum belirleme yöntemi olup aralarındaki farkı; kod veya faz gözlemlerinin kullanılması, atmosferik etkilerin modellenmesi ve düzeltmelerin hesaplanması şekli belirlemektedir. Yukarıda kısaca açıklanan bu iki farklı konum belirleme

yönteminin birbirlerine göre üstünlükleri incelendiğinde kısaca aşağıdaki sonuçlara ulaşmak olanaklıdır:

GPS gözlemlerinin ölçme sonrası büroda değerlendirilmesi ile gerçek zamanlı konum belirleme tekniklerine göre (DGPS, RTK, SBAS vb.) çok daha güvenilir ve doğru koordinat ve nokta hız vektörleri belirlenebilmektedir (Brown 2006). Bunun temel nedenlerinden biri büro hesaplamalarında hem ölçme öncesine hem de ölçme sonrasına ilişkin başka verileri (ör. IGS istasyonu, hassas efemeris ve hassas anten faz merkezi verileri vb.) de kullanmak olanaklıdır. Gerçek zamanlı koordinat belirlemede ise yayınlanan düzeltmeler (DGPS, RTK veya SBAS) sadece ölçme anından birkaç saniye önceki belirli bir epoka ait tahmin değerleridir. Diğer taraftan gerçek zamanlı uygulamalarda nokta hız vektörlerinin milimetre doğrulukla belirlenmesi henüz olanaklı değildir.

Büroda kullanılan yazılımlarda (post-process software) alıcı içerisinde mevcut RTK yazılımlarına göre çok daha gelişmiş düzeltme ve hata modelleri ile dengeleme algoritmaları kullanılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak farklı periyotlarda yapılacak GPS/GNSS gözlemleri ve hesaplamaları ile mm doğruluk isteyen yerkaşığı hareketlerinin belirlenmesi olanaklı hale gelmiştir. Bunlara bir örnek olarak sinyal yansıma (multipath) etkilerinin modellenmesi verilebilir. Normal olarak sinyal yansıma etkisi yaklaşık yarım saatlik tekrarlanma periyoduna sahiptir. Dolayısıyla statik GPS gözlemleri ve büro hesaplamaları ile bu etkiyi yüksek doğrulukla modellemek olanaklıdır. Oysa gerçek zamanlı kinematik GPS'de ölçme süresi birkaç dakikayı aşmadığından sinyal yansıma etkisinin modellenmesi olanaklı değildir. Bu da belirsizlik çözümünü olumsuz etkiler ve konumun hatalı belirlenmesine yol açar.

Büroda yapılan GPS değerlendirmeleriyle farklı veri ve çözümlerin dayandığı farklı datumlardan kaynaklanan sorunlar kolayca giderilebilmektedir. Başka bir ifadeyle, büro hesaplamaları sonucunda elde edilecek sonuçlar referans olarak alınan istasyonların tanımladığı datumda tek anlamlı olarak elde edilir. Bu özellik jeodezik çalışmalar başta olmak üzere Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uygulamaları için de gereklidir. Diğer taraftan gerçek zamanlı uygulamalarda datumu, gezen alıcılar tarafından kaydedilen düzeltmelere ilişkin referans noktaları belirlemektedir.

Eğer bir bölgede birden fazla ağ varsa ve her iki ağ düzeltmelerinden eş zamanlı yararlanmak söz konusu ise ilk karşılaşılabilecek sorun doğal olarak datum farklılığı probleminin çözümü olacaktır.

Büroda ölçü değerlendirmenin arazide gerçek zamanlı konum belirlemeye göre başlıca üstünlüğü verilerin kalite kontrolünün yapılabilmesi olanağıdır. Büroda ham verileri önce çok sayıda filtreleme işleminden geçirerek düzgünleştirmek (smooth) ve bu verilerle çözüm yapmak standart bir uygulamadır. Eğer ara aşamaların birinde bir hata yapıldığı fark edilirse hesaplamalarda geriye dönüş her zaman olanaklıdır. Çünkü arazide toplanan ham veriler arşivde her zaman mevcuttur. Sonuç olarak yıllar sonra da olsa arşivdeki tüm verileri yeni algoritmalar ve modellemeler kullanarak tekrar hesaplama ve güvenilir sonuçlara ulaşmak olanaklıdır. Bu da çok değerli bir veri tabanı anlamına gelmektedir. Oysa yukarıda anlatılan kalite kontrol, tekrar hesaplama, ölçü kontrolü ve güvenilir sonuçlara ulaşabilme garantisi RTK uygulama-

larında henüz söz konusu değildir. Buna bir de RTK koordinatlarının yalnızca bir ya da iki epok ölçü ile belirlendiği gerçeği eklenirse durum en azından teorik olarak daha da karmaşık bir hale gelmektedir.

DGPS ve RTK uygulamalarında düzeltme yayınlanan referans istasyonundan uzaklaştıkça elde edilecek gerçek zamanlı koordinat doğruluğu da düşmektedir. Bu olumsuzluktan kaçınmak için Ağ-RTK (CORS) kavramı ortaya çıkmış olmasına karşın cm doğruluğunda sonuç elde etmek için gerekli yeterli sıklıkta bir ağ oluşturulmadığı sürece aynı

sorun CORS ağları için de geçerlidir. Büroda GPS değerlendirmelerinde ise böyle bir sorun yoktur. Örneğin sadece 1 saatlik statik GPS/GNSS gözlem ve hesaplamaları ile yaklaşık 100 km uzunluğundaki bazların ve koordinatların yüksek doğrulukla ve kontrollü olarak elde edilmesi olanaklıdır.

Tablo 1’de gerçek zamanlı hesaplamalarla ölçme sonrası büroda yapılan hesaplamalar arasındaki farklılıklar özet olarak verilmektedir. Burada gerçek zamanlı konum belirleme ile hem DGPS(kod gözlemleri) hem de RTK(faz gözlemleri) ifade edilmektedir:

Tablo 1: Gerçek zamanlı değerlendirmeler ile büroda yapılan değerlendirme işlemlerinin (post-process) karşılaştırılması

RTK ve DGPS	Büroda Hesaplama (Post-Process)
Anında konum belirleme olanaklıdır.	Ölçme bittikten belirli bir süre sonra konum belirlenebilir.
Özellikle tek epok ölçülerde kontrollü ve güvenilir sonuç sorunu var. Referans istasyondan uzaklaştıkça düzeltme hatası artar.	Kontrollü ve güvenilir yüksek doğruluk elde etmek her zaman olanaklıdır. Hassas atmosferik modelleme, iterasyonlu çözüm, hesaplama yöntemi (L1, L2, L3 vb.) seçimi, ağ dengelemesi yapılır.
Yeterli sıklıkta referans istasyonu yoksa düzeltme almada sorunlar yaşanabilir. Sistemin seçtiği en yakın referans istasyonu verileri kullanılır.	Hesaplamalarda çok sayıda referans istasyonu verileri ücretsiz temin edilir ve kullanılır. Hesap yapan tarafından çok sayıda referans istasyonu seçilebilir.
Datum sorunu önemli.	Datum sorunu yoktur.
Hesaplamalar için ayrıca post-process yazılımı gerekmez.	Hesaplamalar için post-process yazılımı gereklidir.
Ticari olanların maliyeti yüksektir.	Gerçek zamanlı koordinat gerekmediği zaman en iyi yöntemdir.

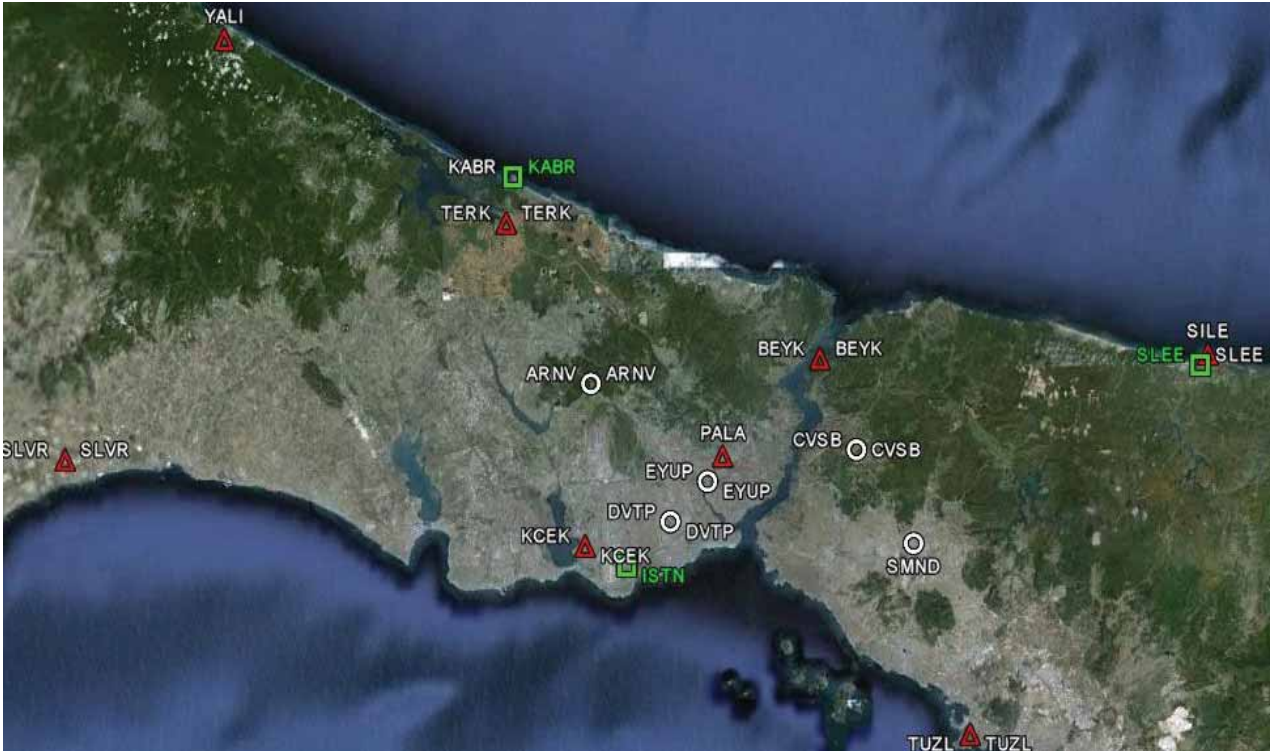
Bilindiği gibi büroda hesaplama yalnızca statik GPS için değil, DGPS ve kinematik GPS için de geçerlidir. Özellikle ticari amaçlı post-process yazılımlarının çoğu tüm bu özelliklere sahiptir. Dolayısıyla, Tablo 1’de verilen karşılaştırmalar gerçek zamanlı DGPS/DGNSS veya kinematik GPS/GNSS ile gözlemleri büroda değerlendirilen DGPS/DGNSS veya kinematik GPS/GNSS için de geçerlidir.

### 3. Sayısal Uygulama

Günümüzde jeodezik ve kadastro amaçlı uygulamalarda statik GPS ölçme ve hesaplamalarının yerini giderek klasik RTK ya da ağ-RTK (CORS) ölçme ve hesaplamaları almaktadır. kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bunun sonucunda ise gerçekleştirilecek Bu durumda ölçü ve hesapların kontrolü ve güvenirliliği önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Başka bir ifadeyle RTK uygulamalarında statik GPS gözlemlerinin gerçekleştirilmesi ve hesaplamalarındaki standartlardan farklı standartların ve yöntemlerin kullanılıyor olması bu şekilde elde edilecek çözümlerde nasıl bir yol izleneceği konusunda farklı düşüncelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Dolayısıyla, GPS/GNSS uygulamalarında statik GPS ve büroda hesaplama mı tercih edilmeli sorusu ilk sırayı almaktadır. Bu ve benzer sorulara yanıt bulabilmek amacıyla İstanbul bölgesinde bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada ülke temel ağı olan TUSAGA-Aktif ve İSKİ tarafından işletilen İSKİ-UKBS (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi – Uydularla Konum Belirleme Sistemi) gerçek zamanlı RTK

ağlarında yapılan ölçme yararlanılmıştır. Bilindiği gibi söz konusu iki ağ halen Türkiye’de ağ-RTK prensibiyle çalışan (ya da bu prensibin gereklerini tam olarak karşılayan) ve kullanıcılara yoğun olarak hizmet veren ağlardır. Bu ağlarda GPS/GNSS ölçülerini gerçekleştirmek amacıyla 15-18.06.2010 ve 03.07.2010 tarihlerinde İstanbul’da herhangi bir özellik aranmadan rastlantısal olarak seçilen beş farklı noktada tek periyot statik ve iki periyot RTK ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Ölçmelerde sinyal yükseklik açısı (cut-off/elevation angle) 10° olarak alınmıştır. Ölçme yapılan noktalar ve bunların düzeltme aldığı İSKİ-UKBS ve TUSAGA-Aktif referans noktaları Şekil 2’de görülmektedir.





Şekil 2: GPS/GNSS RTK ölçü ve referans noktaları (kırmızı üçgen; İSKİ-UKBS, yeşil kare; TUSAGA-Aktif ve beyaz daire:RTK noktası)

Söz konusu ölçü ve hesaplamalar ile yanıtı aranan diğer sorular ise RTK ile konum belirlemede tek epok ölçünün doğru ve tutarlı bir sonuç için yeterli olup olamayacağı ve bu şekilde elde edilecek koordinatların kontrolünün nasıl sağlanacağıdır. Bu amaçla İstanbul'da seçilen beş noktada 60 dakika süreli statik GPS yöntemi ile 1, 5, 10, 30 ve 60 epokluk (her epok 1 saniye) RTK ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Aynı noktalarda gerçekleştirilmiş olan statik gözlemler Bernese yazılımı ile değerlendirilmiştir. Ancak TUSAGA-Aktif ve İSKİ-UKBS ağlarının datumları farklı olduğundan Bernese yazılımı ile yapılan hesaplamalar her iki ağ datumunda ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. Böylece, bu çalışmanın hedefi söz konusu farklı iki ağın doğrudan karşılaştırılması olmadığından statik GPS gözlem hesaplama sonuçları ile RTK ölçü sonuçları her ağın içinde ayrıca karşılaştırılmıştır. Bundan amaç aynı karşılaştırmaları farklı ağlarda yaparak varılacak sonuçların kontrolünü sağlamaktır. Bernese yazılımı ile yapılan hesaplama sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'de, 15 – 18 Haziran 2010 tarihlerinde yapılan RTK ölçme sonuçları Tablo 4'de ve bunlara ilişkin istatistik bilgileri Tablo 5'de, 03 Temmuz 2010 tarihinde yapılan RTK ölçme sonuçları Tablo 6'da ve bunlara ilişkin istatistik bilgileri Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo 2: BERNESE hesaplama sonuçları (TUSAGA-Aktif koordinatları sabit)

NOKTA ADI	KOORDİNATLAR (ITRF96/2005.0)		
	X (m) ± σ (m)	Y (m) ± σ (m)	Z (m) ± σ (m)
DVTP	4218990.3514 ± 0.0091	2328369.7858 ± 0.0034	4164609.1245 ± 0.0058
ARNV	4215178.0898 ± 0.0038	2316103.7140 ± 0.0035	4175452.0945 ± 0.0033
SMND	4207101.1326 ± 0.0051	2352971.5354 ± 0.0171	4162903.2690 ± 0.0082
CVSB	4204617.5096 ± 0.0287	2344286.8188 ± 0.0131	4170191.0329 ± 0.0134
EYUP	4214535.5416 ± 0.0054	2330680.4417 ± 0.0081	4167696.4719 ± 0.0058

Tablo 3: BERNESE hesaplama sonuçları (İSKİ-UKBS koordinatları sabit)

NOKTA ADI	KOORDİNATLAR (ITRF2005/2005.0)		
	X (m) ± σ (m)	Y (m) ± σ (m)	Z (m) ± σ (m)
DVTP	4218990.2292 ± 0.0021	2328369.7763 ± 0.0016	4164609.1428 ± 0.0018
ARNV	4215178.0910 ± 0.0040	2316103.7426 ± 0.0092	4175452.1534 ± 0.0028
SMND	4207101.0560 ± 0.0039	2352971.5445 ± 0.0134	4162903.2921 ± 0.0057
CVSB	4204617.5247 ± 0.0054	2344286.7586 ± 0.0023	4170191.0977 ± 0.0039
EYUP	4214535.4254 ± 0.0070	2330680.4165 ± 0.0078	4167696.4633 ± 0.0065

Tablo 2 ve Tablo 3'de verilen sonuçlar Bernese yazılımı ve hassas efemeris bilgisi kullanılarak elde edilmiştir. Bu hesaplamalarda TUSAGA-Aktif ve İSKİ-UKBS nokta koordinatları sabit alınmıştır. Başka bir ifadeyle, RTK noktalarının (DVTP, ARNV, SMND, CVSB, EYUP) koordinatları hesaplanırken, TUSAGA-Aktif'in İstanbul bölgesindeki üç noktasının (SLEE, KABR ve ISTN) koordinatları sabit kabul edilerek statik hesaplama yapılmış ve sonuçlar TUSAGA-Aktif ağından yararlanarak elde edilen RTK ölçü sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde İSKİ-UKBS ağından yararlanarak elde edilen beş noktaya ilişkin RTK ölçü sonuçları yine İSKİ-UKBS ağıнын sekiz noktasının hassas koordinatları ile hesaplanan statik ölçü sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 4: TUSAGA-AKTİF ve İSKİ-UKBS ağlarına ilişkin RTK değerlendirme sonuçları (15 -18.06.2010)

NOKTA ADI	EPOK SAYISI	TUSAGA-AKTİF KOORDİNATLARI (ITRF96/2005.0)			İSKİ-UKBS KOORDİNATLARI (ITRF2005/2005.0)		
		X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
EYÜP	1	4214535.50834	2330680.39827	4167696.39741	4214535.47329	2330680.97301	4167696.48319
	3	4214535.50295	2330680.39395	4167696.39762	4214535.47977	2330680.37206	4167696.47873
	5	4214535.49812	2330680.39261	4167696.39255	4214535.47690	2330680.37048	4167696.47792
	10	4214535.49683	2330680.39297	4167696.39213	4214535.47684	2330680.36724	4167696.47978
	30	4214535.48896	2330680.38755	4167696.38630	4214535.47927	2330680.37045	4167696.48012
60	4214535.47966	2330680.38614	4167696.37207	4244535.47850	2330680.36842	4167696.47745	
CVSB	1	4204617.56744	2344286.74843	4170191.00205	4204617.55359	2344286.75594	4170191.14410
	3	4204617.56566	2344286.74610	4170191.00666	4204617.54439	2344286.74733	4170137.13834
	5	4204617.56656	2344286.74634	4170191.00867	4204617.54745	2344286.75305	4170191.14883
	10	4204617.56258	2344286.74759	4170191.01804	4204517.54038	2344286.74376	417019113827
	30	4204617.56693	2344286.75456	4170191.02350	4204617.54520	2344286.74779	4170191.14488
60	4204617.56446	2344286.76173	4170191.044022	4204617.54171	2344286.74477	4170191.14094	
DVTP	1	4218990.24089	2328369.79421	4164609.05147	4218990.24481	2328369.78170	4164609.15960
	3	4218990.24244	2328369.79907	4164309.04569	4218990.24294	2328369.78387	4164609.15418
	5	4218990.24259	2328369.79992	4164609.04817	4218990.24788	2328369.78846	4164609.15579
	10	4218990.24410	2328369.80105	4164609.04902	4218890.24571	2328369.78006	4164609.14284
	30	4218990.23237	2328369.79564	4164609.03945	4218990.24188	2328369.78061	4164609.14791
60	-	-	-	-	-	-	
ARNV	1	4215178.09508	2316103.76151	4175452.02108	4215178.05015	2316103.73336	4175452.12723
	3	4215178.09898	2316103.75753	4175452.03304	4215178.05843	2316103.74031	4175452.13486
	5	4215178.09851	2316103.75568	4175452.03149	4215178.05519	2316103.73586	4175452.13296
	10	4215178.10403	2316103.75898	4175452.03629	4215178.05143	2316103.73939	4175452.12870
	30	4215178.10186	2316103.75433	4175452.03799	4215178.05151	2316103.73745	4175452.08356
60	-	-	-	-	-	-	
SMND	1	4207101.07203	2352971.48950	4162903.15821	4207100.99488	2352971.41047	4162903.22515
	3	4207101.06770	2352971.48600	4162903.15385	4207100.99278	2352971.41251	4162903.22155
	5	4207101.06796	2352971.48214	4162903.15118	4207100.97552	2352971.40259	4162903.21243
	10	4207101.06331	2352971.48087	4162903.14589	4207100.97828	2352971.40467	4162903.21459
	30	4207101.06985	2352971.48694	4162903.14811	4207100.97591	2352971.40495	4162903.21986
60	4207101.06236	2352971.48355	4162903.13772	4207100.97945	2352971.40639	4162903.21702	

Tablo 5: RTK ölçüleri istatistik bilgileri (15-18.06.2010)

Nokta Adı	Epok Sayısı	TUSAGA-Aktif Yatay Doğruluk (rms: m.)	TUSAGA-Aktif Dişey Doğruluk (rms: m.)	TUSAGA-Aktif PDOP	TUSAGA-Aktif Uydur Sayısı		İSKİ-UKBS Yatay Doğruluk (rms: m.)	İSKİ-UKBS Dişey Doğruluk (rms: m.)	İSKİ-UKBS PDOP	İSKİ-UKBSGPS Uydur Sayısı	
					GPS	GLONASS				GPS	GLONASS
EYUP	1	0,018	0,021	1,804	8	7	0,017	0,023	1,84	8	7
	3	0,012	0,013	1,802	8	7	0,011	0,014	1,838	8	7
	5	0,006	0,008	1,8	8	7	0,006	0,009	1,836	8	7
	10	0,003	0,005	1,798	8	7	0,007	0,008	1,834	8	7
	30	0,002	0,003	1,792	8	7	0,002	0,004	1,838	8	7
60	0,002	0,002	1,803	8	7	0,002	0,003	1,31	8	7	
CVSB	1	0,032	0,028	1,687	7	6	0,015	0,019	2,072	7	6
	3	0,013	0,013	1,686	7	6	0,008	0,011	2,072	7	6
	5	0,014	0,013	1,686	7	6	0,006	0,008	2,072	7	6
	10	0,007	0,007	1,684	7	6	0,004	0,006	2,073	7	6
	30	0,003	0,004	1,684	7	6	0,003	0,003	2,073	7	6
60	0,002	0,002	1,682	7	6	0,002	0,002	2,073	7	6	
DVTP	1	0,015	0,017	1,72	7	6	0,01	0,015	1,422	8	7
	3	0,012	0,011	1,72	7	6	0,007	0,009	1,441	8	7
	5	0,012	0,011	1,721	7	6	0,005	0,007	1,44	8	7
	10	0,007	0,007	1,721	7	6	0,004	0,005	1,44	8	7
	30	0,004	0,004	1,722	7	6	0,003	0,003	1,528	8	6
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ARNV	1	0,018	0,015	1,628	9	6	0,009	0,013	1,451	8	7
	3	0,006	0,008	1,611	8	6	0,007	0,010	1,451	8	7
	5	0,006	0,007	1,664	7	6	0,005	0,006	1,451	8	7
	10	0,003	0,005	1,666	7	6	0,004	0,005	1,451	8	7
	30	0,002	0,003	1,668	7	6	0,002	0,003	1,452	8	7
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SMND	1	0,017	0,018	1,543	7	7	0,018	0,016	1,463	9	7
	3	0,009	0,01	1,545	7	7	0,01	0,009	1,466	9	7
	5	0,007	0,008	1,547	7	7	0,009	0,007	1,468	9	7
	10	0,006	0,006	1,55	7	7	0,006	0,005	1,471	9	7
	30	0,002	0,003	1,555	7	7	0,003	0,003	1,476	9	7
60	0,001	0,002	1,563	7	7	0,002	0,002	1,537	9	7	

Tablo 6: TUSAGA-AKTİF ve İSKİ-UKBS ağlarına ilişkin RTK değerlendirme sonuçları (03.07.2010)

NOKTA ADI	EPOK SAYISI	TUSAGA-AKTİF KOORDİNATLARI (ITRF96)			İSKİ-UKBS KOORDİNATLARI (ITRF96)		
		X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
EYÜP	1	4214535.51068	2330680.39102	4167696.38386	4214535.48671	2330680.36336	4167696.45376
	5	4214535.51914	2330680.40184	4167696.38715	4214535.48685	2330680.36477	4167696.45282
	10	4214535.5153	2330680.40345	4167696.39058	4214535.49316	2330680.35875	4167696.45266
	30	4214535.49128	2330680.39603	4167696.37773	4214535.47065	2330680.35875	4167696.45266
	60	4214535.48058	2330680.38638	4167696.36796	4214535.46869	2330680.359	4167696.45905
CVSB	1	4204617.52909	2344286.75083	4170191.01478	4204617.51681	2344286.69989	4170191.09964
	5	4204617.53015	2344286.74875	4170191.01184	4204617.51763	2344286.70115	4170191.09507
	10	4204617.53617	2344286.74729	4170191.02032	4204617.52479	2344286.70755	4170191.09955
	30	4204617.53084	2344286.74459	4170191.02412	4204617.52674	2344286.7065	4170191.10428
	60	4204617.52448	2344286.73196	4170191.01472	4204617.52148	2344286.7049	4170191.09673
DVTP	1	4218990.25468	2328369.80476	4164609.06068	4218990.21713	2328369.7803	4164609.12729
	5	4218990.25637	2328369.80702	4164609.05924	4218990.21758	2328369.77948	4164609.12729
	10	4218990.25388	2328369.80645	4164609.05751	4218990.21431	2328369.77501	4164609.12088
	30	4218990.25388	2328369.80645	4164609.05751	4218990.21607	2328369.77411	4164609.12088
	60	4218990.25243	2328369.80511	4164609.05666	4218990.21318	2328369.77225	4164609.12049
ARNV	1	4215178.1068	2316103.78232	4175452.09208	4215178.04125	2316103.74523	4175452.13114
	5	4215178.09998	2316103.79347	4175452.09277	4215178.03745	2316103.74049	4175452.11477
	10	4215178.09998	2316103.79347	4175452.09277	4215178.03745	2316103.74049	4175452.11477
	30	4215178.10321	2316103.79896	4175452.09715	4215178.04225	2316103.73993	4175452.11329
	60	4215178.10477	2316103.80009	4175452.098	4215178.05111	2316103.7424	4175452.11825
SMND	1	4207101.11555	2352971.51491	4162903.19017	4207101.02638	2352971.47066	4162903.21613
	5	4207101.10652	2352971.51549	4162903.18519	4207101.02934	2352971.46964	4162903.21685
	10	4207101.10583	2352971.51242	4162903.17846	4207101.02947	2352971.47132	4162903.21876
	30	4207101.10408	2352971.51359	4162903.17804	4207101.03742	2352971.47496	4162903.21939
	60	4207101.10393	2352971.51055	4162903.1799	4207101.0389	2352971.47500	4162903.21842

Tablo 7: RTK ölçüleri istatistik bilgileri (03.07.2010)

Nokta Adı	Epok Sayısı	TUSAGA-Aktif Yatay Doğruluk (rms: m.)	TUSAGA-Aktif Düşey Doğruluk (rms: m.)	TUSAGA-Aktif PDOP	TUSAGA-Aktif Uydu Sayısı		İSKİ-UKBS Yatay Doğruluk (rms: m.)	İSKİ-UKBS Düşey Doğruluk (rms: m.)	İSKİ-UKBS PDOP	İSKİ-UKBSGPS Uydu Sayısı	
					GPS	GLONASS				GPS	GLONASS
EYUP	1	0,011	0,016	1,721	9	7	0,02	0,024	1,79	9	6
	5	0,005	0,007	1,723	9	7	0,008	0,01	1,791	9	6
	10	0,005	0,006	1,724	9	7	0,007	0,008	1,718	9	6
	30	0,002	0,003	1,972	8	7	0,002	0,004	1,731	9	6
	60	0,002	0,003	2,048	8	7	0,001	0,002	1,702	9	7
CVSB	1	0,013	0,014	1,763	8	4	0,014	0,017	1,668	8	4
	5	0,006	0,006	1,761	8	4	0,006	0,007	16,667	8	4
	10	0,004	0,004	1,759	8	4	0,005	0,006	1,666	8	4
	30	0,002	0,003	1,755	8	4	0,003	0,003	1,69	8	4
	60	0,002	0,002	1,748	8	4	0,002	0,002	1,711	8	4
DVTP	1	0,009	0,013	1,545	8	8	0,016	0,019	1,555	8	7
	5	0,005	0,006	1,545	8	8	0,007	0,009	1,555	8	7
	10	0,005	0,005	1,544	8	8	0,004	0,006	1,554	8	7
	30	0,002	0,003	1,543	8	8	0,003	0,003	1,553	8	7
	60	0,001	0,002	1,555	8	8	0,002	0,002	1,552	8	7
ARNV	1	0,01	0,016	1,874	7	5	0,021	0,021	1,864	7	5
	5	0,011	0,016	1,953	6	5	0,009	0,009	1,867	7	5
	10	0,004	0,005	1,957	6	5	0,007	0,007	1,871	7	5
	30	0,002	0,003	1,964	6	5	0,004	0,004	1,877	7	5
	60	0,002	0,002	1,976	6	5	0,004	0,003	1,974	7	5
SMND	1	0,039	0,025	1,577	10	0	0,023	0,021	1,468	9	5
	5	0,017	0,011	1,577	10	0	0,011	0,01	1,468	9	5
	10	0,012	0,008	1,577	10	0	0,007	0,007	1,467	9	5
	30	0,007	0,005	1,578	10	0	0,003	0,003	1,388	10	5
	60	0,005	0,003	1,579	10	0	0,002	0,002	1,385	10	5



Tablo 5 ve Tablo 7’de verilen istatistik veriler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşmak olanaklıdır:

- Yatay ve düşey duyarlıklar (rms:root mean square, standart sapma) 1 ve 5 epokluk ölçüler dışında oldukça iyidir.
- GPS ve GLONASS uyduları güvenilir bir RTK ölçme için yeterli sayıdadır. Sadece 03 Temmuz 2010 tarihinde (Tablo 7) SMND noktasında gerçekleştirilen TUSAGA-Aktif ölçmede neden GLONASS verisi alınmadığı anlaşılamamıştır. Ancak, bu noktada RTK ölçme yapılırken alıcı VRS modda belirsizlik çözümü yapamadığı için (fixed solution) ölçüyü gerçekleştiren personel tarafından FKP moduna geçilmiş ve ölçüler bu modda elde edilmiştir.
- PDOP değerleri (dolayısıyla uydu geometrisi) güvenli RTK ölçüsü için iyi seviyededir. RTK ölçülerine ilişkin PDOP değerlerinin 2’nin altında olması ideal durum olarak kabul edilebilir.
- Ayrıca, Tablo 5 ve 7’de verilen her farklı epok (1, 3, 5, 10, 30 ve 60) ölçüleri farklı saatlerde veya günlerde yapıp bunların tekrarlanabilirlik grafikleri çizilebilseydi büyük olasılıkla daha anlamlı yorumlar yapılabilirdi.
- Söz konusu tablolardan çıkarılabilecek en önemli sonuç, çok epoklu sonuçlarla karşılaştırıldığında 1 epokluk ölçülere fazla güvenilemeyeceğidir. Anılan tablolarda 1 epokluk ölçülerin rms değerleri küçük görünüyorsa da özellikle 10 ve daha fazla epokluk ölçülere ilişkin değerlere göre oldukça büyüktürler. Bu farkın küçük olmasının nedeni çok sayıda (10-16 arası) eşzamanlı uydu gözlemi kullanılarak tüm RTK ölçülerinin mutlaka “fixed solution” modunda elde edilmiş olmasıdır. Oysa gerçek durumda (farklı arazi yapılarında) aynı sayıda uydudan sorunsuz olarak eşzamanlı uydu gözlemi elde etme her zaman olanaklı olmayabilir ve alıcılar bazen uzun süre “float” modda kalıp ölçme yapmak zorunda kalabilir. Diğer taraftan bu çalışmada ölçü noktaları açık gökyüzünü görecek ve olabildiğince uydu izleme sorunu (sinyal yansıması, ağaç, bina, engel vb.) olmayacak şekilde seçilmiştir (Şekil 2). Bunun nedeni GNSS alıcısı ve ölçü yapacak personeli temin etmede yaşanan zorluklardır. Başka bir ifadeyle, eğer bu ölçüler farklı arazi şartlarında ve tarihlerde gerçekleştirilseydi az sayıda (5 ve daha az) epoka ilişkin RTK ölçü güvenirliliği ve tutarlılığı çok daha düşük olabilirdi (Şekil 3, 4). Bu nedenle özellikle resmi arşivlere girecek RTK ölçülerinin, üç boyutta beklenen doğruluğa bağlı olarak en az 5 epok (her epok 1 saniye), zaman sorunu yoksa en az 10 epok süreli olması uygun gözükmektedir. Daha kısa süreli güvenilir RTK ölçülerinin GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO, SBAS vb.) sistemlerinde önümüzdeki 5 yıl içerisinde gerçekleşeceği umulan gelişmelerden (ör. GPS L2C ve L5 sinyalleri, Galileo uydularının hizmete girmesi, Glonass sisteminin GPS ile uyumlu hale getirilmesi vb.) sonra olanaklı olacağı düşünülmektedir.



Şekil 3: Bir RTK ölçme noktası

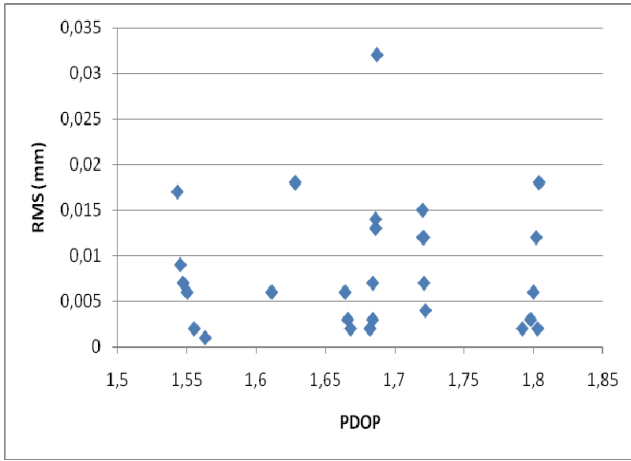


Şekil 4: RTK ölçmeye elverişsiz arazi örneği

Yukarıda belirtilen irdelemeler yapılırken PDOP ile rms değerleri arasında doğrudan bir korelasyon olup olmadığı araştırılmıştır (Şekil 5). Bilindiği gibi PDOP değerleri GPS/GNSS konum çözümlerinin doğruluğunu gösteren bir ölçütür. Diğer bir ifadeyle uydu geometrisinin hesaplanan yatay ve düşey koordinatlar üzerindeki etkisidir (Kahveci ve Yıldız 2009). RTK ölçmede elde edilen rms değerleri ise gezen alıcının ölçümdeki gerçek performansının bir ölçütüdür. Örneğin, bir RTK ölçümde rms değerinin yaklaşık 8 cm’den büyük olması, belirsizlik çözümünde (fixed solution) ve/veya uydulara kilitlemede ve sürekli izlemede bir sorun ol-



duğunun göstergesidir ve hesaplamalarda bu şekildeki ölçülerin kullanılmaması önerilmektedir. Buradaki 8 cm'lik sınır değer, yazarların deneyimlerine dayalı olarak elde edilmiş genel bir büyüklük olup, ölçü noktasının fiziki koşullarına, uydu geometrisine ve kullanılan alıcının algoritma kalitesine göre farklılık gösterebilir. Diğer taraftan, bazı alıcı algoritmalarında rms değerlerinin, özellikle sorunlu arazilerde çok iyimser (yanıltıcı) biçimde küçük değerler olarak hesaplandığı da görülmektedir. Şekil 5'den de görüleceği gibi rms ile PDOP değerleri arasında doğrudan bir korelasyon bulunmamaktadır. Burada yalnızca 03 Temmuz 2010 tarihli TUSAGA-Aktif'e ilişkin değerler verilmiştir. Öteki ölçmeler için de benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5: PDOP-RMS korelasyonu

Yukarıda da belirtildiği gibi bu çalışmada amaç TUSAGA-Aktif ve İSKİ-UKBS ağlarının doğrudan karşılaştırılması olmadığından statik GPS gözlem hesaplama sonuçları ile RTK ölçü sonuçları her ağın kendi içinde karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, 15 – 18 Haziran 2010 tarihinde İSKİ-UKBS ağına ilişkin gerçekleştirilen 15 – 18 Haziran 2010 tarihli RTK sonuçları ile 03 Temmuz 2010 tarihli gerçekleştirilen RTK sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 8'de, aynı tarihlerde TUSAGA-Aktif için benzer karşılaştırma ağına gerçekleştirilen RTK ölçülerinin karşılaştırılması ise Tablo 9'da verilmiştir.

Söz konusu tablolar incelendiğinde, farklı günlerde ve farklı uydu geometrisinde yapılan RTK ölçmeleriyle belirlenen yatay ve düşey koordinatlar arasındaki sapmaların 1-7 cm aralığında değiştiği görülmektedir. Bu farklar için birçok neden sayılabilir. Bu farkların kabul edilebilecek küçüklükte olmasını sağlamanın başlıca koşulu; CORS ağı referans istasyonlarının olabildiğince sağlam zemin üzerinde tesisi ve koordinatlarının uzun süreli zaman serileri analizi ile elde edilmesidir. Böylece referans istasyonlarının koordinatlarından kaynaklanacak hatalar en aza indirgenmiş olacaktır (Kahveci 2009).

Tablo 8: İSKİ-UKBS ağına dayalı RTK koordinat farkları (15 -18.06.2010 ile 03.07.2010)

NOKTA ADI	EPOK SAYISI	İSKİ-UKBS KOORDİNATLARI (ITRF2005/2005.0)		
		dX (m)	dY (m)	dZ (m)
EYUP	1	-0.013	0.009	0.029
	5	-0.010	0.006	0.025
	10	-0.016	-0.001	0.020
	30	0.009	0.012	0.027
	60	0.010	0.009	0.018
CVSB	1	0.037	0.056	0.044
	5	0.029	0.052	0.054
	10	0.016	0.036	0.039
	30	0.018	0.041	0.041
	60	0.020	0.039	0.044
DVTP	1	0.028	0.001	0.032
	5	0.0030	0.009	0.032
	10	0.031	0.005	0.022
	30	0.025	0.006	0.025
	60	-	-	-
ARNV	1	0.009	-0.012	-0.004
	5	0.018	0.009	0.011
	10	0.014	-0.001	0.011
	30	0.009	-0.002	-0.029
	60	0.007	-0.003	0.018
SMND	1	-0.032	-0.061	0.009
	5	-0.054	-0.067	-0.004
	10	-0.051	-0.067	-0.004
	30	-0.062	-0.070	-0.001
	60	-0.060	-0.068	-0.001

Tablo 9: TUSAGA-AKTİF ağına dayalı RTK koordinat farkları (15 -18.06.2010 ile 03.07.2010)

NOKTA ADI	EPOK SAYISI	TUSAGA-AKTİF KOORDİNATLARI (ITRF96/2005.0)		
		dX (m)	dY (m)	dZ (m)
EYUP	1	-0.002	0.007	0.014
	5	-0.021	-0.009	0.003
	10	-0.018	-0.010	0.002
	30	-0.002	-0.008	0.009
	60	-0.001	-0.000	0.004
CVSB	1	0.034	-0.002	-0.009
	5	0.036	-0.002	-0.003
	10	0.026	0.001	-0.002
	30	0.036	0.009	-0.001
	60	0.039	0.029	0.0025
DVTP	1	-0.014	-0.011	-0.009
	5	-0.014	-0.007	-0.011
	10	-0.009	-0.005	-0.008
	30	-0.021	-0.010	-0.019
	60	-	-	-
ARNV	1	-0.012	-0.021	-0.070
	5	0.005	-0.003	-0.057
	10	0.004	-0.003	-0.057
	30	-0.001	-0.045	-0.059
	60	-	-	-
SMND	1	-0.043	-0.025	-0.032
	5	-0.039	-0.033	-0.034
	10	-0.042	-0.032	-0.033
	30	-0.034	-0.027	-0.029
	60	-0.042	-0.027	-0.042

Diğer taraftan, anılan tablolarda SMND (Samandıra) noktasının hesaplamalarında önemli farklar olduğu görülmektedir. Bu farkların ölçü noktasının uygun seçilmemiş (sinyal yansımaları vb.) olması, CORS ağlarından gelen düzeltmelerin iyi modellenememesi, gezen alıcıda ya da uydulardan gelen sinyallerde sorun olması gibi birçok nedenden kaynaklandığı düşünülebilir. Bu durum Tablo 5 ve Tablo 7'deki istatistik bilgilerden de açıkça görülmektedir. Bu nedenle SMND noktası statik hesaplamalara ve irdelemelere dahil edilmekle birlikte (aynı sorunun Tablo 9 ve Tablo 10'da görüleceği gibi bu hesaplamalarda da ortaya çıkması nedeniyle) yapılan yorumlarda konu dışı bırakılmıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi, her CORS ağının (TUSAGA-Aktif ve İSKİ-UKBS) kendi içinde gerçekleştirilen RTK ölçümlerinden elde edilen koordinat doğruluğunu araştırmak için arazide seçilen beş noktada 60 dakikalık statik gözlemler de yapılmış ve ölçüler Bernese yazılımı ile değerlendirilmiştir. Bernese hesaplamaları ile RTK hesaplamaları arasındaki farklar Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmektedir.

Tablo 10: İSKİ-UKBS ağı Bernese - RTK koordinat farkları

NOKTA ADI	EPOK SAYISI	İSKİ-UKBS KOORDİNATLARI (ITRF2005/2005.0)		
		dX (m)	dY (m)	dZ (m)
EYUP	1	0.048	-0.043	0.020
	5	0.052	-0.046	0.015
	10	0.051	-0.049	0.016
	30	0.054	-0.046	0.017
	60	0.053	-0.048	0.014
CVSB	1	0.029	-0.003	0.046
	5	0.023	-0.006	0.051
	10	0.016	-0.015	0.041
	30	0.021	-0.011	0.047
	60	0.017	-0.014	0.043
DVTP	1	0.016	0.005	0.017
	5	0.019	0.012	0.013
	10	0.017	0.004	0.000
	30	0.013	0.004	0.000
	60	-	-	-
ARNV	1	-0.004	-0.009	-0.026
	5	-0.004	-0.006	0.020
	10	-0.004	-0.003	0.025
	30	-0.004	-0.005	-0.069
	60	-0.003	-0.003	-0.017
SMND	1	-0.061	-0.134	-0.067
	5	-0.080	-0.142	-0.079
	10	-0.077	-0.139	-0.077
	30	-0.080	-0.139	-0.072
	60	-0.076	-0.138	-0.075

Tablo 11: TUSAGA-Aktif ağı Bernese-RTK koordinat farkları

NOKTA ADI	EPOK SAYISI	TUSAGA-AKTİF KOORDİNATLARI (ITRF96/2005.0)		
		dX (m)	dY (m)	dZ (m)
EYUP	1	-0.033	-0.043	-0.074
	5	-0.043	-0.049	-0.079
	10	-0.045	-0.049	-0.080
	30	-0.053	-0.054	-0.086
	60	-0.062	-0.056	-0.099
CVSB	1	0.058	-0.070	-0.031
	5	0.057	-0.072	-0.024
	10	0.047	-0.071	-0.015
	30	0.057	-0.064	-0.009
	60	0.055	-0.057	-0.007
DVTP	1	0.111	0.008	-0.074
	5	0.109	0.014	-0.077
	10	0.107	0.015	-0.076
	30	0.119	0.010	-0.086
	60	-	-	-
ARNV	1	0.005	0.048	-0.073
	5	0.006	0.042	-0.063
	10	0.014	0.045	-0.058
	30	0.012	0.040	-0.057
	60	-	-	-
SMND	1	-0.061	-0.046	-0.111
	5	-0.065	-0.053	-0.118
	10	-0.069	-0.055	-0.123
	30	-0.063	-0.048	-0.121
	60	-0.070	-0.052	-0.131

Tablo 10 ve 11'den görüleceği gibi büroda hesaplama (Bernese) ile elde edilen koordinatlar RTK ölçümüne ilişkin olanlardan farklıdır. Büroda hesaplanan koordinatlar, referans doğru kabul edilirse RTK yöntemiyle elde edilen koordinatların güvenilirlik ve tekrarlanabilirliği üzerinde özenle durulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Özellikle jeodezik ve kadastro amaçlı ölçmelerde RTK ölçmeleri süresinin (GNSS sistemlerinde yukarıda ifade edilmiş olan gelişmeler gerçekleşinceye kadar) en az 5, ideali 10 saniye (epok) olarak gerçekleştirilmesinde, bir noktada en az iki oturum yapılmasında ve değişen uydu geometrisinden yararlanmak için oturumlar arasında en az 45 dakikalık fark olmasında yarar olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan bu tablolarda yükseklik farklarının yatay koordinatlara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Tablo 10'da EYUP noktasındaki farklar yatay koordinatlarda daha fazladır. Bu farkın nedeninin tespit edilebilmesi için aynı noktada yeni RTK ölçmeleri yapılması gerekmektedir. Bu nedenle yukarıdaki yorumlarda EYUP noktasındaki bu durum dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla, yükseklik bilgisinin önemli olduğu projelerde RTK ölçüm süresi en az 240 saniye süreli (en azından uydu sistemlerinde önümüzdeki beş yıl içerisinde gerçekleşmesi öngörülen gelişmelerin tamamlanmasına kadar) olması yararlı olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan, RTK ölçülerinin işveren tarafından kontrolü ve/veya daha sonra aynı noktalarda ölçme yapılması ve farklı sonuçlar elde edilmesi durumunda olası problemlerin çözülebilmesi amacıyla arazide yapılan RTK ham ölçülerinin de belirli bir süre (örneğin, proje kesin hesaplarının arazi ölçü kontrolleri yapılmış olarak teslim alınmasına kadar) arşivlenmesinde yarar görülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma gerçekte daha geniş kapsamlı ve çok amaçlı yapılması gerekirken sınırlı olanaklar nedeniyle ancak en temel konuların irdelendiği bir uygulama olarak gerçekleştirilebilmiştir. Diğer taraftan, bu çalışmada elde edilmiş olan sonuçlara ilişkin burada yer almayan ilave yorumlar yapabilmek de olanaklıdır. Ancak, daha önce de ifade edilmiş olduğu gibi çalışmanın amacı yalnızca statik ve RTK ölçü ve hesaplamalarının karşılaştırılması olduğundan yorumlar da bununla sınırlı tutulmuştur. Ayrıca, yapılan tüm yorumlarda TUSAGA-Aktif ve İSKİ-UKBS referans noktalarının sorunsuz olduğu, koordinatlarının hatasız olduğu ve RTK ölçümü yapan personelin (alıcı ve anten kurulumu, anten yüksekliği ölçümü, merkezleme vb. konularda) hata yapmadığı varsayılmaktadır.

Ölçüm sonrası büroda hesaplamalar (post-processing) ve RTK yöntemiyle gerçek zamanlı koordinat belirleme uygulamaları büyük oranda farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu nedenle bu yöntemlerin doğrudan karşılaştırılmaları bir noktaya kadar anlamlı olmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışmanın konusunu oluşturan söz konusu karşılaştırmanın yapılması Ağ-RTK (CORS, Net-RTK) kavramının artık pratik jeodezi ve kadastro uygulamalarında da kullanılabilir hale gelmesindedir. Dolayısıyla, eğer RTK ile gerçek zamanlı koordinat belirleme jeodezik ve kadastro amaçlı olarak kullanılacaksa bu yöntemin üstün ve sakıncalı taraflarının iyi irdelenmesi ve buna bağlı olarak ilgili teknik ve idari mevzuatın (örn. BÖHHÜY: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, haritacılık ölçmelerinde GNSS kullanımı ile ilgili mevcut yönerge ve yönetmelikler vb.) bilimsel temellere ve uygulamadaki deneyimlere dayalı olarak yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Yapılan arazi uygulamasından da görüleceği gibi; yüksek doğruluk, güvenilirlik ve tutarlılık isteyen çalışmalarda ölçme sonrası büroda hesaplamalar (post-process) halen vazgeçilmez bir işlemdir. Bununla birlikte, GPS/GNSS “post-process” kullanıcı sayısının her geçen gün azaldığı, RTK/CORS kullanıcı sayısının ise arttığı bir gerçektir. Dolayısıyla, GNSS “post-process” yöntemi ülke jeodezik ağlarının kurulması ve yaşatılması dışında yakın gelecekte sadece birkaç alanda (jeofizik ve jeodinamik çalışmalar) kullanım alanı bulacaktır. Diğer taraftan mevcut RTK algoritmaları, modelleme teknikleri (atmosfer, belirsizlik çözümü, sinyal kesiklikleri, sinyal yansımaları vb.), uydu sistemlerindeki aktif uydu sayısı (GPS, Glonass ve Galileo), uydu sistemlerindeki teknolojik gelişmelerin (L5, L2C sinyalleri vb.) gerçekleşme zamanı dikkate alındığında uydularla konum belirlemede jeodezik anlamdaki doğruluklar birkaç epokluk ölçü süreleri için ancak 2014 yılından sonra güvenli olarak elde edilebilecektir. Tüm bu gelişmelere paralel olarak jeodezik amaçlı GNSS alıcılarının yerini artık gerektiğinde statik ölçü toplama amaçlı da kullanılabilen RTK/CORS özellikli GNSS alıcıları almaktadır.

#### 5. Kaynaklar

- BROWN, N., TROYER, L., ZELZER, O., van CRANENBROEK, J.: **Advances in RTK and Post Processed Monitoring with Single Frequency GPS**. Journal of Global Positioning Systems, Vol. 5, No. 1-2: pp.145-151, USA, 2006.
- HOFMANN W., B.H., Lichtenegger B.H., J.Collins: **Global Positioning System: Theory and Practice**. Springer Verlag, Wien-Newyork, 1994.
- McDONALD, K. D. : **The Modernization of GPS: Plans, New Capabilities and the Future Relationship to Galileo**. Journal of Global Positioning Systems, Vol. 1, No. 1: pp.1-17, USA, 2002.
- KAHVECİ M.: **Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları**. Zerpa Yayıncılık, 1.Baskı, 2009, Ankara.
- KAHVECİ M., YILDIZ F.: **Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GPS/GNSS): Teori-Uygulama**. Geliştirilmiş 4. Baskı, Nobel Yayınları, 2009, Ankara.
- KIRK, G.: **GPS Modernization, GLONASS Augmentation and the Status of GALILEO – Benefits for Heavy and Highway Contactors**. Trimble White Paper, USA, 2007.
- SEEBER, G.: **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Walter de Gruyter, Berlin-Newyork, 1993.