

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 065504 (1393-1403)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 065504 (1393-1403)

DOI: 10.35414/akufemubid.1010317

Araştırma Makalesi / Research Article

TUSAGA-Aktif İstasyonlarındaki Meteorolojik Hava Olaylarının Hassas Nokta Konumlamaya Etkisi

Burhaneddin BİLGEN^{1*}, Sercan BÜLBÜL¹, Cevat İNAL¹¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya.Sorumlu yazar*, e-posta: bbilgen@ktun.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1955-7568>sbulbul@ktun.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6066-611X>cinal@ktun.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8980-2074>

Geliş Tarihi: 15.10.2021

Kabul Tarihi: 15.12.2021

Öz

Hassas Nokta Konumlama (PPP), santimetre mertebesinde konum doğruluğu sağlayan bir teknik olarak geliştirilmiş ve günümüzde bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. PPP tekniğinde, tek bir GNSS alıcısından elde edilen ham verilerin hassas uydu yörünge ve saat düzeltmeleri kullanılarak değerlendirilmesi sonucunda cm mertebesinde doğruluk elde edilebilmektedir. Bu çalışmada; Batı, Orta ve Doğu Anadolu'da yer alan ikişer adet TUSAGA-Aktif istasyonundaki meteorolojik hava olaylarının PPP'ye etkisi birden fazla internet tabanlı değerlendirme servisiyle araştırılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda; Batı Anadolu'da AFYN ve ESKS, Orta Anadolu'da KAYS ve SIVS, Doğu Anadolu'da ise ERZR ve VAN1 istasyonları seçilmiştir. Bu istasyonlara ait farklı meteorolojik etkiler altında veri kayıt aralığı 30 saniye olan 30 gün 24 saatlik RINEX verileri temin edilmiştir. Temin edilen veriler internet tabanlı PPP servislerinden; Canadian Spatial Reference System – PPP (CSRS-PPP), GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS) ve MagicGNSS kullanılarak değerlendirilmiştir. İnternet tabanlı servislerden elde edilen koordinatların gerçek koordinat değerlerinden farkları alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda tüm hava koşullarında MagicGNSS'in en iyi sonuçları verdiği, yağmurlu ve karlı hava koşullarının internet tabanlı PPP servislerinin doğruluğunu etkilediği görülmüştür.

Anahtar kelimeler

CORS-TR; CSRS-PPP;
GAPS; MagicGNSS; PPP

The Effect of Meteorological Weather Events on Precise Point Positioning at TUSAGA-Active Stations

Abstract

Precise Point Positioning (PPP) was developed as a technique that provides high positioning accuracy and has become a widely used method in scientific studies today. In the PPP technique, cm level accuracy can be achieved as a result of evaluating the raw data obtained from a single GNSS receiver using precise satellite orbit and clock corrections. In this study; The effect of meteorological weather events on PPP at two CORS-TR stations located in Western, Central and Eastern Anatolia was investigated and results were statistically compared with each other. For this purpose; AFYN and ESKS in Western Anatolia, KAYS and SIVS in Central Anatolia, ERZR and VAN1 stations in Eastern Anatolia were selected. RINEX data of 30 days and 24 hours with a data recording interval of 30 seconds under different meteorological effects of these stations were obtained. The provided data processed using the Canadian Spatial Reference System – PPP (CSRS-PPP), GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS), and MagicGNSS which are the web-based online PPP services. Comparisons were made by taking the differences of the coordinates obtained from web-based online PPP services from the true coordinate values. As a result of the comparisons, it was seen that MagicGNSS gave the best results in all weather conditions, and rainy and snowy weather conditions affected the accuracy of web-based PPP services.

Keywords

CORS-TR; CSRS-PPP;
GAPS; MagicGNSS; PPP

1. Giriş

GNSS (Global Navigation Satellite Systems), bugüne kadar geliştirilmiş küresel konum belirleme ve navigasyon sistemleri bütünü olarak tanımlanmaktadır. Hava şartlarından etkilenmeden sürekli gözlem yapabilen, yeryüzünde tek anlamlı, süratli ve doğru konum belirlemeye olanak veren GNSS jeodezik çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. GNSS ile ölçmeler, alıcı fiyatlarının sürekli düşmesi, planlama ve hesaplama için kullanılan yazılımların tamamen otomatik hale gelmesi ve öğrenme kolaylığı nedeniyle her geçen gün daha popüler hale gelmektedir (Kahveci ve Yıldız 2017).

GNSS ile konum belirlemede bağıl ve mutlak konum belirleme olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabilir. Bağıl konum belirleme yönteminde en az iki GNSS alıcısına gereksinim duyulurken, mutlak konum belirlemede tek bir GNSS alıcısı ile konumlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Hassas Nokta Konumlama (PPP), mutlak konum belirleme yöntemlerinden biri olup, sıfır fark yönteminin özel bir durumu olarak son on yıldır birçok uygulamada kullanılmaktadır (Alçay 2019, Cai and Gao 2013). PPP, tek bir GNSS alıcısı ile uydu ve saat düzeltmelerini kullanarak, mutlak ve yüksek konumlama doğruluğu sağlayan bir teknik olarak geliştirilmiştir. Bu yöntemde, kod ve taşıyıcı faz gözlemleri birlikte kullanılarak çift frekanslı tek bir alıcı ile cm/dm seviyesinde nokta konumlama doğruluğu elde edilebilmektedir (Gelişkan 2019). PPP yönteminde; dağlık bölgeler, ormanlık alanlar, yüksek yapıların bulunduğu şehir içleri, açık maden ocakları, açık gökyüzü olup da zayıf uydu geometrisinin olduğu bölgeler konum belirleme doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

PPP ile konum belirlemenin geçmişi 1976 yılına dayanmaktadır. Fakat 1990'lı yıllarda çift frekanslı alıcıların ortaya çıkmasından itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. 1976 yılında Anderle, Doppler etkisinden yararlanarak uydu yörüngesini 2 metre doğruluk ile hesaplayabilmiştir (Anderle 1976). Yapılan çalışma yüksek bir doğruluk taşımamasına rağmen, PPP kavramının ilk kez ortaya çıkışına neden olmuştur. 1990'lı yıllarda hassas yörünge ve saat bilgileri elde edilmeye başlanmıştır. 1997

yılında çift frekanslı alıcıların ortaya çıkışı ile iyonosferden kaynaklanan hatalar modellenenmiştir (Baybura *et al.* 2019, İnyurt 2020). 2000 yılında da GPS (Global Positioning System) uydu sinyalleri üzerindeki Seçimli Doğruluk Erişimi (SA: Selective Availability) kaldırılmıştır (Xu *et al.* 2011). Bu gelişmeler, konumlama doğruluğunun artmasına katkıda bulunmuştur.

Son yıllarda giderek popülaritesi artan PPP yöntemi birçok bilimsel çalışmaya da konu olmuştur. Alkan vd. (2020), farklı GNSS uydu sistemlerinin PPP tekniğinin performansına etkisini, Bahadır ve Nohutçu (2019) ise, Galileo uydu sisteminde hassas nokta konumlama yönteminin performans değerlendirmesini (Türkiye için) araştırmışlardır. Atalay (2018) anlık şiddetli yağışların GPS konum doğruluğu üzerine etkisini, Aykut (2018) ise meteorolojik değişimin PPP konum belirleme üzerindeki etkisini araştırmıştır. Najmulden (2017) web tabanlı GNSS değerlendirme servislerinde PPP tekniğini, Saraçoğlu (2016) ise farklı mevsimlerde elde edilen GPS ölçülerini değerlendirerek mevsimsel değişimin küresel ölçekte GPS konum doğruluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Selbesoğlu ve Gümüş (2016), PPP tekniği ile Ağ RTK tekniğinden elde edilen yükseklik bileşeninin doğruluğunu, Yiğit vd. (2016) ise CSRS-PPP yazılımının uzun dönemli GNSS zaman serilerinin oluşturulmasında ve nokta hızlarının kestirilmesinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Alçay vd. (2013) CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS web tabanlı yazılımların statik PPP modüllerini karşılaştırmışlardır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak birden fazla istasyonda, birden fazla internet tabanlı değerlendirme servisiyle meteorolojik hava olaylarının PPP'ye etkisi araştırılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. İklim koşullarının bölgeden bölgeye değişmesi ve yükseltinin de bu koşullardaki etkisi nedeniyle Batı, Orta ve Doğu Anadolu' da bulunan ikişer adet TUSAGA-Aktif istasyonu seçilmiştir. Bu istasyonlardan 30' ar günlük karlı, yağmurlu ve güneşli hava koşullarında, veri kayıt aralığı 30 saniye olan 30 gün 24 saatlik RINEX verileri temin edilmiştir. Temin edilen veriler internet tabanlı PPP servisleri olan CSRS-PPP, MagicGNSS ve

GAPS servislerine gönderilerek istasyon koordinatları elde edilmiştir. Elde edilen koordinatlar gerçek değerleri ile karşılaştırılmış ve farklı meteorolojik hava olaylarının internet tabanlı PPP servislerinin doğruluğunu ne şekilde etkiledikleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1 Hassas nokta konumlama tekniği ve internet tabanlı PPP servisleri

Mutlak konum belirleme yöntemlerinden biri olan PPP, 1997 yılında ilk defa Zumberge vd. (1997) tarafından kod ve taşıyıcı faz gözlemleri birlikte kullanılarak tek GNSS alıcısıyla gerçekleştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemle, statik veya kinematik modda cm ile dm seviyesinde konumsal doğruluk elde edilebilmektedir. PPP yönteminin kullanımı, farklı bilimsel ve pratik uygulama alanlarında gün geçtikçe yaygınlaşmasına rağmen, yakınsama süresinin uzun olması ve ticari yazılımlarda PPP işleme modunun kullanılmamasından dolayı bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Yöntemin kullanımının kolay olması nedeniyle, PPP tekniği ile ilgili çalışmaların sayısı giderek artmaktadır (Alkan vd. 2016).

PPP yönteminde gerekli olan uydu yörünge ve saat bilgileri küresel hizmet veren sabit GPS/GNSS referans istasyonları ağından sağlanmaktadır. Bu noktada, PPP için gerekli olan hassas yörünge ve saat bilgilerinin en önemli kaynağı Uluslararası GNSS Servisi (IGS) 'dir (Pan *et al.* 2014). Bunun dışında Satellite Based Augmentation System (SBAS) ile bütünleşmiş olan kamusal ya da ticari diğer referans istasyonu ağları da yörünge ve saat bilgileri sağlamaktadırlar (Ebner 2008). PPP yönteminde tek frekanslı alıcılara toplanan verilerinin değerlendirilmesiyle metre seviyesinde konum doğruluğuna ulaşabilirken, çift frekanslı alıcılara cm-dm mertebesinde doğruluklar elde edilebilmektedir. Ancak bu doğrulukların elde edilebilmesi için alıcı saat hatası, troposferik gecikme, uydu anten ofsetleri, taşıyıcı faz etkisi, gelgit etkileri gibi birçok diğer etkinin de dikkate alınması gerekmektedir (Alkan ve Kalkan 2011, Kouba and Héroux 2001).

GNSS verilerinin PPP yöntemiyle işlenmesi amacıyla bilimsel yazılımlar ve bununla birlikte, son on yılda, düşük maliyet, kullanım kolaylığı ve hızlı çözüm üretmesi gibi nedenlerle yaygınlaşan internet tabanlı PPP servisleri kullanılabilmektedir. İnternet tabanlı servisler sayesinde kullanıcılar, gerekli veri formatını e-posta yoluyla göndererek veya doğrudan servislerin web sitesine yükleyerek, istasyon koordinatları ve sonuç raporları gibi bilgileri kısa sürede elde edebilmektedirler.

Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP), GNSS ham gözlem verilerinden yüksek hassasiyetli konum hesaplamalarına olanak tanıyan ücretsiz internet tabanlı ölçü sonrası veri değerlendirme servisi. Hem statik hem kinematik modda tek ya da çift frekanslı sabit ya da hareketli platformda toplanmış GNSS (GPS ve GLONASS) verilerini değerlendirmektedir (Choy *et al.* 2013, Dawidowicz and Krzan 2014, İnyurt ve Ulukavak 2020). CSRS-PPP, verileri değerlendirdikten sonra görsel çıktılar ve genişletilmiş analizlerden oluşan sonuç raporlarını kullanıcıya e-posta yoluyla göndermektedir. Bu raporlar hem özet hem de detaylı bilgiler içermektedir.

İspanya menşeli GMV Aerospace and Defense Company tarafından geliştirilen MagicGNSS değerlendirme servisi ise, 2008 yılında kullanıma sunulmuştur. İnternet tabanlı olarak hizmet veren MagicGNSS'in ücretsiz olan e-posta servisi aracılığıyla GPS ve GLONASS uydularından alınan veriler değerlendirilebilirken, belirli bir ücret ödeyerek kayıt yaptıran kullanıcılar GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou ve QZSS uydularından alınan verileri de değerlendirebilmektedir. Statik ve kinematik değerlendirme seçeneklerine sahip servis, IGS ve GMV'nin ürettiği uydu yörünge ve saat ürünlerini kullanarak gönderilen çift frekanslı GNSS verilerini değerlendirmektedir. Servis, RINEX 2.xx ve 3.xx formatındaki GNSS verilerini kabul etmektedir. İşlemin tamamlanmasının ardından PPP koordinatları ve değerlendirme işlemine ait pek çok istatistiksel bilgiyi de içeren rapor ve grafikler, e-posta ile kullanıcılara kısa bir süre içerisinde gönderilmektedir (Alkan vd. 2020).

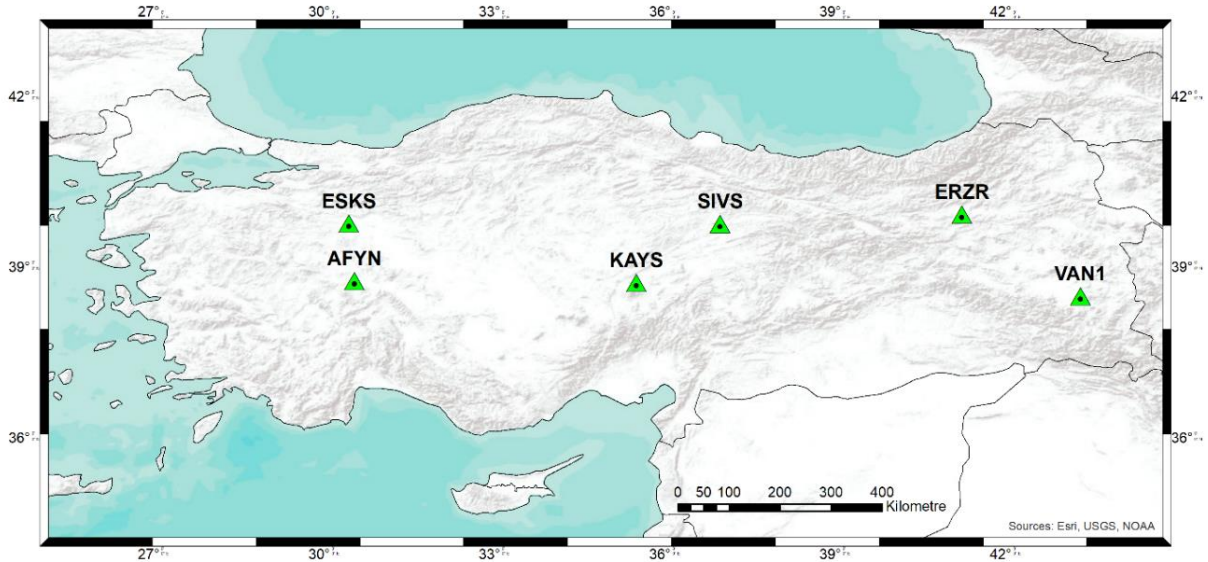
GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS), kullanıcılara konum ve diğer parametreleri sağlayan

ücretsiz çevrim içi PPP servisi 2007'de New Brunswick Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Genel olarak, GAPS konumlama için kullanılmış olsa da, kullanıcıya iyonosferik ve atmosferik gecikmeleri, alıcı saat hatası ve multipath (sinyal yansıma) etkisini belirleme olanağı sağlayan GNSS veri işleme yazılımı olarak tasarlanmıştır (Guo 2014). GAPS, uygulama çeşitliliği nedeniyle yalnızca hassas bir nokta konumlandırma aracı değil, aynı zamanda bir GNSS analiz aracıdır. GAPS, kullanıcılara statik ve kinematik modda tek bir GNSS alıcısı kullanarak hassas konum belirleme imkânı sağlamaktadır. IGS ve National Resources Canada (NRCan) gibi kaynaklardan sağlanan hassas yörünge ve saat ürünlerinin kullanımı sayesinde, statik modda santimetre mertebesinde konumlama ve kinematik modda desimetre mertebesinde konumlama elde etmek mümkündür (Gelişkan 2019).

2.2 Çalışma alanı ve yöntem

Bu çalışmada meteorolojik hava olaylarının PPP üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla Batı, Orta ve Doğu Anadolu' da yer alan ikişer adet TUSAGA-Aktif

istasyonu seçilmiştir (Şekil 1). İklim koşullarının bölgeden bölgeye değişmesi ve yükseltinin de bu koşullardaki etkisi nedeniyle seçilen istasyonların Türkiye'nin batısından doğusuna doğru dağılışı göstermesine dikkat edilmiştir. Bu istasyonların karlı, yağmurlu ve güneşli hava durumları altında veri kayıt aralığı 30 saniye olan 30 gün 24 saatlik RINEX verileri tusaga-aktif.gov.tr adresinden temin edilmiştir. Temin edilen verilerin tarih aralıkları 2019 ve 2020 yıllarına ait günlük hava durumları incelenerek belirlenmiştir. Tarihler belirlenirken ardışık yağışlı (yağmur ve kar) ve ardışık güneşli olmasına dikkat edilmiştir. İstasyonların bulunduğu bölgelerde güneşli hava durumu için 1 Ağustos – 30 Ağustos 2019 arası, yağmurlu hava durumu için 1 Nisan – 30 Nisan 2019 arası ve karlı hava durumu için 25 Aralık 2019 – 24 Ocak 2020 tarihleri arası uygun görülmüştür. Ancak, Doğu Anadolu'da güneşli hava durumuna diğerlerinden farklı olarak 17 Temmuz – 17 Ağustos 2019 tarihleri arasının daha uygun olduğu görülmüş ve uygulamada bu aralığa ait veriler kullanılmıştır.



Şekil 1. Verileri kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonları

Çevrim içi servislerin karlı, yağmurlu ve güneşli hava koşulları altında sağladığı konum doğruluklarını değerlendirebilmek için PPP servisleri aracılığıyla elde edilen koordinatlar her bir istasyonda gerçek koordinat değerleriyle karşılaştırılmalıdır. Bu amaçla, [https://www.tusaga-](https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Web/IstasyonKonumBilgileri.pdf)

[aktif.gov.tr/Web/IstasyonKonumBilgileri.pdf](https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Web/IstasyonKonumBilgileri.pdf)

adresinden alınan 2005.00 epoğundaki gerçek koordinatlar;

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{T_0} \\ Y_{T_0} \\ Z_{T_0} \end{bmatrix} + (T - T_0) \cdot \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak ölçü epoğuna kaydırılır. Denklem (1)'de; X_{T_0} , Y_{T_0} , Z_{T_0} TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2005.00 epoğundaki güncel koordinat değerlerini, T ölçü epoğunu, T_0 referans epok olan 2005.00 epoğunu, V_X , V_Y , V_Z Tusaga-Aktif istasyonlarının 2005.00 epoğundaki hızlarını göstermektedir. Her bir ölçü gününde internet tabanlı PPP servislerinden elde edilen koordinatlar (X_i, Y_i, Z_i) ile ölçü epoğundaki koordinatlar (X_T, Y_T, Z_T) arasındaki farklar alınarak gerçek hatalar;

$$\varepsilon_{X_i} = X_i - X_T, \quad \varepsilon_{Y_i} = Y_i - Y_T, \quad \varepsilon_{Z_i} = Z_i - Z_T \quad (2)$$

denklemleri ile hesaplanır. Koordinat eksenleri yönündeki karesel ortalama hatalar (KOH);

$$m_{X_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{X_i} \varepsilon_{X_i}]}{n}}$$

$$m_{Y_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{Y_i} \varepsilon_{Y_i}]}{n}} \quad (3)$$

$$m_{Z_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{Z_i} \varepsilon_{Z_i}]}{n}}$$

denklemleri kullanılarak hesaplanır. Denklem (3)'de n , elde edilen ardışık gerçek hata sayısını göstermektedir. İstasyonlara ait konum ortalama hatası;

$$m_P = \sqrt{m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2 + m_{Z_i}^2} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Normal dağılımlı iki ölçü grubunun varyanslarının istatistiksel olarak uyumlu olup olmadığının test edilmesinde Fisher dağılımı kullanıldığı için, istasyonlara ait konum ortalama hatalarının istatistiksel olarak birbirleri ile karşılaştırılmasında F-testinden yararlanır. Karşılaştırmada, test büyüklüğü;

$$F_{test} = \frac{m_i^2}{m_j^2} \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır (Ghilani ve Wolf, 2006). Test büyüklüğünün hesaplanmasında, büyük olan varyans değeri paya yazılmalıdır. Denklem (5)'te, m_i ve m_j ; i ve j ölçü gruplarının varyanslarını

göstermektedir. f_i , f_j ölçü gruplarının serbestlik dereceleri ve α yanılma ihtimali olmak üzere, F_{test} değeri $F_{tablo} = F_{f_i, f_j, 1-\alpha}$ değeri ile karşılaştırılır. Test değerinin tablo değerinden küçük olduğu durumlarda i ve j ölçülerine ait KOH'un birbirleri ile uyumlu olduğu, aksi durumda ise bu KOH'un birbirleri ile $1-\alpha$ güven aralığında istatistiksel olarak birbirleri ile uyumlu olmadığı sonucuna varılır.

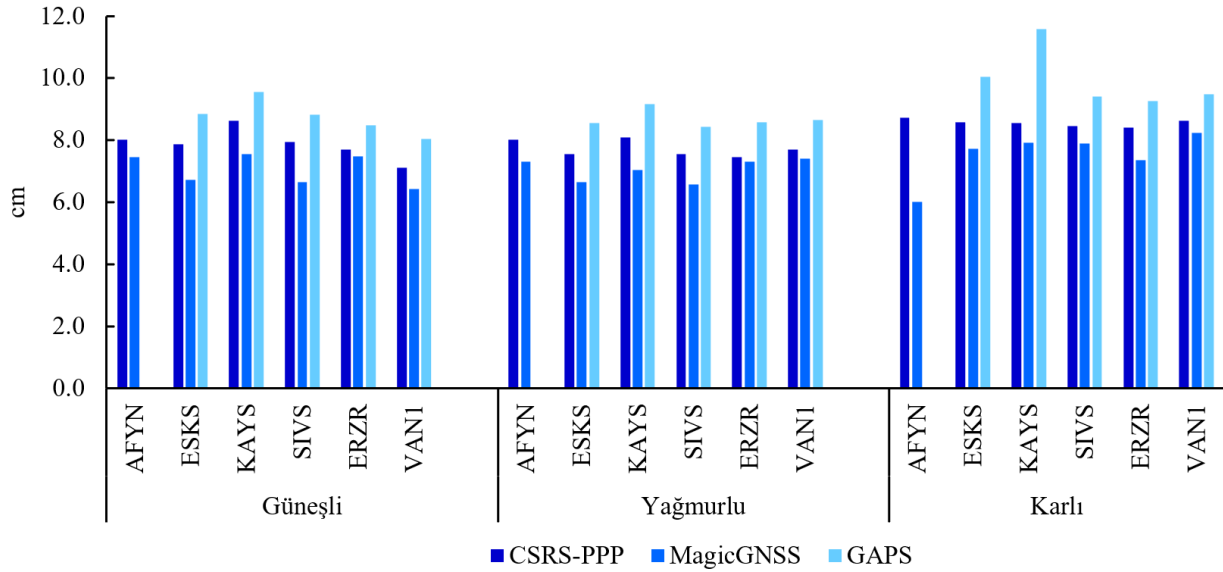
3. Bulgular ve Tartışma

Seçilen istasyonların karlı, yağmurlu ve güneşli hava koşullarındaki 30'ar günlük RINEX verileri internet tabanlı PPP yazılımlarından CSRS-PPP, MagicGNSS ve GAPS kullanılarak işlenmiş ve her güne ait kartezyen koordinatlar elde edilmiştir. TUSAGA-Aktif'in web sitesinden alınan gerçek koordinatlar denklem (1) kullanılarak ölçü epoğuna kaydırılmıştır. Online servislerden elde edilen koordinatlar ve ölçü epoğuna kaydırılan gerçek koordinatlar arasındaki farklar denklem (2) ile hesaplanarak gerçek hatalar elde edilmiş ve gerçek hatalardan yararlanılarak koordinat eksenleri yönündeki KOH denklem (3) ile hesaplanmış ve Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1'de, Batı Anadolu'da CSRS-PPP ve MagicGNSS yazılımları için istasyonlara ait koordinat eksenleri yönündeki KOH incelendiğinde; AFYN istasyonunda CSRS-PPP'de en iyi değerlerin güneşli günlerde elde edildiği, MagicGNSS'de en iyi değerlerin karlı günlerde elde edildiği, ESKS istasyonunda ise her üç yazılımda da en iyi değerlerin güneşli günlerde elde edildiği görülmektedir. Orta Anadolu'da hem KAYS hem de SIVS istasyonunda, Doğu Anadolu'da ise ERZR istasyonunda her üç yazılımda da Z eksenini hariç en iyi KOH güneşli günlerde, Z eksenini yönünde ise yağmurlu günlerde elde edilmiş, Doğu Anadolu'daki VAN1 istasyonunda ise her üç yazılımda da tüm koordinat eksenleri yönünde en iyi değerler güneşli günlerde elde edilmiştir. İnternet tabanlı PPP servislerinin farklı meteorolojik hava koşulları altında verdiği konum ortalama hataları denklem (4) ile hesaplanmış ve Şekil 2'de grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 1. Koordinat eksenleri yönündeki KOH (cm)

Bölge	İstasyon	Hava Durumu	CSRS-PPP			MagicGNSS			GAPS		
			m _x	m _y	m _z	m _x	m _y	m _z	m _x	m _y	m _z
Batı Anadolu	AFYN	Güneşli	±2.18	±1.56	±7.55	±3.41	±2.19	±6.24	Sonuç alınamamıştır.		
		Yağmurlu	±2.74	±2.28	±7.17	±2.06	±2.65	±6.48			
		Karlı	±2.49	±1.89	±8.15	±2.06	±2.08	±5.25			
	ESKS	Güneşli	±2.41	±1.12	±7.41	±1.26	±2.77	±5.98	±2.79	±1.60	±8.23
		Yağmurlu	±2.90	±1.63	±6.78	±2.65	±2.83	±5.41	±2.92	±0.86	±8.00
		Karlı	±2.64	±1.56	±8.00	±2.55	±2.65	±6.79	±4.08	±1.80	±9.01
Orta Anadolu	KAYS	Güneşli	±1.51	±1.08	±8.41	±0.49	±2.48	±7.11	±2.03	±1.48	±9.21
		Yağmurlu	±2.21	±1.38	±7.65	±1.77	±2.25	±6.44	±2.19	±1.17	±8.81
		Karlı	±1.90	±1.29	±8.24	±1.98	±2.40	±7.29	±6.21	±1.52	±9.66
	SIVS	Güneşli	±2.25	±1.50	±7.45	±1.15	±2.47	±6.06	±2.78	±1.60	±8.23
		Yağmurlu	±2.95	±2.21	±6.60	±2.49	±2.82	±5.38	±3.02	±1.18	±7.78
		Karlı	±2.52	±1.96	±7.82	±2.58	±2.73	±6.95	±2.72	±2.11	±8.76
Doğu Anadolu	ERZR	Güneşli	±2.17	±1.38	±7.26	±2.15	±2.39	±6.76	±3.12	±0.82	±7.85
		Yağmurlu	±2.75	±1.82	±6.68	±2.62	±2.83	±6.20	±3.84	±1.27	±7.56
		Karlı	±2.32	±1.43	±7.94	±2.28	±2.75	±6.44	±4.27	±1.69	±8.03
	VAN1	Güneşli	±2.35	±1.97	±6.41	±1.83	±2.17	±5.76	±3.21	±1.91	±7.12
		Yağmurlu	±2.76	±2.04	±6.88	±2.98	±2.52	±6.28	±3.63	±2.01	±7.58
		Karlı	±3.58	±2.45	±7.46	±3.37	±2.87	±6.94	±4.05	±2.37	±8.23



Şekil 2. Konum ortalama hataları

Şekil 2, MagicGNSS yazılımının tüm hava koşullarında ve tüm istasyonlarda en iyi konum doğruluğunu sağladığını göstermektedir. Doğruluk açısından, MagicGNSS yazılımını sırasıyla CSRS-PPP ve GAPS yazılımları izlemektedir. Elde edilen konum ortalama hatalarının neredeyse tamamı ± 10 cm'nin altında olmasına rağmen, genel anlamda güneşli günlerden karlı günlere doğru gidildiğinde ortalama

hataların hafif bir artış gösterdiği görülmektedir. Aynı servislerden farklı meteorolojik hava koşullarında elde edilen konum ortalama hatalarının birbiriyle istatistik olarak karşılaştırması yapılmış ve test büyüklükleri denklem (5) kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 2, 3 ve 4'te verilmiştir. Gerçekleştirilen tüm istatistiksel karşılaştırmalarda; $F_{tablo} = F_{30,30,0.95} = 1.841$ olarak alınmıştır.

Çizelge 2. Güneşli ve yağmurlu hava durumu arasında karşılaştırmalar

Hava Durumu	Servis	İstasyon	Yağmurlu					
			AFYN	ESKS	KAYS	SIVS	ERZR	VAN1
Güneşli	CSRS-PPP	AFYN	1.00	1.13	1.02	1.12	1.16	1.09
		ESKS		1.09	1.05	1.08	1.12	1.05
		KAYS			1.14	1.30	1.34	1.26
		SIVS				1.10	1.13	1.06
		ERZR					1.07	1.00
		VAN1						1.17
	MagicGNSS	AFYN	1.04	1.25	1.12	1.29	1.04	1.01
		ESKS		1.02	1.10	1.05	1.18	1.21
		KAYS			1.15	1.32	1.07	1.04
		SIVS				1.02	1.21	1.24
		ERZR					1.05	1.02
		VAN1						1.33
	GAPS	AFYN			Sonuç alınamamıştır.			
		ESKS		1.07	1.07	1.10	1.06	1.05
		KAYS			1.09	1.28	1.24	1.22
		SIVS				1.10	1.06	1.04
		ERZR					1.02	1.04
		VAN1						1.16

Çizelge 2’de yer alan test büyüklükleri incelendiğinde, güneşli ve yağmurlu hava koşullarında elde edilen konum ortalama hataları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı

görülmektedir. Güneşli ve yağmurlu hava koşullarında her üç PPP servisinin de farklı coğrafi bölgelerde istatistiksel anlamda eşit doğrulukta sonuçlar verdiği söylenebilir.

Çizelge 3. Yağmurlu ve karlı hava durumu arasında karşılaştırmalar

Hava Durumu	Servis	İstasyon	Karlı					
			AFYN	ESKS	KAYS	SIVS	ERZR	VAN1
Yağmurlu	CSRS-PPP	AFYN	1.19	1.14	1.14	1.11	1.10	1.16
		ESKS		1.29	1.28	1.25	1.24	1.31
		KAYS			1.12	1.09	1.08	1.14
		SIVS				1.25	1.23	1.30
		ERZR					1.27	1.34
		VAN1						1.26
	MagicGNSS	AFYN	1.47	1.12	1.18	1.17	1.02	1.27
		ESKS		1.35	1.42	1.41	1.22	1.53
		KAYS			1.27	1.26	1.09	1.36
		SIVS				1.45	1.26	1.57
		ERZR					1.02	1.27
		VAN1						1.24
	GAPS	AFYN			Sonuç alınamamıştır.			
		ESKS		1.38	1.83	1.21	1.17	1.23
		KAYS			1.60	1.06	1.02	1.07
		SIVS				1.25	1.21	1.27
		ERZR					1.16	1.22
		VAN1						1.20

Çizelge 3 incelendiğinde, yağmurlu ve karlı hava koşullarında elde edilen konum ortalama hataları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Batı, Orta ve Doğu Anadolu

bölgesinde yer alan farklı istasyonlarda her üç PPP servisinin de yağmurlu ve karlı hava koşullarında istatistiksel anlamda eşit doğruluklar sağladığı söylenebilir.

Çizelge 4. Güneşli ve karlı hava durumu arasında karşılaştırmalar

Hava Durumu	Servis	İstasyon	Karlı					
			AFYN	ESKS	KAYS	SIVS	ERZR	VAN1
Güneşli	CSRS-PPP	AFYN	1.19	1.14	1.14	1.11	1.10	1.16
		ESKS		1.18	1.18	1.15	1.14	1.20
		KAYS			1.01	1.04	1.05	1.00
		SIVS				1.13	1.12	1.18
		ERZR					1.19	1.26
		VAN1						1.47
	MagicGNSS	AFYN	1.53	1.08	1.13	1.13	1.02	1.22
		ESKS		1.32	1.40	1.39	1.20	1.51
		KAYS			1.10	1.10	1.05	1.19
		SIVS				1.41	1.23	1.54
		ERZR					1.03	1.21
		VAN1						1.64
	GAPS	AFYN			Sonuç alınamamıştır.			
		ESKS		1.29	1.72	1.14	1.10	1.15
		KAYS			1.47	1.03	1.07	1.02
		SIVS				1.14	1.10	1.15
		ERZR					1.19	1.25
		VAN1						1.39

Çizelge 4, güneşli ve karlı hava koşullarında elde edilen konum ortalama hataları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir. Farklı istasyonlarda her üç PPP servisinden güneşli ve karlı hava koşullarında elde edilen konum doğruluklarının, birbirlerine istatistiksel anlamda

eşit oldukları görülmektedir. Aynı TUSAGA-Aktif istasyonlarında farklı hava koşulları altında, internet tabanlı PPP servislerinin sağladığı doğrulukların birbiriyle istatistik karşılaştırması da yapılmış ve bunlara ait test büyüklükleri Çizelge 5, 6 ve 7’de sunulmuştur.

Çizelge 5. Güneşli ve yağmurlu hava durumunda konum ortalama hatalarının istatistiksel karşılaştırması

Bölge	Batı Anadolu				Orta Anadolu				Doğu Anadolu			
	AFYN		ESKS		KAYS		SIVS		ERZR		VAN1	
İstasyon	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS
CSRS-PPP	1.21	Sonuç alınamamıştır.	1.40	1.18	1.50	1.13	1.46	1.13	1.11	1.24	1.08	1.48
MagicGNSS				1.63		1.47		1.61		1.31		1.81

Çizelge 5’te yer alan test büyüklükleri incelendiğinde; aynı istasyonda güneşli ve yağmurlu hava durumunda, farklı PPP servislerinden elde edilen konum ortalama hataları arasında anlamlı

farkların olmadığı görülmektedir. Bu durum, internet tabanlı PPP servislerinin güneşli ve yağmurlu hava koşulları altında benzer doğruluklar sağladığını göstermektedir.

Çizelge 6. Yağmurlu ve karlı hava durumunda konum ortalama hatalarının istatistiksel karşılaştırması

Bölge	Batı Anadolu				Orta Anadolu				Doğu Anadolu			
	AFYN		ESKS		KAYS		SIVS		ERZR		VAN1	
İstasyon	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS
CSRS-PPP	1.77	Sonuç alınamamıştır.	1.05	1.77	1.04	2.06*	1.09	1.55	1.02	1.54	1.15	1.52
MagicGNSS				2.28*		2.71*		2.06*		1.61		1.64

* Anlamli test büyüklükleri

Çizelge 6, yağmurlu ve karlı hava durumunda Batı Anadolu'daki ESKS istasyonunda MagicGNSS ve GAPS'in sağladığı konum doğrulukları arasında, Orta Anadolu'da ise KAYS istasyonunda CSRS-PPP ve GAPS ile MagicGNSS ve GAPS'in, SIVS istasyonunda da MagicGNSS ve GAPS'in sağladıkları konum

doğrulukları arasında anlamlı farklar olduğunu göstermektedir. Yağmurlu ve karlı hava koşullarının, internet tabanlı PPP servislerinin sağladığı konum doğruluklarını bazı istasyonlarda etkilediği ve bu nedenle aralarında anlamlı farkların oluştuğu söylenebilir.

Çizelge 7. Güneşli ve karlı hava durumunda konum ortalama hatalarının istatistiksel karşılaştırması

Bölge	Batı Anadolu				Orta Anadolu				Doğu Anadolu			
	AFYN		ESKS		KAYS		SIVS		ERZR		VAN1	
İstasyon	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS
CSRS-PPP	1.78	Sonuç alınamamıştır.	1.04	1.63	1.18	1.81	1.01	1.41	1.09	1.44	1.34	1.78
MagicGNSS				2.24*		2.36*		2.01*		1.53		2.18*

* Anlamli test büyüklükleri

Çizelge 7, güneşli ve karlı hava koşulları altında Batı Anadolu'daki ESKS ve Orta Anadolu'daki KAYS istasyonlarında MagicGNSS ve GAPS'in sağladığı konum doğrulukları arasında, Doğu Anadolu'da ise VAN1 istasyonunda MagicGNSS ve GAPS'in sağladığı konum doğrulukları arasında anlamlı farklar olduğunu göstermektedir. Karlı hava koşullarının, internet tabanlı PPP servislerinin sağladığı konum doğruluklarını Batı, Orta ve Doğu Anadolu'da bazı istasyonlarda etkilediği ve bu nedenle konum ortalama hataları arasında anlamlı farklar oluştuğu görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

PPP, tek bir GNSS alıcısı ile hassas uydu yörünge ve saat düzeltmelerini kullanarak, santimetre seviyesinde konum doğruluğu sağlayan mutlak bir konumlama yöntemidir. Bu çalışmada, farklı coğrafi bölgelerde seçilen altı adet TUSAGA-Aktif istasyonuna ait farklı hava koşullarındaki veri kayıt aralığı 30 saniye olan 30 gün 24 saatlik RINEX verileri, internet tabanlı PPP servislerinden CSRS-

PPP, MagicGNSS ve GAPS kullanılarak değerlendirilmiş ve hesaplanan KOH yardımıyla meteorolojik hava olaylarının PPP konum doğruluğuna etkisi araştırılmış ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Koordinat eksenleri yönündeki ortalama hataların tamamı ± 10 cm'nin altında kalmış ve genellikle tüm internet tabanlı PPP servislerinde güneşli günlerde en iyi karesel ortalama değerleri elde edilmiştir. Koordinat eksenleri yönündeki KOH'tan yararlanılarak hesaplanan konum ortalama hataları ise, güneşli hava durumundan karlı hava durumuna doğru geçildiğinde hafif bir artış göstermiş ve genellikle ± 10 cm'nin altında kalmıştır. Bu bağlamda, bu çalışmada konum doğrulukları araştırılan internet tabanlı PPP servisleri tüm hava koşullarında çoğu jeodezik uygulama için gerekli doğruluğu sağlamaktadır. Ancak, internet tabanlı PPP servisleri arasında konum doğrulukları açısından bir sıralama yapılacak olursa, her üç hava koşulunda da en iyi sonuçları MagicGNSS sağlamış ve bunu CSRS-PPP ile GAPS izlemiştir.

Aynı PPP servislerinden farklı meteorolojik hava koşullarında ve farklı istasyonlarda elde edilen konum ortalama hatalarının birbirleriyle istatistik olarak yapılan karşılaştırması değerlendirildiğinde, test büyüklükleri arasında anlamlı farklara rastlanmamıştır. Bu durum her üç PPP servisinin de aynı istasyonlardaki farklı hava koşullarında benzer doğrulukları sağladığını göstermektedir. Aynı TUSAGA-Aktif istasyonlarında farklı hava koşulları altında, internet tabanlı PPP servislerinin sağladığı doğrulukların birbiriyle istatistik karşılaştırma sonuçlarına göre her üç PPP servisi de aynı istasyonda hem güneşli hem de yağmurlu havada benzer doğruluklar sağlamıştır. Ancak yağmurlu ve karlı hava ile güneşli ve karlı hava karşılaştırmalarında bu durum değişmiş ve bazı istasyonlarda farklı PPP servislerinin sağladığı konum doğrulukları arasında anlamlı farklar oluşmuştur. Bu nedenle hava koşullarının yağmurlu veya karlı olması, PPP ile konum belirlemede kullanılacak internet tabanlı servisin seçiminde kısmen dikkate alınması gereken bir husus olarak gözükmemektedir.

5. Kaynaklar

Alçay, S., 2019, Gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) yönteminin konum belirleme performansının doğruluk ve hassasiyet bakımından incelenmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8, 1, 121- 133.

Alçay, S., Yiğit, C. Ö. ve Ceylan, A., 2013, CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS web tabanlı yazılımların statik ppp modüllerinin karşılaştırılması, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5, 1, 1- 12.

Alkan, R. M. ve Kalkan Y., 2011, Hassas noktak Tekniğinin hidrografik ölçmelerde kullanılabilirliği, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2, 100-106.

Alkan, R. M., İlçi, V. and Ozulu, İ. M., 2016, Precise Point Positioning (PPP) Technique versus Network-RTK GNSS, *on FIG Working Week 2016*, May 2-6, New Zealand.

Alkan, R. M., Uçarlı A. C., Demir F. ve Erol S., 2020, Farklı GNSS uydu sistemlerinin Hassas Nokta Konumlama (PPP) tekniğinin performansına etkisinin incelenmesi, *Geomatik Dergisi*, 6, 3, 247-258.

Anderle, R. J., 1976, Point Positioning Concept Using Precise Ephemeris, *Proc. Int. Geodetic Symp. On Satellite Doppler Positioning*, 12-14 October 1976 (Las Cruces, New Mexico), 47-75.

Atalay, M., 2018. Anlık şiddetli yağışların GPS konum doğruluğuna etkisi üzerine bir çalışma. Yüksek Lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 66.

Aykut, N.O., 2018, The importance of meteorological variation on PPP positioning, *Measurement*, 122, 168-177.

Bahadır, B. ve Nohutçu, M., 2019, Galileo temelli hassas nokta konumlama yönteminin performans değerlendirilmesi: Türkiye örneği, *Harita Dergisi*, 162, 1- 11.

Baybura, T., Tiryakioğlu, İ., Uğur, M.A., Solak, H. İ. and Şafak, Ş., 2019, Examining the Accuracy of Network RTK and Long Base RTK Methods with Repetitive Measurements, *Journal of Sensors*, 2019, 1-12.

Cai, C. and Gao, Y., 2013, GLONASS-Based Precise Point Positioning and Performance Analysis, *Advances in Space Research*, 51, 514-524.

Choy S, Zhang S, Lahaye, F. and Héroux, P., 2013, A Comparison Between GPS-only and Combined GPS+GLONASS Precise Point Positioning, *Journal of Spatial Science*, 58, 2, 169-190.

Dawidowicz, K. and Krzan, G., 2014, Coordinate Estimation Accuracy of Static Precise Point Positioning Using on-line PPP Service, a Case Study, *Acta Geod Geophys*, 49, 37-55.

Ebner, R., 2008. Validation and application of free-online and commercial postprocessing PPP packages. Phd Thesis, Graz University of Technology, Institute of Navigation and Satellite Geodesy, Graz, 108.

Gelişkan, Ş., 2019. Hassas nokta konumlama ile deformasyonların belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 123.

Ghilani, C.D. and Wolf, P.R., 2006, Adjustment computations: spatial data analysis. Wiley, USA, 77-78.

- Guo, Q., 2015, Precision comparison and analysis of four online free ppp services in static positioning and tropospheric delay estimation, *GPS Solutions*, **19**, 537–544.
- İnyurt, S., 2020, Modeling and comparison of two geomagnetic storms. *Advances in Space Research*, **65**, 966–977
- İnyurt, S. ve Ulukavak, M., 2020, Web tabanlı GNSS Yazılımlarının (CSRS-PPP, Trimble-RTX) Performansının Araştırılması . *Geomatik*, **5**, 120-126.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2017, Global Konum Belirleme Sistemleri Teori-Uygulama, Nobel Yayın Dağıtım, 8. Baskı, Ankara, 1-3.
- Kouba, J. and Héroux, P., 2001, GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products, *GPS Solutions*, **5**, 12-28.
- Najmuldeen, A.G., 2017. Web Tabanlı GNSS Değerlendirme Servislerinde Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 98.
- Pan, L., Cai, C., Santerre, R. and Zhu, J., 2014, Combined GPS/GLONASS Precise Point Positioning with Fixed GPS Ambiguities, *Sensors*, **14**, 17530-17547.
- Saraçoğlu, A., 2016, GIPSY/OASIS II GPS yazılımının doğruluğunun mevsimsel etkiler dikkate alınarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 112.
- Selbesoğlu, M. O. ve Gümüş, K, 2016, Hassas Mutlak Konumlama Tekniği (PPP) ile Ağ RTK konumlama tekniğinden elde edilen yükseklik bileşeninin doğruluk karşılaştırılması, *8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 19-21 Ekim 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Xu, C., Wang, J., Gao, J., Wang, J. and Hu, H., 2011, Precise Point Positioning and its application in mining deformation monitoring, *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, **21**, 499-505.
- Yiğit, C. Ö., Çalışkan, E. ve Kızılarlan, M., 2016, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin konum belirleme performanslarının ölçü süresine bağlı olarak değerlendirilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **8**, 22-39.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins M. M., and Webb, F. H., 1997, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *Journal of Geophysical Research*, **102**, 5005.