

## Sürekli gözlem yapan referans istasyonları kullanılarak yapılaşmış ve ağaçlık bölgelerdeki konum belirlemenin doğruluk analizi

Atınc Pırtı\*<sup>1</sup>, Zümrüt Kurtulgu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Muğla, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Gerçek Zamanlı Kinematik  
GPS  
GLONASS  
Z-Blade Teknolojisi  
Sanal Referans İstasyonu  
Lineer Alan Düzeltme Tekniği  
Statik  
Elektronik Uzaklık Ölçer  
Doğruluk

### ÖZ

Günümüzde konum belirleme denilince akla gelen ve uzaydan aktarılan sinyalleri kullanarak işlenmesinde ve analiz edilmesinde yardımcı olan Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) + Küresel Uydu Konumlandırma Sistemi (GLONASS)+GALILEO Konumlandırma Sistemi ve diğer uydu sistemleri sayesinde konumlandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Uzaydaki uydu tabanlı sistemlerin artması ile daha hassas ve doğruluğu yüksek konumlandırma yapılabilmektedir. Ayrıca sürekli gözlem yapan referans istasyonları (CORS) ile birlikte de konum belirleme işlemleri ekonomik, hızlı, anlık ve cm mertebesinde doğrulukla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, uygulama bölgesindeki ağaçlık alanda iki nokta, yapılaşmış alanda iki nokta ve diğer bölgede iki nokta (hem ağaçlık alandan hem de yapılaşmış alandan biraz uzaktaki bölgelerde) olmak üzere toplam 6 nokta belirlenmiştir. Sinyal yansıması etkisinin yoğun olduğu hem yapılaşmış hem de ağaçlık alanda sürekli gözlem yapan referans istasyonları kullanılarak gerçekleştirilen gerçek zamanlı kinematik (RTK) konum belirleme uygulamalarının doğrulukları analiz edilmiştir. Altı nokta için 02.11.2017, 03.11.2017, 04.11.2017 ve 05.11.2017 tarihlerinde Sanal Referans İstasyonu (VRS) ve Lineer Alan Düzeltme Teknikleri (FKP) ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlere ek olarak 4.11.2017 tarihinde ağaçlık ve yapılaşmış alandaki noktalarda 2'şer saat, diğer noktalarda 1'er saatlik statik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Total Station ile de yatay-düşey açı, yatay mesafe, alet yüksekliği ve işaret yükseklikleri ölçülmüştür. Daha sonra yapılan bu ölçümlerden elde edilen koordinat farkları, mesafe farkları, uydu sayıları ve karesel ortalama hata (RMS) değerlerine göre analiz yapılmıştır. Yapılan bu analiz ve değerlendirmede, tamsayı belirsizliğinin çözülmüş olmasına dikkat edilmiştir. GPS+GLONASS uydularının ve Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi Alıcısının Z-Blade sinyal işleme teknolojisinin etkisiyle yatay koordinatlardaki farkları  $\pm (1 \text{ mm} - 4,5 \text{ cm})$  aralığında, yükseklik değerlerindeki farkları ise  $\pm (5 \text{ cm} - 30 \text{ cm})$  aralığında elde edilmiştir. Ayrıca da istatistiksel test ile de bu farkların anlamlılıkları incelenmiştir.

## Accuracy analysis of location determination by using continuous observation reference stations in urban and forested areas

### Keywords

Real Time Kinematic  
GPS  
GLONASS  
Z-Blade Technology  
Virtual Reference Station  
Flachen Korrektur parameter  
Static  
Total Station  
Accuracy

### ABSTRACT

The positioning process is determined by GPS (Global Positioning System)+GLONASS (Global Navigation Satellite System)+GALILEO (Galileo Navigation System) and other satellite systems that help in processing and analysing by using transmitted signals from space and which comes to mind as the positioning system at the present time. More precise and highly accuracy positioning can be achieved with the increase of satellite based systems in the space. Moreover, the positioning operations are taken place economic, fast, real time and cm-level accuracy with continuously operating reference stations and is played an important role in various fields of usage such as civil, scientific and military. Accuracy of real time kinematic positioning applications using reference stations is analysed for both urban and forested areas which are satellite views are not

\*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

\*atinc@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-9137-3411  
(zumrutkurtulgu@mu.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2192-4264

Pırtı, A., & Kurtulgu, Z. (2021) Sürekli gözlem yapan referans istasyonları kullanılarak yapılaşmış ve ağaçlık bölgelerdeki konum belirlemenin doğruluk analizi. Geomatik, 6(1), 01-14, DOI: 10.29128/geomatik.646674

or less, multipath effect is intense. Six points has assigned in the study area. These points have been determined two points in the built-up areas, other two points in the forestland and others two points are that little far in the built-up areas and forestland. These six points were measured on November 2<sup>th</sup> 2017, on November 3<sup>th</sup> 2017, on November 4<sup>th</sup> 2017 and on November 5<sup>th</sup> 2017 with VRS (Virtual Reference Station) and FKP (Flächen Korrektur Parameter) techniques. Static measurements were made 2 hours for points in the forestland and built-up area and 1 hour for other points. Horizontal, vertical angle, horizontal distance, tool height and mark height were measured with Total Station. Later, in these measurements coordinate differences, distance differences, satellite numbers and RMS (Root Mean Square) values have analysed and evaluated. It has been noted that the integer ambiguity has been resolved in this evaluation. The obtained horizontal differences between VRS and Static survey are  $\pm (1 \text{ mm}-4.5 \text{ cm})$  and the height differences obtained  $\pm (5-30 \text{ cm})$ . And this differences determined that an error can be made with effects of GPS+GLONASS satellites and GNSS receiver's Z-Blade signal processing technology. In addition, the significance of these differences was examined by statistical test.

## 1. GİRİŞ

RTK tekniğinin 1990'lı yıllarda başlaması ve yapılan uygulamalardaki sonuçlar ve devamında gelen gerçek zamanlı Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemlerinin gelişmesiyle yüksek doğruluk, hassas, sivil, bilimsel ve askeri amaçlı kullanım alanlarıyla hem uluslararası hem de ulusal sistemler ve standartlarla (ITRF, GRS 80, WGS-84 vb.) uyumlu bir ölçme yöntemi olarak geliştirilmiştir. GPS+GLONASS+GALILEO ile diğer uydu sistemleri ise yaşanan eksiklikleri gidermek ve daha da geniş kullanım alanları sunmak için uydu konum belirleme teknikleri güncellenmeye ve yenilenmeye devam etmektedir. Uydu görüşlerinin olmadığı kapalı alanlarda, görüşün az olduğu ağaçlık alanlarda, bina çatı altlarında, yapılaşmış alanlarda, vadilerde, köprülerde vb. elde edilen konum doğrulukları geliştirilen uydu sistemleri (GALILEO ve diğer uydu sistemleri) sayesinde daha fazla uydu görüşleri sağlanmasıyla elde edilecek nokta konum doğruluklarını etkilemektedir. Yapılan bu çalışmanın uygulama alanı olarak (Pırtı 2008, 2015, 2017), (Gümüş 2016), (Pırtı ve ark. 2010), (Dobelis ve ark. 2016) çalışmalarda da yapıldığı gibi ya ağaçlık alan ya da yapılaşmış alan seçilmiş, statik, CORS, Gerçek zamanlı kinematik ve total station ölçümleri yapılarak, uydu yörünge açısı, koordinat farkları, mesafe farkları, uydu sayıları, PDOP (hassasiyet dağılımı) değerleri, karesel ortalama hata değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. CORS ölçüm teknikleri için (Kahveci 2009), (Gordini ve ark. 2006), (Yıldırım 2011) ve (Nami ve ark. 2010) tarafından incelenen çalışmalarda Lineer Alan Düzeltme Tekniği ve Sanal Referans İstasyonu tekniklerinin çalışma prensipleri incelenmiştir. (Mansour 2016) ve (Mekik ve Akçın 1998) çalışmalarında tamsayı belirsizlik çözümü için gereken yöntemler irdelenmiştir (Öcalan ve Soycan 2011). Sürekli gözlem yapan referans istasyonları tüm dünyada ve ülkemizde de sağlıklı hizmet veren, hızlı, ekonomik ve modern bir sistem olmuştur. Baz istasyonundan 50-100 km uzaklığa kadar çözüm sağlayabilen ve geniş kullanım alanları olan sistemlerdir. Ağaçlık ve yapılaşmış alanlar gibi uydu

görüşlerinin zor olduğu ve sinyal yansımalarına maruz kaldığı bölgelerde yapılan küresel uydu sistemi (GPS+GLONASS) ölçümleri klasik ve statik yöntemlere göre doğruluğu yeni teknolojik (Z-Blade Teknolojisi) küresel uydu sistemi alıcıları ile araştırılmıştır. Ayrıca daha önceden yapılan çalışmalar ve kullanılan yöntemlerin benzerliği; bu çalışmada konum doğruluğunun istenilen değerler aralığında elde edildiğini göstermiştir (Spectra Precion 2013, Kahveci 2009).

Klasik RTK tekniğinde ham ölçüler ve düzeltme bilgileri tek bir referans istasyonu ile tek bir gezen alıcı (rover) arasında aktarılmaktadır. Klasik RTK tekniğinin zayıf taraflarını, ortadan kaldırmak ve bu tekniğin daha güvenilir ve doğru sonuçlar vermesini sağlamak için çok sayıda referans istasyonu kurulması düşüncesi ortaya çıkmıştır. Böylece gezen alıcının etrafındaki referans istasyonlarından gelen veriler kullanılarak yörünge hatası, atmosferik etkiler gibi hataların modellenmesi olanaklı hale gelmiştir. Günümüzde ise gelişen teknolojik ilerlemeler sonucunda jeodezik ölçülerde ağ yapısındaki ölçü ve hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Ağ yapısındaki ölçülerde çok sayıda noktada, tekrarlı gözlemler yapılmaktadır. Daha sonra hatalardan arındırılmış ölçüler ile dengelenmesi yapılmakta, istatistik analizlerle kaba hatalar ayıklanmakta, sistematik etkiler daha iyi modellenmekte, böylece yüksek doğruluklu ve güvenilir koordinatlar elde edilmektedir. Jeodezik ağların bu üstünlüğü zaman içerisinde küresel uydu sistemi gözlemlerine de yansıtılmıştır (Kahveci 2009).

Gerçek zamanlı kinematik küresel uydu sistemi yönteminde elde edilecek doğruluğu, sabit istasyondan uzaklığa bağlı olarak artan sistematik hatalardan kaynaklanan etkiler sınırlamaktadır. Bu sınırlamalardan kaçınmak için birden çok sayıda istasyon kurulması fikri ortaya atılmıştır. Bu fikrin uygulanması ve elde edilen deneyimlerden yararlanılması sonucunda sabit Küresel Uydu Sistemi Ağları (Ağ-RTK; Net-RTK) kavramı ortaya çıkmıştır (Kahveci 2009). Ağ RTK sisteminde tek bir referans istasyonuna olan bağımlılık ortadan kalkmış, çok sayıda referans istasyonuna ait

verilerden yararlanarak belirli bir bölgeye ait atmosferik modelleme yapılması olanağını da sağlamıştır. Bu modelleme, sonucunda ise küresel uydu sistemi ölçülerini etkileyen ehemmiyetli hata kaynaklarından birisi olan iyonosfer ve troposfer hataları, konum belirleme uygulamaları için en düşük seviyeye indirilmiş olmaktadır. Çağımızda gerçek zamanlı uygulamalar (kadaströ ölçmeleri, makine kontrol sistemleri, araç takip ve navigasyon, tarım vb.) bu ağların aktif olmasını zorunlu hale getirmiştir. Aktif küresel uydu sistemi ağlarında verilerin arşivlenmesi ve hesaplanması yapılmakta, çeşitli uygulama alanlarında konum düzeltme bilgileri de kullanıcılara gerçek zamanlı olarak herhangi bir iletişim aracı vasıtasıyla yayınlanmaktadır. Ağ-RTK tekniğinin en çok uygulanan şekli sabit Küresel Uydu Sistemi (CORS) ağlarıdır. Ülke jeodezik ağları, sürekli ve gerçek zamanlı gözlem yapan Sabit Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi Ağlarından (CORS) oluşmaktadır. Sabit Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi Ağları, yüksek doğruluğu çok amaçlı (jeodezi, jeofizik, jeodinamik, ölçme, navigasyon, CBS, meteoroloji vb.) aktif ve gerçek zamanlı (anlık), uluslararası sistemlerdir.

Böylece Klasik RTK tekniği yerine Earth Global navigasyon uydu sistemleri (Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi)'nin gerçek zamanlı (real-time) uygulamaları birçok değişik disiplin ve kullanıcı tarafından tercih edilen faal sistemler haline gelmiştir. Böylece, Ağ RTK (NRTK/ RTN) prensibinde çalışan Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi/CORS ağları, gerçek zamanlı diferansiyel düzeltme hesap teknikleri (Sanal Referans

İstasyonu, Lineer Alan Düzeltme Tekniği), Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi kullanıcı donanım, yazılımları ile telekomünikasyon teknolojileri, gerçek zamanlı uygulamalar dikkate alındığında ön plana çıkmaktadır. İlk olarak bilimsel çalışmalar olmak üzere, günlük yaşantımızdaki uygulamalar için etkin bir şekilde kullanılan bu sistemler, gelişen ve değişen teknolojiye paralel olarak her geçen gün kullanıcıya yüksek doğrulukta daha elverişli hizmetler sunmaktadırlar. Bugün GPS ve GLONASS sistemlerinin aktif kullanımının yanı sıra yakın bir gelecekte GALILEO ve COMPASS gibi diğer global sistemlerin devreye girmesi, bölgesel sistemler (QZSS, IRNSS vb.) ile kapsama alanı genişletici/augmentation (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN vb.) diğer sistemleri de içeren Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi konseptinin her yerde, her zaman, doğru ve güvenilir olarak etkin kullanımını sağlamak amacıyla uluslararası standartlar oluşturulmuştur. Gerçek zamanlı konum belirleme sistemlerinin, veri iletim mekanizmalarını oluşturan veri formatları (RTCM, NMEA, CMR/CMR+), veri iletim protokollerinin (NTRIP, RTIGS) ve veri iletişim linklerinin (VHF, UHF, GSM, GPRS, EDGE, UMTS) gerçek zamanlı küresel uydu seyrüsefer sistemi veri iletimindeki önemi vurgulanmış ve özellikle NTRIP protokolü ile RTCM veri formatı mesaj yapısı, mesaj türleri ve içerikleri için, farklı sürümler geliştirilmiştir. Küresel uydu seyrüsefer sistemi veri değişimi için geliştirilmiş uluslararası bir diğer standartta gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılan RTCM formatıdır (Tablo 1) (Öcalan ve Soycan 2011).

**Tablo 1.** RINEX, RTCM, NMEA formatlarının genel özellikleri (Öcalan ve Soycan 2011).

RINEX	Farklı küresel uydu seyrüsefer sistemi alıcısı üreten firmaların, üretici firma tanımlı verilerinin RINEX kombine edilmesi sağlar.
	Özellikle statik verilerin büroda değerlendirilmesi (post-processing) ve arşivlenmesinde kullanılmaktadır.
RTCM	Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi alıcıları arasında veri iletimini sağlar. Örneğin Referans Alıcı (Base) → Gezici Alıcı (Rover)
	"Binary" dosya yapısındadır. Kompakt yapıda olmasına karşın anlaşılması güçtür.
NMEA	Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi alıcıları ile diğer cihaz ve aletler arasındaki veri iletimi için kullanılmaktadır. Örneğin Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi anteni → CBS için ArcPad yazılımlı PDA
	Gerçek zamanlı konum belirleme uygulamaları için kullanılmaktadır.

## 2. YÖNTEM

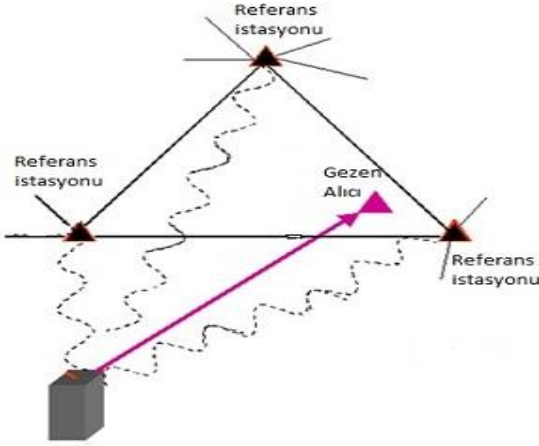
### 2.1. Lineer Alan Düzeltme Tekniği (FKP)

Lineer Alan Düzeltme Tekniği (Flachen Korrektur Parameter) yöntemi Alman SAPOS (SATellite POSitioning) tarafından geliştirilmiştir.

Temel prensibi Sanal Referans İstasyonu ile benzer olup, farklı olarak gezici alıcının koordinatlarının bilinmesi zorunluluğu yoktur.

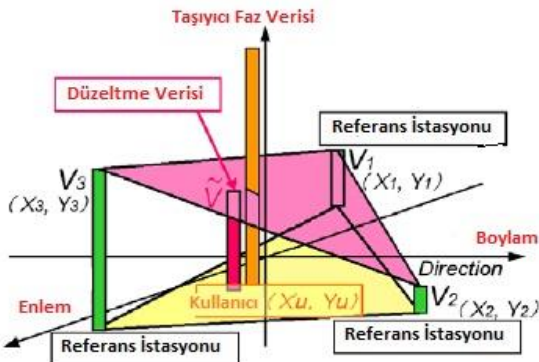
Burada düzeltmeler, gezen alıcının enterpole etmesine imkân tanıyan gradyen (değişim, açısız) yöntemine göre oluşturulmaktadır. Bu durum, RTCM formatında (Mesaj-59) lineer iyonosfer parametreleri ve geometrik düzeltmeleri kapsamaktadır. Lineer Alan Düzeltme Tekniği parametreleri, referans istasyonlarının çevrelediği geniş bir alan için yayınlanmaktadır. Referans istasyonu verileri, ana sistemde toplanır ve analiz edilir. Hesap merkezinden gezici alıcıya tek yönlü bir iletişim vardır. Yayınlanan veriler iyonosferik etki olmak üzere, referans istasyonlarına ait gözlemleri

kapsamaktadır. Gezen alıcı bu parametreler yardımıyla (hızlıca) başlangıç tam sayı belirsizliğini çözer, referans gözlemleri ile klasik gerçek zamanlı kinematik yöntem ile konum belirleme gerçekleştirir. Çok yüksek boyutlarda veri transferi gerekir (Şekil 1), (Kahveci 2009).



Şekil 1. Lineer alan düzeltme tekniği

3 adet referans istasyonundan taşıyıcı faz verisi veri merkezine gönderilmektedir. Gelen veriler, Lineer Kombinasyon Modeli yöntemini kullanarak dönüştürüldükten sonra, alan düzeltme parametreleri (Lineer Alan Düzeltme Tekniği), RTCM++ verisi ve lineer alan düzeltme tekniği veri iletişim hattı aracılığıyla kullanıcı istasyonuna iletilmektedir. Ana referans istasyonu, referans istasyon verisinden taşıyıcı faz ham verisinin kullanımı anlamına gelmektedir. Lineer alan düzeltme tekniği sistemi ana referans istasyonu ile başka referans istasyonları arasında tek faz değişkeni kullanmaktadır. RTCM Tip-59 lineer alan düzeltme tekniği verisinden yakınlardaki kullanıcı istasyonuna en son düzeltme verisini dönüştürmek için, bir kullanıcı istasyonun yaklaşık konumu gerekmektedir.



Şekil 2. Lineer alan düzeltme tekniği çalışma prensibi (Namie ve ark. 2010).

Düzeltilme verisi lineer alan düzeltme tekniği kavramsal diyagram kavramı ile açıklanmıştır. Kavramsal diyagram, 2 boyutlu terimleri açıklamaktadır. Referans istasyonu K ( $X_k, Y_k$ )'dan

taşıyıcı dalga faz verisi ( $V_k$ ) lineer kombinasyon uygulayarak ağ dengelemektedir. Eğer kullanıcı istasyon ( $X_u, Y_u$ ) yakınlarda referans istasyonu kurulmuş ise taşıyıcı faz verisi ( $V_1, V_2, V_3$ ) düzeltme verisi oluşturabilmek için ölçülmelidir (Şekil 2). FKP yaklaşık konumu bilinen referans istasyonu ile gezici arasındaki uzaklığa bağlı hata terimlerinin hesabına olanak vermektedir. Burada sadece gezicinin koordinatları ve uydu bilgilerine gereksinim bulunduğu konum belirlemesi, tüm ağ ile ilgili hesaplardan bağımsız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Gezici, ağ düzeltmesini sabit istasyonların birinden alır. Çift yönlü haberleşmede bu istasyonu merkez olarak belirler. Tek yönlü haberleşmede kullanıcı, kendisine yakın olan bir istasyonu kendi seçmek durumunda olduğundan, tek yönlü haberleşme hemen hemen kullanılmamaktadır. Yayın formatı RTCM 2.3 dır. (Namie ve ark. 2010).

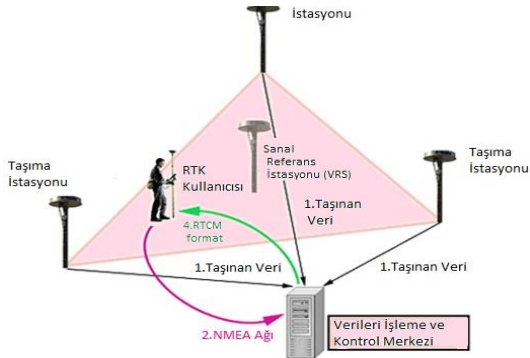
## 2.2. Sanal Referans İstasyonu Yöntemi (VRS/VBS)

Sanal referans istasyonu (VRS) tekniği, sanal baz istasyonu (VBS) olarak da bilinmekte olup küresel uydu seyrüsefer sistemi ölçülerinde uzun süredir kullanılan bir kavramdır (Kahveci 2009). VRS, lineer enterpolasyon yöntemi kullanan Trimble Terrasat tarafından geliştirilen bir Ağ-RTK/ CORS yaklaşımıdır (Gordini ve ark. 2006). Ağ RTK konumlamasının bağımlı geometrisi ve konumu nedeniyle RTK ağlarının performansı genel olarak ülkede ya da bölgesel ölçekte test edilmektedir (Yıldırım 2011). Sanal Referans İstasyonu yönteminde prensip, üzerine alet kurulmamış hayali bir istasyon olup, gezen alıcıdan yalnızca birkaç metre uzaklıktadır. Sanal referans istasyonu noktasına ilişkin gözlem verileri, çevredeki referans istasyonlarının verilerinden yararlanılarak ve sanki sanal referans istasyonu noktasında alet kurularak gözlem yapılmış gibi oluşturulmaktadır (Kahveci 2009). Sistem arazide çalışan her bir gezici için çift taraflı haberleşme sonucu, en yakındaki tek bir referans istasyonu yerine, tüm ağdan hesaplanan her tür atmosferik ve yörünge etki hataları yok edilmiş, gezici yakınında sanal bir referans istasyonu oluşturur ve o gezici bu sanal istasyondan düzeltme alır. Bu yöntem ile 10 km'den sonra oluşan hassasiyet azalması ile uzun başlangıç süresi problemleri çözüldüğü için, referans istasyonları arasında mesafe 80-100 km'ye kadar çıkabilmektedir. Sanal referans istasyonu sisteminde merkezde tüm iyonosferik, troposferik ve yörüngesel hatalar modellenerek, bu etkiler minimuma indirgenir. Türkiye'de henüz RTK yönetmeliklerinde Ağ RTK yöntemi için tanımlı bir teknik olmadığından ve genel olarak RTK çalışmalarında baz gezici mesafesi 5 km olduğundan, sanal referans istasyonu yönteminde oluşan sanal baz istasyonu ile gezici arasındaki mesafe mevcut yönetmeliklere uygun olabilmesi için merkezde 5 km ile sınırlandırılmıştır. Yani; gezici ilk sisteme



bağlandığında, bulunduğu konumda bir sanal referans istasyonu (VRS) oluşmakta ve gezici bu konumdan 5 km uzaklaşana kadar bu istasyondan düzeltme almaktadır. Gezici bu mesafeyi aşarsa sistem ona yeni bir sanal istasyon oluşturmaktadır. Bu sistem otomatik olduğundan, arazideki kullanıcıyı etkilememekte, sadece ona yeni bir istasyon oluştuğu bilgisi gelmektedir (Pırtı 2009). Tüm referans alıcı ağlarının verileri ilişkilendirilerek, hata kaynağının kesin modelleri oluşturulmaktadır (Şekil 3). Sanal referans istasyonu yaklaşımında, sanal referans istasyonu farklı fazlarda belirtilmektedir. Aşağıdaki prosedürler uygulanmaktadır.

1. Gerçek zamanlı konumlama modunda yerel alıcı başlatıldıktan sonra kullanıcı mobil telefon aracılığıyla veri iletişim yeteneği için sanal referans istasyon ağ hizmetine dönüşmektedir.
2. İletişim başarılı bir şekilde sağlandıktan sonra, kullanıcı alıcı konumunu hesaplama merkez birimine (NMEA) göndermektedir.
3. Yaklaşık konum tahmini alındıktan sonra, kontrol hesaplama merkezi yaklaşık yeni kullanıcı konumunu sanal referans istasyonu için koordinat oluşturmaktadır. Sonra sanal referans istasyon koordinatlarına ilişkin RTK konumu için taşıyıcı faz ve kod düzeltmeleri gönderilmektedir.
4. Sanal referans istasyonu konumu için oluşturulan referans verisinin devamlı veri çıkışı RTCM formatında kullanıcı alıcıya gönderilmektedir.
5. Bu noktada, küresel uydu seyrüsefer sistemi alıcısı sabitleme prosedürüne başlamakta ve ölçme klasik RTK ile devam etmektedir (Gordini ve ark. 2006).



Şekil 3. Sanal referans istasyonu yöntemi

Ağ içindeki bir geziciyi kullanan bir haritacı GPRS (Genel Paket Radyo Servisi) teknolojisi sayesinde bir kullanıcı adı ve şifresi ile merkez birime (birkaç saniyeden fazla bir dakikadan az zaman içerisinde) bağlanmaktadır. Çabuk bir başlangıç bağlantısı; gezici yakınlarında sanal bir referans istasyonu oluşturarak; klasik RTK uygulamalarına benzer referans istasyonu yakınlarındaki noktaları toplamaktadır. Referans istasyon ağ teknolojisinin yararları çoktur. En önemli yararı donanım maliyetinde önemli bir azalmadır. Radyo iletişim ve baz istasyonuna olan ihtiyacı yok etmek/azaltmak çok önemlidir. Üstelik anlık

yayınlanmış olan alan içindeki proje bölgesinde noktaları kurmak için gerekebilecek çaba ayrıca azaltılabilmektedir. Ayrıca baz istasyonu üzerinde izlemek için verilen personel ihtiyacını kaldırarak proje için gerekli çaba yarıya kadar düşmektedir (Yıldırım 2011).

### 3. UYGULAMA

Sürekli gözlem yapan referans istasyonlarının CORS (Ağ RTK) sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği yöntemleri, statik ölçü yöntemi ve total station ile yersel ölçümler ağaçlık ve yapılaşmış alanda yapılarak bu uygulamaların doğrulukları analiz edilmiş ve değerlendirme yapılmıştır. Çalışma alanı; Kayseri ili Kocasinan ilçesi Mimar Sinan Mahallesi'nde hem bitişik nizam şeklinde yapılaşmış alan hem de yaklaşık 2,5 km uzunluğunda ve 150-200 m genişliğinde ağaçlandırılmış alan seçilerek bu bölge de ölçümler yapılmış ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Proje bölgesi



Şekil 5. Proje bölgesine ait resimler

Çalışma alanındaki ağaçlık alan 2 ile 3 m sıklıkta ve 5 m 'den fazla yükseklikte iğne yapraklı çam ağaçları ve toprak üzerinde çimlerden ve 1,5-2 m genişliğinde yürüyüş yollarından oluşmaktadır. Yapılaşmış alan ise 7- 8 katlı bitişik nizam şeklinde binalardan oluşmaktadır. Çalışma alanında 6 nokta belirlenmiştir. Bu noktalardan P1 ve P2 noktaları ağaçlık alanın yoğun olduğu bölgelerde, P3 noktası ağaçlık alanın az olduğu bölgede, P4 noktası yapılaşmış alan ile ağaçlık alandan belli uzaklıktaki bir bölgede, P5 ve P6 noktaları ise yapılaşmış alanın olduğu bina köşelerinde bulunmaktadır. Ayrıca bu noktaların bazıları birbirlerini görmektedir (Şekil 4 ve 5).

Küresel uydu seyrüsefer sisteminin çalışma prensibinde genel olarak açık alanda ölçümlerin yapılmasının tercih edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Fakat çalışma bölgelerinde bu şartların yerine getirilme zorunluluğu oldukça zorlayıcıdır. Bu sistemde ağaçlık bölgelerde, bina çatı altlarında ve bina köşelerinde şebeke sinyal iletimi sorunu yaşanmakta; sinyallerin ağaç gövdesinden, toprak üzerindeki çimlerden, bina çatılarından, bina duvarlarından, bina pencerelerinden ve çevresel etkilerden dolayı yansımaları nedeniyle yansımaya hatası (multipath) oluşmaktadır.

Ağaç altında ve bina köşelerinde yansıyan sinyallerden dolayı sinyal gücü zayıflamakta, sonuç olarak PDOP (hassasiyet dağılımı) değeri yükselmekte ve bu durumda konum hassasiyeti düşmektedir. Ağaçlık alan azaldıkça elde edilen konum doğruluğu artmasıyla ve taban alanı ile ağaç sayısının istenilen konum doğruluğu için önemli derecede ilişkili olduğu anlaşılmıştır (Kaartinen ve ark. 2015). Ağaç yapraklarından, ağaç dallarından, ağaç gövdelerinden, binalardan ve çevresel etkilerden uydu sinyallerinin engellendiği ve radyo sinyallerinin gücünde azalma meydana gelmesi sonucu ise sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği ölçümlerinin doğruluk ve hassasiyetlerini düşürdüğü düşünülmektedir. Çalışma alanının, Kayseri ilindeki CORS istasyonuna (KAYS) olan uzaklığı ise yaklaşık 3,5 km'dir. TUSAGA-Aktif istasyonlarının ITRF 1996 2005.0 sistemindeki güncel Kayseri iline ait koordinatları ve bu koordinatlara karşılık Coğrafi UTM Koordinat dönüşümü yaparak Kayseri için 36 derece dilim orta meridyeni (DOM) ve 3 derecelik dilim için koordinat değerleri aşağıda verilmiştir. Bu noktalardaki CORS ve statik ölçümleri, küresel uydu seyrüsefer sistemi (GPS+GLONASS+GALILEO) uydularını görme özelliğine sahip olan Ashtech ProMark 800 Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi Alıcısı ve Spectra Precision ProMark 120 Kontrol Ünitesi kullanılarak yapılmıştır. Ashtech ProMark 800 Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi alıcısı için konum doğruluğu statik ölçümlerde, yatayda 5 mm+0,5 ppm ve düşeyde 10 mm+0,5 ppm olarak verilmiştir. Farklı uydu sisteminde bağımsız çözüm üretebilmekte olan bu cihaz özellikle vadi, şehir içi ve ağaçlık sahalarda

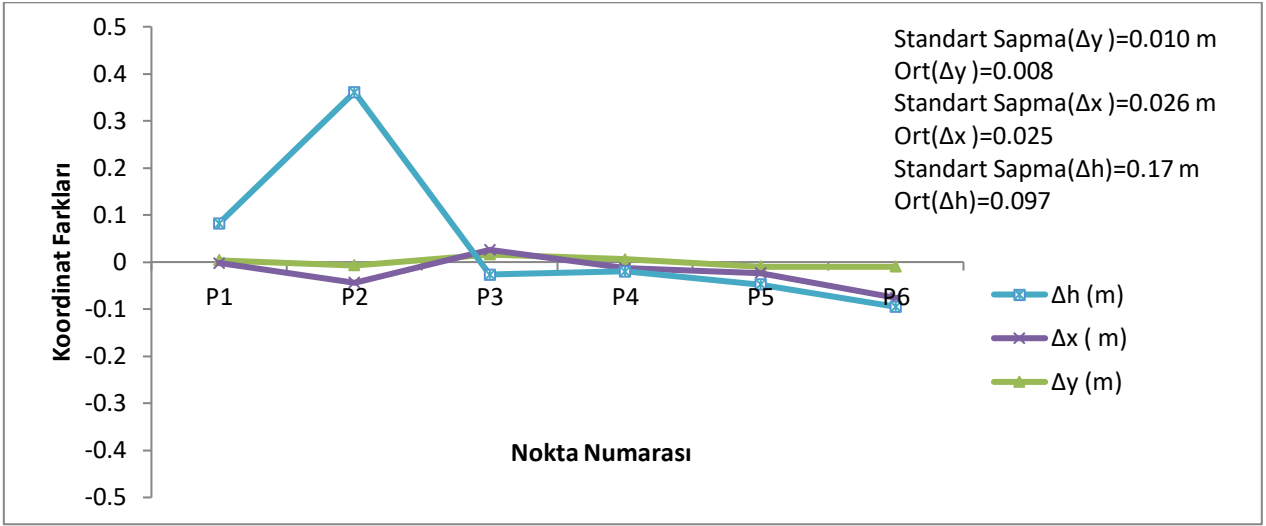
3 GPS+2 GLONASS, 2 GPS+3 GLONASS, 5 GLONASS, 2 GPS+2 GLONASS+2 GALILEO uyduları ile çalışabilmektedir. GPS L1 C/A, L1/ L2 P-kod, L2C, L5 dalga boyu taşıyıcılar, GPS L1/L2/L5 tam dalga boyu taşıyıcılar, GLONASS L1 C/A, L2 C/A, L1/L2 tam dalga boyu taşıyıcılar, GALILEO E1 ve E5 taşıyıcılar ve SBAS kod ve taşıyıcılar özelliklerine sahiptir (Spectra Precision). Ayrıca Z-Blade teknolojisi sayesinde zor koşullarda (yüksek binalar ya da vadiler ve ormanlar) hassas ve hızlı ölçüm yapabilmektedir. Z-Blade teknolojisi destekli konumlandırma sistemi, GLONASS ve diğer uydu sistemlerini en aktif şekilde kullanarak çözüme ulaşmayı sağlayan bir sistemdir. Yani, alıcının fix olması ve hassas bir ölçüm yapılabilmesi için 5 GPS uydusuna zorunlu gözlem olması durumu ortadan kalkmakta ve 5 GLONASS uydusu ile de yeterli hassasiyet durumuna gelerek ölçüm yapılabilmektedir. Z Blade Teknolojisi ile GLONASS'ta kullanılan frekans bölümlü çoklu erişimde bulunan parazitleri otomatik olarak ölçmekte ve yok ederek herhangi bir üreticinin sabit ve referans istasyonu ile çalışmasını sağlamaktadır. Bu durumda zor koşullarda bile hassas ölçüm yapılarak; işleri hızlı bir şekilde çözümleyebilmektedir (Şekil 6), (Spectra Precision 2013).



**Şekil 6.** Ashtech ProMark 800 Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi Alıcısı Çoklu Uydu Sinyalleri (Spectra Precision 2013).

Belirlenen noktalardaki sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği ölçümleri için 2-3-4 ve 5 Kasım 2017 tarihlerinde ardı ardına ölçümler yapılmıştır. Her iki yöntem için uydu yükseklik açıları 10 derece, gözlem süreleri 10-epok ve 1 saniye kayıt aralığında gerçekleştirilmiştir.

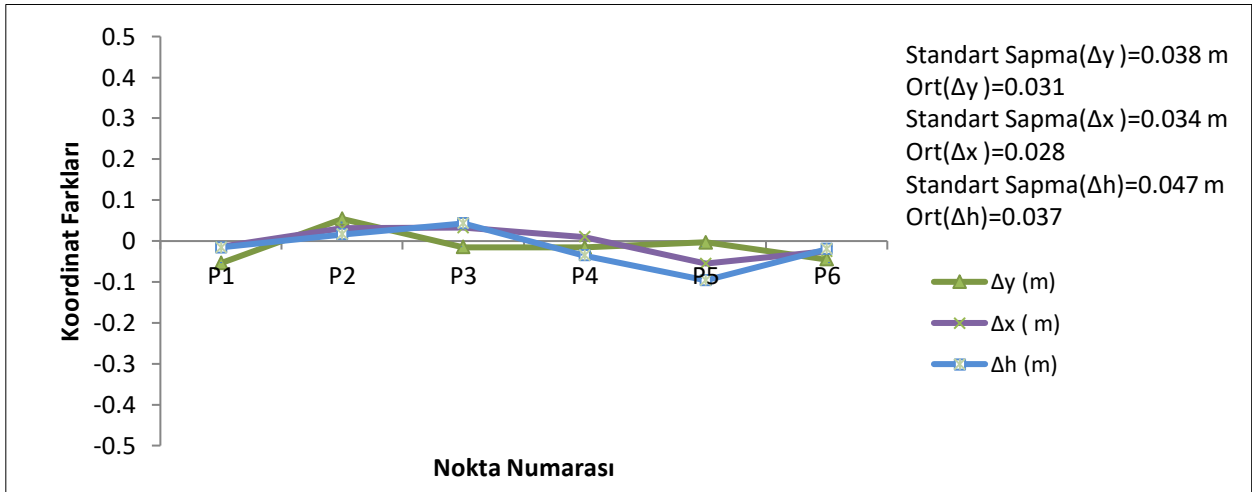
Aşağıda Şekil 7 de sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği ölçülerine ait 4 gün boyunca yapılan her noktaya ilişkin  $\Delta y$ ,  $\Delta x$  ve  $\Delta h$  değerlerine ait grafikler gösterilmiştir.



Şekil 7. Tarih olarak 2 Kasım 2017'de ölçülen sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği farkları

2 Kasım tarihinde yapılan ölçülerde sağa değer farkları  $\Delta y \pm (1-2)$  cm, yukarı değer farkları  $\Delta x \pm (1-7)$  cm ve yükseklik değer farkları  $\Delta h \pm (7 \text{ mm} - 41 \text{ cm})$  arasında değişim göstermektedir (Şekil 7).

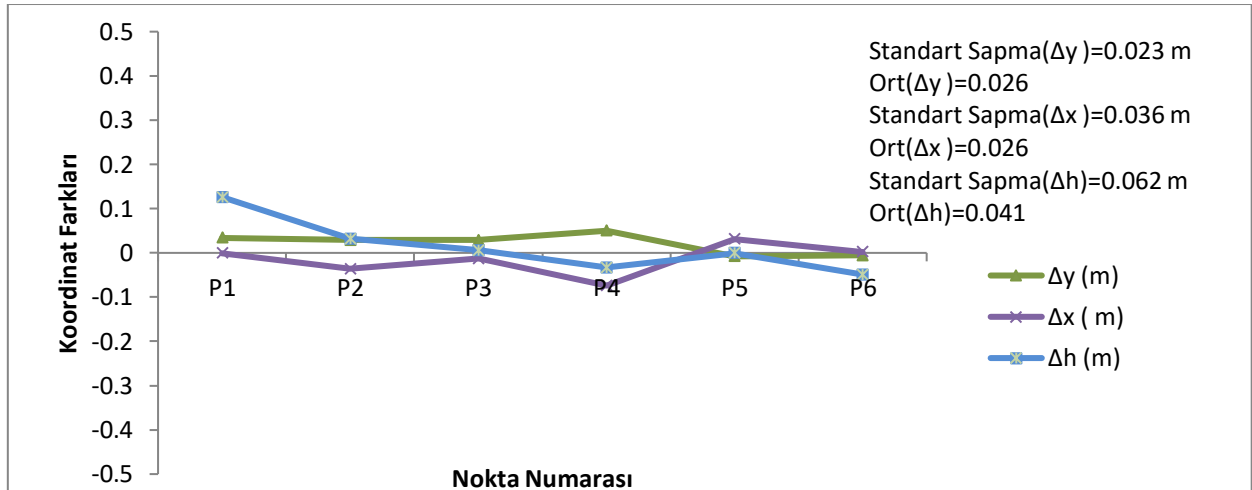
En büyük fark P1 ve P2 noktasının yükseklik değerlerindedir. Bunun nedeninin yoğun ağaçlık bölgede yapılan ölçümden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 8. Tarih olarak 3 Kasım 2017'de ölçülen sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği farkları

3 Kasım tarihinde yapılan ölçümlerde sağa değer farkları  $\Delta y \pm (3-5)$  cm, yukarı değer farkları  $\Delta x$

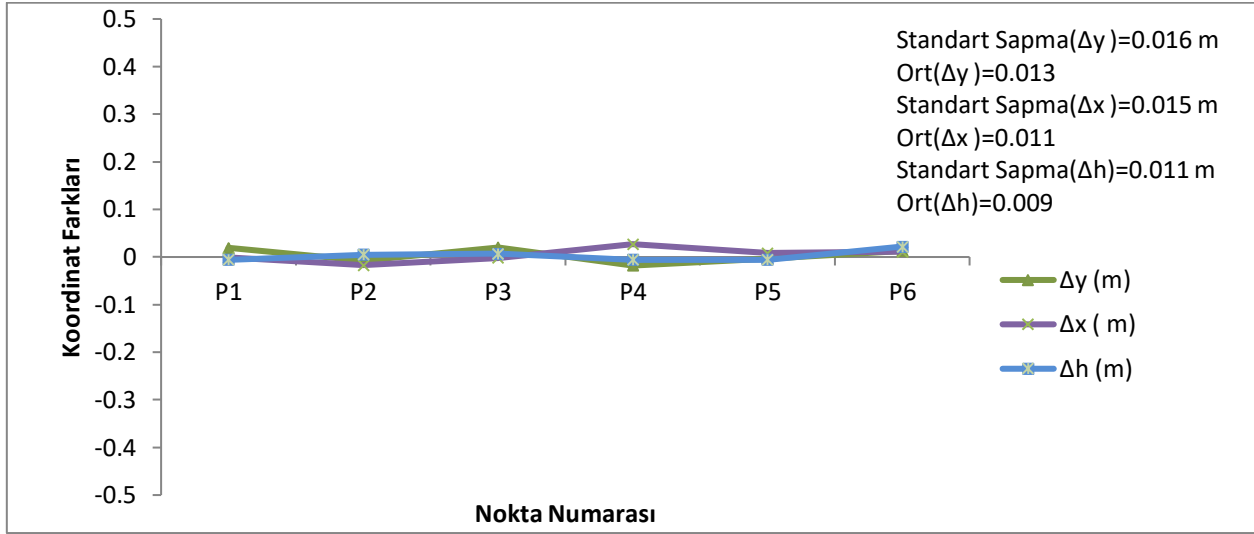
$\pm (1-6)$  cm ve yükseklik değer farkları  $\Delta h \pm (2-10)$  cm arasında değişim göstermektedir (Şekil 8).



Şekil 9. Tarih olarak 4 Kasım 2017'de Ölçülen sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği farkları

4 Kasım tarihinde yapılan ölçülerde sağa değer farkları  $\Delta y \pm(1-5)$  cm, yukarı değer farkları  $\Delta x \pm (1\text{mm} - 7 \text{ cm})$  ve yükseklik değer farkları  $\Delta h \pm (1 \text{ mm} - 12 \text{ cm})$  arasında değişim göstermektedir (Şekil 9).

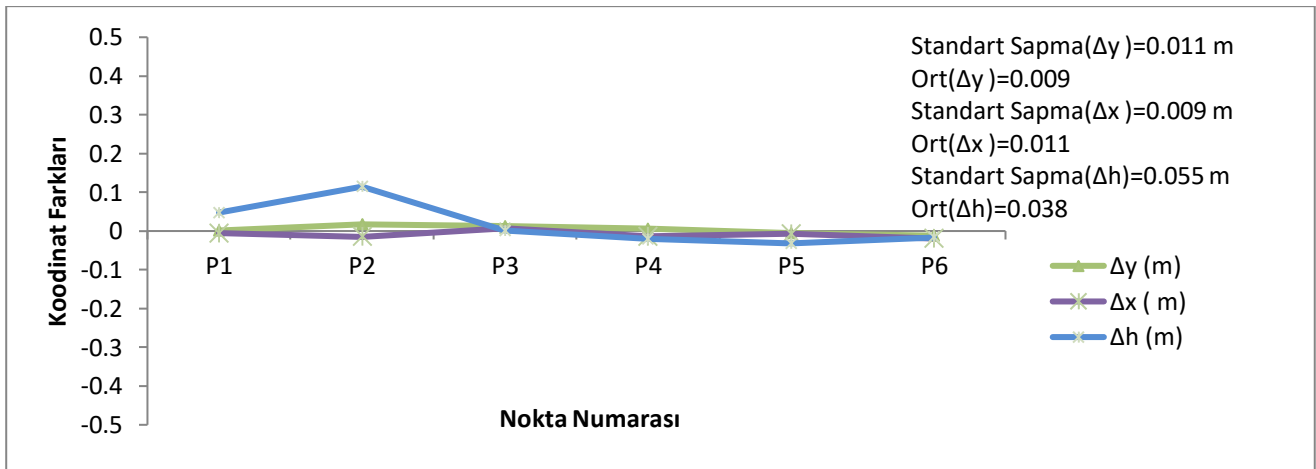
P1 noktasının yatay ve düşey koordinat değerlerindeki yüksek değişimler, bu noktanın ağaçlık alan içinde olduğunun kanıtıdır.



Şekil 10. Tarih olarak 5 Kasım 2017'de ölçülen sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği farkları

5 Kasım tarihinde yapılan ölçülerde sağa değer farkları  $\Delta y \pm(1-2)$  cm, yukarı değer farkları  $\Delta x \pm (1 \text{ mm} - 3 \text{ cm})$  ve yükseklik değer farkları  $\Delta h \pm (6 \text{ mm} - 2 \text{ cm})$  arasında değişim göstermektedir (Şekil 10). Yapılan CORS ölçümleri arasındaki farklar en uygun olarak bu tarihte gerçekleşmiştir. Elde edilen uydu sayısı ve konfigürasyonu, PDOP değerleri; bu tarihte en uygun değerlerde elde edilmiştir. Bunun sonucunda, sinyal yansımaları ve uydu geometrisi hatalarının ölçümleri daha az etkilediği düşünülebilmektedir. Sinyalin yansımaları ve gücündeki düşmenin temel etkisi, PDOP değerlerinde bir artış ve bozulma olarak gerçekleşmektedir. Uydu sayısının fazlalığı ve uyduların gökyüzünde homojen dağılımı ile düşük PDOP değeri elde edilmektedir. Böylelikle PDOP

uydu geometrisinin kalitesini gösteren birimsiz bir ölçümdür. Yukarıda açıklandığı gibi uydular gökyüzünde homojen bir şekilde yayıldığında, PDOP değeri düşük elde edilir ve hesaplanan konumda istenilen doğrulukta kalmaktadır. Uydular birbirlerine yakın şekilde gruplandırıldığında ise PDOP yüksek ve konumlama en az doğruluktadır. PDOP doğrudan konum doğruluğu ile ilişkili olduğu için fazla uydu sayısı ve düşük PDOP değeri; çoğunlukla ağaçların altındaki noktalarda yapılan ölçümlerin daha iyi doğruluğa sahip olduğunu gösterecek bir ölçüttür (Pırtı 2008). Ayrıca sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme teknikleri ile yapılan ölçümlerle, her nokta için karşılaştırma yapılmıştır. Böylece bu yöntemlerden elde edilen farklar şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 11. Ölçülen tüm noktalara ait koordinat farkları

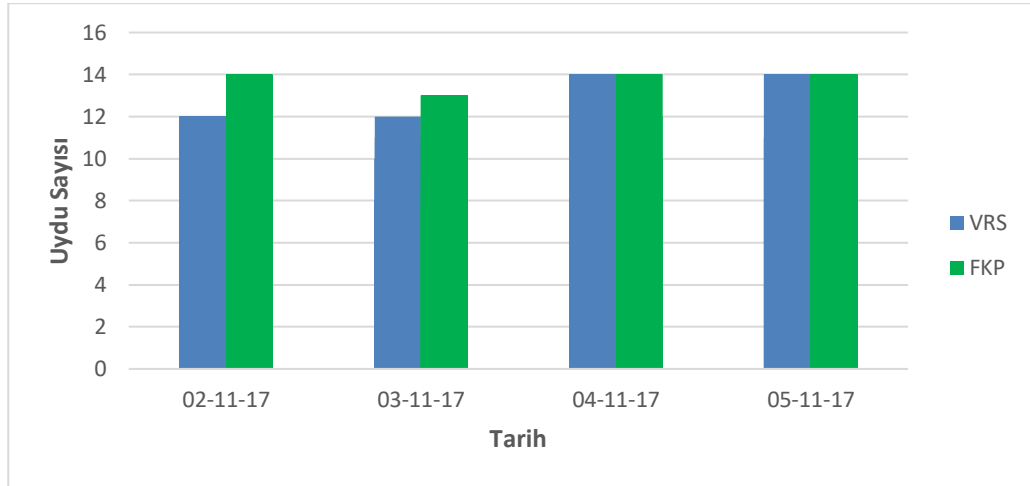
Her nokta için 4 gün üst üste yapılan sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği ölçümlerinin koordinat farkları arasındaki ortalaması alınarak; her noktaya ait tek

fark elde edilmiş ve buna göre grafikler çizilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere P1 ve P2 noktalarında yükseklik farkları çok büyük değerlere erişmiştir. P1 noktasında  $\pm 5$  cm, P2 noktasında ise  $\pm$



11 cm ye kadar fark hesaplanmıştır. Bu noktalar ağaçlık alanda yer almakta ve neticesinde bu farklar oluşmaktadır. Ayrıca P6 noktası bina köşesinde olmasına rağmen uydu görüşü açısından o zaman aralığında herhangi bir sorun yaşanmadığından dolayı son derece iyi sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme teknikleri kullanılarak yapılan ölçümlerde kaç adet uydu sayılarına sahip olduğu aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 11). Bu uygulamada yapılan ölçümlerden çıkarılan sonuç, çalışma esnasında 5-10 aralığında GPS+GLONASS uyduları

kullanılarak elde edilen koordinatlar yeterli doğrulukta belirlenmiştir. Burada 5 uydu sayısı kritik bir değerdir. Bu çalışmada 5 uydu ile çözüm yapılabilmektedir. Bunun yanında uydu sayısının fazla olması konumlama doğruluğunu artırmakta, tamsayı belirsizliği çözümünün hızlı bir şekilde hesaplanmasını sağlamaktadır (Pırtı ve ark. 2010). Ashtech ProMark 800 küresel uydu seyrüsefer sistemi Alıcısı GPS+GLONASS uydularını görebilmesi ve Z Blade teknolojisi sayesinde tamsayı belirsizliği çözümü ve koordinat değerlerini optimum şekilde elde etme olanaklarımızı etkilemiştir.

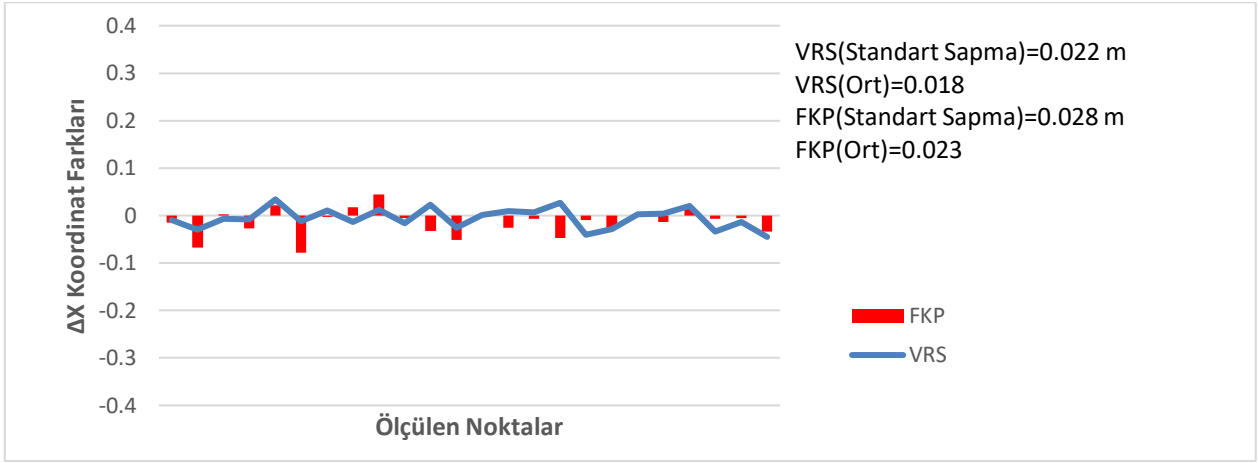


Şekil 12. Ölçüm yapılan tarihlere göre uydu sayıları (GPS/GLONASS) grafiği

Ölçüm yapılan günlere ait P5 ve P6 noktalarından görülen uydu sayılarının ortalaması; diğer noktalara göre daha azdır. Bunun nedeni ise bu noktaların bina köşelerinde olması ve uydu görüşüne engel olmasıdır. Genel olarak ölçüm yapılan günlerden 3 Kasım tarihine ait uydu sayıları, diğer günlere göre daha düşüktür. Bu durum o güne ait ölçüm zamanındaki uydu konfigürasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Statik ölçüm yöntemi uzun süreli ve farklı uydu konfigürasyonlarını içeren en hassas ölçüm yöntemi olarak literatürde yerini almıştır.

Elde edilen bu gözlemler en küçük kareler yaklaşımı ile hesaplanmaktadır. Bu yöntem uzun ölçüm zamanı gerektirir ve neticesinde de yüksek doğruluk sağlamaktadır (Erenoğlu 2015). Statik ölçümde Ashtech ProMark 800 küresel uydu seyrüsefer sistemi alıcısı jalon üzerine monte edilip; tüm noktalarda 2 m anten yüksekliğinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler, 4 Kasım 2017 tarihinde (DOY 308) P1, P2, P5 ve P6 noktalarında 2'şer saat, P3 ve P4 noktalarında ise 1'er saatlik değerlerde yapılmıştır. Daha sonra TUSAGA-Aktif merkezinden Kayseri bölgesi (KAYS noktası) ait 4 Kasım 2017 tarihli 24 saatlik RINEX (ITRF 2005.0 epochunda) verileri alınarak Topcon Maget TOOLS

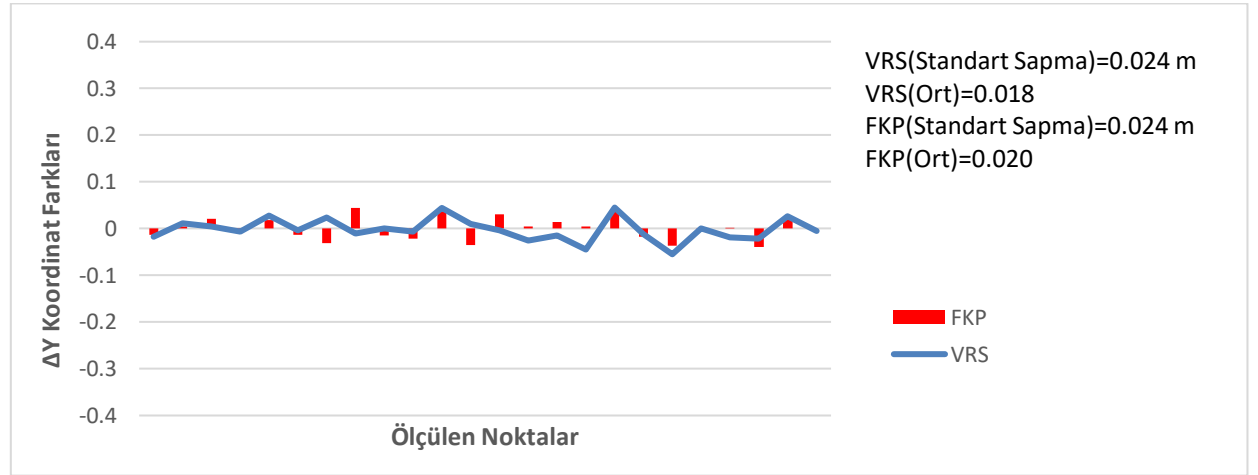
yazılımı ile değerlendirilmiş ve dengelenmiş böylelikle diğer noktalara ait koordinatlar elde edilmiştir. Statik ölçümler 4 gün art arda yapılan sanal referans istasyonu ölçümleri ile karşılaştırıldığında  $\Delta x$  değerlerinin standart sapmaları 1.gün  $\pm 2.1$  cm, 2.gün  $\pm 1.9$  cm, 3.gün  $\pm 2.5$  cm ve 4.gün ise  $\pm 2.4$  cm olarak değerler elde edilmiştir.  $\Delta y$  değerlerinin standart sapmaları ise 1.gün  $\pm 1.5$  cm, 2.gün  $\pm 2$  cm, 3.gün  $\pm 3$  cm ve 4.gün ise  $\pm 2.6$  cm olarak hesaplanmıştır.  $\Delta h$  değerlerinin standart sapmaları ise 1.gün  $\pm 2$  cm, 2.gün  $\pm 2.3$  cm, 3. Gün  $\pm 2.5$  cm ve 4.gün ise  $\pm 1.3$  cm değerleri elde edilmiştir. Yapılan lineer alan düzeltme tekniği ölçümleri ile statik ölçümler karşılaştırıldığında ise  $\Delta x$  değerlerinin standart sapmaları 1.gün  $\pm 3.8$  cm, 2.gün  $\pm 3.4$  cm, 3.gün  $\pm 1.7$  cm ve 4.gün  $\pm 1.7$  cm elde edildiği;  $\Delta y$  değerlerinin standart sapmaları 1.gün  $\pm 1.4$  cm, 2.gün  $\pm 3.5$  cm, 3.gün  $\pm 1.9$  cm ve 4.gün ise  $\pm 2.4$  cm hesaplandı;  $\Delta h$  değerlerinin standart sapmaları 1.gün  $\pm 3.6$  cm, 2.gün  $\pm 4.2$  cm, 3.gün  $\pm 4.9$  cm ve 4.gün ise  $\pm 1$  cm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen statik ölçüm ile Sanal referans istasyonu /Lineer Alan Düzeltme Tekniği ölçümlerinin tümünün  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  ve  $\Delta h$  koordinat değerlerine ait farkları aşağıdaki grafiklerle çizilmiştir.



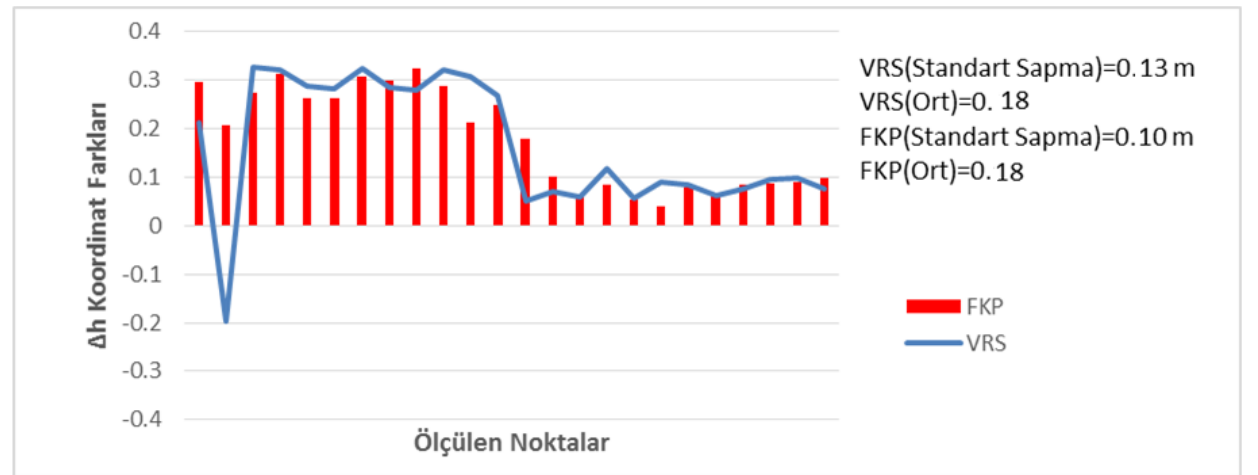
**Şekil 13.** Sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği ile statik ölçümler arasındaki  $\delta x$  farklarına ait grafik

Yapılan Sanal Referans İstasyonu/Lineer Alan Düzeltme Tekniği ölçümleri ile statik ölçümler karşılaştırılmış ve elde edilen koordinat farkları

grafiksel olarak gösterilmiştir. Elde edilen  $\Delta x$  koordinat farklarına ait değerlerin standart sapması  $\pm 2.5$  cm ve ortalama değeri ise 2 cm dir.



**Şekil 14.** Sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği ile statik ölçümler arasındaki  $\delta y$  farklarına ait grafik



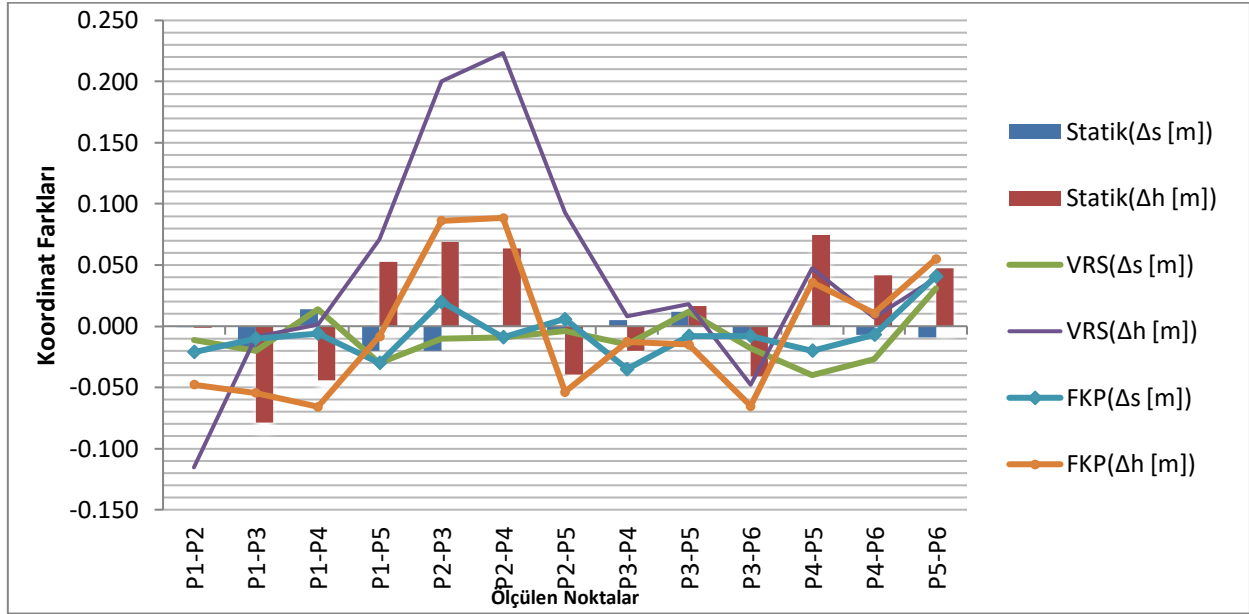
**Şekil 15.** Sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği ile statik ölçümler arasındaki  $\delta h$  farklarına ait grafik

Elde edilen  $\Delta y$  koordinat farklarına ait değerlerin standart sapması  $\pm 2.4$  cm ve ortalama değeri 1.9 cm dir. Elde edilen  $\Delta h$  koordinat farklarına

ait değerlerin standart sapması ise  $\pm 11$  cm ve ortalama değeri 18 cm olduğu görülmektedir. Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi uydu takip

teknolojisi sayesinde zayıf sinyaller ağaçlık altında gözlemlenebilecektir. Buna rağmen, bu sinyaller gürültü, zayıflık ve sinyal yansıması etkilerine maruz kalmaktadır. Bu durumdan elde edilen sonuçların geçerliliğini denetlemek amacıyla yersel ölçümlerden (Total station) faydalanılarak; Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi sonuçlarının kontrolü sağlanabilmektedir (Pırtı ve ark. 2010). Bu uygulamada elde edilen küresel uydu seyrüsefer sistemi sonuçlarının doğruluğunu incelemek amacıyla total station kullanarak ölçüm yapılmıştır.

P1, P2, P3, P4, P5 ve P6 noktalarında yatay ve dikey açı, yatay mesafe, alet yüksekliği ve işaret yükseklikleri ölçülmüştür. Yapılan bu ölçümlerde LINERTEC LTS-205N (açı hassasiyeti  $\pm 5''$ ), (mesafe ölçüm doğruluğu  $3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ ) total station kullanılmıştır. Aşağıdaki grafiklerde Total station kullanarak ölçülen yatay mesafeler ve yükseklik farkları ile küresel uydu seyrüsefer sistemi ölçümlerinden elde edilen elipsoid yükseklikler ile hesaplanan yükseklik farkları ve koordinatlardan hesaplanan yatay mesafeler karşılaştırılmıştır.



**Şekil 16.** Total station ile statik ölçümler, sanal referans istasyonu ölçümleri ve lineer alan düzeltme tekniği ölçümleri arasındaki farklara ait grafik

Total station ile statik küresel uydu seyrüsefer sistemi ölçüm sonuçları arasında elde edilen yatay koordinat farkları  $\pm (1-5 \text{ mm})$  arasında, yükseklik farkları ise  $\pm (1-79 \text{ mm})$  arasında kalmıştır. Total station ile sanal referans istasyonu ölçümleri arasında hesaplanan yatay farklar için  $\pm (4 \text{ mm}-4 \text{ cm})$  arasında, yükseklik farkları ise  $\pm (1 \text{ mm}-11 \text{ cm})$  arasında değişiklik göstermektedir. Total station ile lineer alan düzeltme tekniği ölçümleri arasında hesaplanan yatay farklar için  $\pm (6 \text{ mm}-4 \text{ cm})$  arasında, yükseklik farkları ise  $\pm (8 \text{ mm}-9 \text{ cm})$  arasında değişiklik göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar ağaçlık ve yapılaşmış alanda yapılmıştır.

### 3.1. İstatistiksel Test

Statik ölçme yöntemi ile elde edilen dengelenmiş koordinatlar ile sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme teknikleri kullanarak elde edilen koordinatların farkları hesaplanmıştır. Bu farklara ilişkin değerler grafikler de gösterilmiştir. Hesaplanan bu farklara ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$  ve  $\Delta h$ ) göre sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme teknikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmek istenmiş ve böylelikle istatistiksel test yapılmıştır.

**Tablo 2.** Ölçme yöntemlerine göre hesaplanan farklarının istatistiksel değerleri

Yöntem	N	Ortalama	Standart Sapma	Std Hata	%95 Güven Aralığı		Min	Max	
					Alt Sınır	Üst Sınır			
$\Delta X$ Farkları	VRS	24	-0.0055	0.0216	0.0044	-0.0146	0.0036	-0.045	0.034
	FKP	24	-0.0145	0.0283	0.0057	-0.0265	-0.0025	-0.078	0.045
	Toplam	48	-0.0100	0.0253	0.0036	-0.0174	-0.0027	-0.078	0.045
$\Delta Y$ Farkları	VRS	24	-0.0021	0.0242	0.0049	-0.0124	0.0081	-0.055	0.045
	FKP	24	0.0009	0.0246	0.0050	-0.0095	0.0113	-0.039	0.044
	Toplam	48	-0.0063	0.0242	0.0034	-0.0077	0.0064	-0.055	0.045
$\Delta h$ Farkları	VRS	24	0.1645	0.1347	0.0275	0.1077	0.2214	-0.198	0.328
	FKP	24	0.1801	0.1027	0.0210	0.1368	0.2235	0.041	0.323
	Toplam	48	0.1723	0.1187	0.0171	0.1379	0.2068	-0.198	0.328

Bağımsız değişkenlerin (Sanal Referans İstasyonu ve Lineer Alan Düzeltme Tekniği) bağımlı değişkenler ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$  ve  $\Delta h$ ) üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analiz yaparken varsayımlar oluşturmak ve bu varsayımlara göre yapılacak istatistiksel testi belirlemek gerekmektedir. Bu varsayımlar; değişkenlerin normal dağılması, varyansların eşit olması ve yeterli (>30) örneklem sayısına sahip olması gerekmektedir. İlk olarak; verilerin normal dağılıma uygunluğu “Tek Örneklem Kolmogorov Smirov Testi” kullanılarak belirlenmiştir. Asymp. Sig. (Anlamlılık) satırındaki değerlerin istatistiksel anlamlılık hesaplamalarında sınır değeri kabul edilen 0.05’den büyük olması incelenen ölçülerin dağılımlarının normal olduğunu göstermektedir. İkinci olarak; verilerin homojenliğini “Tek Yönlü ANOVA” testi ile gerçekleştirilmiştir. Sig. (Anlamlılık) değerleri 0.05’den büyük olması yapılan

ölçülerin dağılımlarının homojen olduğunu göstermektedir. Üçüncü olarak; örneklem sayımız (>30) olduğu için bu varsayımlar doğrultusunda parametrik test yöntemlerinden birini kullanarak bağımsız değişkenin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini anlamamızı sağlayacaktır. Koordinat farkları ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$  ve  $\Delta h$ ) ile ilgili sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği teknikleri arasında istatistiksel fark olup olmadığını test etmek için “Bağımsız Örneklem T-Testi” kullanılmıştır. Bağımsız örneklem t-testi (Independent-Sample T Test) iki ayrı grubun ortalamalarını test ettiği için ortalama değerlerine göre incelenmektedir. Ancak bu ortalama değerlerin rastlantısal bir fark olup olmadığını incelersek, Sig. (anlamlılık) sütunundaki değerler, 0.05’den büyük olduğu için sanal referans istasyonu ile lineer alan düzeltme tekniği koordinat farkları arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı söylenebilmektedir.

**Tablo 3.** Ölçme yöntemlerine (Sanal referans istasyonu ve lineer alan düzeltme tekniği) göre ANOVA değerleri

Bağımlı Değişkenler		Kareler Toplamı	df	Kareler Ort.	F	Sig.
X Koordinat Farkları	Gruplar Arası	.001	1	.001	1.533	.222
	Gruplar İçinde	.029	46	.001		
	Toplam	.030	47			
Y Koordinat Farkları	Gruplar Arası	.000	1	.000	.181	.672
	Gruplar İçinde	.027	46	.001		
	Toplam	.028	47			
H Koordinat Farkları	Gruplar Arası	.003	1	.003	.203	.654
	Gruplar İçinde	.660	46	.014		
	Toplam	.663	47			

Ölçme yöntemleri (Statik, Sanal Referans İstasyonu, Lineer Alan Düzeltme Tekniği ve Total station) kullanarak elde edilen P1, P2, P3, P4, P5 ve P6 noktalar arasındaki mesafe farkları bulunmuştur. Yani, Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi ölçümler ve yersel ölçümler yapılarak hesaplanan noktalar arasındaki mesafe farkları ile kullanılan ölçme yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmek istenmiştir. Bu ölçme yöntemlerine göre hesaplanan mesafe farklarına ait istatistiksel bilgiler verilmiştir. Burada, bağımlı değişkenlerin (mesafe farkları) bağımsız değişkenler

(Statik Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi, Sanal referans İstasyonu, Lineer Alan Düzeltme Tekniği, Total Station) üzerindeki etkisi için normal dağılımlı olup olmadığı ve homojenlik testi yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda mesafe farklarının istatistiksel olarak anlamını belirlemek için “Bağımsız Örneklem Tek Yönlü Varyans Analizi” yapılmıştır. Varyans analizi farklı grupların birbirinden farklı olup olmadığını göstermektedir. Farklılıkların hangi gruplar arasında olduğu “Tukey Testi” yaparak belirlenebilmektedir.

**Tablo 4.** Ölçme yöntemlerine göre karşılaştırmalar (Tukey Testi)

(I) Yöntemler	(J) Yöntemler	Ortalama Fark (I-J)	Std. Hata	Sig.	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
Statik GNSS	CORS-VRS	.00538	6.13039	1.000	-16.3099	16.3206
	CORS-FKP	.00231	6.13039	1.000	-16.3130	16.3176
	Total Station	-.00438	6.13039	1.000	-16.3196	16.3109
CORS-VRS	Statik GNSS	-.00538	6.13039	1.000	-16.3206	16.3099
	CORS-FKP	-.00308	6.13039	1.000	-16.3183	16.3122
	Total Station	-.00977	6.13039	1.000	-16.3250	16.3055
CORS-FKP	Statik GNSS	-.00231	6.13039	1.000	-16.3176	16.3130
	CORS-VRS	.00308	6.13039	1.000	-16.3122	16.3183
	Total Station	-.00669	6.13039	1.000	-16.3220	16.3086
Total Station	Statik GNSS	.00438	6.13039	1.000	-16.3109	16.3196
	CORS-VRS	.00977	6.13039	1.000	-16.3055	16.3250
	CORS-FKP	.00669	6.13039	1.000	-16.3086	16.3220



Her bir grupta ortalama değerler, standart hata değerleri yer almaktadır. Ölçüm teknikleri ortalamalarına bakıldığında bu ortalama değerleri birbirlerine yakındır. İstatistiksel olarak rastlantısal olup olmadığı incelendiğinde Tukey tablosunun sig. (anlamlılık) değeri 1.000 olduğu görülmektedir.  $p > 0.05$  olduğu için istatistiksel olarak anlamlı olmadığı söylenebilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada sürekli gözlem yapan referans istasyonların ağaçlık ve yapılaşmış alanlarda doğruluk analizi için bir uygulama yapılmıştır. Hem ağaçlık bölgede hem de yapılaşmış bölgede 2'şer nokta ve 1 nokta ağaçların az olduğu bir bölgelerde tesis edilmiştir. İlaveten de 1 nokta, yapılaşmış bölgeden belli bir mesafe uzaklıkta oluşturulmuştur. Ölçümler, Ashtech ProMark 800 Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi Alıcısı ile 2 Kasım 2017, 3 Kasım 2017, 4 Kasım 2017 ve 5 Kasım 2017 tarihlerinde Sanal Referans İstasyonu ve Lineer Alan Düzeltme Tekniği teknikleriyle yapılmıştır. 4 Kasım tarihinde aynı zamanda Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi Alıcısı ile statik ölçümler yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Statik ölçümlerin yapılmasındaki ana amaç ölçümlerin karşılaştırmasında doğru bir ölçüt değeri belirlenmesidir. TUSAGA-Aktif merkezinden Kayseri bölgesine (KAYS noktası) ait olan 4 Kasım 2017 tarihli 24 saatlik RINEX (ITRF 2005.0 epogunda) verileri alınarak Topcon Magnet TOOLS yazılımı ile değerlendirilmiş ve dengelenmiş nokta koordinatları hesaplanmıştır. Total station kullanarak da noktaların yatay ve düşey açıları, yatay mesafeleri, alet, işaret yükseklikleri ölçülmüştür. Dört gün boyunca yapılan Sanal Referans İstasyonu-Lineer Alan Düzeltme Tekniği ölçümleri karşılaştırıldığında  $\Delta y$  değerlerinin standart sapmaları 1.gün için  $\pm 1$  cm, 2.gün için  $\pm 2.8$  cm, 3.gün için  $\pm 2.3$  cm ve 4.gün için  $\pm 1.1$  cm değeri;  $\Delta x$  değerlerinin standart sapmaları ise 1.gün için  $\pm 2.6$  cm, 2.gün için  $\pm 3.4$  cm, 3.gün için  $\pm 3.6$  cm ve 4.gün için  $\pm 1.5$  cm değeri;  $\Delta h$  değerlerinin standart sapmaları ise 1.gün için  $\pm 17$  cm, 2.gün için  $\pm 47$  cm, 3.gün için  $\pm 62$  cm ve 4.gün için  $\pm 11$  cm değeri elde edilmiştir. Ölçüm anlarındaki uydu sayıları 8-14 (GPS+GLONASS) arasında değişim göstermektedir.

Yatay ve düşey konum için karesel ortalama hata değerlerinden hesaplanan konum hatası değerleri ise 5 ile 8 mm aralığında elde edilmiştir. Statik ölçümler ile Sanal Referans İstasyonu ölçümleri her bir nokta için karşılaştırıldığında ise  $\Delta x$  değeri P1 noktası için  $\pm(1$  mm-1 cm) aralığında; P2 noktası için  $\pm(4$  mm-1.3 cm); P3 noktası için  $\pm(6$  mm-2 cm); P4 noktası için  $\pm(8$  mm-3.4 cm); P5 noktası için  $\pm(1.3$ -4.1 cm) ve P6 noktası için de  $\pm(1.2$ -4.5 cm) aralığında değerler elde edilmiştir. Ayrıca  $\Delta y$  değeri P1 noktası için  $\pm(1$  mm- 5.5 cm), P2 noktası için  $\pm(1$  mm- 2.5 cm); P3 noktası için  $\pm(5$  mm- 1.9 cm); P4 noktası için  $\pm(6$  mm- 4.5 cm); P5 noktası için  $\pm(2.8$  cm-4.5 cm); P6 noktası için  $\pm(4$  mm-1.2 cm) aralığında değerler elde edilmiştir. İlaveten de  $\Delta h$

değeri P1 noktası için  $\pm(5$  cm-21 cm); P2 noktası için  $\pm(6$  cm- 28 cm); P3 noktası için  $\pm(5$  cm-32 cm); P4 noktası için  $\pm(9$  cm-32 cm); P5 noktası için  $\pm(5$  cm-30 cm); P6 noktası için  $\pm(7$  cm-28 cm) aralığında değerler elde edilmiştir. Statik ölçümler ile Lineer Alan Düzeltme Tekniği ölçümleri her nokta için karşılaştırıldığında  $\Delta x$  değeri P1 noktası için  $\pm(2$  mm- 1.5 cm) ; P2 noktası  $\pm(1.3$  cm-6.7 cm); P3 noktası  $\pm(3$  mm- 4.5 cm); P4 noktası  $\pm(6$  mm- 4.7 cm); P5 noktası  $\pm(5$  mm- 3.2 cm); P6 noktası  $\pm(2.7$  cm-7.8 cm) aralığında değerler elde edilmiştir. Ayrıca  $\Delta y$  değeri P1 noktası için  $\pm(1.3$  cm-3.6 cm); P2 noktası  $\pm(4$  mm-4.4 cm); P3 noktası  $\pm(1$  mm-2.1 cm); P4 noktası  $\pm(1$  mm- 3.9 cm); P5 noktası için  $\pm(1.8$  cm- 4.1 cm); P6 noktası için  $\pm(8$  mm- 3.5 cm) aralığında değerler elde edilmiştir. Ek olarak da  $\Delta h$  değerleri P1 noktası için  $\pm(7$  cm-30 cm); P2 noktası için  $\pm(6$  cm-30 cm); P3 noktası için  $\pm(6$  cm- 32 cm); P4 noktası için  $\pm(8$  cm-31 cm); P5 noktası için  $\pm(5$  cm- 26 cm) aralığında ve P6 noktası için de  $\pm(4$  cm-26 cm) aralığında değerler elde edilmiştir. Proje bölgesinde ki P1 ve P2 noktaları, ağaçların yoğun olduğu bölgelerde bulunmakta; P3 noktası ağaçların az olduğu bölgede yer almakta; P4 yapılaşmış alanın biraz dışındaki bir bölgede bulunmakta; P5 ve P6 noktaları ise yapılaşmış alan içinde ve de bina çatı altlarında tesis edilmiştir. Statik ölçümler ile Sanal Referans İstasyonu-Lineer Alan Düzeltme Tekniği ölçümleri karşılaştırıldığında ise  $\Delta y$  değerinin standart sapması  $\pm 2.5$  cm,  $\Delta x$  değerinin standart sapması  $\pm 2.4$  cm ve  $\Delta h$  değerinin standart sapması ise  $\pm 11$  cm olduğu hesaplanmıştır. Total station ile statik ölçümler karşılaştırıldığında ise yatay koordinat farkları 1-5 mm aralığında, yükseklik farkları ise 1 mm ile 8 cm arasında değişmektedir. Total station ile Sanal Referans İstasyonu ölçümleri arasında yatay farkları 4 mm-4 cm aralığında, yükseklik farkları ise 1 mm-11 cm aralığında değişmektedir.

Total station ile lineer alan düzeltme tekniği ölçümleri arasındaki yatay koordinat farkları ise 6 mm-4 cm aralığında, yükseklik farkları 8 mm-9 cm aralığında değişmektedir. Statik ölçümler ile Sanal Referans İstasyonu ve Lineer Alan Düzeltme Tekniği düzeltme yöntemleri kullanarak hesaplanan koordinat farkları için yapılan istatistiksel testte (Bağımsız Örneklem T-Testi) bu tekniklerin (Sanal Referans İstasyonu ve Lineer Alan Düzeltme Tekniği) bağımlı değişkenler ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$  ve  $\Delta h$ ) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur. Ölçme yöntemleri kullanarak (Statik, Sanal Referans İstasyonu, Lineer Alan Düzeltme Tekniği, Total station) hesaplanan mesafe farklarına istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için bağımsız örneklem tek yönlü varyans analiz testi uygulanmıştır. Kullanılan ölçme yöntemlerine göre karşılaştırmalar yapılmış ve bağımlı değişkenler (mesafe farkları) üzerinde ölçme yöntemlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Yani, ölçme yöntemlerinin farklı olmayan sonuçlar gösterdiği söylenebilmektedir. Bu uygulamada elde edilen koordinat farkları daha önce yapılan benzer

çalışmalar ile karşılaştırıldığında; nispeten daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Yukarıda açıklanan olumlu sonuçların elde edilmesindeki ana etmenler; Z-Blade teknolojisi farklı Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi sinyallerinin en uygun kombinasyonu için ve sadece bir uydu grubu (GLONASS) için farklı patentli teknikleri barındırmaktadır. Komple Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi çoklu bant motoru (GPS+GLONASS+GALILEO+SBAS ve diğer Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi sinyalleri, L1&L2 veya diğer bantlar) olarak tasarlanan bu teknoloji ile birlikte GPS+GLONASS uyduları sayesinde konum doğruluğunun arttığı aşikârdır. Gelecekte de GALILEO sisteminin tamamlanması ve diğer uydu sistemlerinin geliştirilmesi ile uydu görüşlerinin az olduğu alanlarda bile konum doğruluğunun iyi bir şekilde gerçekleştirilebileceği umut vaat etmektedir.

### BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan cihazlar için Erciyes Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölüm Hocalarına teşekkür ederiz.

### KAYNAKÇA

Dobelis D. and Zvirgzds J., (22 September 2016), "Network RTK Performance Analysis: A Case Study in Latvia", *Geodesy and Cartography*.

Erenoğlu R.C., (2015), "A Comprehensive Evaluation of GNSS and CORS-based positioning and terrestrial surveying for cadastral surveys", *Survey Review* 2017, Vol: 49, No: 352.

Gordini, C., Kealy, A.N., Grgich, P.M. and Hale M.J., (2006), "Testing and Evaluation of a GPS CORS Network for Real Time Centimetric Positioning – The Victoria GPSnet™", *International Global Navigation Satellite Society GNSS Symposium Australia*.

Gümüş K., (2016), "A Research on the Effect of Different Measuring Configurations in Network RTK Applications", *Measurement* 78, 334-343.

Kaartinen H., Hyyppä J., Vastaranta M., Kukko A., Jaakkola A., Yu X., Pyörälä J., Liang X., Liu J., Wang Y., Kaijaluoto R., Melkas T., Holopainen M. and Hyyppä Hannu, (2015), "Accuracy of Kinematic Positioning Using Global Satellite Navigation Systems Under Forest Canopies ", *Forests*, 6, 3218-3236.

Kahveci M., (2009), "Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri", *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2009/1, sayı 100.

Kahveci M. (2009). *Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları*, Zerpa Yayınları, 102, Ankara.

Mansour M.A.M., (2016). "A Study on Modeling The Regional Ionosphere Using Multi-Constellation GNSS Observations For Single-Frequency PPP", *Doktora Tezi*.

Mekik Ç.ve Akçın H., (1998), "GPS'te Tamsayı Belirsizliği Çözüm Yöntemleri", *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi*, 84.

Name, H., Okamoto, O., Fan, C. and Yasuda A., (2010), "Development of a Network-Based RTK-Positioning System Using FKP Via The Internet", *The Institute of Positioning Navigation and Timing of Japan*.

Öcalan T. ve Soycan M., (2011), "GNSS Verilerinin Gerçek Zamanlı İletimi İçin Uluslararası Standartlar ve Gelişmeler", *13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

Pırtı A., (2009), *Mühendislik Ölçmelerinde Gerçek Zamanlı Kinematik GPS (GZK GPS) ve CORS Tekniği Ders Notları, YTÜ Ölçme Tekniği Ana Bilim Dalı, İstanbul*.

Pırtı A., (2017), "Ormanlık Alanlarda Kullanılabilecek Alternatif Konum Belirleme Yöntemlerinin İncelenmesi", *16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara*.

Pırtı A., (2016), "The Seasonal Effects of Deciduous Tree Foliage in CORS-GNSS Measurements (VRS/FKP)", *Technicki Vjesnik* 23, 3(2016), 769-774.

Pırtı A., (2008), "Accuracy Analysis of GPS Positioning Near The Forest Environment", *Croat. J. For eng.* 29 (2008) 2.

Pırtı A., Gümüş K., Erkaya H. ve Hoşbaş R.G., (2010), "Evaluating Repeatability of RTK GPS/GLONASS Near/Under.

*Spectra Precision ProMark 800 GNSS Alıcı Broşürü*.

*Spectra Precision*, (March 2013), "Increased Productivity in Harsh Environments with Spectra Precision Z-Blade Technology", *Colorado, USA*.

Yıldırım Ö., (2011), "A Comparative Analysis of the Virtual Reference Stations (VRS)", *Scientific Research and Essays* Vol.6 (27), pp. 5726-5733

