

KALİBRASYON BAZINDA FARKLI YÖNTEMLERİN MESAFE ÖLÇME HASSASİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kutalmış GÜMÜŞ*

* Harita Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Üniversitesi, Niğde, Türkiye

Geliş / Received: 12.05.2016

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 24.06.2016

Kabul / Accepted: 24.06.2016

ÖZ

Bu makalede, bir EDM Kalibrasyon Bazında Klasik RTK, Network ve Statik GPS yöntemleri ile Uydu bazlı ölçümler ve Total Stationlar ile yersel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Network RTK yönteminde FKP, VRS ve MAC düzeltme yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, farklı ölçme yöntemleri ile elde edilen pilyeler arasındaki tüm mesafelerin, istatistiksel bir karşılaştırması yapılmıştır. Bu amaçla Varyans Analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Tek yönlü ANOVA testinde kullanılan ölçme yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu belirlenmiştir. Farklı ölçme yöntemlerine göre pilyeler arası mesafe karşılaştırmaları ile bulunan farklar ve standart sapmalar mm'den cm'ye değişmektedir. Statik GNSS ölçme yönteminden elde edilen standart sapmalar diğer ölçme yöntem ve donanımlarına göre bulunan sonuçlara göre daha iyidir. Mesafe ölçme hassasiyetlerine göre yöntemler Statik GNSS, Yersel ölçmeler, Klasik RTK, FKP, VRS ve MAC şeklinde sıralanmıştır. Yersel yöntemlerin mesafe ölçme hassasiyeti, Klasik RTK ve NRTK ölçme yöntemlerine göre, Klasik RTK yönteminin mesafe ölçme hassasiyeti ise farklı düzeltme yöntemleri ile elde edilen NRTK yöntemlerine göre daha iyidir. NRTK düzeltme yöntemlerinde en iyi mesafe ölçme hassasiyetini FKP düzeltme yöntemi vermiştir.

Anahtar Kelimeler: GNSS, NRTK, MAC, FKP, VRS, Total Station, hassasiyet

COMPARISON OF PRECISIONS OF THE DISTANCE MEASUREMENTS BY DIFFERENT METHODS ON CALIBRATION BASE

ABSTRACT

Satellite-based measurements have been performed on EDM Calibration Base by Classic GPS, Network RTK and Static GPS methods and terrestrial measurements have been conducted with Total Stations in this study. FKP, VRS and MAC correction methods were used in the Network RTK method. The objective of this study was to make statistical comparisons of distances obtained by using all combinations between different measurement methods. Analysis of Variance (ANOVA) was utilized for this purpose. It was determined that there was a statistically significant difference between the measuring methods used in the one-way ANOVA test. The differences and standard deviations obtained by the comparison of distances based on different measurement methods between benchmarks have been varied from mm to cm. The results obtained by the static GNSS surveying method are better than the standard deviations obtained by other methods of measurement and equipments when compared. The methods according to the distance measurement precision have been listed from the highest precision to low as Static GNSS, terrestrial surveying, classical RTK, FKP, VRS and MAC respectively. The distance measurement precision of Terrestrial measurement was found to be better than the

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 22 26; e-mail/e-posta: kgumus@nigde.edu.tr

K. GÜMÜŞ

classical RTK and NRTK measurement methods. The distance measurement precision of the classic RTK method was better than NRTK methods obtained by the different correction methods. In comparison, of NRTK correction methods in itself, the best results were obtained by FKP method.

Keywords: GNSS, NRTK, MAC, FKP, VRS, Total Station, precision

1. GİRİŞ

Modern teknolojideki gelişmeler sayesinde GNSS, klasik jeodezik ölçme yöntemlerine göre avantajlar sağlamıştır. Noktalar arası görüş ve yer seçiminde noktaların en yüksek yerlerde olması gibi zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Hava şartlarından bağımsız olarak 24 saat ölçüm yapılabilmektedir. GNSS Sistemleri, GNSS alıcıları ile bağıl ve mutlak konum belirleyebilen uydu sistemlerinden oluşmaktadır. Statik GNSS ölçme yöntemi, yüksek duyarlılık gerektiren uzun bazlar söz konusu olduğunda ve sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda en uygun ve en iyi yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu ölçme yönteminde, ölçüm noktaları arasındaki mesafeye ve istenilen doğruluğa göre iki veya daha fazla GNSS alıcısı ile eş zamanlı olarak belirli bir süre ölçüm yapmak gerekmektedir. Sadece bir GNSS alıcısı ile en az dört uyduya gözlem (faz ve kod) yapılarak alıcının konumu belirlenmektedir. Kinematik GPS ölçme yönteminde ise bir GNSS alıcısı bilinen bir noktaya sabit olarak kurulur. Gezici GNSS alıcısı ile tam sayı faz başlangıç belirsizliği çözümlene kadar, bilinen veya herhangi bir noktadan statik ölçüme devam edilir. Daha sonra diğer noktalarda veya gezicinin izlediği yol boyunca ölçüme devam edilerek noktaların konumu belirlenir. Bu yöntemde, GNSS gezici alıcısının en az 4 uydu bağlantısının ölçüm süresince kesilmemesi gerekir. Real Time Kinematik GNSS uygulamalarında, GNSS Sistemlerine etki eden hata kaynaklarının modellenmesi ile önemli gelişmeler sağlanmıştır. Klasik RTK uygulamaları ile yeni noktaların koordinatları anlık olarak hesaplanmaktadır. Burada, mesafeye bağıl artan bu hatalar nedeniyle referans alıcı ile gezici alıcı arasındaki mesafe 10 ile 15 km arasında olmaktadır [1, 2, 3]. Mesafeye bağıl sınırlamaları kaldırmak ve konum doğruluğunu artırmak için, sürekli statik ve gerçek zamanlı gözlem yapan GNSS Referans istasyonları faaliyete geçirilmiştir. Özellikle veri işleme algoritmaları ve Network-RTK tasarımları ile GNSS referans istasyonları, GNSS kullanıcılarına maliyet ve hız açısından önemli katkılar sağlamıştır. Bu Network RTK yaklaşımı ile VRS, FKP, MAC gibi düzeltme teknikleri kullanılarak çoklu referans istasyonlarından alınan bilgilere dayalı düzeltmeler hesaplanmakta ve gezici alıcıya gönderilmektedir [4-8]. Bu şekilde GNSS alıcılarının konumları, referans istasyonlarının gözlemleri ve düzeltme teknikleri kullanılarak bağıl konumlama tekniği ile cm mertebesinde belirlenmektedir [8, 9].

Özellikle Network RTK uygulamaları ile farklı düzeltme teknikleri kullanılarak gerçek zamanlı konum elde etmek harita uygulamalarında önemli yer tutmaktadır. Rizos [10], NRTK uygulamalarının jeodezik açıdan teorik ve pratik sorunlarını değerlendirmiştir. Grejner-Brzezinska ve ark. [11] tarafından yapılan çalışmada farklı stratejilerde NRTK düzeltme tekniklerinin doğruluğu araştırılmış ve yatayda 2 cm düşeyde ise 4 cm civarında doğruluğa ulaşılmıştır. Kun ve Yong [12], CORS uygulamalarından ve gelişmelerinden bahsetmiştir. Brown ve ark.[13] tarafından yapılan çalışmada farklı yönlerden MAC, VRS, FKP yöntemleri karşılaştırılmıştır. Eren ve ark.[14] Türkiye’de kurulan Tusaga Aktif (CORS-TR) projesini detaylı bir şekilde anlatmışlardır. Janssen ve ark. [15] tarafından, RTK GPS gözlemlerine dayalı kadastro çalışmalarındaki ölçme ve kontrol altyapısı için bir metodoloji sunulmuştur. Martin ve McGovern [16] tarafından İrlanda da yapılan Network RTK Ağının performansı test edilmiştir. Garrido ve ark. [17], İspanya’da bulunan iki aktif GNSS ağına NRTK yaklaşımında kullanılan VRS ve MAC düzeltme yöntemlerinden elde edilen sonuçları doğruluk ve duyarlılık açısından incelemişlerdir.

Ayrıca, uydu bazlı ölçme yöntemlerinin yansıra, daha fazla insan gücü gerektiren ve daha az maliyetli olan yersel ölçüm yöntemleri de arazi ölçümlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Günümüzde de yersel ölçümlerde Total Stationlar sıkça kullanılmaktadır. Bu ölçme aletleri ile günden güne daha duyarlı ölçümler yapılabilmektedir. Günümüzde, teknolojinin gelişmesiyle prizmalara ihtiyaç duymadan belli bir mesafeye kadar ölçüm yapabilen reflektörsüz Total Stationlar üretilmektedir. Jeodezik uygulamalarda, kullanıcıların karşılaştıkları problemlerin çözümüne yönelik çalışmalar devam etmektedir. Doğru ve duyarlı sonuçlar elde etmek için en uygun ölçme konfigürasyonunun seçilmesi gerekir. Farklı ölçme konfigürasyonlarında elde edilen uydu ve yersel ölçme yöntemlerinin istatistiksel açıdan değerlendirilmesi, elde edilen sonuçların yorumlanmasında önemli katkılar sağlayabilir.

Bu çalışmanın amacı, bir kalibrasyon bazında farklı ölçme konfigürasyonlarında elde edilen uydu ve yersel ölçme yöntemlerinin mesafe ölçme hassasiyetlerinin karşılaştırmasını yapmaktır. Özellikle yersel ve uydu bazlı teknikleri ve kullanılan donanımları karşılaştırabilmek için konum yerine mesafe seçilmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsünde kalibrasyon amacıyla kullanılan 6 adet pilye noktası üzerinde Klasik GPS, Network RTK (Real Time Kinematic), Statik GPS yöntemleri ile Uydu bazlı ölçümler ve hassas ölçme

KALİBRASYON BAZINDA FARKLI YÖNTEMLERİN MESAFE ÖLÇME HASSASİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

duyarlılığına sahip Total Stationlar ile yersel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Network RTK yönteminde FKP (The Flächen-Korrektur Parameter), VRS (Virtual Reference Station) ve MAC (Master Auxiliary Corrections) düzeltme yöntemleri kullanılmıştır. Uydu ve yersel yöntemlerden elde edilen pilye noktaları arası mesafeler, daha önceden hassas şekilde belirlenmiş kalibrasyonda kullanılan değerler ile karşılaştırılmıştır. Her yöntem için bulunan mesafeler, pilyelerin nokta koordinat farklarından hesaplanmıştır. Farklı ölçme yöntemlerine göre bulunan mesafelerin dengelenmiş değerleri ile kesin değer olarak kabul ettiğimiz mesafeler arasındaki farklar bulunarak, kullanılan ölçme yöntemlerinin mesafe doğruluğu (baz doğruluğu) araştırılmıştır. Varyans Analizi (ANOVA) bu amaçla kullanılmıştır. Farklı ölçme yöntemlerine ve donanımlarına göre elde edilen mesafe farkları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

RTK GPS ile yüksek doğruluğa erişebilmek için gezici alıcının referans istasyonuyla arasındaki mesafenin 15 km'yi geçmemesi gerekmektedir. Tek referans alıcısıyla yapılan RTK GPS'in mesafeye bağlı kısıtlamasını ortadan kaldırmak amacıyla Network RTK yöntemi ortaya çıkmıştır. Network RTK yöntemi de taşıyıcı faz gözlemlerini kullanan santimetre doğrulukla gerçek zamanlı konumlama yapabilen bir yöntemdir. Mesafeye bağlı sınırlamaları kaldırmak ve konum doğruluğunu artırmak için, sürekli statik ve gerçek zamanlı gözlem yapan GNSS Referans istasyonları faaliyete geçirilmiştir. Özellikle veri işleme algoritmaları ve Network-RTK tasarımları ile GNSS referans istasyonları, GNSS kullanıcılarına maliyet ve hız açısından önemli katkılar sağlamıştır.

NRTK Ağı kullanılarak elde edilen konumlama doğrulukları, referans noktalarının gezici alıcı etrafındaki dağılımına ve gezici alıcının referans noktalarına olan uzaklığına göre değişmektedir. Bu şekilde GNSS alıcılarının konumları, 35 km'ye kadar değişen gezici-referans noktalarının aralarındaki mesafelere göre, referans istasyonlarının gözlemleri ve düzeltme teknikleri kullanılarak bağlı konumlama tekniği ile yatayda $\pm 1-5$ cm düzeyde ise yatayın 1,5-2,0 katı daha büyük standart sapmalar ile belirlenmektedir [8, 9, 18].

VRS yöntemi, hareketli bir GNSS alıcısının konumu, çalışma bölgesini kaplayan referans istasyonları verilerini kullanarak oluşturulan sanal bir referans istasyonuna göre belirlenmektedir. Bu yöntemde, sistematik hatalar azalmakta, referans istasyona olan uzaklık artmakta ve başlangıç belirsizliğini çözme süresi kısalmaktadır. Gezici GNSS alıcısı, sanal referans istasyonu gözlemleri ve düzeltmeleri ile nokta konumları cm mertebesinde belirlemektedir [8, 9, 19, 20, 21]. FKP yönteminde ise, referans istasyonunun bulunduğu konum çevresindeki yüzeyler için düzeltme katsayıları hesaplanmakta ve kullanıcılara aktarılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan en basit yüzey, üç nokta arasında gerilmiş olan bir düzlemdir. Bu üç nokta arasındaki düzeltme parametreleri, Kuzey-Güney ve Doğu-Batı yönündeki eğim değerleri ile tanımlanmaktadır. Kullanıcının konumuna en yakın mesafede seçilen ana referans istasyonuna dayalı şekilde düzeltmeler hesaplanmaktadır [18, 22, 23]. MAC yönteminde ise, bir tane ana istasyon ve çok sayıda yardımcı istasyon ile gezici bir GNSS alıcısının konumunun belirlenmektedir. Kullanıcı konumu, kontrol merkezine gönderilmekte ve kullanıcının konumuna en yakın mesafede olan referans istasyonu ana referans istasyonu (MAC Master) olarak belirlenmektedir. Ana referans istasyonu ve yardımcı referans istasyonları kullanılarak ağı oluşturan noktalar kümelerine ayrılarak o bölge için düzeltmeler hesaplanmaktadır [13, 24, 25].

2.1. Çalışma Alanı ve Kalibrasyon Bazı Uygulamaları

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsünde Fen Edebiyat Fakültesi bahçesinde bulunan 300 m uzunluğundaki EDM Kalibrasyon bazında gerçekleştirilmiştir. Buradaki noktalar 1 numaralı referans pilyesinden sırasıyla 40, 120, 220, 280 ve 300 m uzaklıkta toplam 6 pilye noktasından oluşmaktadır (Şekil 1).

Bu 6 adet pilye arasındaki yatay mesafeler farklı GNSS ölçüm teknikleri ve farklı duyarlılıklara sahip yersel ölçüm aletleri (Total Station) ile belirlenmeye çalışılmıştır. Her ölçme yöntemi için Kalibrasyon bazındaki pilyeler arasındaki mesafeler, tüm kombinasyonları ile aşağıdaki Şekil 2'de belirtildiği gibi toplamda 15 yatay mesafe nokta koordinatlarından ya da direk ölçme yöntemine bağlı olarak belirlenmiştir.

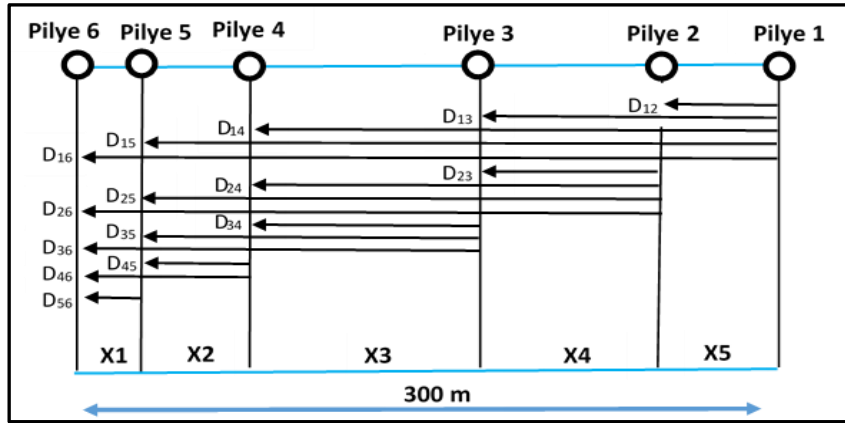
Bu çalışmada, NRTK uygulamalarında İstanbul ve çevresini kapsayan, aralarındaki mesafe ortalama 30-40 km civarında olan 8 adet referans istasyonu ile FKP, MAC ve VRS düzeltmeleri yayınlayan ISKI NRTK ağı kullanılmıştır [27]. Statik GNSS ve Klasik RTK uygulamaları için sabit nokta olarak, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa kampüsünde bulunan Uzel ve Erbudak noktaları kullanılmıştır. Bu noktaların kalibrasyon noktalarına olan uzaklıkları, ortalama 120 m ile 450 m arasında değişmektedir. Statik GNSS ölçümlerinde kayıt aralığı 10 sn ve uydu yükseklik açısı 10° olacak şekilde 2 farklı oturum gerçekleştirilmiştir. Her bir ortalama oturum süresi sabit noktalar ile ölçüm noktaları arasında mesafe çok yakın olduğundan 3 saat olacak şekilde eş zamanlı aynı ölçü zamanlarında GNSS ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Klasik RTK ve NRTK uygulamalarında ise mevcut

K. GÜMÜŞ

donanım yetersizliğinden dolayı (el bilgisayarı ve Gsm kartı) eş zamanlı ölçümler yapılamamıştır. Fakat ölçümlerin genelinde aynı uydu geometrisinden yararlanmak için birbirini takip eden ardışık ölçme günlerinde uygulamalar gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu ölçme teknikleri ile kalibrasyon baz uzunluklarını karşılaştırmak ve aynı hassasiyette veri toplamak için aynı ölçme parametreleri (yükseklik açısı, epok sayısı, yatay ve düşey tolerans sınırları, GPS ve GLONASS uyduları vb.) kullanılmıştır.



Şekil 1. 300 m uzunluğundaki EDM kalibrasyon bazındaki pilye noktaları [26]



Şekil 2. Pilyeler arasındaki tüm kombinasyonlar kullanılarak elde edilen mesafeler [26]

Statik GNSS, Klasik RTK ve düzeltme yöntemleri (VRS, FKP ve MAC) ile yapılan NRTK uygulamalarında Topcon HiperPro GNSS alıcısı kullanılmıştır (Şekil 3). Topcon HiperPro ile konum belirleme uygulamalarında yatayda 0,015 m, düşeyde ise 0,03 m tolerans sınırı değerleri tercih edilmiştir. GPS ve GLONASS uydu sistemlerinin her ikisi de kullanılmış ve multipath düzeltmesi uygulanmıştır. ISKI NRTK açısından farklı düzeltme yöntemleri ve Klasik RTK'dan elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Topcon Link 8.2.3 yazılımı kullanılmıştır. Klasik RTK için istenilen ölçme hassasiyetine ve NRTK için kullanılan düzeltme yöntemlerine (VRS, FKP ve MAC) göre epok sayısı 3 olacak şekilde her bir ölçüm noktası için ortalama 100 adet konum bilgisi elde edilmiştir. Ölçülerin tekrarlanma hassasiyetleri kontrol edilerek ortalama değerler hesaplanmıştır. Elde edilen konum bilgilerinin ortalama değerleri, pilyeler arası mesafeyi belirlemede, karşılaştırmalarda ve analizlerde kullanılmıştır. Statik GNSS uygulamalarında elde edilen verilerin değerlendirilmesinde noktalar arası baz uzunluklarının çok yakın olmasından dolayı GNSS Solution ticari yazılımı kullanılmıştır. Uydu bazlı ölçme yöntemleri ile gerçekleştirilen ölçümlerde DOP (Dilution of Precision) değerleri de incelenmiştir. DOP değerinin düşük olması, uydu geometrisinin kalitesini ve doğruluk değerinin iyi olduğunu göstermektedir. PDOP değeri, uydu geometrisinin yatay ve düşey koordinatlara etkisini, HDOP yatay koordinatlara etkisini, VDOP ise nokta yüksekliğine etkisini belirtir. Bu çalışmada, uydu bazlı ölçümlerde HDOP, VDOP ve PDOP ortalama değerleri sırasıyla 1,70, 2,03 ve 2,66 hesaplanmıştır. Ayrıca ölçümler sırasında görülen GPS ve GLONASS ortalama uydu sayıları sırasıyla 7 ve 4'tür. Bu sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde uydu bazlı ölçme yöntemlerine göre

KALİBRASYON BAZINDA FARKLI YÖNTEMLERİN MESAFE ÖLÇME HASSASİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Uydu geometrisinin iyi olduğu ve görülen uydu sayısının yeterli olduğu saptanmıştır.



Şekil 3. Pilye üzerinde Topcon HyperPro GNSS alıcısı

Günümüzde GNSS ölçümlerin yanı sıra klasik anlamda daha fazla insan gücü gerektiren ve daha az maliyetli olan yersel ölçüm yöntemleri, arazi ölçümlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Yersel ölçümlerde Total Stationlar ile günden güne daha duyarlı ölçümler yapılabilmektedir. Özellikle farklı jeodezik amaçlar için kullanılan farklı uydu ve yersel ölçümlerin mesafe ölçme hassasiyetleri açısından karşılaştırılmasını yapmak için, bu kalibrasyon bazındaki 6 adet pilye arasındaki Şekil 2’de belirtilen yatay mesafeler farklı ölçme duyarlılıklarına sahip yersel ölçüm aletleri (Total Station) ile de belirlenmiştir (Şekil 4). Yersel ölçümlerin gerçekleştiği açık alanlarda çevresel faktörlerin etkisine dikkat etmek gerekir. Özellikle sıcaklık, basınç ve nem gibi atmosferik veriler sürekli kontrol edilmelidir. Bu amaçla, Total Station ile elde edilen ölçülerin çevresel faktörlerden etkilenmemesi için, çalışma sırasında kayıt edilen atmosferik verilere bağlı olarak elde edilen mesafelere düzeltmeler getirilmiştir. Yersel ölçümlerde kullanılan farklı duyarlılıklara sahip Total Station ile pilyeler arasındaki mesafelerin her bir kombinasyonu 5 kere ölçülmüştür. Bu ölçülerin ortalama değerleri, uydu bazlı ölçümler ile karşılaştırmada ve analizlerde kullanılmıştır.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan farklı ölçme duyarlılıklara sahip Total Stationlar

2.2. Dengeleme ve Varyans Analizi İşlemleri

Karşılaştırma ve analiz yapmak için farklı GNSS ölçüm teknikleri ve farklı duyarlılıklara sahip yersel ölçüm aletleri (Total Station) ile Kalibrasyon bazındaki pilyeler arasındaki tüm kombinasyonlar kullanılarak elde edilen mesafeler, dolaylı ölçüler kullanılarak [26]’daki gibi dengelenmiştir. Kalibrasyon bazında ölçülen uzunluklar, 5 parça uzunluğunun bir fonksiyonu olarak yazılmıştır. Gözlemler vektörü (Di), katsayılar (dizayn) matrisi A ve bilinmeyenler vektörü X aşağıdaki matrislerle Eşitlik 1’deki gibi oluşturulmuştur [26].

K. GÜMÜŞ

$$\begin{array}{c}
 \left. \begin{array}{l}
 D_{5-6} \\
 D_{1-2} \\
 D_{4-5} \\
 D_{2-3} \\
 D_{4-6} \\
 D_{3-4} \\
 D_{1-3} \\
 D_{3-5} \\
 D_{3-6} \\
 D_{2-4} \\
 D_{1-4} \\
 D_{2-5} \\
 D_{2-6} \\
 D_{1-5} \\
 D_{1-6}
 \end{array} \right\} D_i =
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 A =
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left. \begin{array}{l}
 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \\
 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\
 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \\
 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \\
 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \\
 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \\
 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \\
 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \\
 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\
 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\
 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\
 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \\
 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\
 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \\
 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1
 \end{array} \right\}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 X =
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left. \begin{array}{l}
 X_1 \\
 X_2 \\
 X_3 \\
 X_4 \\
 X_5
 \end{array} \right\}
 \end{array}
 \quad (1)$$

En küçük kareler yöntemine göre, farklı GNSS ölçüm teknikleri ve farklı duyarlılıklara sahip yersel ölçüm aletleri ile Kalibrasyon bazındaki pilyeler arasındaki tüm kombinasyonlar kullanılarak elde edilen dengelenmiş mesafeleri bulmak için, Tablo 1'de verilen formüller kullanılmıştır. Dengeleme için yararlanılan Matlab yazılımında, her ölçme konfigürasyonunda dengelenmiş kenarları bulabilmek için aynı A matrisi kullanılmıştır.

Tablo 1. Dengelemede kullanılan eşitlikler

Adımlar	Formül	İfade
1.	$N=A^T \cdot A$	Normal Denklemler Matrisi
2.	$n=A^T \cdot D_i$	Sabit Terimler Vektörü
3.	$X=N^{-1} \cdot n$	Bilinmeyenler Vektörü
4.	$V_i=A \cdot X - D_i$	Düzeltilmeler Vektörü
5.	$\bar{D}_i = V_i + D_i$	Dengeli Ölçüler
6.	$\Delta D = \bar{D}_i - DD_i$	Mesafe Farkı

Bu kalibrasyon bazında uydu ve yer bazlı farklı ölçme yöntemlerinin mesafe doğruluklarının karşılaştırılmasında kullanılan ölçme yöntemlerinin doğruluğunu araştırmak için daha önceden [26]'da belirlenen aşağıdaki Tablo 2'de verilen tüm kombinasyonların mesafeleri, kesin değer olarak kabul edilmiştir. Bu mesafeler, hassas şekilde 1+1,5 ppm mesafe ölçme doğruluğu olan Leica TPS 1201 Total Station ile ölçülmüştür [26].

Tablo 2. Pilyeler arasındaki tüm kombinasyonlar için elde edilen kesin mesafeler (DDi) [26]

Mesafe (m)		Mesafe (m)		Mesafe (m)	
D₅₋₆	19,9258	D₃₋₄	100,0431	D₁₋₄	220,0000
D₁₋₂	39,9687	D₁₋₃	119,9569	D₂₋₅	240,0997
D₄₋₅	60,0684	D₃₋₅	160,1115	D₂₋₆	260,0255
D₂₋₃	79,9882	D₃₋₆	180,0313	D₁₋₅	280,0684
D₄₋₆	79,9942	D₂₋₄	180,0373	D₁₋₆	299,9942

Bu Kalibrasyon bazındaki pilyeler arasındaki tüm kombinasyonlar, uydu ve yer bazlı farklı ölçme yöntemlerine göre dengelenerek belirlenmiştir. Farklı ölçme yöntemlerine göre bulunan mesafeler ile kesin değer olarak kabul ettiğimiz mesafeler arasındaki farklar bulunarak, kullanılan ölçme yöntemlerinin doğruluğu araştırılmıştır. Bu amaçla varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Farklı ölçme yöntemlerine ve donanımlarına

KALİBRASYON BAZINDA FARKLI YÖNTEMLERİN MESAFE ÖLÇME HASSASİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

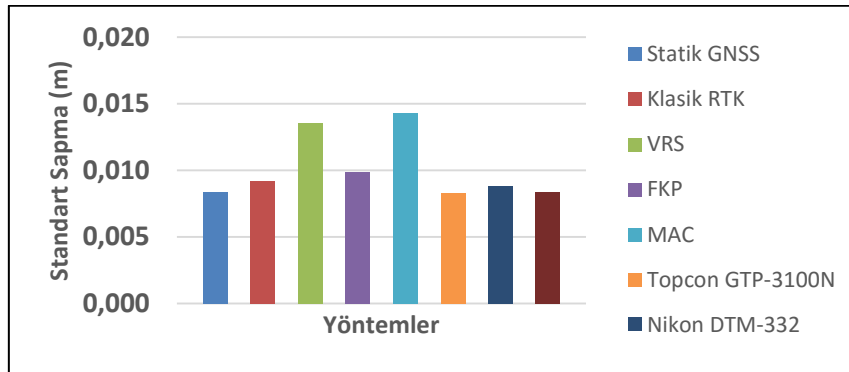
göre elde edilen mesafe farkları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Varyans analizi, ikiden fazla ortalama arasında fark olup olmadığını belirlemek için İstatistiksel analizlerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada SPSS Yazılımı, varyans analizini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Varyans analizi yapılmadan önce test edilecek verilerin normal dağılımlı ve grup varyanslarının homojen olup olmadığını belirlenmesi gerekir. Analiz sonrası elde edilen ANOVA tablosu, uygulamada kullanılan grupların (farklı ölçme yöntemlerinin) ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını göstermektedir. Eğer gruplar arasında bir fark bulunmuşsa, Post Hoc testleri bu farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını belirlemede kullanılmaktadır. Bu amaçla, genellikle varyans homojenliği sağlanmışsa Tukey testi, varyans homojenliği sağlanmamışsa Tamhane's T2 testi genel olarak kullanılmaktadır [28, 29]. SPSS yazılımında, F'nin % 95 anlamlılık düzeyindeki tablo değeri olarak p değeri kullanılmaktadır. P değeri 0,05'ten küçükse hipotez reddedilmekte ve gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu söylenmektedir. Gruplar arasında bir farkın olup olmadığını belirlemek içinde ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır [30,31]. Ayrıca SPSS bağımlı değişkenlere göre alt gruplar oluşturmaktadır. Bu alt gruplar değişkenlerin aynı veya farklı özellik gösterip göstermediğine göre belirlenmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Uydu ve yer bazlı farklı ölçme yöntemlerine göre dengelenerek elde edilen pilyeler arasındaki tüm kombinasyonlar ile kesin değer olarak kabul ettiğimiz mesafeler arasındaki farklar bulunmuştur. Bu şekilde farklı ölçme yöntemine göre bulunan pilyeler arasındaki mesafeler karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklar, pilyeler arasındaki mesafelerin farklı ölçme yöntemlerine göre hangi hassasiyette elde edildiği göstermekte kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre farklı ölçme yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için istatistiksel analizler yapılmıştır. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini araştırmak için varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, pilyeler arasındaki mesafeleri belirlemede kullanılan uydu ve yer bazlı farklı ölçme yöntemlerinin performansını belirlemek için hesaplanan farkların istatistiksel değerleri Tablo 3'te, bu farklardan bulunan standart sapmalar ise Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 3. Farklı ölçme yöntemlerine göre hesaplanan farkların istatistiksel değerleri (m)

Yöntem		Minimum	Maksimum	Ortalama	Mutlak Ortalama	Güven Aralığı (% 95)	
						Alt Sınır	Üst Sınır
Statik GNSS		-0,0162	0,0106	-0,0006	0,0069	-0,0053	0,004
Klasik RTK		-0,0116	0,0224	0,0075	0,0089	0,0024	0,0126
NRTK	VRS	-0,0226	0,0300	0,0070	0,0114	-0,0005	0,0145
	FKP	-0,0214	0,0087	-0,0086	0,0101	-0,0141	-0,0031
	MAC	-0,0273	0,0211	-0,0074	0,0131	-0,0153	0,0006
Yersel	Topcon GTP-3100N	-0,0107	0,0195	0,0061	0,0075	0,0015	0,0107
	Nikon DTM-332	-0,0117	0,0215	0,0067	0,0093	0,0018	0,0116
	Pentax R205-NE	-0,0137	0,0185	0,0039	0,0083	-0,0007	0,0086

**Şekil 5.** Farklı ölçme yöntemlerine göre hesaplanan standart sapmalar (m)

K. GÜMÜŞ

Farklı ölçme yöntemlerine göre hesaplanan Standart Sapmalar ve farklar genel olarak değerlendirildiğinde Uydu ve yer bazlı farklı ölçme yöntemlerin sonuçlar üzerindeki etkisi görülmektedir. Elde edilen farklar incelendiğinde cm'lerden mm'ye değişen sapmalar elde edilmiştir. Farklı ölçme yöntemlerine göre elde edilen sonuçların doğruluğu değişmektedir. Statik GNSS ölçme yönteminden elde edilen sonuçlar diğer ölçme yöntem ve donanımlarına göre bulunan sonuçlara göre daha iyidir. Farklı uzunluk ve açı ölçme doğruluklarına sahip farklı marka Total Stationlar ile elde edilen yersel ölçme sonuçları, Klasik RTK ve NRTK ölçme yöntemlerine göre daha iyi bulunmuştur. Klasik RTK yöntemi ise farklı düzeltme yöntemleri (VRS, FKP, MAC) ile elde edilen NRTK yöntemlerine göre daha iyidir. NRTK düzeltme yöntemlerinin kendi içinde karşılaştırılmasında, en iyi sonucu FKP yöntemi vermiştir. VRS yönteminden elde edilen pilyeler arasındaki mesafelerin doğruluğu ise MAC düzeltme yöntemine göre daha iyidir.

Bu makalede, varyans analiz için kesin değere göre farklı ölçme yöntemleri ile elde edilen pilyeler arası mesafe farkları bağımlı değişken, uydu ve yersel ölçme yöntemleri ise bağımsız değişken olarak kabul edilmiştir. Bu değişkenlerin mesafe doğruluğu üzerine etkilerini ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için Tek yönlü ANOVA gerçekleştirilmiştir. Bu bağımsız değişkenlere göre elde edilen pilyeler arasındaki mesafe farkları bağımsız değişkenlere ve alt kümelerine göre gruplandırılmıştır. Varyans analizinde test edilecek grupların varyanslarının homojen olup olmadığı istatistiksel olarak belirlenmesi gerekir. Genel olarak varyans analizinde, gruplar arasında farklılığın olduğuna karar vermemiz açısından ikili karşılaştırmalarda varyans homojenliği sağlanmışsa Tukey testi ile varyans homojenliği sağlanmamışsa Tamhane's T2 testi kullanılmaktadır. Aşağıda verilen Tablo 4'de Varyansların homojenliği testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4. Farklı ölçme yöntemleri için varyans homejenliği testi

Varyans Homojenlik Testi				
Değişken	Levene Statistic	df1	df2	p
Yöntemler (Mesafe Farkları)	1,139	7	112	0,344

Bu tabloya göre hangi gruplar arasında farklılığın olduğuna karar vermede farklı ölçme yöntemlerine göre elde edilen sonuçlarda varyans homojenliği sağlandığından ikili karşılaştırmalarda Tukey testi kullanılmıştır. Aşağıda verilen Tablo 5'deki ANOVA tablosunda, bağımsız değişken olarak tanımlanan farklı ölçme yöntemleri arasında istatistiksel olarak bir farklılığın olup olmadığı test edilmektedir. Bu tabloda verilen p değeri 0,05'ten küçük olduğundan farklı ölçme yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Farklı ölçme yöntemlerine göre gerçekleştirilen ANOVA değerleri

Bağımlı Değişken: Mesafe Farkları			ANOVA			
Bağımsız Değişkenler	Değişimin Kaynağı	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F	p
Yöntemler	Gruplar Arası	0,005	7	0,001	6,115	0,000
	Gruplar İçi	0,012	112	0,000		
	Toplam	0,017	119			
df: Serbestlik derecesi			İstatistiksel bir fark vardır			

Pilyeler arasındaki mesafeleri belirlemek üzere kullanılan uydu ve yersel ölçme yöntemlerinin hangisi arasında fark olduğunu belirlemek için Post Hoc Testi uygulanmıştır. Ölçme yöntemleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak yöntemler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmiştir. Tablo 6'da verilen ikili karşılaştırmalar, ölçme yöntemlerinin istatistiksel açıdan değerlendirilmesinde katkı sağlamaktadır.

Tablo 6 incelendiğinde farklı ölçme yöntemlerine göre oluşturulan grup ortalamalarının ikili karşılaştırmalarında bazı ölçme yöntemlerinin diğerlerine göre istatistiksel olarak farklı özellik gösterdiği belirlenmiştir. Pilyeler arası mesafeler karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların doğruluğunun değiştiği görülmektedir. İkili karşılaştırmalarda ölçme yöntemine göre oluşturulan gruplar arasında mm'lerden cm'ye kadar değişen farklar bulunmuştur. Genel olarak Statik GNSS'den elde edilen pilyeler arası mesafe ortalaması ile diğer ölçme yöntemlerinin grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir.

KALİBRASYON BAZINDA FARKLI YÖNTEMLERİN MESAFE ÖLÇME HASSASİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

FKP düzeltme yönteminden elde edilen grup ortalaması VRS ve MAC yöntemlerine göre istatistiksel olarak farklılık göstermektedir. Genel olarak bakıldığında Yersel ölçüler sonucu elde edilen grup ortalamaları ile VRS ve MAC düzeltme yöntemleri arasında istatistiksel olarak farklılık olduğu görülmektedir. Klasik RTK yönteminden elde edilen grup ortalaması ise yine VRS ve MAC düzeltme yöntemlere istatistiksel olarak farklılık göstermektedir. Ayrıca SPSS yazılımı ile farklı ölçme yöntemlerinden elde edilen pilyeler arasındaki mesafe farklarına göre yani bağımlı değişkenlere göre alt gruplar oluşturulmuştur. Bu alt gruplar ölçme yöntemlerine göre elde edilen mesafe farklarının aynı veya farklı özellik gösterip göstermediğine göre belirlenmiştir (Tablo 7).

Pilyeler arasındaki tüm kombinasyonlu mesafeleri belirlemek için kullanılan farklı ölçme yöntemlerinden elde edilen mesafe farkları arasındaki aynı veya farklı özellik gösterip göstermediği incelendiğinde, 2 farklı alt grup oluşturulmuştur. Bu alt gruplarda Statik GNSS ortak alt grup olarak yer almaktadır. NRTK uygulamalarında kullanılan VRS ve MAC yönteminden benzer sonuçlar elde edilirken, FKP düzeltme yöntemleri diğer düzeltme yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Yersel ölçmelerle elde edilen farklı özelliklere sahip Total Stationlar ile elde edilen sonuçlar, Klasik RTK, VRS düzeltme yöntemi ve Statik GNSS'den elde edilen sonuçlar ile benzer özellik göstermektedir.

Tablo 6. Farklı ölçme yöntemleri için ikili karşılaştırmalar (m) - (Tukey-HSD)

Bağımsız Değişken: Yöntemler				İkili Karşılaştırmalar			
Yöntem (I)	Yöntem (J)	Ort. Fark (I-J)	P	Yöntem (I)	Yöntem (J)	Ort. Fark (I-J)	P
Statik GNSS	FKP	-0,008	0,470	FKP	Statik GNSS	0,008	0,470
	VRS	0,008	0,415		VRS	0,016	0,002
	MAC	0,007	0,633		MAC	0,014	0,005
	Klasik RTK	-0,008	0,384		Klasik RTK	-0,001	1,000
	Topcon	-0,007	0,625		Topcon	0,001	1,000
	Nikon	-0,007	0,530		Nikon	0,000	1,000
	Pentax	-0,005	0,927		Pentax	0,003	0,992
VRS	Statik GNSS	-0,008	0,415	MAC	Statik GNSS	-0,007	0,633
	FKP	-0,016	0,002		FKP	-0,014	0,005
	MAC	-0,001	1,000		VRS	0,001	1,000
	Klasik RTK	-0,016	0,001		Klasik RTK	-0,015	0,003
	Topcon	-0,015	0,004		Topcon	-0,014	0,012
	Nikon	-0,015	0,002		Nikon	-0,014	0,007
	Pentax	-0,013	0,026		Pentax	-0,011	0,034
Klasik RTK	Statik GNSS	0,008	0,384	Topcon	Statik GNSS	0,007	0,625
	FKP	0,001	1,000		FKP	-0,001	1,000
	VRS	0,016	0,001		VRS	0,015	0,004
	MAC	0,015	0,003		MAC	0,014	0,012
	Topcon	0,001	1,000		Klasik RTK	-0,001	1,000
	Nikon	0,001	1,000		Nikon	-0,001	1,000
	Pentax	0,004	0,980		Pentax	0,002	0,999
Nikon	Statik GNSS	0,007	0,530	Pentax	Statik GNSS	0,005	0,927
	FKP	0,000	1,000		FKP	-0,003	0,992
	VRS	0,015	0,002		VRS	0,013	0,026
	MAC	0,014	0,007		MAC	0,011	0,034
	Klasik RTK	-0,001	1,000		Klasik RTK	-0,004	0,980
	Topcon	0,001	1,000		Topcon	-0,002	0,999
	Pentax	0,003	0,996		Nikon	-0,003	0,996

İstatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Tablo 7. Farklı ölçme yöntemleri arasındaki alt gruplar

Mesafe Farkları (Tukey HSD)		
Yöntem	Alt Gruplar (ALPHA=0,05)	
	1	2
FKP	-0,009	
MAC	-0,007	
Statik GNSS	-0,001	-0,001
Pentax R205-NE		0,004
Topcon GTP-3100N		0,006
Nikon DTM-332		0,007
VRS		0,007
Klasik RTK		0,008
p	0,415	0,384

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Klasik GPS, Network RTK Statik GPS yöntemleri ile uydu bazlı ölçümler ve hassas ölçme duyarlılığına sahip Total Stationlar ile yersel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Uydu ve yersel yöntemlerden elde edilen pilye noktalarının konumları ve noktalar arası mesafeler, daha önceden hassas şekilde belirlenmiş kalibrasyonda kullanılan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Farklı ölçme yöntemlerine göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde, uydu ve yer bazlı farklı ölçme yöntemlerinin sonuçlar üzerindeki doğruluğa etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Elde edilen farklar, mm'lerden cm'ye değişmektedir. Statik GNSS ölçme yönteminden elde edilen sonuçlar diğer ölçme yöntem ve donanımlarına göre bulunan sonuçlara göre daha iyidir. Farklı ölçme doğruluğuna sahip Total Stationlar ile elde edilen yersel ölçme sonuçları, Klasik RTK ve NRTK ölçme yöntemlerine göre daha iyi bulunmuştur. Klasik RTK yöntemi ise farklı düzeltme yöntemleri (VRS, FKP, MAC) ile elde edilen NRTK yöntemlerine göre daha iyidir. Bu durum, sabit noktanın konumunun ölçüm noktalarına yakın oluşundan kaynaklanmış olabilir. NRTK düzeltme yöntemlerinin kendi içinde karşılaştırılmasında, en iyi sonucu FKP yöntemi vermiştir. VRS yönteminden elde edilen pilyeler arasındaki mesafelerin doğruluğu ise MAC düzeltme yöntemine göre daha iyidir. Düzeltme yöntemlerinden elde edilen sonuçların farklılığı, İSKİ NRTK ağına göre ölçüm noktalarının konumundan, farklı uydu konfigürasyonları ve atmosferik koşullardan kaynaklanmış olabilir.

Farklı ölçme yöntemlerinin mesafe doğruluğu üzerine etkilerini ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için gerçekleştirilen tek yönlü ANOVA testinde, kullanılan ölçme yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemlere göre oluşturulan grup ortalamalarının ikili karşılaştırılmalarında bazı ölçme yöntemlerinin diğerlerine göre istatistiksel olarak farklı özellik gösterdiği belirlenmiştir. Genel olarak Statik GNSS'den elde edilen pilyeler arası mesafe ortalaması ile diğer ölçme yöntemlerinin grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. FKP düzeltme yönteminden elde edilen grup ortalaması VRS ve MAC yöntemlerine göre istatistiksel olarak farklılık göstermektedir. Genel olarak bakıldığında Yersel ölçüler sonucu elde edilen grup ortalamaları ile VRS ve MAC düzeltme yöntemleri arasında istatistiksel olarak farklılık olduğu görülmektedir. Klasik RTK yönteminden elde edilen grup ortalaması ise yine VRS ve MAC düzeltme yöntemlerine göre istatistiksel olarak farklılık göstermektedir. Farklı ölçme yöntemlerinden elde edilen mesafe farkları arasındaki aynı veya farklı özellik gösterip göstermediği incelendiğinde, Statik GNSS ortak alt grup olarak yer almaktadır. VRS ve MAC yönteminden benzer sonuçlar elde edilirken, FKP düzeltme yöntemleri diğer düzeltme yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Yersel ölçmelerle elde edilen sonuçlar, Klasik RTK, VRS düzeltme yöntemi ve Statik GNSS'den elde edilen sonuçlar ile benzer özellik gösterdiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya katkılarından dolayı öğrencilerime, Prof. Dr. Halil ERKAYA'ya, YTÜ EDM Kalibrasyon bazının kurulmasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Engin GÜLAL'a, Arş. Gör. M. Gizem KISAAĞA'ya ve NRTK uygulamaları içinde İSKİ Harita Müdürlüğüne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] GAO, Y., LI, Z., MCLELLAN, J.F., “Carrier Phase Based Regional Area Differential GPS for Decimetre-Level Positioning and Navigation”, Proc. 10th Int. Tech. Meeting, Satellite Division, US Inst. Navigation, 1305-1313, Kansas City, MO, USA, 1997.
- [2] HAN, S.W., Carrier Phase-based Long-range GPS Kinematic Positioning, PhD Dissertation, School of Geomatics Engineering, The University of New South Wales, Sydney, 1997.
- [3] COLOMBO, O.L., HERNANDEZ-PAJARES, M., JUAN, J.M., SANZ, J., TALAYA, J., “Resolving carrier phase ambiguities on the fly, at more than 100 km from nearest reference site, with the help of ionospheric tomography”, ION GPS’99 Proceedings, 1999.
- [4] RAQUET, J., “Development of a Method for Kinematic GPS Carrier-Phase Ambiguity Resolution Using Multiple Reference Receivers”, PhD Thesis, University of Calgary, Calgary, Canada, 1998.
- [5] CHEN, X.M., HAN, S.W., RIZOS, C., GOH, P.C., “Improving Real-Time Positioning Efficiency Using the Singapore Integrated Multiple Reference Station Network (SIMRSN)”, Proc. 13th Int. Tech. Meeting, Satellite Division, US Inst. Navigation, 9-16, Salt Lake City, UT, USA, 2000.
- [6] DAI, L., HAN, S.W., WANG, J.L., RIZOS, C., “A Study on GPS/GLONASS Multiple Reference Station Technique for Precise Real Time Carrier Phase-Based Positioning”, Proc. 14th Int. Tech. Meeting, Satellite Division, US Inst. Navigation, 392-403, Salt Lake City, UT, USA, 2001.
- [7] CANNON, M.E., LACHAPPELLE, G., FORTES, L.P., ALVES, P., TOWNSEND, B., “The Use of Multiple Reference Station VRS for Precise Kinematic Positioning”, Proc. Japan Institute of Navigation, GPS Symposium, 29-37, Tokyo, Japan, 2001.
- [8] WANNINGER, L., “Virtual Reference Stations for Centimetre Level Kinematic Positioning”, Proc. of ION GPS (02), 1400-1407, Portland, Oregon, USA, 2002.
- [9] LANDAU, H., VOLLATH, U., CHEN, X., “Virtual Reference Station Systems”, Journal of Global Positioning Systems, 1, 137-143, 2002.
- [10] RIZOS, C., “Network RTK Research and Implementation - A Geodetic Perspective”, Journal of Global Positioning Systems, 1, 144-150, 2002.
- [11] GREJNER-BRZEZINSKA, D.A., KASHANI, I., WIELGOSZ, P., “On Accuracy and Reliability of Instantaneous Network RTK as a Function of Network Geometry, Station Separation, and Data Processing Strategy”, GPS Solutions, 93, 179-193, 2005.
- [12] KUN, S., YONG, W., “The Development and Application of CORS Technology and Its Value in the Solution for Environment Protect In the GMS”, GMSARN International Journal, 1, 69-74, 2007.
- [13] BROWN, N., GEISLER, I., TROYER, L., “RTK Rover Performance Using the Master Auxiliary Concept”, Journal of Global Positioning Systems, 5, 135-144, 2006.
- [14] EREN, K., UZEL, T., GULAL, V.E., YILDIRIM, O., CINGOZ, A., “Results from a Comprehensive Global Navigation Satellite System Test in the CORS-TR Network: Case Study”, Journal of Surveying Engineering, 135, 10-18, 2009.
- [15] JANSSEN, V., GRINTER, T., ROBERTS, C., “Can RTK GPS be Used to Improve Cadastral Infrastructure?”, Engineering Journal, 15, 43- 54, 2011.
- [16] MARTIN, A., MCGOVERN, E., “An Evaluation of the Performance of Network RTK GNSS Services in Ireland”, International Federation of Surveyors (FIG) Working Week, 1-19, Rome, Italy, 2012.
- [17] GARRIDO, M.S., GIME’NEZ, E., LACY, M.C., GIL, A.J., “Testing Precise Positioning using RTK and NRTK Corrections Provided by MAC and VRS Approaches in SE Spain”, Journal of Spatial Science, 56, 169- 184, 2011.
- [18] WUBENNA, G., BAGGE, A., SCHMITZ, M., “Network Based Techniques for RTK Applications”, In Proc. GPS JIN 2001, GPS Society, Japan Institute of Navigation, 53-65, Tokyo, Japan, 2001.
- [19] VOLLATH, U., BUECHERL, A., LANDAU, H., “Long Range RTK Positioning Using Virtual Reference Stations”, In Proc. Institute of Navigation National GPS, 1143-1147, Salt Lake City, Utah, USA, 2000.
- [20] VOLLATH, U., BUECHERL, A., LANDAU, H., PAGELS, C., WAGNER, B., “Multi Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations”, In Proc. Institute of Navigation National GPS, 123-131, Salt Lake City, Utah, USA, 2000.
- [21] WEI, E., CHAI, H., AN, Z., “VRS: Virtual Observations Generation Algorithm”, Journal of Global Positioning Systems, 5, 76-81, 2006.
- [22] WUBENNA, G., BAGGE, A., SEEBER, G., VOLKER, B., HANKEMEIER, P., “Reducing Distance Dependent Errors for Real Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks”, In Proc. Institute of Navigation National GPS, Vol 2, 1845-1852, Kansas, USA, 1996.
- [23] PARK, B., KEE, C., “The Compact Network RTK Method: An Effective Solution to Reduce GNSS Temporal and Spatial Decorrelation Error”, Journal of Navigation, 63, 343-362, 2010.

K. GÜMÜŞ

- [24] EULER, H.J., KEENAN, C.R., ZEBHAUSER, B.E., WUBENNA, G., “Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays”, Proceedings of ION GPS-01, 379-391, Salt Lake City, Utah, USA, 2001.
- [25] LEICA GEOSYSTEMS, “Networked Reference Stations: Take it to the MAX”, White Paper, Heerbrugg, Switzerland, 2005.
- [26] GÜLAL, V.E., HOŞBAŞ R.G., AYKUT N.O., OKU, G., “Mühendislik Ölçmeleri Uygulaması, Uygulama-1, Elektronik Aletlerin Kalibrasyonu Föyü, Elektronik Uzunluk Ölçerin Sıfır Noktası Hatasının Belirlenmesi”, YTÜ Harita Mühendisliği, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul, 2016.
- [27] <http://ukbs.iski.gov.tr/> (15.03.2016)
- [28] TUKEY, J.W., “Comparing individual means in the analysis of variance”, Biometrics, 5, 99-114, 1949.
- [29] [29] SPARKS, J.N., “Expository Notes on the Problem of Making Multiple Comparisons in a Completely Randomized Design”, The Journal of Experimental Education, 31, 343-349, 1963.
- [30] ELLIOTT, A.C., WOODWARD, W.A., Statistical Analysis Quick Reference Guidebook with SPSS Examples, Sage, Thousand Oaks, CA, USA, 2007.
- [31] KALAYCI, Ş., SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri (5. Baskı), Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, Türkiye, 2010.