

KLASİK RTK ve AĞ-RTK YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

¹Cevat İNAL, ²Ahmet Mete GÜNDÜZ, ³Sercan BÜLBÜL

^{1,3}Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42075, Konya, Türkiye

²Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Kütahya İl Müdürlüğü, 43000, Kütahya, Türkiye

¹cevat@selcuk.edu.tr, ²mete.gunduz@csb.gov.tr, ³bulbul@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 11.03.2014; Kabul/Accepted in Revised Form: 14.04.2014)

ÖZET: Günümüzde nokta konumlarının belirlenmesinde GNSS yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojinin yoğun kullanımı, yüksek doğruluk ve duyarlılık olarak gerçek zamanlı konum belirleme ihtiyacını doğurmuş ve bunun sonucu olarak öncelikle Standart (Klasik)- RTK (Real Time Kinematic) tekniği, ardından da AĞ-RTK (Network RTK) tekniği geliştirilmiştir. Günümüzde birçok ülkede sürekli gözlem yapan sabit GNSS istasyonları (CORS - Continuously Operating Reference Station) bulunmaktadır. Ülkemizde de Mayıs 2009'da faaliyete geçen, 146 istasyondan oluşan (KKTC (Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti)'de 4 adet dahil) ve tüm ülkeyi kapsayan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonları bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Klasik RTK yöntemiyle sabit istasyona olan uzaklıklar 1-10 km. arasında oluşturulan otuzar noktalı 10 bölgede, hem GPS hem de GPS+GLONASS uyduları kullanılarak nokta konumları belirlenmiştir. Elde edilen koordinatlar her bölgede yapılan ölçüler sonucu elde edilen AĞ-RTK koordinatlarıyla ve bölge ayrımı yapılmaksızın tüm noktaların koordinatları bir bütün olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile Klasik RTK yönteminde gezici alıcının sabit(referans) istasyonuna olan uzaklığının konum doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, konum doğruluğunu referans noktasına olan uzaklığın ve çevredeki engellerin (bina, hava alanı ve üstgeçit vb.) etkilediği görülmüştür.

Test alanında yapılan ölçülerin değerlendirilmesi sonucu AĞ RTK ve Klasik RTK koordinatları arasındaki x ve y yönündeki farklar 0.2 cm. – 9.0 cm., ortalama hatalar ± 1.28 cm. - ± 4.39 cm, z yönündeki farklar ise 0.1 cm. – 15.7 cm., ortalama hatalar ise ± 2.21 cm. - ± 7.81 cm. arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: AĞ-RTK, CORS-TR, GZK-GPS

Comparison of Classic RTK and Network-RTK Methods

ABSTRACT: Today, GNSS is being used widely in determination of point positions. The intense use of this technology created the need of real time kinematic determination of point positions with high accuracy and precision. As a result, firstly Standard (Classic) RTK technique and later Network RTK technique were developed. Nowadays, in many countries, there are Continuously Operating Reference Station (CORS). In Turkey, A system, CORS-TR, operating from May 2009 was established. This system covers the hole country and comprises 146 station (including 4 stations in KKTC).

In this study, the real time position data were determined in ten zones with 30 points having a distance of 1 to 10 km from a base station by means of classical RTK methods using both GPS and GPS+GLONASS satellites. The obtained results were compared with the Net-RTK coordinates measured separately from each zone as well as with the coordinates of all points without making a distinction among zones. With this comparison, the impact of the distance of rover receiver to the base station on the position accuracy has been investigated. After evaluating the obtained data, it has been seen that the distance of the rover receivers to the base stations and the barriers such as buildings, airport, overpass etc. around the study area have significant impact on the accuracy of position.

After evaluating the results obtained from the test fields, it is found that the differences and the root mean square (rms) in x and y directions of the coordinates measured by Net-RTK and Classical RTK methods are 0,2 -9,0 cm , and ± 1.28 cm. - ± 4.39 cm. respectively, and the difference in z direction range from 0.1 cm. to 15.7 cm. and the rms change between ± 2.21 cm. - ± 7.81 cm.

Key Words: Network-RTK, CORS-TR, RTK-GPS

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalarda görelî konum belirleme yöntemlerinden statik ölçü yöntemi kullanılmakta ve toplanan ölçüler büroda uygun GPS/GNSS (Global Positioning System/Global Navigation Satellite Systems) yazılımları ile değerlendirilerek nokta konumları belirlenmektedir (Kahveci ve Yıldız,2012). Oysa Mühendislik uygulamalarında detay alımında ve aplikasyonda nokta konumlarının gerçek zamanlı belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla nokta konumlarını gerçek zamanlı cm mertebesinde belirleyen Klasik RTK (Real Time Kinematic) yöntemi geliştirilmiştir (Arslanoğlu,2002). Ancak bu yöntemde konumu yüksek doğrulukla bilinen bir referans istasyonu ile bu istasyona en fazla 15-20 km uzaklıkta bulunan bir ya da daha fazla gezen alıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Yörünge hatası ile atmosferik hatalar nedeniyle yöntemin doğruluğu referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki uzaklığa bağlıdır.

Klasik RTK yöntemindeki bu sınırlamalardan kaçınmak için birden çok sabit istasyon kurulması fikri ortaya atılmıştır (Raquet, 1998; Landau ve diğ., 2002). 1980 li yılların sonlarından itibaren yüksek doğruluk gerektiren jeodezik ölçülere katkı sağlaması amacıyla CORS sistemi uygulamaya konulmuştur (Yıldırım ve diğ.,2011) .Bu fikrin uygulanması ve elde edilen deneyimlerden yararlanılması sonucunda sabit GPS/GNSS ağları (Ağ-RTK; Net-RTK) kavramı ortaya çıkmıştır. Ağ-RTK sisteminde, tek bir referans istasyonuna olan bağımlılık ortadan kalkmış, ayrıca, çok sayıda referans istasyonuna ait verilerden yararlanarak belirli bir bölgeye ait atmosferik modelleme yapılması olanağı da sağlanmıştır. Bu modelleme sonucunda ise GNSS ölçülerini etkileyen en önemli hata kaynaklarından birisi olan iyonosfer ve troposfer hataları, konum belirleme uygulamaları için en düşük seviyeye indirilmiş olmaktadır.

Bu çalışmada ise gerçek zamanlı konum bilgisini son derece hızlı ve cm mertebesinde türetebilen Klasik RTK ve Ağ-RTK yöntemleri hakkında bilgi verilmiş, Klasik RTK yönteminde gezici alıcının sabit(referans) istasyona olan uzaklığının konum doğruluğuna etkisini araştırılmıştır. Bu kapsamda sabit noktadan birer km aralıklarla değişen 1-10 km uzaklıkta seçilen alanlarda Klasik RTK ve Ağ-RTK teknikleriyle ölçümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (GZK) GPS(REAL TIME KINEMATIC (RTK) GPS)

Gerçek zamanlı konum belirleme yöntemlerinden birisi olan kod ölçüler ile Diferansiyel GPS/GNSS tekniğinde koordinatlar bilinen bir referans istasyonuna dayalı olarak gezen bir alıcının koordinatları kod(pseudorange) gözlemleri kullanılarak metre düzeyindeki doğrulukla belirlenmektedir (Kahveci ve diğ., 2011).

GNSS donanım ve yazılımlarında önemli yeniliklerin geliştirilmesi sonucu kod ölçüleri yerine faz gözlemleri ile yüksek doğruluklu gerçek zamanlı kinematik uygulamaların yapılması olanaklı hale gelmiştir. Gerçek zamanlı konum belirlemede yaşanan bu gelişmeler yaklaşık aynı mertebelerdeki doğrulukların hareket halindeki GNSS alıcıları için de geçerli olmasını sağlamıştır.

Jeodezik doğruluk isteyen tüm GNSS ağlarında en az iki alıcı ile eş zamanlı ölçüye gereksinim vardır. Bunlardan bir tanesi koordinatları bilinen referans istasyonu diğeri ise koordinatları hesaplanacak olan gezen alıcı olarak tanımlanmaktadır. GNSS sistemindeki gelişmeler gerçek zamanlı sabit referans istasyonlarının kurulmasını ve kullanıcılara kesintisiz hizmet sağlanmasını olanaklı

kılmıştır. Böylece, kullanıcının tüm alıcılarını gezen alıcı olarak kullanabilmesinin yolu açılmış, bu da zaman ve maliyet açısından önemli ölçüde tasarruf sağlamıştır.

Klasik RTK (Classic RTK)

RTK ile konum belirleme, gezen alıcılar tarafından uydulardan (GPS/GLONASS) kaydedilen faz gözlemlerine ve aynı anda referans bir istasyondan gerçek zamanlı olarak gezen alıcıya gönderilen ham ölçü ya da düzeltme bilgilerine (konum, pseudorange, atmosfer vb.) dayalı olarak gerçekleştirilen, hesaplamaların ise gezen alıcıda yapıldığı bir konum belirleme tekniğidir (Kahveci, 2009).

Klasik RTK tekniğinde, hem referans ve hem de gezici istasyonda çift frekanslı GPS alıcıları kullanılır. Ayrıca bu metotta, statik ve kinematik GNSS ölçü yöntemlerinde kullanılan donanımdan farklı olarak bazı ek donanımlar gerekir; sabit istasyonda, hesaplanan taşıyıcı dalga faz ölçü düzeltmelerini yayımlayan bir radyo vericisi ve gezici birimde de gönderilen bu düzeltmeleri alan bir radyo alıcısı kullanılır (Mekik, 2001).

Klasik RTK uygulamasında bir referans istasyonda hesaplanan düzeltme bilgileri gezen alıcıya gönderilmektedir. Gönderilen düzeltme mesajları belli bir formata uygun olmalıdır. Her alıcı firması gerçek zamanlı uygulamalar için kendi özel formatını üretmiştir. Fakat bu durumda farklı formatlardaki veriler farklı alıcılar tarafından kullanılamaz. Bu problemi önlemek amacıyla Teknik Radyo Komisyonu Denizcilik Servisi, Özel Komitesi (Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Committee 104) referans alıcı ile gezici alıcı arasında düzeltme verilerinin yayınlanması amacıyla standart bir format yayınlamış ve bu format RTCM SC-104 olarak isimlendirilmiştir (Hofmann ve diğ., 1997). RTCM SC-104 formatı hemen hemen GPS navigasyon mesaj formatının aynısıdır. Deneyimler RTCM SC-104 veri formatı ve mesaj yapısının genellikle güvenilir olduğunu göstermiştir (Arslanoğlu ve Mekik, 2003).

Doğal olarak, referans ve gezici alıcıları ne kadar çok sayıda uydu izlerse, tamsayı sabitleme işlemleri de o kadar hızlanır ve konumlama doğrulukları o kadar artar. GPS sinyallerine ek olarak, GLONASS sinyalleri kullanan sistemlerden de bu doğrultuda yararlanılabilir. Ancak, çift frekanslı GPS sistemlerinin birkaç kilometreden uzun bazlarda tek frekanslı GPS/GLONASS ikili sistemlerine göre üstünlüğü vardır. GPS/GLONASS ikili sistemleri de açık havza madenleri, şehir kanyonları, nehir vadileri ve orman sınırlarının tespiti gibi, sınırlı gökyüzü açıklığı olan bölgelerde daha avantajlıdır (Arslanoğlu ve Mekik, 2003).

Klasik RTK uygulamasında bir referans istasyonunda hesaplanan düzeltme bilgileri kullanıcıya gönderilir. Sistemik hatalardan (atmosferik etkiler, yörünge hatası etkisi vb.) kaçınmak için referans istasyonu ile kullanıcı arasındaki 15-20 km.'yi geçmemesi gerekmektedir. RTK GPS tekniği ile cm mertebesinde elde edilen doğruluk, pek çok haritacılık uygulamaları için yeterli olmaktadır (Pektaş, 2010).

Ağ-RTK(CORS)(Network RTK(CORS))

Tek referans alıcısıyla yapılan Klasik RTK'nun kısıtlamasını aşmak amacıyla bilim ve teknoloji dünyası sürekli arayış içinde olmuş ve bu arayışların sonucunda Ağ RTK yöntemi geliştirilmiştir.

Ağ-RTK sisteminde, tek bir referans istasyonuna olan bağımlılık ortadan kalkmış, ayrıca, çok sayıda referans istasyonuna ait verilerden yararlanarak belirli bir bölgeye ait atmosferik modelleme yapılması olanağı sağlanmış, GNSS gözlem tekniklerinin gücü ile ağ yapısının üstünlükleri (ağ dengelemesi) birleştirilmiştir. Sonuç olarak Ağ-RTK, Klasik RTK tekniğine göre daha uzun baz uzunluklarında (50 - 100 km) faz gözlemlerine dayalı olarak cm doğruluğunda ve gerçek zamanlı konum belirleme tekniğidir (Kahveci, 2009).

Ağ-RTK sistemindeki gezici alıcı, sunucuya tek veya iki farklı yol ile bağlanır(radyo modem, GSM (Global System for Mobile Communications) veya internet gibi). Gezici, gerçek zamanlı kinematik veriyi alır almaz uygun bir algoritmaya göre bulunduğu konumu hesaplar. Ağ verilerinin gezicilere aktarılmasında da farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler düzeltmelerin referans istasyonunda

ya da gezicide yapıldığına, gönderilecek bilgilerin kapsamına, veri aktarma protokolüne (formatına) ve veri aktarma ortamına (telsiz, GPRS vb.) bağlı olarak değişmektedir (Pektaş, 2010).

Ağ RTK'nın Klasik RTK'ya göre üstünlükleri vardır. Ağ RTK ile nokta koordinatları tek anlamlı ve homojen bir koordinat sisteminde belirlenmekte, yüksek kalitede sonuçlar elde edilmekte ve tüm ağ için oluşturulan atmosferik modelden yararlanılarak ölçü noktası için gerekli düzeltmeler enterpolasyon ile hesaplanabilmektedir (Kahveci, 2009).

Ağ RTK tekniğinin günümüzde en fazla uygulanan şekli sabit GNSS ağlarıdır. Ülkemizde bu amaçla 146 noktadan oluşan CORS-TR (Continuously Operating Reference Stations-TR) ağı kurulmuştur. CORS-TR projemizde aktif CORS yaklaşımı benimsenmiştir. Burada tüm ülkeyi kapsayan CORS istasyonları bir kontrol merkezine bağlı olup istasyonların konumları ve atmosferik düzeltmeler sürekli hesaplanmaktadır. Böylece atmosfer ve konum düzeltmeleri ülke genelinde modellenabilmektedir. Bunun sonucunda, saatler gerektiren GNSS ölçü süreleri, dakikalara ve hatta saniyelere inmektedir; bazı uzunlukları da yaklaşık olarak 10 misli büyümektedir (Eren ve Uzel, 2008).

CORS-TR sisteminde gerçek zamanlı anlık konum belirleme için üç teknik kullanılmaktadır. Bunlar; FKP, VRS, MAC tekniğidir (Wanninger,2002).

FKP (Flachen Koorectur Parameter) olarak bilinen alan düzeltme yaklaşımında tüm CORS ağı kullanılarak her sabit istasyonda atmosferik düzeltmeler ve taşıyıcı faz düzeltmeleri hesaplanmaktadır. Gezici, ağ düzeltmesini sabit istasyonların birinden alır ve çift yönlü haberleşmede bu istasyonu merkez olarak belirler.

VRS (Virtual Reference Stations) uygulamasında ön koşul, CORS ağındaki kontrol merkezi ile gezici alıcı arasındaki iki yönlü iletişimidir. Gezici, yaklaşık koordinatları kontrol merkezine göndermekte ve merkezde tüm ağ bilgileri kullanılarak söz konusu gezicinin konumu için VRS referans verileri oluşturmaktadır. Bu yöntemde düzeltmeler, gezicinin hemen yakınında oluşan sanal bir referans istasyonu üzerinden yayınlamaktadır (Eren ve Uzel, 2008).

MAC (Master Auxiliary Concept) tekniği, bir adet ana istasyon (master) ve birden çok yardımcı istasyondan (auxiliary) oluşan ağ içerisinde gezici alıcının konumunun belirlenmesine dayanır. MAC tekniğinde ana istasyonun gezen alıcılara en yakın istasyon olması gerekmemektedir. Önemli olan aynı uydulara gözlem yapılmış olmasıdır. Çünkü ana istasyonun düzeltmelerin hesaplanmasında özel bir görevi olmayıp, esas olarak düzeltmelerin yayınlanmasında rolü vardır. Eğer herhangi bir nedenle ana istasyondan veri alınamaması durumunda yardımcı referans istasyonlarında birisi bu görevi üstlenir (Kahveci, 2009).

UYGULAMA(APPLICATION)

Test Alanında Yapılan Çalışmalar ve Değerlendirme(Applications made in test area and evaluation)

Test alanı olarak Konya Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüsü alanı civarında Konya-Afyon karayolunun bir kısmı ile bu yolla bağlantılı Aliya İzzet Begoviç Caddesi seçilmiştir (Şekil 1).

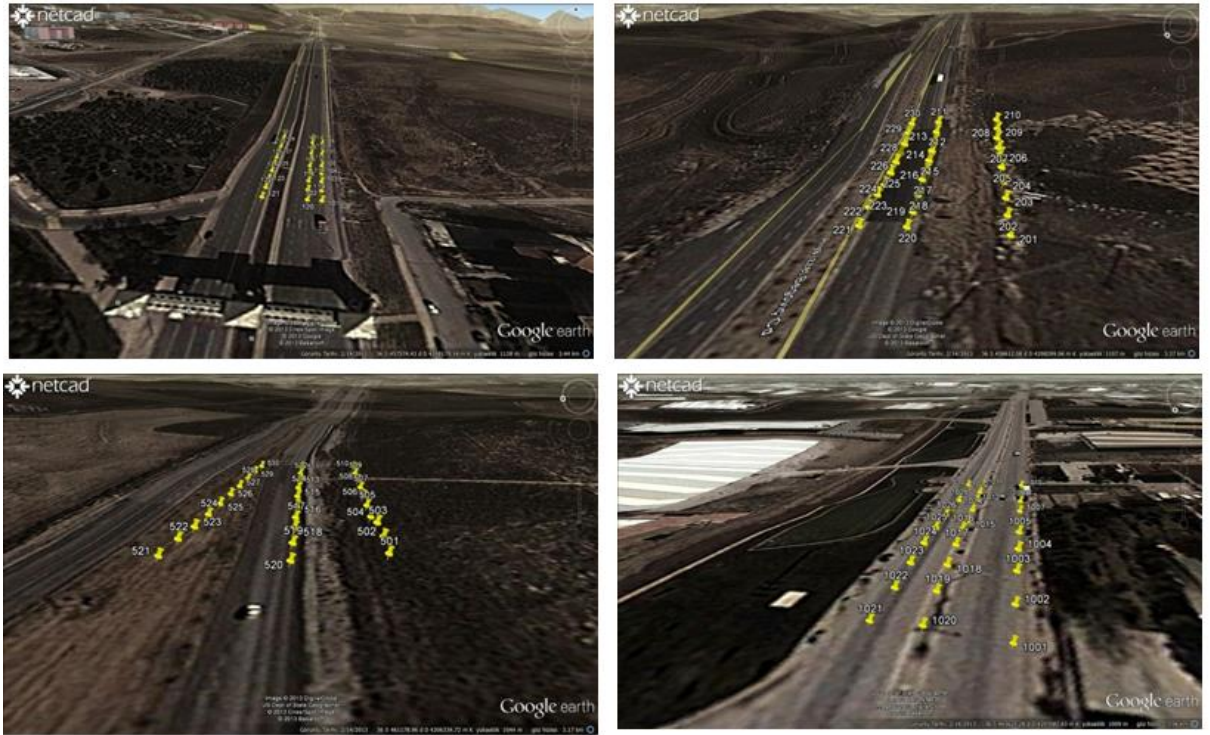


Şekil 1. Çalışma Bölgesi (Study zone)

Klasik RTK ölçmelerinde TUTGA SLCK (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı SLCK) noktası sabit olarak alınmış bu noktaya olan uzaklıklar 1,2,.., 10 km olarak alınıp çalışma bölgeleri tesbit edilmiştir. Tesbit edilen 10 farklı çalışma bölgesinde belirtilen karayolları boyunca 30 ar adet detay noktası belirlenmiştir. Belirlenen noktalarda GPS ve GPS+GLONASS uydularından yararlanılarak Klasik RTK, TUSAGA-AKTİF (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı- AKTİF) sistemine bağlanılarak, VRS düzeltme tekniği kullanılarak Ağ-RTK ölçüleri yapılmıştır. Ağ RTK Ölçülerinde Pentax firmasının "PENTAX SMT-888 3G" GNSS alıcısı "GETAC PS535F El Kontrol ünitesi", RTK ölçmelerinde Javad firmasının "JAVAD TRIUMPH-1 GNSS alıcısı ile "JAVAD VICTOR el kontrol ünitesi" kullanılmıştır. Çizelge ve grafik gösterimlerde sadece GPS uyduları kullanılarak yapılan ölçümler "GPS", GPS ve GLONASS uyduları kullanılarak yapılan ölçümler "MIX", TUSAGA-AKTİF sistemine bağlanılarak yapılan Ağ-RTK ölçmeleri ise "CORS-TR" olarak isimlendirilmiştir.

Klasik RTK ve Ağ RTK ölçüleri 1 sn kayıt aralığında 10° lik yükseklik açısında 5 epok olarak yapılmıştır. Ölçüler iki günde tamamlanmıştır.

Ölçüm yapılan bazı bölgelere ait fotoğraflar Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ölçüm Yapılan Bazı Bölgeler (Some regions took place measurements)

Ölçülerin Değerlendirilmesi (Evolution of measurements)

Ağ RTK ile belirlenen koordinatlar ile GPS ve GPS+GLONASS ile belirlenen koordinatların farkları alınarak dx , dy , dz koordinat farkları hesaplanmıştır(Çizelge 1). m_x , m_y , m_z ortalama hatalarının hesabında ise;

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{|dx|}{n}} \quad m_y = \pm \sqrt{\frac{|dy|}{n}} \quad m_z = \pm \sqrt{\frac{|dz|}{n}} \quad (1)$$

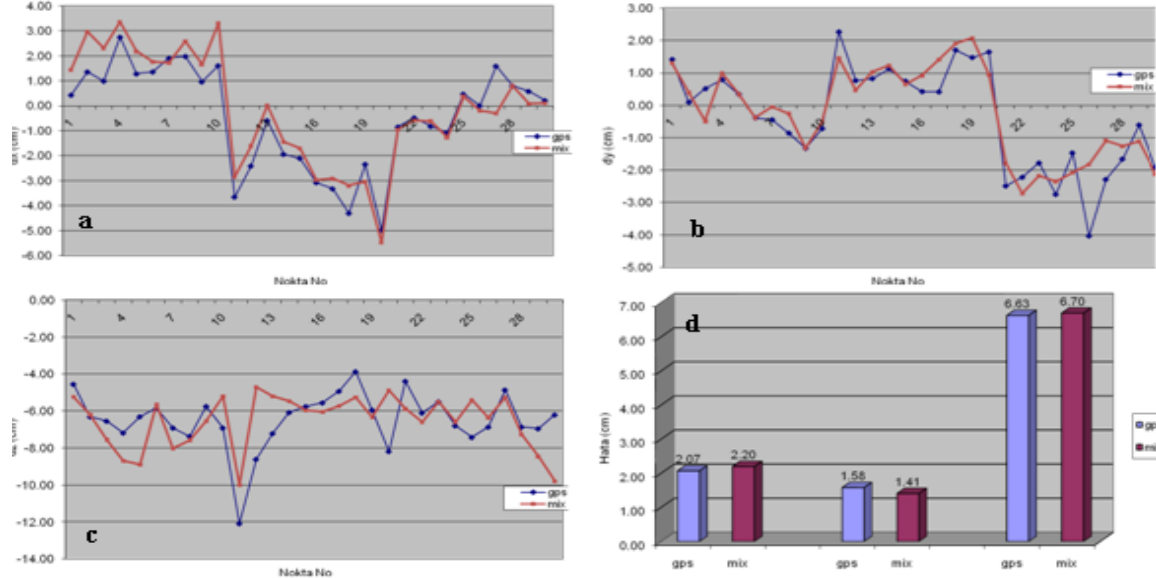
eşitlikleri kullanılmıştır(Gündüz, 2013).

Çizelge 1. Bölgeler için hesaplanan koordinat farkları ve ortalama hatalar

Sabite Uzaklık (km)	GPS-(CORS-TR)			MIX-(CORS-TR)			Sabite Uzaklık (km)	GPS-(CORS-TR)			MIX-(CORS-TR)		
	dx_{min}	dy_{min}	dz_{min}	dx_{min}	dy_{min}	dz_{min}		dx_{min}	dy_{min}	dz_{min}	dx_{min}	dy_{min}	dz_{min}
	dx_{max}	dy_{max}	dz_{max}	dx_{max}	dy_{max}	dz_{max}		dx_{max}	dy_{max}	dz_{max}	dx_{max}	dy_{max}	dz_{max}
	m_x	m_y	m_z	m_x	m_y	m_z		m_x	m_y	m_z	m_x	m_y	m_z
1	2.75	2.26	3.86	3.35	2.07	-4.71	6	1.10	-2.66	0.24	2.09	1.00	0.35
	-4.97	-4.03	-12.09	-5.47	-2.72	-9.99		-4.90	5.45	-7.88	-4.50	-9.00	-9.01
	± 2.07	± 1.58	± 6.63	± 2.20	± 1.41	± 6.70		± 2.54	± 2.22	± 4.70	± 2.35	± 3.07	± 4.24
2	1.26	-2.83	-1.32	1.79	-2.23	0.35	7	1.43	-1.10	0.83	0.95	-2.56	0.48
	-5.50	3.59	-8.92	-3.50	4.42	-6.40		-5.22	5.09	-4.90	-6.58	6.19	-9.36
	± 1.91	± 1.57	± 5.90	± 1.47	± 2.24	± 4.16		± 1.61	± 2.20	± 2.21	± 2.47	± 2.29	± 4.39
3	0.83	-1.49	-3.49	3.90	-2.59	5.82	8	2.93	-3.36	-0.32	0.88	-0.66	-1.62
	-4.57	3.47	-13.69	-7.41	3.06	-15.69		-3.17	3.92	-9.18	-5.39	6.36	-10.84
	± 2.43	± 1.28	± 8.15	± 3.10	± 1.40	± 6.00		± 1.56	± 2.36	± 4.87	± 2.69	± 4.39	± 7.81
4	0.93	2.81	-0.36	1.73	-2.08	-0.52	9	-1.72	-1.97	2.67	-0.75	-0.88	-0.31
	-5.73	-3.38	-9.84	-4.36	5.72	-8.05		-6.07	4.73	-7.12	-6.95	6.29	-8.82
	± 2.63	± 1.75	± 6.43	± 1.94	± 2.88	± 4.90		± 3.97	± 2.69	± 3.52	± 4.38	± 3.91	± 4.33
5	-0.21	-0.49	-1.51	1.70	-3.04	2.50	10	0.75	3.56	-0.07	-5.05	2.86	3.52
	-6.71	5.41	-7.46	-5.64	4.28	-7.36		-7.76	-3.82	-7.38	5.42	-4.16	-9.41
	± 2.92	± 2.52	± 3.94	± 2.04	± 2.28	± 2.74		± 3.39	± 1.86	± 3.81	± 2.66	± 2.02	± 2.97

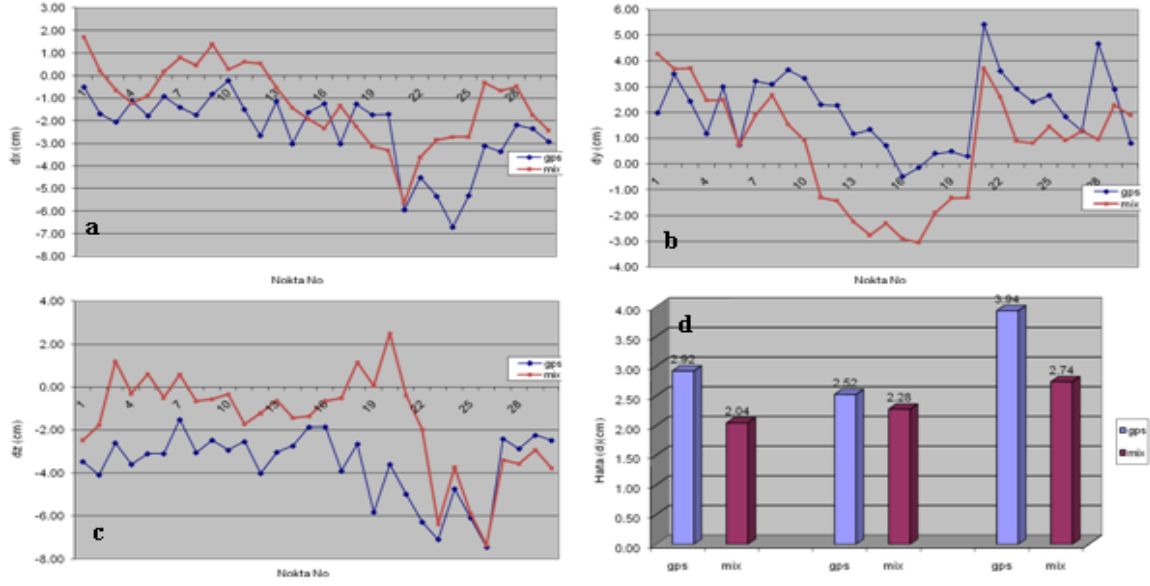
Her bölge için hesaplanan koordinat farkları ve (1) eşitliğine göre belirlenen ortalama hatalar grafik olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada çalışmanın hacmini fazla arttırmamak için sadece 1, 5 ve 10 km.'ye ait grafikler verilmiştir (Şekil 3, 4, 5).

1.Km için Analizler (Analysis for 1 km.)



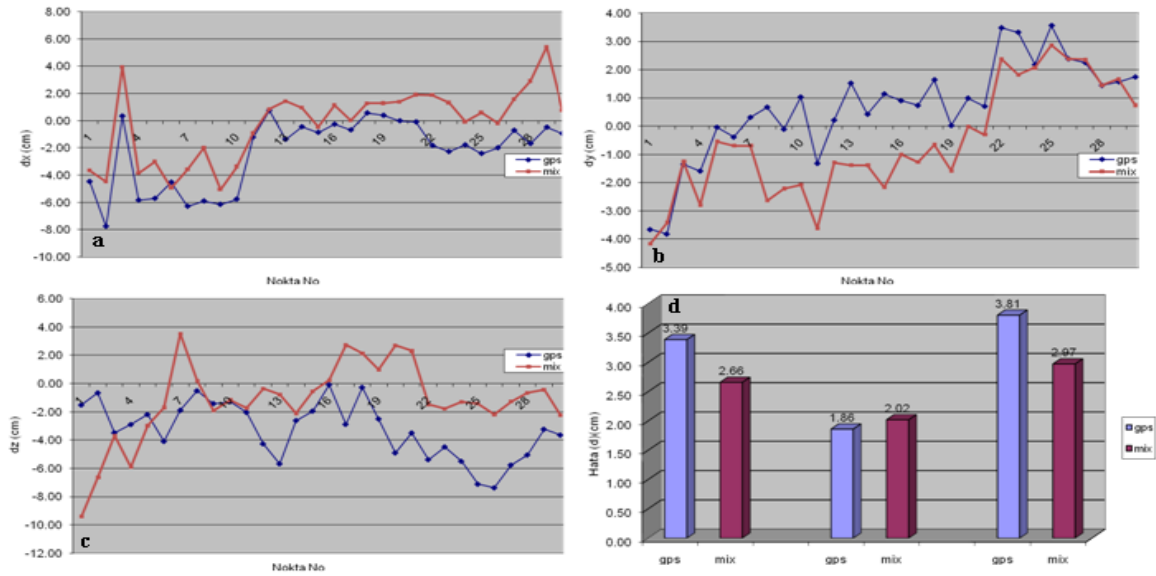
Şekil 3 1. Km için dx, dy, dz koordinat farkları (a, b, c) ve Ortalama hatalar (d) (dx, dy, dz Coordinate differences (a, b, c) and rms (d) for 1 km.)

5.Km için Analizler (Analysis for 5 km.)



Şekil 4 5. Km için dx, dy, dz koordinat farkları (a, b,c) ve Ortalama hatalar (d) (dx, dy, dz Coordinate differences (a,b,c) and rms (d) for 5 km.)

10.Km için Analizler (Analysis for 10 km.)



Şekil 5 10. Km için dx, dy, dz koordinat farkları (a, b,c) ve Ortalama hatalar (d) (dx, dy, dz Coordinate differences (a,b,c) and rms (d) for 10 km.)

Çizelge 1 ve Şekil 3, 4, 5 incelendiğinde uygulama yapılan 10 km.'lik bölge içinde nokta konum duyarlıklarının birbirlerine yakın oldu dikkate alınarak 10 bölgeye ait ölçüler birleştirilmiştir. Ağ RTK ölçüleri GPS ve MIX ölçüleriyle ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada 300 detay noktasının tamamı kullanılmıştır. Nokta sayısının fazla olması nedeniyle hatalar sınıflara ayrılmış sınıf sayısı;

$$k = 1 + 3.3 \log(n)$$

(2)

eşitliği ile belirlenen Sturges kuralı ile hesaplanmıştır. Bir dağılımın sınıf aralığı $8 \leq k \leq 15$ aralığında olmalıdır (Yerci, 2002). Bu çalışmada sınıf sayısı $k=10$ olarak alınmıştır. Sınıf sayısı belirlendikten sonra sınıf aralığı;

$$\text{Sınıf Aralığı} = (d_{\max} - d_{\min})/10 \quad (3)$$

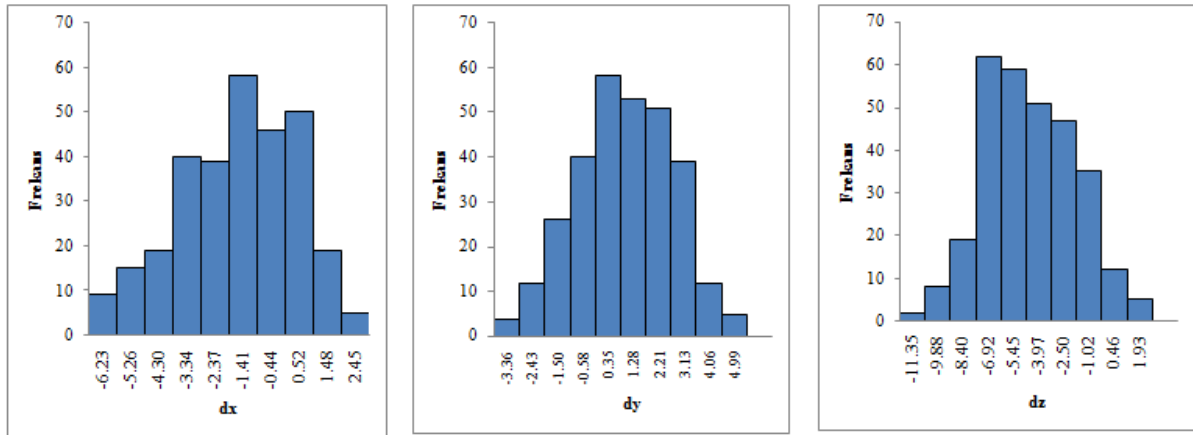
eşitliği ile hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Frekans Tabloları (Frequency Tables)

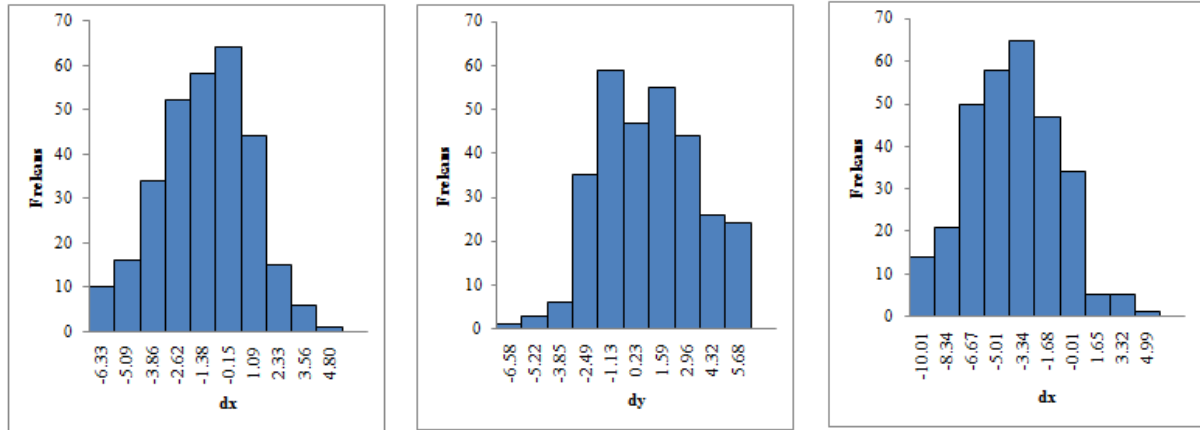
GPS- (CORS-TR)					MIX-(CORS-TR)				
dx Farkları					dx Farkları				
Sınıf Sayısı	Sınıflar		Sınıf Değeri	Frekanslar	Sınıf Sayısı	Sınıflar		Sınıf Değeri	Frekanslar
1	-6,71	-5,75	-6,23	9	1	-6,95	-5,71	-6,33	10
2	-5,75	-4,78	-5,26	15	2	-5,71	-4,48	-5,09	16
3	-4,78	-3,82	-4,30	19	3	-4,48	-3,24	-3,86	34
4	-3,82	-2,85	-3,34	40	4	-3,24	-2,00	-2,62	52
5	-2,85	-1,89	-2,37	39	5	-2,00	-0,77	-1,38	58
6	-1,89	-0,93	-1,41	58	6	-0,77	0,47	-0,15	64
7	-0,93	0,04	-0,44	46	7	0,47	1,71	1,09	44
8	0,04	1,00	0,52	50	8	1,71	2,95	2,33	15
9	1,00	1,97	1,48	19	9	2,95	4,18	3,56	6
10	1,97	2,93	2,45	5	10	4,18	5,42	4,80	1
GPS-(CORS-TR)					MIX-(CORS-TR)				
dy Farkları					dy Farkları				
Sınıf Sayısı	Sınıflar		Sınıf Değeri	Frekanslar	Sınıf Sayısı	Sınıflar		Sınıf Değeri	Frekanslar
1	-3,82	-2,89	-3,36	4	1	-7,26	-5,90	-6,58	1
2	-2,89	-1,97	-2,43	12	2	-5,90	-4,54	-5,22	3
3	-1,97	-1,04	-1,50	26	3	-4,54	-3,17	-3,85	6
4	-1,04	-0,11	-0,58	40	4	-3,17	-1,81	-2,49	35
5	-0,11	0,82	0,35	58	5	-1,81	-0,45	-1,13	59
6	0,82	1,74	1,28	53	6	-0,45	0,91	0,23	47
7	1,74	2,67	2,21	51	7	0,91	2,27	1,59	55
8	2,67	3,60	3,13	39	8	2,27	3,64	2,96	44
9	3,60	4,52	4,06	12	9	3,64	5,00	4,32	26
10	4,52	5,45	4,99	5	10	5,00	6,36	5,68	24
GPS-(CORS-TR)					MIX-(CORS-TR)				
dz Farkları					dz Farkları				
Sınıf Sayısı	Sınıflar		Sınıf Değeri	Frekanslar	Sınıf Sayısı	Sınıflar		Sınıf Değeri	Frekanslar
1	-12,09	-10,61	-11,35	2	1	-10,84	-9,17	-10,01	14
2	-10,61	-9,14	-9,88	8	2	-9,17	-7,51	-8,34	21
3	-9,14	-7,66	-8,40	19	3	-7,51	-5,84	-6,67	50
4	-7,66	-6,19	-6,92	62	4	-5,84	-4,18	-5,01	58
5	-6,19	-4,71	-5,45	59	5	-4,18	-2,51	-3,34	65

6	-4,71	-3,23	-3,97	51	6	-2,51	-0,84	-1,68	47
7	-3,23	-1,76	-2,50	47	7	-0,84	0,82	-0,01	34
8	-1,76	-0,28	-1,02	35	8	0,82	2,49	1,65	5
9	-0,28	1,19	0,46	12	9	2,49	4,15	3,32	5
10	1,19	2,67	1,93	5	10	4,15	5,82	4,99	1

Çizelge 2 deki sınıf değerleri ve frekanslar kullanılarak koordinat bileşenlerinin histogramları çizilmiştir (Şekil 7,8).



Şekil 7 GPS- CORS-TR koordinat farklarının histogramları (Histograms of GPS-CORS coordinates difference)



Şekil 8 MIX – CORS-TR koordinat farklarının histogramları (Histograms of MIX-CORS coordinates difference)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

Konum belirlemede GPS (Global Positioning System) teknikleri yepyeni bir çığır açmıştır. GPS teknolojisi ülkemize 1990'lı yıllarda girdiği halde CORS-TR projesinin hayata geçirildiği 2009 yılına kadar ekonomik olmayan ölçme yöntemleri kullanılmıştır. CORS-TR projesi ile verimsiz kullanılan sistemler daha verimli kullanılmaya başlamıştır. Proje ile tüm ülke genelinde coğrafi konumları, 24 saat süreyle dakikalarda hatta saniyelerde hem gerçek zamanlı hem de sonradan hesapla cm.'ler duyarlığında hızlı, ekonomik ve sağlıklı olarak belirlemek mümkün olmuştur. Ayrıca CORS-TR ağı sayesinde bir deprem ülkesi olan ülkemizde tektonik(plaka) hareketlerin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Yine bu sayede atmosferi ve iyonosferi modellemek ve daha sağlıklı meteorolojik tahminler yapmak mümkün olabilecektir.

CORS-TR ile hem gerçek zamanlı hem de post-process ile nokta konumları yüksek duyarlılıkta belirlenmektedir. Bu çalışmada gerçek zamanlı kinematik GPS ile belirlenen nokta konumları ile CORS-TR ile belirlenen gerçek zamanlı nokta konumları karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir.

Test alanında yapılan ölçülerin değerlendirilmesi sonucu Ağ RTK ve Klasik RTK koordinatları arasındaki x ve y yönündeki farklar 0.2 cm. – 9.0 cm., ortalama hatalar ± 1.28 cm. - ± 4.39 cm, z yönündeki farklar ise 0.1 cm. – 15.7 cm., ortalama hatalar ise ± 2.21 cm. - ± 7.81 cm. arasında değişmektedir (Çizelge 3). Ağ RTK ve Klasik RTK ölçmelerinde farklı firmalara ait GNSS alıcısı kullanılması koordinat farklarının artmasına sebep olmuştur.

Çizelge 3. Ağ RTK ve Klasik RTK ile elde edilen koordinat farkları ve ortalama hatalar (Coordinates difference and rms obtained Network RTK and classic RTK)

Ölçü Türü	Koordinat farkları(cm)			Ortalama hatalar(cm)		
	IdxI	IdyI	IdzI	mx	my	mz
GPS	0.2 - 7.8	0.5 - 5.5	0.1 - 13.7	$\pm 1.56 - \pm 3.97$	$\pm 1.28 - \pm 2.69$	$\pm 2.21 - \pm 8.15$
MIX	0.8 - 7.4	0.7 - 9.0	0.3 - 15.7	$\pm 1.47 - \pm 4.38$	$\pm 1.4 - \pm 4.39$	$\pm 2.74 - \pm 7.81$

Yapılan değerlendirmeler neticesinde, konum doğruluğunu referans noktasına olan uzaklığın ve çevredeki engellerin (bina, hava alanı ve üstgeçit vb.) etkilediği görülmüştür. Ayrıca GPS ve GPS+GLONASS ölçülerinin birbirleriyle ve CORS-TR ölçüleriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Buradan çıkarılan sonuca göre Ağ-RTK(CORS-TR) yöntemiyle yapılan ölçülerin Klasik RTK yöntemiyle yapılan ölçülere göre teorik olarak daha kısa sürmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Ancak yerleşim yerlerinde çalışma yaparken pek çok çevresel etmene maruz kalındığı için Ağ-RTK(CORS-TR) yönteminde zaman zaman sinyal kesilmesi problemi yaşanabilmekte ve bu durum ölçü süresinin uzamasına neden olabilmektedir.

KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu makale Prof. Dr. Cevat İNAL danışmanlığında yürütülen “Klasik RTK Ve Ağ-RTK Yöntemlerinin Karşılaştırılması” isimli tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- Arslanoğlu, M., 2002, Gerçek Zamanlı Kinematik GPS'in Kent Bilgi Sistemlerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ FBE, Zonguldak.
- Arslanoğlu, M., Mekik, Ç., 2003, Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlarının Doğruluk Analizi ve Bir Örnek Uygulama, 9. Türkiye Harita ve Bilimsel Teknik Kurultayı, Ankara, 549-558, 2003.
- Eren, K., Uzel, T., 2008, Ulusal CORS Sisteminin Kurulması ve Datum Dönüşüm Projesi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Gündüz, A., M., 2013, Klasik RTK Ve Ağ-RTK Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. And Collins, J., 1997, GPS Theory and Practice, New York.
- Kahveci, M., Karagöz, H., Selbenoğlu, M.O., 2011, Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması, HKMO Dergisi, sayı 104, Ankara.
- Kahveci, M., 2009, Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, Zerpa Turizm Yayıncılık Ltd. Şti., Ankara.
- Kahveci, M., Yıldız, F., 2012, GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama, Nobel Akademik Yayıncılık, 222s, 5.Baskı, Ankara
- Landau, H., Vollath, U., Chen, X., 2002, Virtual Reference Station Systems, Journal of Global Positioning System, Vol. 1, No. 2, 137-143, Kanada.
- Mekik, Ç., 2001, Gerçek Zamanlı Kinematik GPS, Seminer çalışması, ZKÜ, 11s, Zonguldak.
- Pektaş, F., 2010, Gerçek Zamanlı Ulusal ve Yerel Sabit GNSS Ağlarında Dayalı Kinematik Konumlama, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ FBE, İstanbul.
- Raquet, J., 1998, Development of a Method for Kinematic GPS Carrier-Phase Ambiguity Resolution Using Multiple Reference Receivers. PhD Thesis, UCGE 20116, University of Calgary.
- Wanninger, L., 2002, Virtual Reference Stations for Centimeter- Level Kinematic Positioning, Proceedings of ION GPS 2002, pp 1400-1407, Portland, Oregon, USA
- Yerci, M., 2002, Hatalar Bilgisi ve İstatistik, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yayın no: 6.
- Yıldırım, Ö., Salgın, Ö., Bakıcı, S., 2011, The Turkish CORS Network (TUSAGA- Aktif), FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures, 18-21 May 2011, Marrakech, Morocco,

