

Ağ RTK Ölçülerinin Tekrarlanabilirliği

Cevat İNAL¹, Sercan BÜLBÜL², Ömer YILDIRIM³

^{1,2} Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya

³ Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Tokat
cevat@selcuk.edu.tr, sbulbul@selcuk.edu.tr, omer.yildirim@gop.edu.tr

Geliş Tarihi:05.09.2014; Kabul Tarihi:04.11.2014

Özet

Günümüzde nokta konumlarının GPS/GNSS(Global Positioning System/Global Navigation Satellite Systems) ile gerçek zamanlı belirlenmesi genel olarak Klasik RTK(Real Time Kinematic) ya da Ağ RTK(CORS: Continuously Operating Reference Stations) ile yapılmaktadır. CORS ağını kuran ülkelerde ise Ağ RTK yöntemi tercih edilmektedir.

Anahtar kelimeler
GNSS; Klasik RTK; Ağ RTK; Hızlı statik yöntem

Bu çalışmada Ağ RTK ölçülerinin tekrarlanabilirliği test edilmiştir. Ölçmeler Selçuk Üniversitesi Kampüs alanında bulunan TUTGA(Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) SLCK noktasında farklı düzeltme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Seçilen düzeltme tekniklerinde ölçmeler üçer gün süre ile 10-14 saatleri arasında yapılmış, elde edilen koordinatların günlük değişimi ve bilinen koordinatlara yaklaşımı araştırılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde; gün içindeki koordinat farklarının seçilen düzeltme tekniğine göre farklılık gösterdiği, yükseklik yönündeki farkların x ve y yönündeki farkların yaklaşık 2 katı olduğu, gerçek değere en iyi yaklaşımı VRS tekniğinin gösterdiği, bütün düzeltme tekniklerinde elde edilen koordinatların bilinen koordinatlarla istatistikî anlamda uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Repeatable of Network RTK Measurement

Abstract

Nowadays, using GPS/GNSS with real time, determining of point positioning are generally made with Classic RTK(Real Time Kinematic) or Network RTK (CORS: Continuously Operating Reference Stations). Countries which set up CORS-Network prefer Network RTK method.

Keywords
GNSS; Classic RTK; Network RTK; Rapid Static Method

In this study, repeatability of Network RTK measurements was tested. The measurements were made in the SLCK point of TUTGA (Turkey's National Fundamental GPS Network) which located in the campus area of Selcuk University, using different correction techniques. In the selected correction techniques, for each correction technique, measurements were made for three days between 10:00 am – 14:00 pm times and for obtained coordinates, daily changes and its approach of known coordinates were investigated. In the evaluations: according to selected corrections techniques, coordinate differences in a day show differences, difference in the direction of height are two times bigger than difference in the direction of x and y, VRS technique gives the best results for real coordinates and it was concluded that the obtained coordinates for all correction techniques are statistically congruent with known coordinates.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1.GİRİŞ

Günümüzde GPS/GNSS teknolojisindeki gelişmeler nokta konumlarının gerçek zamanlı belirlenmesine imkan sağlamıştır. Bu kapsamda, başlangıçta, nokta konumlarını gerçek zamanlı cm mertebesinde belirleyen Klasik RTK yöntemi geliştirilmiştir(Arslanoğlu,2002). Sistematik hatalardan (atmosferik etkiler, yörünge hatası etkisi vb.) kaçınmak için referans istasyonu ile kullanıcı

arasındaki mesafe 10 km.'yi geçmemesi gerekmektedir. RTK GPS tekniği ile cm mertebesinde elde edilen doğruluk, pek çok haritacılık uygulamaları için yeterli olmaktadır (Rizos, 2002).

Klasik RTK yöntemindeki bu sınırlamalardan kaçınmak için birden çok sabit istasyon kurulması fikri ortaya atılmıştır (Raquet, 1998; Landau et al, 2002). 1990 lı yıllardan itibaren yüksek doğruluk

gerektiren jeodezik ölçülere katkı sağlaması amacıyla CORS sistemi uygulamaya konulmuştur (Rizos,2002; Yıldırım et al,2011). Bu fikrin uygulanması ve elde edilen deneyimlerden yararlanılması sonucunda sabit GPS/GNSS ağı (Ağ-RTK; Net-RTK) kavramı ortaya çıkmıştır. Ağ RTK GPS/GNSS teknolojisi geniş alanlarda, yüksek doğruluklu ve anlık konum belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Jansen, 2009). Ülkemizde de Mayıs 2009'da faaliyete geçen, 4 tanesi Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde olmak üzere, 146 istasyondan oluşan TUSAGA-Aktif(CORS-TR) istasyonları bulunmaktadır. 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 Selçuk Üniversitesi Kampüs alanında bulunan TUTGA SLCK noktasında farklı düzeltme teknikleri seçilerek nokta koordinatları belirlenmiş, belirlenen koordinatlar ortalama değerlerle ve noktanın bilinen koordinatlarıyla karşılaştırıp düzeltme tekniğinin nokta koordinatlarına etkisi araştırılmıştır.

2.AĞ RTK'DA KULLANILAN DÜZELTME TEKNİKLERİ

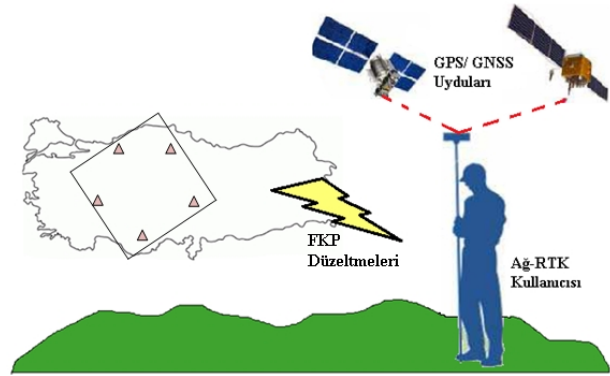
Aktif CORS modellemelerinde yaygın olarak FKP(Flachen Korrektur Parameter), VRS (Virtual Reference Stations), MAC(Master Auxliary Concept) teknikleri kullanılmaktadır (Wanninger, 2002).

2.1 FKP alan düzeltme tekniği

FKP, Alman SAPOS (SAteellite POSitioning) grubu tarafından gündeme getirilmiş bir yöntemdir (Kahveci, 2009). Bu yöntemde tüm CORS ağı kullanılarak her sabit istasyonda atmosferik düzeltmeler ve/veya taşıyıcı faz düzeltmeleri hesaplanmaktadır (Eren ve Uzel, 2008). Düzeltmeler gezici tarafından kullanılabilir. Bu yöntem de gezen alıcının yaklaşık konumunun bilinmesine gerek yoktur. Ayrıca kullanıcı sayısında da bir

kısıtlama söz konusu değildir. Bu yöntemde referans istasyonun verileri hesap merkezinde toplanır, analiz edilir. Bu merkezden gezen alıcılara tek yönlü iletişim vardır. Yayınlanan veriler referans verileri ile ağa ilişkin olarak modellenmiş iyonosferik düzeltme katsayılarıdır. Gezen alıcılar referans istasyon verilerini ve iyonosferik düzeltmeleri kullanarak RTK işlemini gerçekleştirir (Kahveci, 2009).

Gezici, ağ düzeltmesini sabit istasyonların birinden alır (Şekil.1) (Dabove et al, 2012). Çift yönlü haberleşme bu istasyonu merkez olarak belirler. Tek yönlü haberleşmede kullanıcı, kendisine yakın bir istasyonu kendi seçmek durumunda olduğundan, tek yönlü haberleşme hemen hemen kullanılmamaktadır. Yayın formatı RTCM(Radio Technical Commission for Marine) 2.3/3.0 dir.

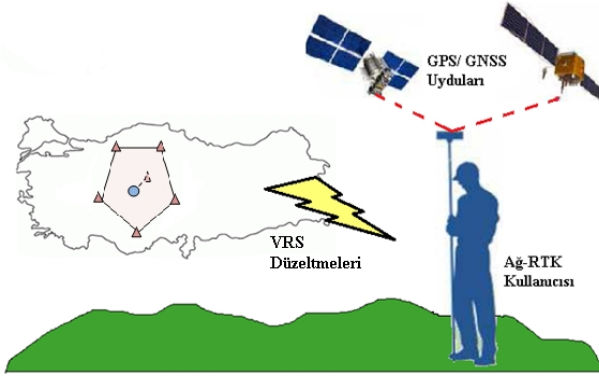


Şekil 1. FKP düzeltme tekniği

2.2 VRS tekniği

VRS yönteminde tüm ağdan oluşturulan düzeltmeler gezicinin hemen yakınında oluşturulan sanal bir istasyon üzerinden yayınlanmaktadır (Şekil.2) (Dabove et al, 2012). Bu sistemde, ağdaki herhangi bir referans istasyonunun çalışmasında sorun olsa bile ihtiyaç duyulan GNSS düzeltmeleri diğer istasyonun verilerinden yararlanılarak hesaplanabilmektedir. Ayrıca gezen alıcıların uydulara kilitlenme ve ölçüye başlama süreleri de kısalmaktadır (Kahveci, 2009). VRS uygulamasında ön koşul, CORS ağındaki kontrol merkezi ile gezici arasındaki iki yönlü iletişimdir. Bu teknikte gezici yaklaşık koordinatlarını kontrol merkezine göndermekte ve merkezde tüm ağ bilgilerini kullanarak söz konusu gezicinin konumu için VRS referans verilerini oluşturmaktadır (Eren ve Uzel,

2008). Yayın formatı RTCM2.3/3.0 dir.

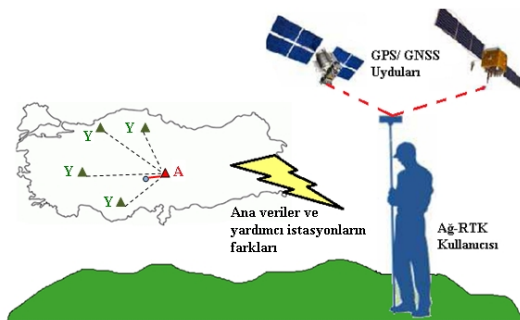


Δ: Referans İstasyonları, △: Sanal İstasyon, ○: gezen alıcı

Şekil 2. VRS tekniği

2.3 MAC düzeltme tekniği

Yöntem 2001’de Euler ve arkadaşları tarafında önerilmiştir (Euler et al, 2001). Yöntemin temel prensibi GNSS ağına ve gözlemlere ilişkin tüm hata bilgisinin paket halinde gezen alıcılara gönderilmesidir (Kahveci, 2009). MAC yönteminde, bir merkez referans İstasyonu (Master) ve onun “RTCM V3.1 Mesaj 1004” formatında tüm ham ölçü verileri ile diğer referans İstasyonlarının azaltılmış verileri birlikte kullanılmaktadır(Şekil.3) (Dabovet al, 2012). Ana İstasyonun gezen alıcılara en yakın İstasyon olması gerekmez. Önemli olan aynı uydulara gözlem yapılmış olmasıdır. Ana İstasyonun görevi düzeltmeleri yayınlamaktır. Herhangi bir nedenle ana İstasyondan veri alınamaması durumunda yardımcı referans İstasyonlarından biri bu görevi üstlenir(Kahveci, 2009). Yayın formatı RTCM 3.0/3.1 dir. Tüm modelleme gezici üzerinde yapıldığından gezici alıcı güçlü işlemciye sahip olmalıdır.



A: Ana referans İstasyonu, Y: yardımcı İstasyonlar,



:gezen alıcı

Şekil 3. MAC tekniği

3.TEST NOKTASINDA YAPILAN ÖLÇMELER VE DEĞERLENDİRME

Ağ RTK ölçülerinin tekrarlanabilirliğini test etmek amacıyla Selçuk Üniversitesi kampus alanı içinde bulunan L29-G002 numaralı TUTGA SLCK(2005.0) noktası ($y=456\ 583.3747$ (Sağa değer), $x=4\ 210\ 077.1212$ (Yukarı değer), $h=1204.2437$) seçilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. L29-G002 numaralı SLCK noktası

SLCK noktasında ölçüler; 26-28/03/2014 tarihlerinde FKP, 6-8/05/2014 tarihlerinde MAC ve 9-11/05/2014 tarihlerinde VRS düzeltme tekniği kullanılarak Javad Triumph GNSS alıcısıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan alıcının RTK ölçme doğruluğu yatayda $10\text{mm}+1\text{ppm}$, düşeyde $15\text{mm}+1\text{ppm}$ ’dir. Ölçmelerde 1sn kayıt aralığında 5 epok ölçü yapılmıştır. Uydu yükseklik açısı 10° alınarak ölçüler 10-14 saatleri arasında kayıt edilmiştir. Koordinatların karşılaştırılmasında gün içinde toplanan 1000 veri kullanılmıştır. Bu amaçla her çalışma günü için elde edilen koordinatların ve elipsoidal yüksekliklerin aritmetik ortalamaları ile ortalama hataları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda ölçü hataları (v_x, v_y, v_h);

$$x_{\text{ort}}=[x]/n, y_{\text{ort}}=[y]/n, h_{\text{ort}}=[h]/n \quad (1)$$

olmak üzere,

$$v_x=X_i-X_{\text{ort}}$$

$$v_y=Y_i-Y_{\text{ort}} \quad (2)$$

$$v_h = h_i - h_{ort}$$

eşitlikleri ile belirlenmiştir. Hesaplanan v_x , v_y , v_h hatalarının sıfıra yakın çıkması, artı farklarla eksi farkların sayıca ve büyüklük olarak birbirine yakın olması ölçülerin normal dağılımda olduğu şeklinde değerlendirilmektedir. Bir ölçünün standart sapmasının hesabında;

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[v_x v_x]}{n-1}}$$

$$m_y = \pm \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{n-1}} \quad (3)$$

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[v_h v_h]}{n-1}}$$

eşitlikleri kullanılmıştır. (2) ve (3) eşitliklerindeki;

x_i , y_i , h_i : i epogundaki koordinat ve elipsoidal yükseklik değerlerini

n : ölçü sayısını

göstermektedir. Ayrıca her gün ölçülen koordinat ve yüksekliklerin maksimum ve minimum değerleri arasındaki farklar (dx , dy , dh) hesaplanmıştır.

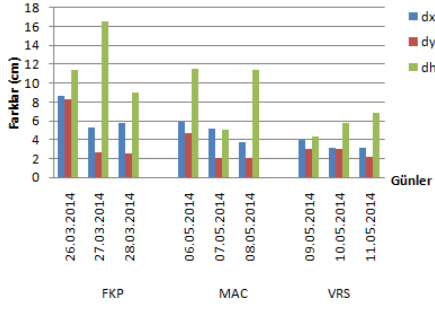
$$dx = x_{max} - x_{min}, dy = y_{max} - y_{min}, dh = h_{max} - h_{min} \quad (4)$$

Hesaplanan farklar, koordinat ortalamaları ve 5 epokluk ölçünün standart sapmasına ilişkin bilgiler Çizelge 1 de verilmektedir.

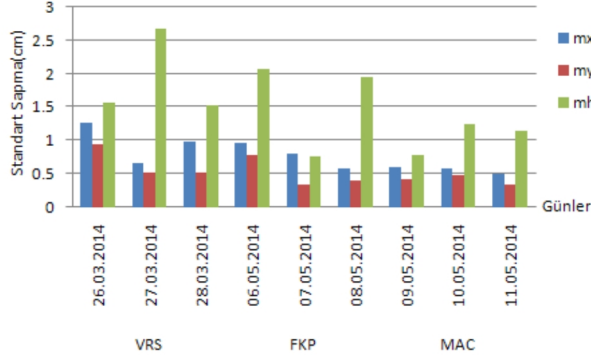
Çizelge 1. Koordinat farkları ve ortalama hatalar

Günler	Dzt. Tek.	Gün içindeki maksimum koordinat ve yükseklik farkları(cm)			5 epokluk ölçünün standart sapması(cm)			Koordinatlar (m)		
		dx	dy	dh	m_x	m_y	m_h	X_{ort}	Y_{ort}	h_{ort}
26.03.2014		8.6	8.3	11.4	1.26	0.95	1.57	4210077.1180	456583.3812	1204.1974
27.03.2014	FKP	5.3	2.7	16.6	0.67	0.53	2.68	.1255	.3695	.2331
28.03.2014		5.8	2.5	9.0	0.99	0.53	1.53	.1208	.3835	.2146
06.05.2014		5.9	4.7	11.5	0.96	0.78	2.07	.1120	.3889	.2327
07.05.2014	MAC	5.1	2.0	5.0	0.80	0.35	0.77	.1158	.3805	.2125
08.05.2014		3.7	2.1	11.4	0.58	0.40	1.95	.1194	.3856	.2333
09.05.2014		4.0	3.0	4.3	0.61	0.43	0.78	.1140	.3815	.2268
10.05.2014	VRS	3.1	3.0	5.8	0.58	0.48	1.25	.1135	.3763	.2035
11.05.2014		3.1	2.2	6.9	0.51	0.34	1.14	.1227	.3829	.2409

Kullanılan düzeltme tekniğine bağlı olarak hesaplanan $|dx|$, $|dy|$, $|dh|$ koordinat ve yükseklik farkları Şekil 5'de, hesaplanan standart sapmalar (m_x , m_y , m_h) ise Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 5. Koordinat ve yükseklik farklarının maksimum değerleri



Şekil 6. Düzeltme tekniğine bağlı olarak hesaplanan standart sapmalar

Test noktası koordinatları bilinen TUTGA noktası olduğu için bu noktanın bilinen koordinatları ile gün içinde yapılan 5 epokluk ölçüden elde edilen koordinat farklarının maksimum değerleri arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını test etmek için,

$$t_x = \frac{|d_x|}{m_x}, t_y = \frac{|d_y|}{m_y}, t_h = \frac{|d_h|}{m_h} \quad (5)$$

Çizelge 2. Koordinat ve yükseklik farkları için anlamlılık testi

Günler	Dzt. Tek.	Max. koord. ve yükseklik farkları (cm)			Karesel ortalama hatalar (cm)			Test büyüklüğü		
		dx	dy	dh	m_x	m_y	m_h	t_x	t_y	t_h
26.03.2014	FKP	5.2	4.4	9.6	1.84	1.63	6.92	2.72	2.70	1.39
27.03.2014		3.1	2.3	9.4	1.13	1.05	4.08	2.74	2.19	2.30
28.03.2014		3.8	1.9	7.4	1.40	1.45	4.65	2.71	1.31	1.59
06.05.2014	MAC	5.0	2.4	6.0	1.88	2.29	3.31	2.76	1.05	1.81
07.05.2014		3.8	1.0	7.0	1.37	0.95	4.54	2.77	1.05	1.54
08.05.2014		2.3	1.6	6.2	0.86	1.64	3.12	2.67	0.98	1.99
09.05.2014	VRS	3.6	1.7	5.0	1.33	1.14	2.64	2.71	1.49	1.89
10.05.2014		2.8	1.9	7.8	1.36	0.71	5.96	2.06	2.68	1.31
11.05.2014		2.0	1.6	3.7	0.76	1.26	1.65	2.63	1.27	2.24

test büyüklükleri hesaplanmıştır(Wolf ve Ghilani, 1997). (5) eşitliğine göre hesaplanan test büyüklükleri $t_{4,0.975}=2.776$ tablo değeri ile karşılaştırılmıştır.

(5) eşitliğindeki m_x, m_y, m_h karesel ortalama hata hesabında;

$$\epsilon_x = x_i - X$$

$$\epsilon_y = y_i - Y \quad (6)$$

$$\epsilon_h = h_i - h$$

olmak üzere

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[\epsilon_x \epsilon_x]}{n}}$$

$$m_y = \pm \sqrt{\frac{[\epsilon_y \epsilon_y]}{n}} \quad (7)$$

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[\epsilon_h \epsilon_h]}{n}}$$

eşitlikleri kullanılmıştır. (6) ve (7) eşitliklerindeki;

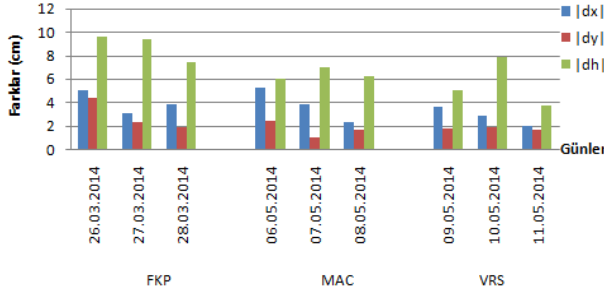
x_i, y_i, h_i : ölçü değerlerini

x, y, h : gerçek değerleri

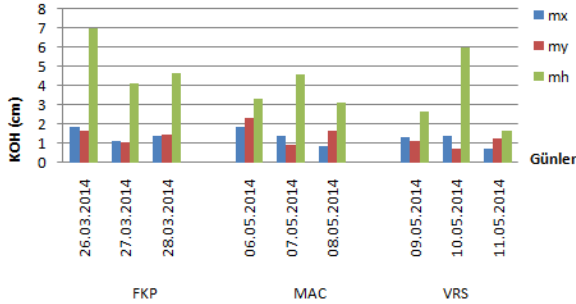
n : ölçü sayısını

göstermektedir. Koordinat ve yükseklik farklarının anlamlılık testi çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2' de görüldüğü gibi ölçü değerleri ile gerçek değer arasındaki maksimum dx, dy, dh koordinat farkları mutlak değer olarak hesaplanmış ve Şekil 7'de grafik olarak gösterilmiştir. Ayrıca her gün için hesaplanan karesel ortalama hatalarda Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Ölçü değerleri ile bilinen değerler arasındaki maksimum farklar



Şekil 8. Düzeltme tekniğine bağlı olarak gerçek değere göre hesaplanan karesel ortalama hatalar

4.SONUÇLAR

Ağ RTK ölçülerinin tekrarlanabilirliğini test etmek amacıyla L29-G002 numaralı TUTGA SLCK noktasında FKP, MAC, VRS düzeltme teknikleri kullanılarak 3'er gün süreyle bir saniye kayıt aralığı ve 10°'lik yükseklik açısında 10-14 saatleri arasında 5 epokluk ölçüler yapılmış ve kayıt edilmiştir. Gün içindeki ölçüler arasındaki maksimum farklar hesaplanmıştır. Çizelge 1 incelendiğinde en büyük farkların FKP tekniğinde, en küçük farkların ise VRS tekniğinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, Çizelge 2 incelendiğinde, günlük ölçüler ile TUTGA noktasının bilinen koordinat ve yükseklikleri arasındaki

maksimum farkların; FKP düzeltme tekniği için x ve y koordinatlarında 5.2 cm, h yüksekliğinde 9.6 cm'dir. Diğer düzeltme tekniklerinde bu farkların daha az olduğu görülmektedir. Çizelge 1 ve Çizelge 2 birlikte değerlendirildiğinde, gün içindeki koordinat farkları seçilen düzeltme tekniğine göre farklılık göstertmekte, gerçek değere en iyi yaklaşımı ise VRS tekniği vermektedir. Ayrıca farklı düzeltme teknikleri kullanılarak elde edilen koordinatlar bilinen koordinatlarla istatistiki anlamda uyum göstermektedir.

KAYNAKLAR

Arslanoğlu, M., 2002. *Gerçek Zamanlı Kinematik GPS'in Kent Bilgi Sistemlerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ FBE, Zonguldak.

Eren, K., Uzel, T., 2008. *Ulusal CORS Sisteminin Kurulması ve Datum Dönüşüm Projesi*, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.

Euler, H. J., Keenan, C. R., Zebhauser, B. E., Wibbena, G., 2001. *Study of a Simplified Approach in Utilizing Information From Permanent Reference Station Arrays*, Proceeding of ION GPS 2001, Salt Lake City, UT, 379,391.

Kahveci, M., 2009. *Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları*, Zepa Turizm Yayıncılık Ltd. Şti., Ankara.

Landau, H., Vollath, U., Chen, X., 2002. *Virtual Reference Station Systems*, Journal of Global Positioning System, Vol. 1, No. 2, 137-143, Kanada.

Jansen, V., 2009. *A Comparison of The VRS and MAC Principles for Network RTK*, IGSS Symposium, 1-3 December, Australia.

Dabove, P., Agostino, D., Manzano, A., 2012. *Achievable Positioning Accuracies in a Network of GNSS Reference Stations*, Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications, Prof. Shuanggen Jin (Ed.), ISBN: 978-953-307-843-4.

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.

Rizos, C., 2002. *Network RTK Research and Implementation –A Geodetic Perspective*, Journal of Global Positioning Systems, Vol.1, No.2:144-150.

Wanninger, L., 2002. *Virtual Reference Stations for Centimeter- Level Kinematic Positioning*, Proceedings of ION GPS 2002, pp 1400-1407, Portland, Oregon, USA

Wolf, P. R., Ghilani, C.D., 1997. *Adjustment Computations*, John Wiley & Sons, inc.

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,