

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045501 (814-823)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 045501 (814-823)

DOI: 10.35414/akufemubid.1105538

Araştırma Makalesi / Research Article

Hassas Nokta Konumlama Yönteminde GNSS Ölçü Süresi-Konum Doğruluğu İlişkisinin Araştırılması

Özgür ÖZBULAT¹, Şeyma ŞAFK YAŞAR^{2*}, İbrahim TIRYAKIOĞLU¹¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar.e-posta: ozgurmercan01@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5470-7111>

Sorumlu yazar e-posta: ssafak@aku.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7616-5915>

e-posta: itiryakioglu@aku.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4954-7109>

Geliş Tarihi: 18.04.2022

Kabul Tarihi: 10.08.2022

Öz

Bu çalışmada, son yıllarda oldukça yaygın kullanıma sahip online nokta konumlama yöntemlerinden biri olan PPP yönteminin sabit GNSS istasyon noktalarının konum doğrulukları üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 8 adet TUSAGA-Aktif istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait 24 saatlik veriler GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirilmiştir. Her istasyona ait 24 saatlik veriler konum doğruluklarına olan etkiyi saptayabilmek amacıyla 2,4,6,8,12 saat aralıklarında TEQC yazılımı kullanılarak bölünmüş ve yeni veriler elde edilmiştir. Bu veriler online veri değerlendirme yazılımı olan CSRS-PPP ile değerlendirilmiştir. GAMIT-GLOBK ile değerlendirilen veriler doğru varsayılarak CSRS-PPP yazılımından elde edilen sonuçlar ile karesel ortalama hata hesabı yapılmıştır. Ek olarak çalışmada ölçü süresinin konum doğruluğu üzerine etkisi Eckl vd. 2001 çalışması ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler

CSRS-PPP;
GAMIT/GLOBK; Ölçü
süresi; Konum
doğruluğu; GNSS

Investigation of the Relationship Between GNSS Observation Time and Position Accuracy in Precise Point Positioning Method

Abstract

In this research, the effect of Precise Point Positioning (PPP) method on the position accuracy of GNSS points has been investigated and 8 TUSAGA-Active points were used. In an effort to improve the GNSS position accuracy, 24-hour RINEX data was evaluated using the GAMIT/GLOBK that academic software. The 24-hour datas for each stations divided into subgroups of data with TEQC software. These subgroups of data are 2-4-6-8 and 12 hours. Then, all subgroups of data were evaluated with online-based CSRS-PPP software. By accepting the 24-hour data of GAMIT/GLOBK software as correct, the mean squared errors were calculated from the results of the data sets obtained from CSRS-PPP. Furthermore, the relationships between measurement time/positioning accuracy were determined. These results were compared with Eckl et al. 2001. The position accuracies obtained from the PPP solutions were found to be compatible with the position accuracy relations obtained in Eckl et al. (2001).

Keywords

CSRS-PPP;
GAMIT/GLOBK;
Observation time;
Accuracy of point
positing; GNSS

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Geçmişten günümüze uydular ile küresel konum belirleme sistemleri tüm dünyada yaygın olarak kullanılmıştır. İlk kez Amerika tarafından 1970'li yıllarda tasarlanan GPS ile ortaya çıkan sistemde, bugün farklı ülkeler tarafından da tasarlanmış ve faal olarak çalışan farklı küresel konum belirleme

sistemleri mevcuttur. Son yıllarda bu sistemler kendine jeodezik ölçümler için oldukça önemli bir yer bulmuştur. Konum belirleme işlemi bu anlamda temelde iki farklı şekilde sağlanmaktadır; mutlak ve görel konum belirleme. Mutlak olarak yapılan yöntemde ölçümler tek noktadan GNSS ölçümleri ile sağlanırken, görel yöntemde ise iki farklı noktadan yapılan GNSS ölçümleri söz konusudur. Yıllardır

görelî konum belirleme yöntemi yüksek hassasiyet gerektiren konum bilgileri elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde ise küresel konum belirleme sistemleri sayesinde, farklı kuruluşlar tarafından sağlanan doğruluğu yüksek saat ve yörünge bilgileri mevcut olup bu bilgiler kullanıma sunulmuştur. Bu bilgilerin kullanıma sunulmasıyla birlikte tek alıcı kullanılarak iyi hassasiyet ve doğruluk sağlayan Hassas Nokta Konumlama (PPP - Precise Point Positioning) yöntemleri ile koordinatlar elde edilebilmektedir. Bu yöntem 1970'li yıllarda geliştirilmeye başlanmış olup, bu yönetime dair teorik bilgiler Zumberge vd. (1997) tarafından ifade edilmiştir. Özellikle son yıllarda gelişen teknoloji sayesinde tek bir alıcı ile yüksek doğrulukta konum bilgisine bu yöntem ile ulaşılabilenmektedir. PPP yöntemi zaman içinde görelî konum belirleme yönteminin de yerini almaya başlamıştır. Bu yönetime artan ilgi hızla devam ederken değerlendirme yapabilmek için çeşitli akademik ve ticari yazılımların kullanılmasının gerekliliği beraberinde yüksek maliyet ve kullanım gücülüğü gibi bazı zorlukları ortaya çıkarmıştır. Bu zorlukları en aza indirebilmek amacıyla internet üzerinden GNSS verilerini değerlendiren servisler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu geliştirilen servislerin sistemin olumsuz yanlarını en aza indirerek ücretsiz şekilde kullanıma sunulması ve kolay bir kullanımının olması önemli avantajları arasında önde gelmektedir. Bu çalışmada son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmakta olan PPP yönteminin nokta konum doğruluklarına olan etkisi araştırılmıştır. 8 adet TUSAGA-Aktif istasyonu seçilerek bu istasyonların verilerinden yararlanılmıştır. İstasyonlar birbirlerine yakın konumda olacak şekilde seçilmiştir. 8 adet istasyonun 24 saatlik verileri GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirilmiştir. Ayrıca 24 saatlik her istasyonun verisinden bölünerek elde edilen 2,4,6,8 ve 12 saatlik veriler internet tabanlı CSRS-PPP yazılımı ile altı aylık periyotlar şeklinde değerlendirilmiştir. İnternet tabanlı yazılımdan elde edilen sonuçlar, 24 saatlik verilerin GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirilerek doğru kabul edilen koordinatları ile karşılaştırılması yapılmış ve farkları alınarak Karesel Ortalama Hata (KOH) verileri elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada bölünmüş saatlik veriler ile 24

saatlik verilerin değerlendirmelerinden elde edilen konum doğrulukları Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılmıştır.

Nokta konum doğruluğuna ilişkin çalışmalar 1970'li yıllarda başlamış olmasına karşın uydu teknolojisinin hızlı bir şekilde gelişmesi 2000'li yıllarda bu çalışmaların daha da popüler hale gelmesine neden olmuştur. Özellikle 2000'li yıllardan itibaren yapılan bir çok çalışmada statik ölçümler sonrasında yüksek konum doğruluğunun ulaşılabilir olduğunu göstermiştir (Eckl vd. 2001, Soler vd. 2006, Kurumahmut 2008, Tiryakioğlu vd. 2010, Akarsu 2012). Gerçek zamanlı kinematik ölçümler ile uzun bazlarda, statik ölçümlerde olduğu gibi yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edilememekteyken, günümüzde ağ yapısında yapılan gerçek zamanlı kinematik ölçümler ile mesafe sorunu aşılmıştır. Fakat doğruluk düşük deformasyonların belirlenmesi, tektonik hareketlerin incelenmesi vb. gibi çalışmalar için yeterli düzeyde değildir (Baybura vd. 2020). Yüksek doğruluk beklenen çalışmalar için uzun süreli GNSS ölçümleri yapılması ve yapılan ölçümlerin ise post process değerlendirmeleri ile anlamlı sonuçları elde edilmelidir (Tiryakioğlu vd. 2005). Kızırlarlan (2014), GPS ve GPS/GLONASS ölçülerinin ölçü süresinin hassas nokta konumlaya olan etkisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada IGS noktaları kullanılarak, bu noktalar farklı 3 enlemde seçilmiştir. Çalışmada 30 gün boyunca toplanan 24 saatlik veriler işlenmiştir. 24 saatlik veriler farklı zaman dilimlerine bölünerek veri setlerinin doğrulukları PPP ile test edilmiştir. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP sonuçları doğruluk ve tekrarlılık yönünden ölçü sürelerine göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, ölçü süresi arttıkça her iki çözümde de doğruluk artmaktadır. Öcalan (2015), PPP yönteminin doğruluk ve performans araştırması için farklı referans istasyonları kullanarak bir çalışma yapmıştır. Gözlem süresi, farklı donanım ve yazılımlar ile birlikte verilerin kullanılmasında doğruluğun nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Çalışmada PPP yönteminin cm-dm boyutunda istenen doğrulukta çalışmaları için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Özdemir (2016), online veri çözümlemesi sağlayan servislerin doğruluklarına yönelik bir çalışma

yapmıştır. Çalışmada hem mutlak çözüm hem de görelî çözüm yapan servisler farklı ölçüm sürelerinde ve farklı günlerde çözümlenmiştir. Çalışmada her iki yöntem için değerlendirme yapan farklı servislerden elde edilen sonuçlara göre yüksek doğruluğa ulaşılabilindiği görülmüştür. Ayrıca çalışmada online tabanlı bu servisler ile çok daha hızlı, kolay ve doğru şekilde veri değerlendirebilmenin sağlanabildiği vurgulanmıştır. Duman (2016), 18 farklı IGS istasyon verilerinden yararlanarak farklı veri setleri oluşturmuş ve istasyonların yıllık yer değiştirmelerinin hesaplanarak bunların doğruluklarının araştırması yapılmıştır. 24 saatlik değerlendirilen verilerin sonuçları doğru olarak kabul edilmiş ve hazırlanan farklı sürelerdeki veri gruplarının doğru kabul edilen sonuçlar ile istatistiki bir karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmada uzun bazlar dikkate alınmış olup, alt veri gruplarının doğru kabul edilen sonuçlar ile benzerlik göstermediği tespit edilmiştir. Veri gruplarında yer alan ölçüm günleri ile ölçüm sürelerinin bu uygulamalar için çok daha iyi planlanması gerektiği öne sürülerek bu planlamaların konum doğruluğunu artıracakları vurgusu yapılmıştır. Eckl vd. (2001) ise istasyon noktalarında yapılan farklı ölçü sürelerinde ve farklı baz uzunluklarında konum doğruluk değerlerinin nasıl değiştiğine ilişkin bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 4 saat ile 24 saat arasında farklı ölçü sürelerinde veri grupları oluşturularak PAGES yazılımı ile bir değerlendirme yapılmıştır. Konum doğruluğunu ifade eden standart sapma değerlerini (RMS) ölçü süresine bağlı ve bir aralık olarak hesaplanabilmesini sağlayan matematiksel bir model ifade edilmiştir. Bu çalışmada standart sapma değerleri zamana bağlı bir denklem olarak her bileşen için ifade edilmiştir. Sırasıyla; kuzey, doğu ve yükseklik bileşenleri için;

$$S_n = \frac{k_n}{t^{0.5}} \quad (1)$$

$$S_e = \frac{k_e}{t^{0.5}} \quad (2)$$

$$S_u = \frac{k_u}{t^{0.5}} \quad (3)$$

şeklindedir. Her üç bileşen için denklem 1,2 ve 3'te ifade edilen k_n , k_e , k_u değerleri sırasıyla; 9.5 ± 2.1 mm, 9.9 ± 3.1 mm ve 36.5 ± 9.1 mm olarak ifade edilmiştir. t ise saat olarak ölçü süresini temsil etmektedir. Şafak vd. (2020) ise konum doğruluğuna ilişkin yapılan çalışmaların aksine ölçü sürelerinin nokta hız doğruluklarını nasıl etkilediğine dair bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada hız doğruluğu üç farklı parametre ile araştırılmıştır. Bu parametreler ise ölçü süresi, kaç kampanya ölçüm yapıldığı ve ilk kampanya ile son kampanya arasında kampanya sayısından bağımsız olarak geçen süre olarak ifade edilmiştir. Farklı ölçü sürelerinde olacak şekilde ölçü grupları oluşturularak GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirme yapılmış ve farklı ölçü sürelerinde hız doğruluğu araştırılmıştır. Elde edilen hız doğrulukları Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada dikkat çeken önemli sonuçlardan biri artan yıl aralığında hız doğruluğunda iyileşme sağlanırken; yıl aralığı sabit tutularak yapılan ölçümlerde kampanya sayısının hız doğruluğuna bir etkisinin olmadığıdır. Ayrıca çalışmada ifade edilen parametrelere dair matematiksel bir model de oluşturularak analiz yapılmıştır.

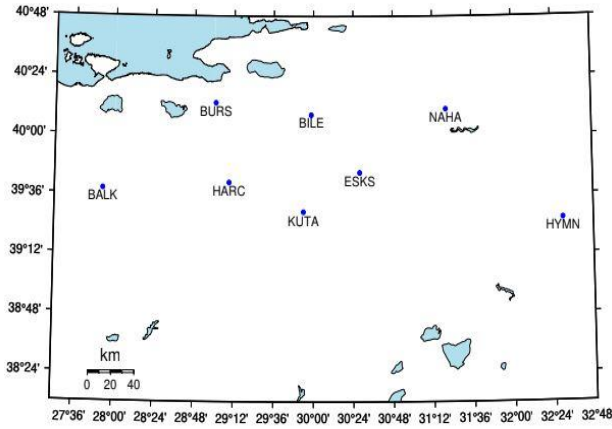
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada online veri değerlendirme hizmeti sağlayan PPP yönteminin, ülkemizde birbirine yakın konumda seçilen 8 farklı TUSAGA-Aktif istasyon verisinden yararlanarak konum doğruluğu üzerine olan etkisi araştırılmıştır. İstasyonların 24 saatlik verileri doğru kabul edilerek alt gruplara ayrılan verilerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırması yapılmıştır (Özbulat 2021).

2.1 İstasyon Noktalarının Seçilmesi

Çalışmada kullanılmak üzere 8 farklı TUSAGA-Aktif istasyon noktası seçilmiştir. Bu noktaların seçimi yapılırken bazı kriterler göz önüne alınmış ve stabil istasyonlar seçilmiştir. Çalışmada kullanılacak istasyonların seçimi Özdemir vd. (2016) tarafından yapılan çalışmadan yararlanarak belirlenmiştir. İlgili çalışmada TUSAGA-Aktif istasyonlarının performansları değerlendirilirken; multipath etkisine sahip istasyonlar, karesel ortalama hatası yüksek olan istasyonlar, deformasyona maruz kalan

istasyonlar ile koordinat çözümünde belirsizlik olan istasyon verileri sunulmuştur. Dolayısıyla bu istasyon noktalarının seçilmemesi sağlanmıştır. Ayrıca bu noktaların birbirine en yakın konumda olacak şekilde seçilmesine dikkat edilmiştir. Bu şekilde bir seçimin yapılmasının amacı istasyon noktalarını etkileyebilecek herhangi bir olumsuz durumda bütün noktaların aynı şartlar altında incelenmek istenmesinden kaynaklıdır. Şekil 1 ve 2'de çalışmada kullanılan istasyon noktaları ile bu noktalara ait bilgiler verilmiştir. Şekil 3'de ise çalışmada kullanılmak üzere seçilen lokal ağı global bir ağ ile desteklemek amaçlı çalışmaya dahil edilen IGS noktaları ifade edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen 8 farklı TUSAGA-Aktif istasyonu.

Nokta Adı	Şehir	Ülke	Enlem (°, ', ")	Boylam (°, ', ")
BALK	Balıkesir	Türkiye	39 38 21	27 53 37
BILE	Bilecik	Türkiye	40 08 29	29 58 38
BURS	Bursa	Türkiye	40 12 51	29 00 54
ESKS	Eskişehir	Türkiye	39 44 44	30 27 49
HARC	Bursa	Türkiye	39 40 39	29 09 09
HYMN	Ankara	Türkiye	39 26 05	32 29 44
KUTA	Kütahya	Türkiye	39 28 51	29 53 55
NAHA	Ankara	Türkiye	40 10 23	31 19 55

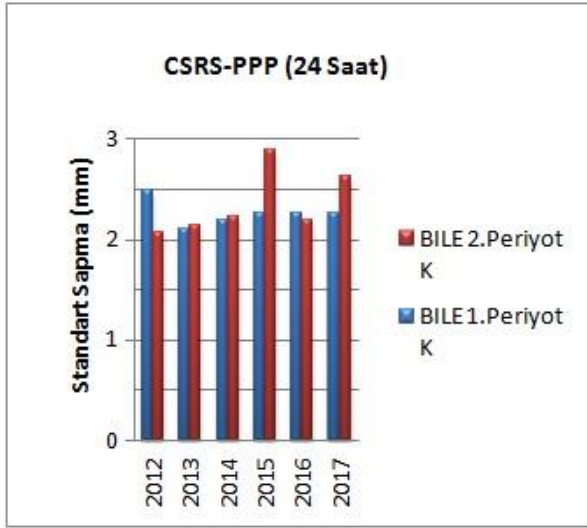
Şekil 2. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen 8 istasyon noktasının enlem ve boylam değeri.

Nokta Adı	Ülke / Şehir	Nokta Adı	Ülke / Şehir
ADIS	Ethiopia/ Adis Ababa	BOR1	Polonya/Wielkoposka
LAUG	Lübnan/Lebanese	NOT1	İtalya/Sicilya
ANKR	Türkiye/Ankara	BUCU	Romanya/Bükreş
MATE	İtalya/Basilicata	ONSA	İsveç/Onsala
BAKU	Azərbaycan/Bakü	CRAO	Ukrayna/Simeiz
NICO	Kıbrıs/Lefkoşa	POLV	Ukrayna/Poltava
DRAG	İsrail/Metzoki	POTS	Almanya/Brandenburg
GLSF	Ukrayna/Kiev	GRAS	Fransa/Maritimes
RAMO	İsrail/Ramon	GRAZ	Suriye/Graz
SOFI	Bulgaristan/Sofya	TEHN	İran/Tahran
ISTA	Türkiye/İstanbul	KOSG	Hollanda/Kootwijk
TELA	İsrail/Telaviv	VILL	İspanya/Madrid
ZECK	Rusya/Zalenchukskaya	NSSP	Ermenistan/Yerevan

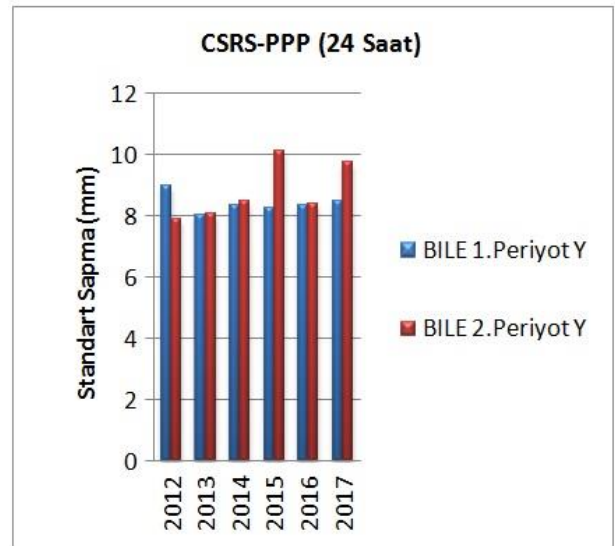
Şekil 3. Çalışmada lokal ağı desteklemek amaçlı kullanılan IGS noktaları.

2.2 İstasyon Nokta Verileri Değerlendirme Süreci

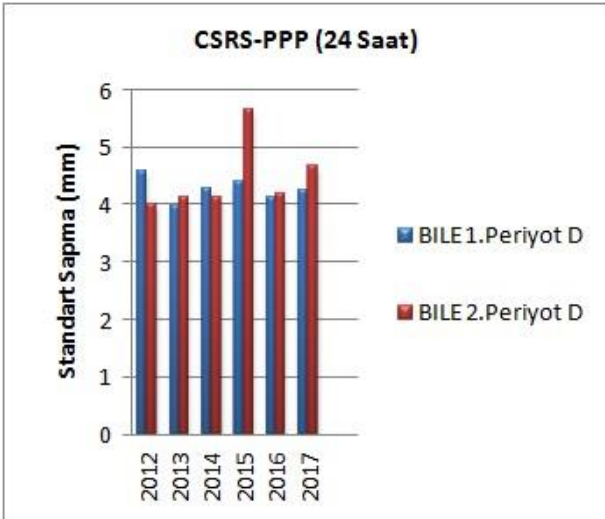
Çalışmada kullanılmak üzere seçilen 8 istasyon noktasının 2012-2017 yılları arasında olmak üzere 24 saatlik 30 sn Rinex verileri TKGM'den elde edilmiştir. Elde edilen veriler ayrıca 6 aylık periyotlar halinde her istasyonun GNSS takvimine göre 47,48 ve 49'uncu günleri ile 227,228 ve 229'uncu günleri 3 gün tekrarlı verileri hazırlanmıştır. Hazırlanan veri setindeki her istasyon için 6 aylık periyotlar halinde seçilen her 3 gün verisi teqc yazılımı ile 2,4,6,8 ve 12 saatlik ölçü sürelerine bölünmüştür. Tüm verilere bölme işlemi uygulanırken aynı saatten başlamasına dikkat edilmiştir. Bu şekilde uygulama yapılmasının nedeni ise tüm istasyon verilerinin olumsuz herhangi bir durumdan aynı oranda etkilenmesini sağlamak olmuştur. Tüm istasyon noktalarının tüm yıllara ait 24 saatlik elde edilen verileri GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirilerek Şafak (2019)'daki sonuçlar kullanılmıştır. Her bir istasyonun hem 24 saatlik hem de alt ölçü sürelerindeki verileri internet tabanlı olan CSRS-PPP yazılımı ile değerlendirilerek kartezyen koordinatları elde edilmiştir. Değerlendirme aşamasında veri analizi için statik yöntem kullanılmıştır. Elde edilen kartezyen koordinatlara toposentrik koordinatlara dönüştürülerek karşılaştırma yapılabilmesi için uygun hale getirilmiştir. CSRS-PPP değerlendirmelerinden elde edilen sonuçların standart sapma değerleri her bir istasyon için kontrol edilmiştir. Her bir istasyonun 47,48 ve 49'uncu gün standart sapma ortalamaları 1. Periyot olarak alınmış, 227,228 ve 229'uncu gün standart sapma ortalamaları ise 2. Periyot olarak alınarak ifade edilmiştir. Böylece farklı periyotlar halinde alınan verilerin değerlendirme sürecinde ortaya çıkabilecek tesadüfi hataların da anlaşılması sağlanmıştır.



Şekil 4. CSRS-PPP sonuçları ile elde edilen 24 saatlik 1. ve 2.Periyot BILE istasyonuna ait kuzey bileşen ortalama standart sapma değerleri



Şekil 6. CSRS-PPP sonuçları ile elde edilen 24 saatlik 1. ve 2.Periyot BILE istasyonuna ait yükseklik bileşen ortalama standart sapma değerleri.

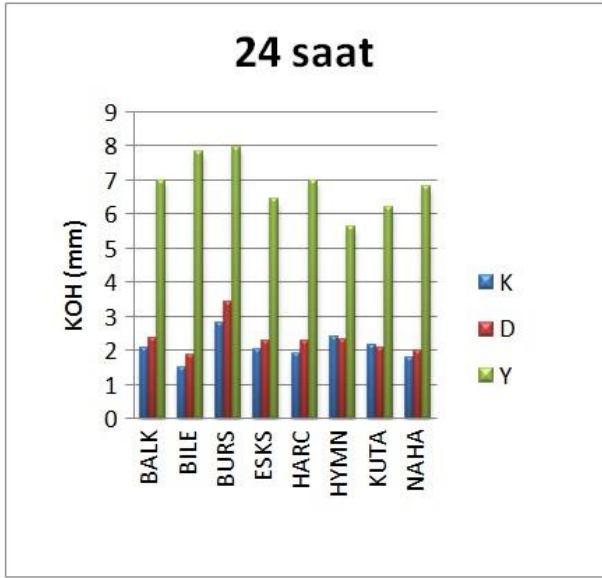


Şekil 5. CSRS-PPP sonuçları ile elde edilen 24 saatlik 1. ve 2.Periyot BILE istasyonuna ait doğu bileşen ortalama standart sapma değerleri

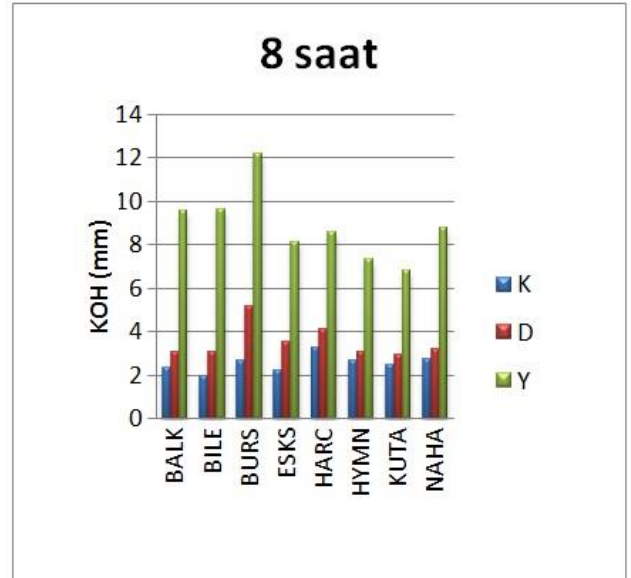
BILE istasyonu kuzey bileşen ortalama standart sapma değerleri 2.1 mm ile 2.9 mm, doğu bileşen ortalama standart sapma değerleri 4.0 mm ile 5.6mm ve yükseklik bileşeni ortalama standart sapma değerleri 7.9mm ile 10.1 mm arasındadır. Tüm istasyonların 24 saatlik verilerinin 1. Ve 2. Periyot standart sapma ortalama değerlerinin ise kuzey bileşende 2.1mm ile 2.9mm, doğu bileşen için 4.0mm ile 5.6mm ve yükseklik bileşen için 7.9mm ile 10.6 mm arasında değişim gösterdiği elde edilmiştir (Şekil 4-6).

2.3 Farklı Ölçü Sürelerinde Koordinat Değişimlerinin Hesaplanması

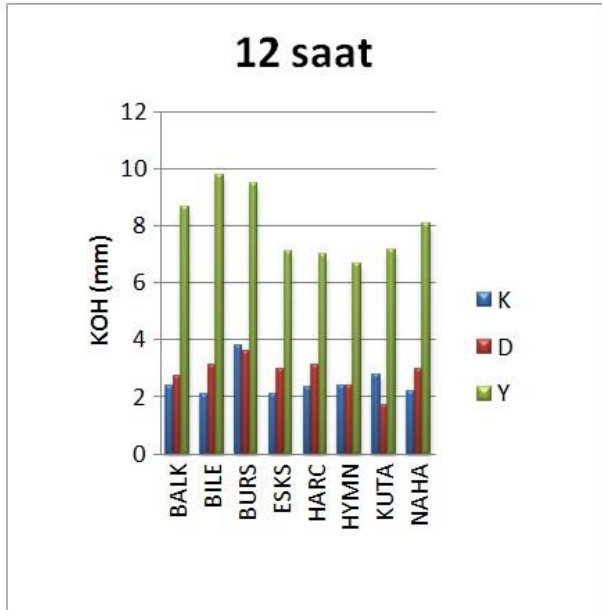
Tüm istasyon noktalarının 24 saatlik verileri GMAIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile Şafak vd. (2020) tarafından değerlendirilmiş olup koordinat verileri elde edilmiştir. Elde edilen değerler bu çalışma için toposentrik koordinatlara dönüştürülerek doğru kabul edilmiştir. CSRS-PPP internet tabanlı yazılım ile tüm noktaların oluşturulan farklı ölçü süresi veri grupları değerlendirilmiştir. CSRS-PPP sonuçlarından elde edilen farklı ölçü sürelerindeki koordinatlar, doğru kabul edilen koordinatlardan olan farkları hesaplanarak KOH (karesel ortalama hata) hesabı yapılmıştır. Karesel ortalama hata değerleri her yıl ve her istasyon için farklı ölçü sürelerinde ortalamaları alınarak hesaplanmıştır (Şekil 7 - 12).



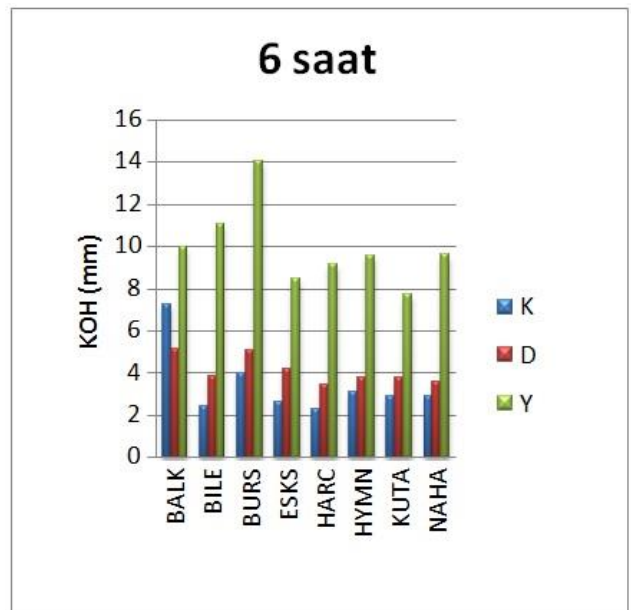
Şekil 7. 24 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



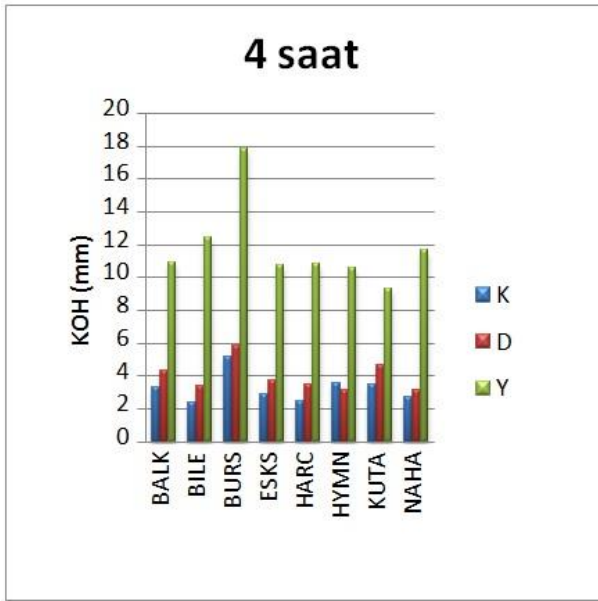
Şekil 9. 8 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



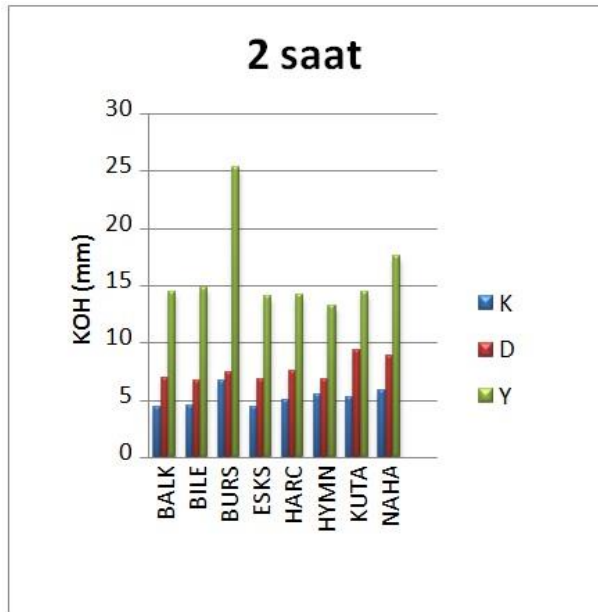
Şekil 8. 12 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



Şekil 10. 6 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



Şekil 11. 4 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



Şekil 12. 2 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.

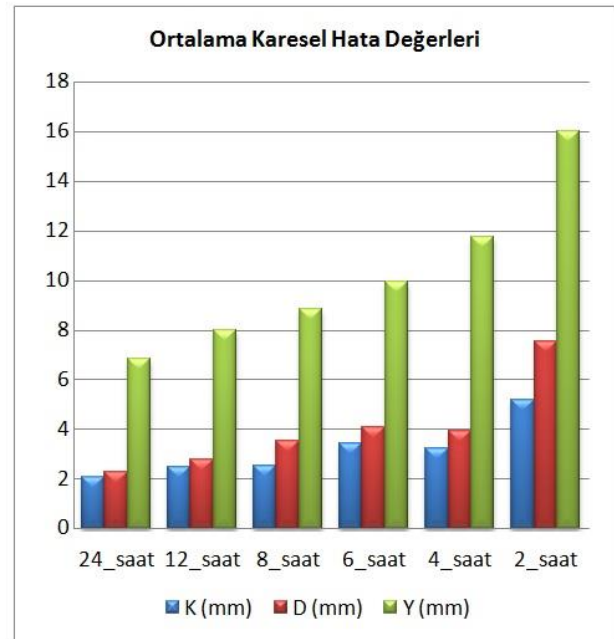
Şekil 7-12 incelendiğinde BURS sabit istasyonu haricindeki diğer sabit istasyonların doğru kabul edilen sonuçlardan hesaplanan karesel ortalama hata değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. BURS sabit istasyonunda fazla bulunan karesel ortalama hata değerlerinin ise multipath etkisi altında kaldığından dolayı elde edildiği düşünülmektedir.

Çizelge 1. Farklı ölçü sürelerinde hesaplanan karesel ortalama hata değerlerinin değişim aralığı.

Ölçü süresi	Kuzey bileşen (mm)	Doğu bileşen (mm)	Yükseklik bileşeni (mm)
24	2-3	2-3	6-8
12	2-3	2-3	7-10
8	2-3	2-5	8-12
6	2-4	2-5	8-14
4	2-5	2-6	10-18
2	5-6	7-9	15-25

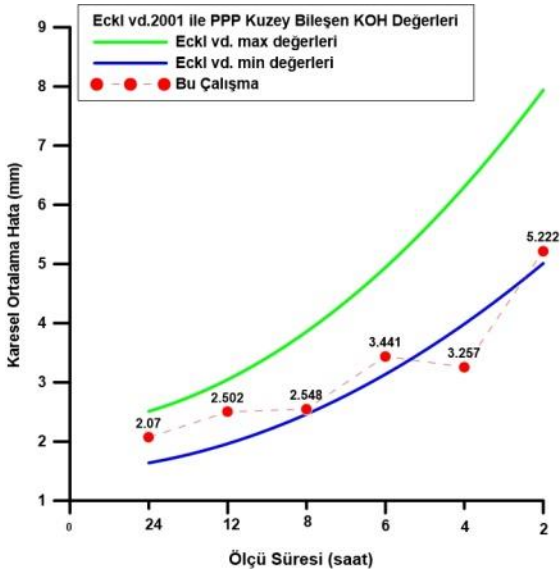
2.4 Farklı Ölçü Sürelerinde Koordinat Doğruluğunun Araştırılması

Literatürde ölçü süreleri ve doğruluk ilişkisine dair bir çok çalışma yapılmış olmasına karşın tüm çalışmaların temelinde Eckl vd. (2001) bulunmaktadır. Bu çalışmada aynı zamanda farklı ölçü sürelerinde CSRS-PPP çözümlerinden elde edilen doğruluk değerleri Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken farklı ölçü sürelerinde elde edilen sonuçların tüm yıllar için çalışılan tüm istasyonların karesel ortalama hata değerlerinin ortalaması alınarak yapılmıştır (Şekil 13).

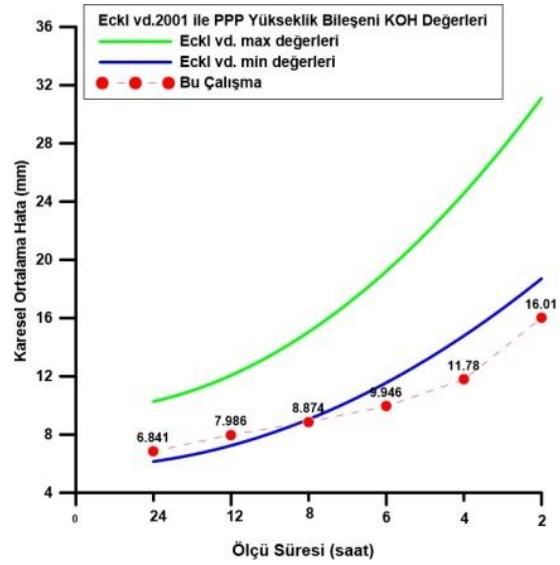


Şekil 13. CSRS-PPP sonuçları ile farklı ölçü sürelerinde elde edilen tüm istasyonların çalışılan tüm yıllara ait ortalama karesel hata değerleri.

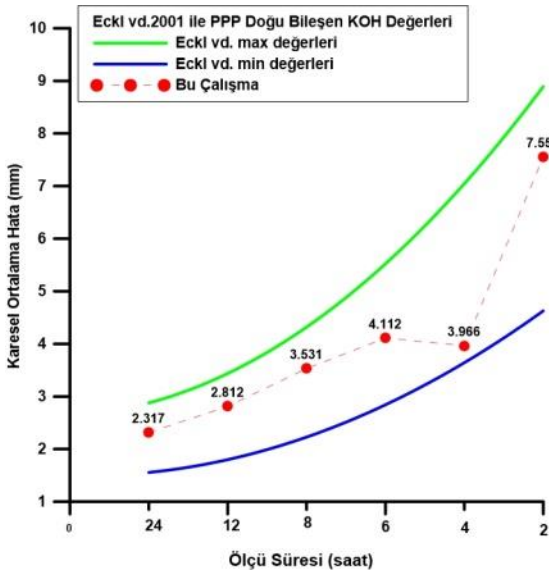
Ortalaması alınarak elde edilen veriler Eckl vd. (2001) çalışması ile karşılaştırılmış ve Şekil 14-15-16 'da verilmiştir.



Şekil 14. CSRS-PPP sonuçları ile farklı ölçü sürelerinde elde edilen tüm istasyonların tüm yıllara ait ortalama karesel hata değerlerinin Kuzey bileşen için Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılması.



Şekil 16. CSRS-PPP sonuçları ile farklı ölçü sürelerinde elde edilen tüm istasyonların tüm yıllara ait ortalama karesel hata değerlerinin Doğu bileşen için Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılması.



Şekil 15. CSRS-PPP sonuçları ile farklı ölçü sürelerinde elde edilen tüm istasyonların tüm yıllara ait ortalama karesel hata değerlerinin Doğu bileşen için Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılması.

Şekil 14, 15 ve 16'da her üç bileşen için Eckl vd.(2001) çalışmasından ölçü sürelerine göre elde edilen en az ve en çok standart sapma değerleri ile CSRS-PPP sonuçlarında elde edilen karesel ortalama hata değerleri karşılaştırılmıştır. Bu değerler, doğu bileşen için ortalama karesel hata 24, 12, 8, 6, 4 ve 2 saatlik veriler için sırasıyla 4.32 mm, 6.42 mm, 8.81 mm, 11.12 mm, 15.91 mm ve 34.07 mm olarak hesaplanmıştır. Kuzey bileşen için sırasıyla 2.26 mm, 3.27 mm, 4.04 mm, 4.95 mm, 7.18 ve 16.53 mm; yükseklik bileşeni içinse sırasıyla, 8.40 mm, 12.05 mm, 14.93 mm, 17.75 mm, 23.36 mm, 43.77 mm olarak elde edilmiştir.

3. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada online tabanlı hassas nokta konumlama tekniği olan CSRS-PPP ile değerlendirilen verilen ölçü süresine bağlı olarak doğruluk değerleri araştırılmıştır. Bu araştırma yapılırken Türkiye'de bulunan 8 farklı TUSAGA-Aktif noktasının verileri 2012-2017 yılları arasında (bu yıllar da dahil olmak üzere) elde edilmiştir. Her yılın 47,48 ve 49 ile 227, 228 ve 229'uncu GNSS gününe karşılık gelen 3 günlük verileri çalışmada kullanılmak üzere 6 aylık periyotlarda farklı ölçü sürelerine bölünmüştür. Bu ölçü süreleri 2,4,6,8 ve 12 olarak rastgele belirlenmiştir. Bu ölçü sürelerindeki veriler CSRS-PPP yazılımı ile online olarak

değerlendirilmiştir. Farklı ölçü sürelerinde online tabanlı CSRS-PPP yazılımı ile değerlendirilen verilerin standart sapma değerleri kuzey, doğu ve yükseklik bileşenleri için her istasyonda incelenmiştir. CSRS-PPP yazılımı ile değerlendirilen 24,12,8,6,4 ve 2 saatlik verilerden elde standart sapma değerleri kuzey bileşen için sırasıyla; 2-3 mm, 3-4 mm, 4-5 mm, 5-7 mm, 6-9 mm ve 11-20 mm arasındadır. Doğu bileşen içinse bu değerler sırasıyla; 4-6 mm, 5-7 mm, 7-9 mm, 8-12 mm, 10-18 mm, 20-35 mm arasında olduğu görülürken, yükseklik bileşeni içinse bu değerler sırasıyla; 8-11 mm, 11-15 mm, 14-18 mm, 16-20 mm, 19-25 mm ve 30-50 mm arasında değişim göstermektedir. Çalışmadan beklenildiği gibi online tabanlı veri değerlendirme yazılımı olan CSRS-PPP'den elde edilen farklı ölçü sürelerindeki standart sapma değerleri artan ölçü süresinde iyileşmektedir. Azalan ölçü süresinde ise daha kötü standart sapma değerleri elde edilmektedir. Çalışmanın bir sonraki adımında ise 2012-2017 yılları arasında seçilen her istasyona ait 24 saatlik verilerin GAMIT/GLOBK yazılımı ile çözümleri Şafak (2019)'dan temin edilerek doğru değerler olarak kabul edilmiştir. Kabul edilen değerlerin sonrasında toposentrik koordinatlara dönüşümü tamamlanarak farklı ölçü sürelerindeki CSRS-PPP yazılımı ile değerlendirilen çözümlerden olan karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Karesel ortalama hata değerleri 24,12,8,6,4 ve 2 saatlik veriler için kuzey bileşende sırasıyla; 2.1 mm, 2.5 mm, 2.6 mm, 3.4 mm, 3.4 mm ve 5.2 mm olarak hesaplanmıştır. Doğu bileşen içinse karesel ortalama hata değerleri sırasıyla; 2.3 mm, 2.8 mm, 3.5 mm, 4.1 mm, 4.0 mm, 7.6 mm olurken, bu değerler yükseklik bileşeni içinse sırasıyla; 6.8 mm, 8.0 mm, 8.8 mm, 9.9 mm, 11.8 mm ve 16.0 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Eckl vd. (2001) çalışmasında ölçü süresine bağlı olarak verilen konum doğruluğu denklemleri ile karşılaştırılmıştır. Kuzey ve doğu bileşen değerleri için farklı ölçü sürelerinde değerlerin uyumlu olduğu görülmüştür. Yükseklik bileşeni içinse verilen denklemlerde 4 saat ve üzerindeki ölçü sürelerinde uyum sağlanmamıştır. Yapılan birçok çalışmada görüldüğü gibi CSRS-PPP yöntemi uzun ölçü sürelerinde oldukça iyi doğrulukta değerlendirme yapmaktadır. 2 saat olan ölçüm süresinde dahi

yaklaşık 1-2 cm doğruluğunda sonuçlara ulaşılabilir olduğu görülmüştür.

5. Kaynaklar

- Akarsu V., 2012. Gözlem Süresinin GPS Noktası Hızlarının Belirlenmesine Olan Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 188.
- Baybura T., Tiryakioğlu İ., Uğur M.A., Solak H.İ., Şafak Ş., 2019. Examining the accuracy of Network RTK and long base RTK methods with repetitive measurements, *Journal of Sensors*, 2019.
- Duman, H., 2016. Bağlı ve PPP tekniklerine göre tekrarlı GPS gözlemlerinden elde edilen nokta hız doğruluklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 109.
- Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W., Mader, G. L., 2001. Accuracy of GPS-derived relative as a function of interstation distance and observing-session duration, *Journal of Geodesy*, **75**, 633-640.
- Kızıllarlan, M., 2014. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 118.
- Kurumahmut, F. K., 2008. İstasyonlar Arası Yükseklik Farkının GPS Konum Belirleme Duyarlılığı Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 118.
- Öcalan, T., 2015. GNSS ağlarında GPS hassas nokta konumlama (GPS-PPP) tekniği yaklaşımli çözümler, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 177.
- Özbulat, Ö., 2021. Hassas nokta konumlama yönteminin ölçü süresine bağlı konum doğruluğunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 104.
- Özdemir, S., 2016. TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine, *Harita Dergisi*, **155**, 53-81.
- Soler, T., Michalak, P., Weston N. D., Snay, R. A., Foote, R. H., 2006. Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-h observing sessions, *GPS Solution*, **10**, 45.
- Şafak, Ş., 2019. GNSS hız doğruluklarına etki eden parametrelerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 99.

Şafak, Ş., Tiryakioğlu, İ., Erdoğan, H., Solak, H.İ., Aktuğ, B., 2020. Determination of parameters affecting the accuracy of GNSS station velocities. *Measurement*, 164.

Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Gülal, E. ve Erdoğan, S., 2010. Tektonik hareketlerin belirlenmesine yönelik ölçü kampanyalarında GNSS gözlem sayı ve sürelerinin konum doğruluğuna olan etkilerinin araştırılması, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergi*, **1**, 32-38.

Tiryakioğlu İ., Güllü M., Baybura T., Erdoğan S., 2005. GPS Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ, 535–536, İstanbul.

Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M., Webb, F.H., 1997. Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research*, **102(3)**, 5005-5017.