

Trimble RTX servisi kullanılarak uydu kombinasyonlarının hız kestirimine etkisinin incelenmesi

Deniz Öz Demir^{1*} 

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul, Türkiye.

Öz: Yer kabuğunun sürekli hareket halinde olması GNSS istasyonlarının da konumlarının değişmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle GNSS istasyonlarının koordinatları ile bu koordinatlara bağlı olarak hesaplanan parametrelerin doğrulukları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada IGS (International GNSS Service) tarafından oluşturulan MGEX (Multi-GNSS Experiment) ağına ait seçilen iki noktada internet tabanlı Trimble RTX servisi kullanılmıştır. 24 saatlik veriler 4'er, 6'şar, 8'er ve 12'şer saatlik gözlem sürelerine bölünerek GPS (G), GPS+GLONASS (GR) ve GPS+GLONASS+Galileo (GRE) uydu kombinasyonlarına göre değerlendirilmiştir. Farklı uydu kombinasyonlarına ve farklı ölçüm sürelerine göre 5 yıllık GNSS verileri yardımıyla elde edilen koordinatlar kullanılarak en küçük kareler kestirim yöntemine göre hız bileşenleri kestirilmiştir. Her kombinasyonun kendi içinde tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak, GPS verisinden elde edilen sonuçların doğru olarak kabul edilip diğer kombinasyonlarla karşılaştırıldığında tek başına GLONASS'ın değil GLONASS ve Galileo'nun birlikte eklenmesiyle doğruluğun arttığı söylenebilmektedir.

Anahtar Sözcükler: GNSS, Trimble RTX, Hız kestirimi, Doğruluk

Investigation of the effect of satellite combinations on velocity estimation by using Trimble RTX service

Abstract: The earth's crust is in motion means that GNSS stations coordinates are also change. For this reason, the coordinates of GNSS stations and accuracies of the parameters which calculated based on these coordinates become important. In this study, online GNSS processing service Trimble RTX was used for two stations belongs to the MGEX (Multi-GNSS Experiment) network set up by IGS (International GNSS Service). 24-hour data is divided into 4, 6, 8 and 12 hour epochs and processed for GPS (G), GPS+GLONASS (GR) and GPS+GLONASS+Galileo (GRE) satellite combinations. Velocity components are estimated according to the least square estimation method using the coordinates obtained from 5-year of GNSS data by using different satellite combinations and different session durations. It has been observed that each of the combinations are consistent results in itself. However, when the results obtained from GPS data are accepted as true values and these are compared to other combinations, it can be said that the accuracy increased with not only GLONASS but also GLONASS and Galileo together.

Keywords: GNSS, Trimble RTX, Velocity estimation, Accuracy

1. Giriş

Jeodezide nokta konumunun belirlenmesine bağlı olarak çok geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır (yer değiştirme büyüklüklerinin belirlenmesi, deprem öncesi ve sonrası deformasyon büyüklerinin belirlenmesi, nokta hız ve gerinim alanlarının belirlenmesi vb.). Teknoloji geliştikçe nokta konumlarının belirlenmesinde birçok yöntem geliştirilmiştir. GPS'in kullanılmaya başlanması ile birlikte yersel ölçme yöntemlerine zaman ve maliyet açısından alternatif yöntemler ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerle birlikte hangi yöntemin daha doğru sonuç verdiği merak edilmiş ve bu amaçla çalışmalar yapılmıştır.

Nokta koordinatlarının başka bir noktaya gerek olmadan belirlenebilmesini sağlayan hassas mutlak konum belirleme (Precise Point Positioning, PPP) yöntemi, kod ve faz ölçülerini birlikte kullanmanın yanı sıra iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonları da kullanarak yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir (Gao & Shen, 2001; Kouba & Héroux, 2001; Sezer vd., 2021). PPP yöntemine göre değerlendirme yapan hem akademik (Bernese, GIPSY, vd.) yazılımlar hem de internet tabanlı servisler bulunmaktadır (APPS, CSRS-PPP, GAPS, magicGNSS, Trimble RTX, vd.). Bu servisler kullanılarak birçok araştırma literatüre katkı sağlamıştır (Abdallah & Schwieger, 2016; Ebner & Featherstone, 2008; El-Hattab, 2014; Ghoddousi-Fard & Dare, 2006; Gökdaş & Özlüdemir, 2021; Guo, 2015; Güneş & Demir, 2022; Öcalan vd., 2013; Tsakiri, 2008; Yiğit vd., 2016).

Günümüzde ise GPS'in yanı sıra farklı uydu sistemlerinin kullanılmaya başlanması ile GNSS uydularından elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve doğrulukları yeni araştırma konularını da ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla IGS (International GNSS Service), farklı uydu verilerinin toplanması ve yayınlanabilmesine olanak sağlamak için MGEX (Multi-GNSS Experiment) projesini gerçekleştirmiştir (Montenbruck vd., 2017). MGEX istasyonlarında GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) ve IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) uydularına ait veriler toplanmaktadır (URL-1).

Yiğit vd. (2016)'da uzun dönem GNSS verileri CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning) servisi kullanılarak değerlendirilmiş ve uzun dönem zaman serilerinden nokta hız ve karesel ortalama hata (KOH) değerleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda JPL (Jet Propulsion Laboratory) tarafından hesaplanan zaman serileri kullanılarak hesaplanmış hız ve KOH değerleri karşılaştırılmıştır. CSRS-PPP ile elde edilen hızların KOH değerlerinin JPL'den elde edilen sonuçlara göre daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak JPL'in tekrar edilebilirliğinin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca CSRS-PPP'nin zaman serilerinin oluşturulması ve hız kestiriminde kullanılabileceği sonucu ortaya konmuştur. Jamieson ve Gillins (2018) yaptıkları çalışmalarında farklı ölçüm sürelerinde GPS ve GLONASS verilerini kullanarak internet tabanlı veri değerlendirme servislerinin doğruluğunu araştırmışlardır. Sadece GPS verisi kullanılarak elde edilen değerlerin servisler tarafından birbirine yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Karşılaştırma için kullanılan HRMS (Horizontal Root Mean Squares, yatay karesel ortalama hata) ve VRMS (Vertical Root Mean Squares, düşey karesel ortalama hata) değerleri hesaplanmıştır. HRMS değerlerinin, GLONASS verilerinin kullanılmasıyla iyileştiği, VRMS değeri için ise GPS+GLONASS verilerinin kullanılmasının Trimble RTX servisi ile değerlendirme sonucunun CSRS-PPP servisinden alınan sonuçlardan %10-20 daha küçük olduğu belirtilmiştir. Erol (2021), MGEX ağına ait seçtiği istasyonlarda farklı uydu sistemlerinin verilerini CSRS-PPP servisini kullanarak analizler yapmıştır. 15 dakikadan 24 saate kadar farklı veri toplama sürelerine göre yapılan analizlerde sadece GPS verisi kullanılarak elde edilen koordinat bileşenlerinde sadece GLONASS verisinin kullanıldığı stratejiye göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. GPS+GLONASS verilerinin birlikte kullanılmasının elde edilen sonuçlarda özellikle kısa süreli gözlemlerde önem taşıdığı belirtilmiştir. Yurdakul (2023)'ün çalışmasında internet tabanlı servisler kullanılarak kısa ölçüm süresine sahip noktalarda GLONASS verilerinin etkisi araştırılmıştır. 0.5 ile 4 saat arasında değişen veri toplama

sürelerine göre GPS ile birlikte GLONASS'ın ele alınması genel olarak yapılan analiz sonuçlarını %76 kadar iyileştirse de %24'lük bir kısmının negatif etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır. [Sezer vd. \(2021\)](#)'de, IGS-MGEX ağında seçili noktalarda Trimble-RTX servisini kullanarak GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou verilerini değerlendirmişlerdir. Dört farklı uydu verisini kombinasyonlar şeklinde incelenmişlerdir. Enlem değeri ve gözlem süresine göre doğruluk fonksiyonları belirlemiş ve fonksiyon parametrelerinin anlamlılıklarını test etmişlerdir. GPS ve GLONASS verileri ile elde edilen konum bilgilerine Galileo ve BeiDou'nun katkı sağladığını bulmuşlardır. Literatürde, farklı uydu verileri kullanılarak yapılan farklı çalışmalar da bulunmaktadır ([Bruyninx, 2007](#); [Gümüş vd., 2023](#); [İnal vd., 2022](#); [Öğütçü, 2019](#); [Vázquez-Ontiveros vd., 2023](#)).

Bu çalışma kapsamında internet tabanlı PPP yöntemine göre veri değerlendiren servislerden biri olan Trimble RTX kullanılmıştır ([Doucet vd., 2012](#); [URL-2](#)). Trimble RTX ile bir noktaya ait GNSS verilerinin gerçek zamanlı (real-time) ya da ölçüm sonrasında (post-processing) verileri değerlendirilebilmektedir. Aynı zamanda, tektonik plakaları da göz önünde bulundurup ölçü epogunda ITRF14 ya da ITRF08 sistemlerinde 3 boyutlu kartezyen ve coğrafi koordinatlar ile birlikte standart sapmalar da elde edilebilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı ise, farklı ölçüm süreleri ve uydu kombinasyonları kullanılarak elde edilen koordinatlardan kestirilen hız değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Bu amaçla, internet tabanlı bir servis olan Trimble RTX ile statik değerlendirme yöntemine göre farklı uydu verilerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak seçilen istasyonların (ISTA ve KIRU) hızları En Küçük Kareler (EKK) yöntemine göre kestirilmiştir. Seçilen istasyonlarda 24 saatlik veriler 4'er, 6'şar, 8'er ve 12'şer saatlik epoklara bölünerek GPS (G), GPS+GLONASS (GR) ve GPS+GLONASS+Galileo (GRE) uydu kombinasyonlarına göre değerlendirilmiştir. ITRF14 sisteminde elde edilen 3 boyutlu kartezyen koordinatlar ve standart sapmalar kullanılarak belirtilen her epok ve uydu kombinasyonu için hız değerleri kestirilmiştir.

2. Hız Kestirimi

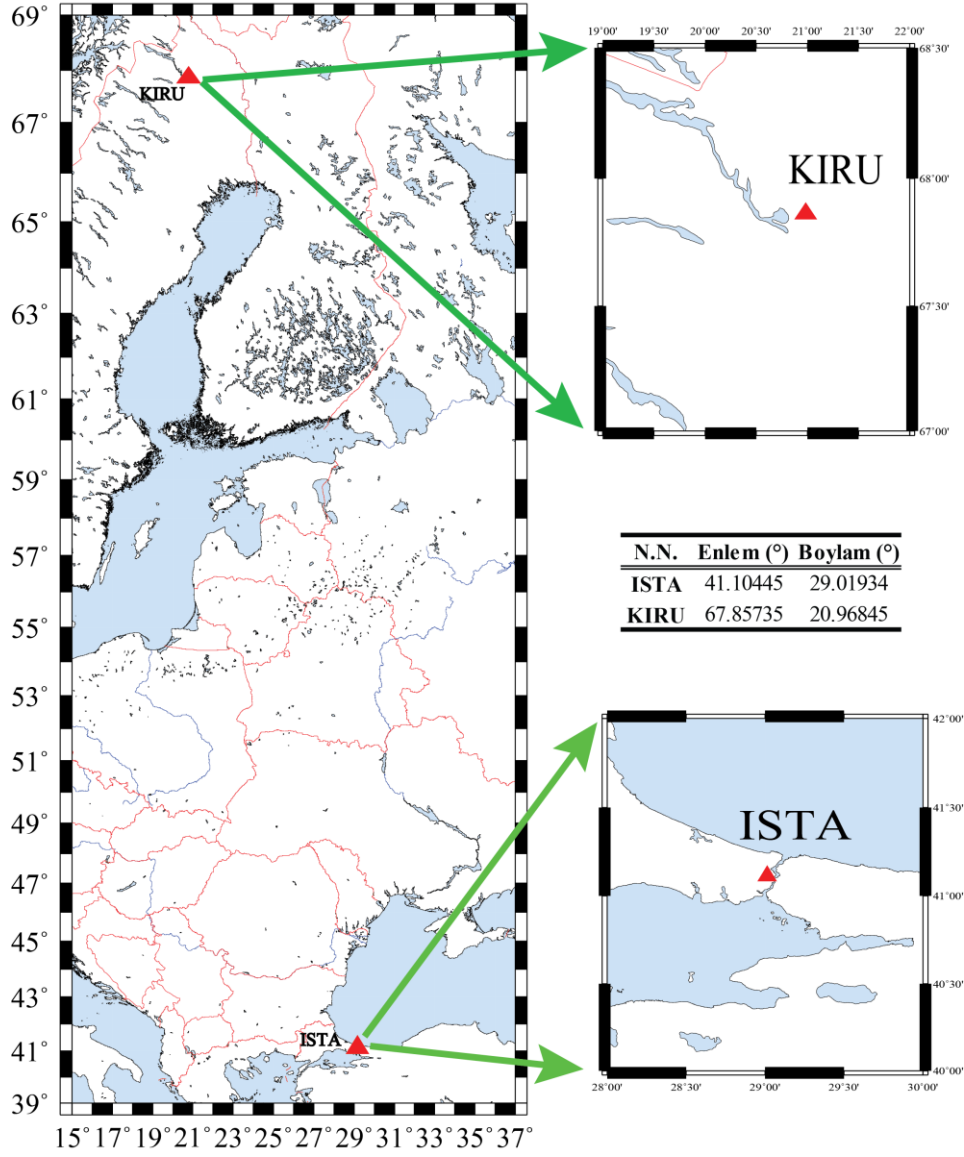
Yeryüvarı üzerindeki her bir noktanın levha tektoniği nedeniyle hareket halinde olması, bu noktaların yıllık olarak ne kadar konum değişimine sahip olduklarını belirleme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. t_0 ilk anında x_0 konumunda olan jeodezik bir noktanın t_i anındaki x_i konumunu elde edebilmek için aşağıdaki doğrusal hız modeli kullanılabilir ([Nocquet & Calais, 2003](#)).

$$x(t_i) + v(t_i) = x(t_0) + \dot{x}(t_i - t_0) \quad (1)$$

Burada $v(t_i)$, t_i anındaki düzeltme değerini; \dot{x} , kestirilmiş hız değerini göstermektedir. (1) numaralı eşitlik kullanılarak EKK dengeleme yöntemine göre noktaların hızları kestirilmektedir. Gerçekleştirilen işlemler sonucunda noktalara ait 3 boyutlu hız değerleri ve standart sapmaları elde edilmektedir. Seçilen noktalarda her yılın aynı günleri kullanılarak mevsimsel etki elemine edilmiştir. Aynı zamanda, sadece noktasal olarak hız değerinin belirlenmesinde farklı uydu misyonlarına ait veriler kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu nedenlerle hız modeline mevsimsel etkiler ve ivme parametreleri eklenmemiştir.

3. Sayısal Uygulama

Bu çalışmada IGS-MGEX ağına ait 5 yıllık, iyonosferik etkinin az olduğu yılın aynı günlerine (121, 122, 123) ait düzenli verisi bulunan, ülkemizde yer alan ISTA ve İsveç'te yer alan KIRU istasyonları seçilmiştir (Şekil 1). Bu istasyonların 2017-2021 yılları arasında her yıla ait, ardışık üç günlük (121, 122, 123) verileri kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Veriler, BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie)'den elde edilmiştir ([URL-3](#)).

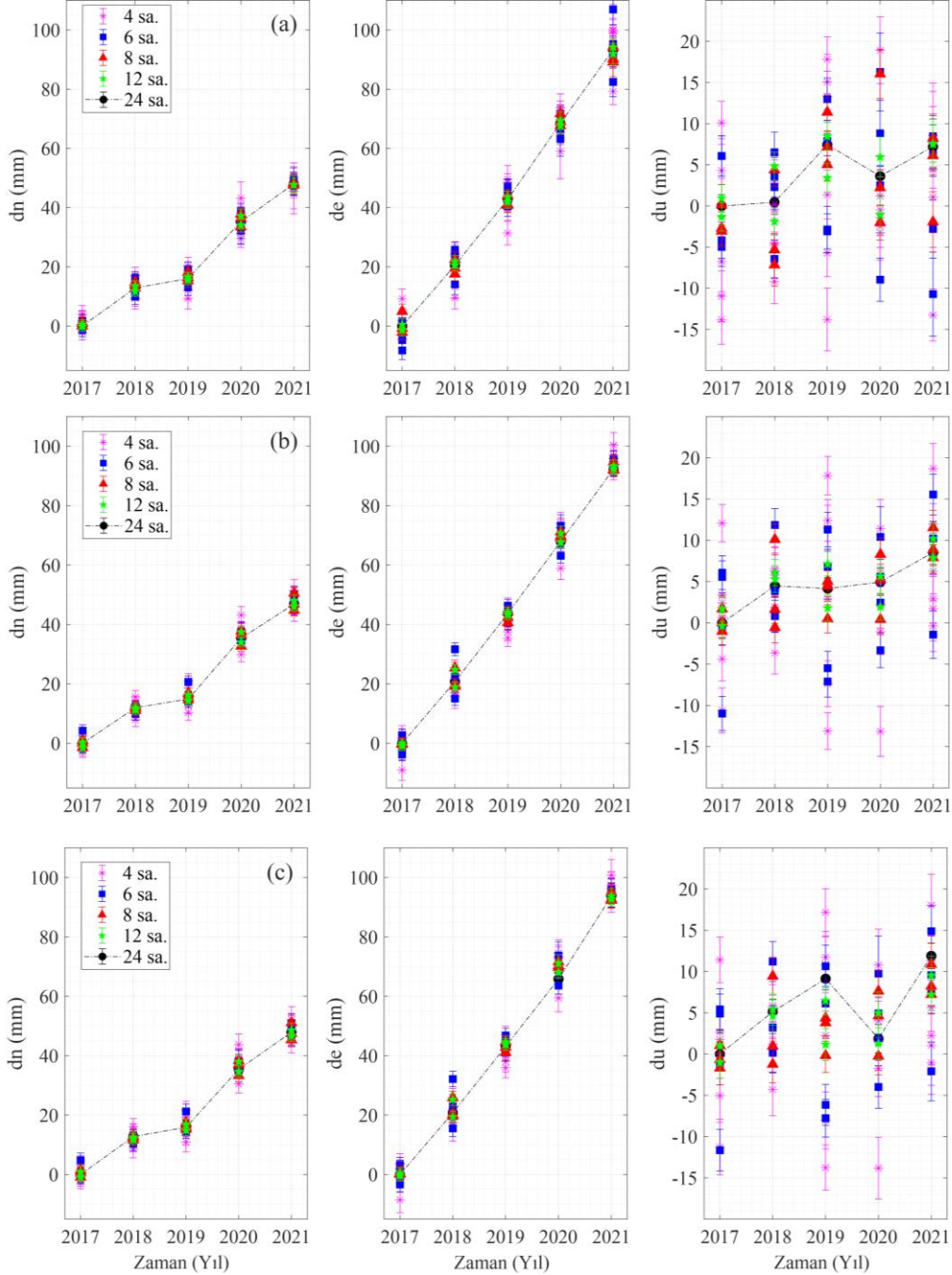


Şekil 1: Çalışmada kullanılan istasyonlar

Verilerin değerlendirilmesi farklı uydu verilerini değerlendirebilen Trimble RTX (URL-2) internet tabanlı veri değerlendirme servisi kullanılarak yapılmıştır. Trimble-RTX servisi, ürettiği yörünge ve saat bilgilerini kullanarak kod ve faz ölçüleri ile analizleri gerçekleştirmektedir. Alıcı ve uydu saat hataları, troposferik ve iyonosferik gecikmeler, plaka hareketleri, uydu ve alıcı anten kayıklıkları, katı yeryuvarı ve kutup gelgitleri, okyanus yüklemesi etkisi, kod ve taşıyıcı faz kayıklıkları ve çok yolluluk hataları, taşıyıcı dalga tamsayı belirsizliği ve rölativistik düzeltmeler göz önünde bulundurularak değerlendirmeler yapılmaktadır (Doucet vd., 2012).

Koordinatlar ITRF14 sisteminde ve ölçü epoğunda elde edilmiştir. Üç günlük alınan verilerin değerlendirme sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlendikten sonra her yılın seçilen ilk günü (121. gün) kullanılarak analizlere devam edilmiştir. Öncelikle 24 saatlik veriler GPS (G), GPS-GLONASS (GR) ve GPS-GLONASS-Galileo (GRE) veri setine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu veriler daha sonra Tablo 1'deki ölçüm sürelerine bölünerek değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç olarak her periyodun farklı ölçüm sürelerine göre yapılan analizlerden bir koordinat değeri elde edilmiştir. Elde edilen 3 boyutlu kartezyen koordinat sisteminden, istasyonların coğrafi koordinatları kullanılarak topocentrik koordinat sistemine geçiş yapılmıştır.

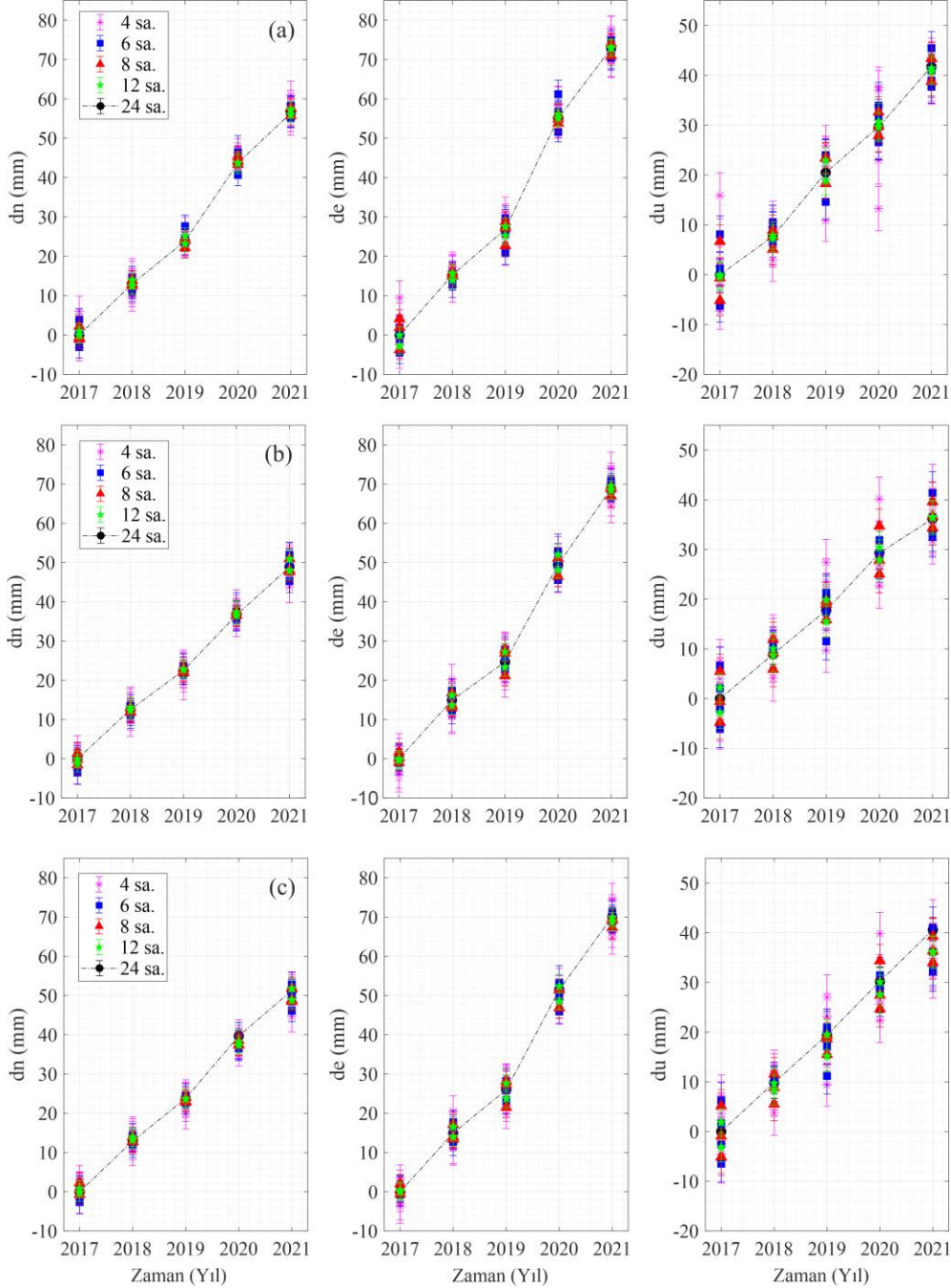
Şekil 2 ve 3'te sırasıyla ISTA ve KIRU istasyonlarına ait zaman serileri verilmektedir. Zaman serilerinde, her yılın aynı gününe ait verilerin Tablo 1'de verilen gözlem sürelerine göre farklı uydu kombinasyonlarına uygun olarak yapılan değerlendirme sonuçları kullanılmıştır. Zaman serileri, istasyonların değerlendirmeye alınan ilk gününe ait 24 saatlik verisi ile elde edilen koordinat değerlerinden, Tablo 1'de yer alan farklı gözlem sürelerine göre elde edilen koordinat değerlerinin farkı alınarak oluşturulmuştur.



Şekil 2: ISTA istasyonuna ait, 24 saatlik (a) GPS (b) GPS+GLONASS (c) GPS+GLONASS+Galileo veri çözümü doğru kabul edilerek diğer epoklardan elde edilen koordinat farkları (dn: kuzey-güney koordinat bileşeni farkları, de: doğu-batı koordinat bileşeni farkları; du: yükseklik bileşeni koordinat farkları) alınarak çizilen zaman serileri.

Şekil 2'de genel olarak (a)'ya bakıldığında kuzey-güney bileşen için fark değerleri yaklaşık olarak 0-50 mm arasında değişmektedir. En büyük değişiklik değerinin 4a epogunda olduğu belirlenmiştir (49.77 ± 3.57 mm). Doğu-batı bileşeninde ise farklar kuzey-güney bileşene göre yaklaşık iki kat daha büyüktür. En büyük değişimin ise 6b epogunda 106.91 ± 5.12 mm

olarak elde edilmiştir. Yatay bileşenlere genel olarak bakıldığında, bütün epoklar arasında bir tutarlılık görülmektedir. Yükseklik bileşenine geldiğimizde ise durum yatay bileşenlerden daha farklıdır. En büyük sıçrama 4c epoğunda tespit edilmesine rağmen, genel olarak saçılımlar bütün epoklarda görülmektedir. Şekil 2(b) ve 2(c) incelendiğinde ise genel olarak nokta konum değişimleri birbirine yakındır. Her iki şekilde de en büyük farklılıklar yatay bileşenler için 4c epoğunda, yükseklik bileşeninde ise 4a epoğundadır.



Şekil 3: KIRU istasyonuna ait, 24 saatlik (a) GPS (b) GPS+GLONASS (c) GPS+GLONASS+Galileo veri çözümü doğru kabul edilerek diğer epoklardan elde edilen koordinat farkları (dn: kuzey-güney koordinat bileşeni farkları, de: doğu-batı koordinat bileşeni farkları; du: yükseklik bileşeni koordinat farkları) alınarak çizilen zaman serileri.

Şekil 3'e gelindiğinde ise KIRU istasyonunun sadece GPS verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen farklarda her iki yatay bileşen için de en büyük farklar 4c epoğunda ($dn=60.95\pm 3.58$ mm, $de=77.78\pm 3.27$ mm) elde edilmiştir. Yükseklik bileşeninde ise 6c epoğunda (45.45 ± 3.36 mm) en büyük fark değeri elde edilmiştir. Şekil 3(b) ve 3(c)'de aynı epoklarda

sırasıyla 6a, 4c ve 4b epoklarında en büyük değişimler elde edilmiştir.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan farklı oturum sürelerinin tanımlanması

Gözlem Süresi (sa)	a	b	c	d	e	f
4	00:00-04:00	04:00-08:00	08:00-12:00	12:00-16:00	16:00-20:00	20:00-24:00
6	00:00-06:00	06:00-12:00	12:00-18:00	18:00-24:00		
8	00:00-08:00	08:00-16:00	16:00-24:00			
12	00:00-12:00	12:00-24:00				
24	00:00-24:00					

İstasyonlara ait verilerin zaman serileri elde edildikten sonra hız kestirimi aşamasına geçilmiştir. İstasyonlara ait hız değerleri EKK yöntemi kullanılarak toposentrik koordinat sisteminde (n-kuzey güney, e-doğu batı, u-yükseklik) elde edilmiştir. Temel olarak 3 farklı veri setiyle hız kestirimi yapılmıştır. Öncelikle sadece GPS (G) verileri kullanılarak Tablo 1’de verilen gözlem sürelerine göre değerlendirilip her yılın seçilen ilk gün verisinden elde edilen koordinatlar ve standart sapmaları kullanılarak hız hesabı yapılmıştır. Aynı işlem adımları GPS ve GLONASS (GR) ve daha sonra GPS, GLONASS ve Galileo (GRE) verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3 veri setine göre hız değerleri arasındaki farklar hesaplanmıştır. Her stratejinin kendi iç doğruluğunu belirleyebilmek için kendi 24 saatlik hız değerleri doğru kabul edilerek bütün epoklar arasındaki farklar ve farkların standart sapmaları hesaplanmıştır (Tablo 2). Sadece GPS verisine göre elde edilen farklara bakıldığında ISTA ve KIRU istasyonlarında aynı özelliklerle direk olarak karşılaşılmadığı görülmektedir. Örneğin ISTA istasyonunun kuzey-güney bileşeninde en küçük fark 8a epogunda iken KIRU istasyonunda 6c epogundadır. ISTA istasyonunun doğu-batı bileşeninde en düşük fark 4c epogunda görülürken, en yüksek standart sapma değerinin de yine aynı epokta olduğu görülmektedir. 4’er saatlik epoklar olan 4c ve 4e epoklarında kuzey-güney bileşende sırasıyla en düşük ve en yüksek farklar elde edilmiştir. Yükseklik bileşeninin hız değeri farklarında ise, 4c ve 4d epokları en yüksek değerlere sahiptir. KIRU istasyonunda ise yatay ve düşey bileşenlerinde hem hız değeri farkları hem de standart sapma değerleri ISTA istasyonuna göre oldukça düşüktür. GR’ye göre elde edilen farklara bakıldığında ISTA istasyonundaki fark değerlerinin sadece GPS’e göre daha düşük elde edildiği görülmektedir. Her iki istasyon içinde genel olarak, 4 saatlik epoklardaki farkların standart sapma değerlerinin diğer epoklardan fazla olduğu gözlemlenmektedir. GRE’de ise ISTA istasyonu için yatay bileşen için en büyük farkın 4c epogunda hesaplandığı, en büyük standart sapma değerinin ise yatay ve düşey bileşende 4d epogunda elde edildiği görülmektedir. KIRU istasyonu için ise genel olarak ISTA istasyonuna göre daha stabil bir durumdan bahsedilebilmektedir. Genel olarak fark değerleri ve bunların standart sapma değerleri GR ile elde edilen değerlere yakındır (Tablo 2).

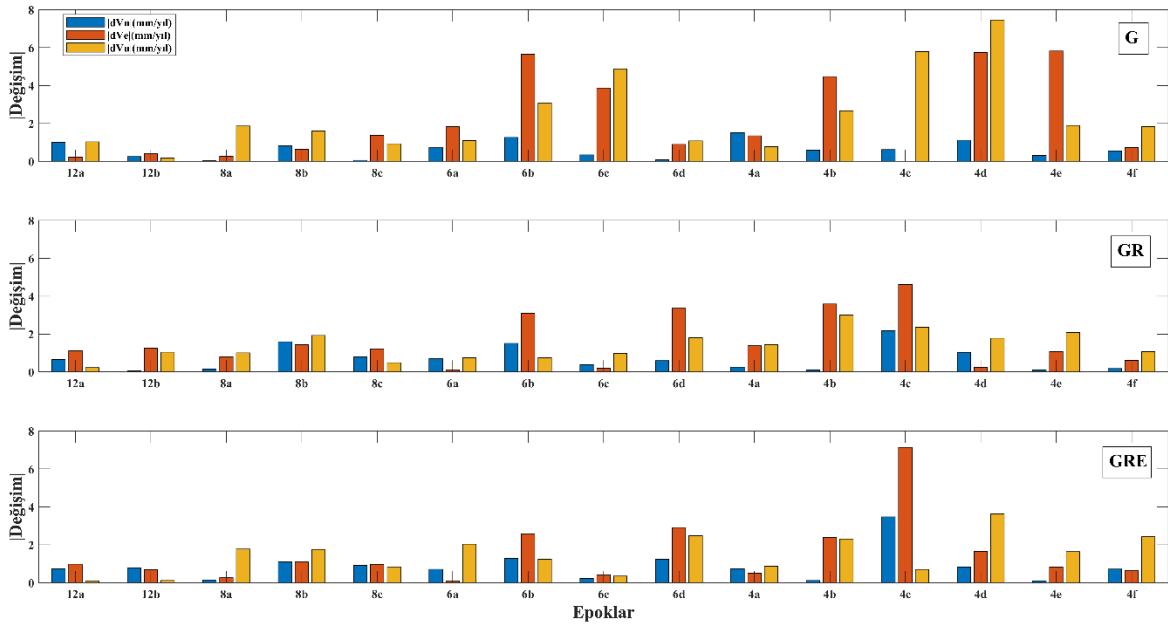
Sonuç olarak hem ISTA hem de KIRU istasyonlarında hız bileşen farklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı t-testine göre kontrol edilmiştir. Her üç veri setine göre hesaplanan kendi 24 saatlik verilere göre hesaplanmış hız bileşen değerlerinin doğru kabul edilip diğer epokların farkları %95 güven düzeyine göre belirlenen sınır değer olan $t_{f,1-\alpha/2} = 2.4469$ ’dan küçük olduğu yani bütün fark değerlerinin istatistiksel olarak anlamsız olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen fark değerleri düzenli bir artış ya da azalış gibi bir yapıya sahip olmadıkları için genel olarak yorumlamak zordur. Tablo 2’de yer alan hız farklarının biraz daha kolay yorumlanabilmesi için bu farkların mutlak değerleri alınarak Şekil 4 ve Şekil 5 çizilmiştir. Her iki istasyona ait G, GR ve GRE kombinasyonlarının 24 saatlik hız değerlerine genel olarak, en yakın 12 saatlik hız değerlerinin olduğu, en büyük farkların ise iyonosferik etkinin yüksek olduğu epoklarda olduğu söylenebilmektedir.

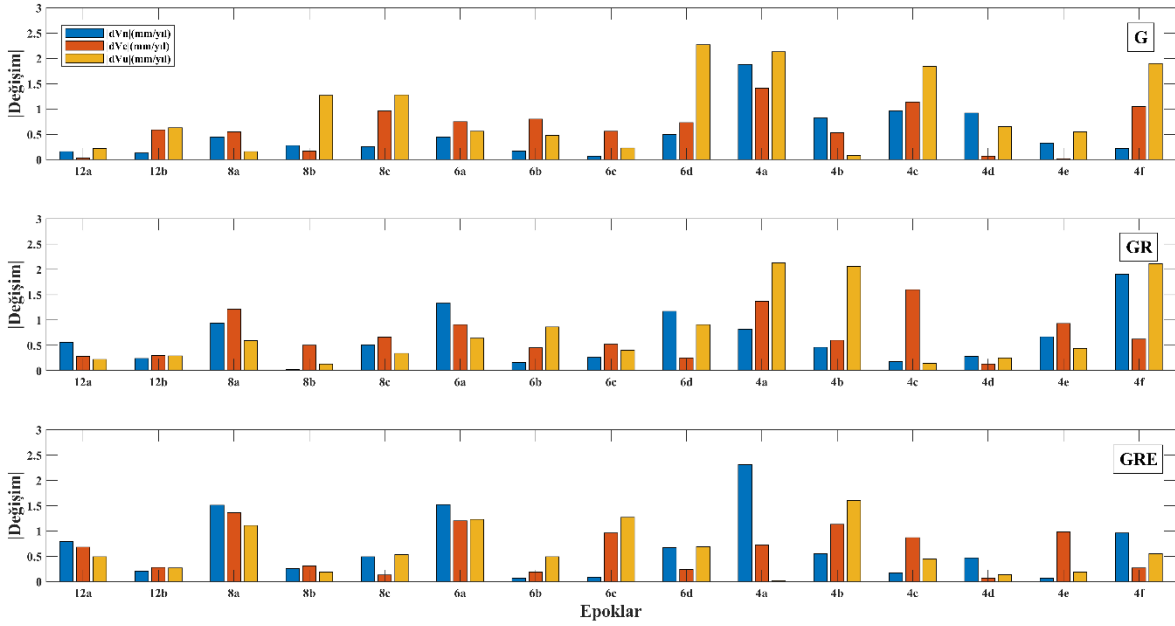
Tablo 2: İstasyonların farklı epoklardaki hız değerlerinin kendi 24 saatlik verileri ile elde edilen hız değerlerinden olan farkları

Epoklar	ISTA						KIRU					
	$dv_n \pm Sv_n$ (mm/yıl)		$dv_e \pm Sv_e$ (mm/yıl)		$dv_u \pm Sv_u$ (mm/yıl)		$dv_n \pm Sv_n$ (mm/yıl)		$dv_e \pm Sv_e$ (mm/yıl)		$dv_u \pm Sv_u$ (mm/yıl)	
12a	1.01	±2.54	0.23	±3.21	-1.03	±2.63	-0.16	±1.77	0.03	±1.90	0.22	±2.44
12b	-0.25	±3.07	-0.4	±3.67	-0.17	±3.13	0.13	±2.01	0.59	±2.15	-0.63	±2.66
8a	-0.03	±2.45	-0.28	±3.34	-1.86	±2.55	0.45	±1.80	-0.55	±1.97	0.16	±2.47
8b	0.82	±4.32	-0.63	±5.14	1.60	±4.55	0.28	±2.07	0.17	±2.07	1.27	±2.81
8c	0.06	±3.12	1.38	±3.95	0.93	±3.21	0.26	±2.35	0.96	±2.60	-1.28	±2.92
6a	0.72	±2.85	-1.83	±3.85	-1.10	±2.97	0.45	±1.94	-0.75	±2.11	-0.56	±2.48
6b	1.26	±4.07	5.65	±5.35	-3.06	±4.32	-0.17	±2.14	0.80	±2.24	-0.48	±2.78
6c	0.34	±2.74	-3.87	±3.42	-4.88	±2.81	-0.07	±2.28	0.56	±2.47	0.23	±2.93
6d	0.08	±3.11	-0.89	±4.07	1.08	±3.21	0.50	±2.37	0.73	±2.53	-2.27	±2.90
4a	1.51	±3.85	-1.35	±6.10	-0.77	±4.07	1.88	±2.87	-1.41	±3.29	-2.13	±3.33
4b	-0.60	±2.48	4.47	±3.57	-2.67	±2.57	-0.82	±1.99	-0.53	±2.39	-0.08	±2.57
4c	0.62	±5.04	0	±7.78	5.79	±5.32	0.96	±2.42	1.14	±2.46	1.84	±2.91
4d	1.12	±3.54	-5.74	±4.16	-7.46	±3.69	0.92	±2.59	0.07	±2.70	0.65	±3.11
4e	-0.31	±4.88	5.82	±7.23	1.89	±5.05	-0.33	±2.31	0.02	±2.72	-0.55	±2.88
4f	-0.56	±2.77	0.73	±3.75	1.83	±2.88	0.22	±2.57	1.05	±2.87	-1.90	±2.95
Epoklar	$dv_n \pm Sv_n$ (mm/yıl)		$dv_e \pm Sv_e$ (mm/yıl)		$dv_u \pm Sv_u$ (mm/yıl)		$dv_n \pm Sv_n$ (mm/yıl)		$dv_e \pm Sv_e$ (mm/yıl)		$dv_u \pm Sv_u$ (mm/yıl)	
12a	0.66	±2.36	1.13	±2.64	0.23	±2.42	0.56	±1.77	-0.28	±1.75	0.22	±2.43
12b	-0.07	±2.03	-1.26	±2.23	-1.05	±2.07	-0.24	±1.77	0.3	±1.83	-0.29	±2.43
8a	0.15	±2.27	0.80	±2.69	-1.01	±2.35	0.94	±1.56	-1.21	±1.61	0.59	±2.16
8b	1.60	±2.12	1.44	±2.39	1.93	±2.18	0.02	±1.51	0.50	±1.54	0.13	±2.11
8c	-0.79	±2.07	-1.22	±2.40	0.49	±2.13	-0.51	±2.20	0.66	±2.25	-0.34	±2.96
6a	0.69	±2.51	-0.12	±3.04	-0.74	±2.61	1.33	±1.68	-0.91	±1.68	0.64	±2.21
6b	1.51	±2.91	3.09	±3.17	-0.76	±2.99	0.16	±2.19	0.45	±2.19	-0.86	±2.88
6c	0.37	±2.22	0.19	±2.54	-0.99	±2.28	0.26	±1.43	0.52	±1.54	-0.40	±1.99
6d	-0.60	±2.80	-3.36	±3.43	1.80	±2.88	-1.17	±1.92	0.25	±2.09	-0.91	±2.57
4a	0.26	±3.07	1.38	±3.77	1.43	±3.23	0.82	±2.22	-1.37	±2.26	-2.13	±2.73
4b	-0.10	±2.13	3.59	±2.71	-3.01	±2.19	0.46	±1.59	-0.60	±1.76	2.06	±2.15
4c	2.17	±3.77	4.61	±4.21	2.37	±3.93	0.18	±2.14	1.60	±2.02	-0.14	±2.67
4d	1.04	±4.12	0.25	±4.90	-1.78	±4.21	0.28	±1.54	-0.13	±1.66	0.25	±2.05
4e	-0.11	±2.93	1.07	±3.65	-2.09	±3.02	0.67	±2.93	0.93	±2.92	0.44	±3.56
4f	0.18	±3.36	-0.61	±4.51	1.08	±3.50	-1.90	±2.09	0.62	±2.39	-2.11	±2.62
Epoklar	$dv_n \pm Sv_n$ (mm/yıl)		$dv_e \pm Sv_e$ (mm/yıl)		$dv_u \pm Sv_u$ (mm/yıl)		$dv_n \pm Sv_n$ (mm/yıl)		$dv_e \pm Sv_e$ (mm/yıl)		$dv_u \pm Sv_u$ (mm/yıl)	
12a	0.74	±2.49	0.98	±2.76	-0.10	±2.55	0.79	±1.63	-0.68	±1.75	0.49	±2.23
12b	-0.79	±2.89	-0.68	±3.18	0.12	±2.94	-0.21	±1.62	0.28	±1.79	-0.27	±2.23
8a	0.15	±2.51	0.26	±2.87	-1.77	±2.57	1.51	±1.54	-1.36	±1.71	1.11	±2.07
8b	1.09	±2.58	1.11	±2.75	1.76	±2.63	-0.26	±1.45	-0.31	±1.53	-0.19	±1.96
8c	-0.92	±2.56	-0.97	±2.91	0.84	±2.63	-0.49	±1.80	0.13	±2.02	0.53	±2.43
6a	0.71	±2.89	-0.10	±3.31	-2.04	±2.98	1.52	±1.65	-1.20	±1.72	1.23	±2.11
6b	1.28	±2.63	2.58	±2.93	1.23	±2.72	0.07	±1.80	-0.19	±1.86	-0.49	±2.35
6c	0.23	±4.05	0.42	±4.49	-0.35	±4.16	-0.09	±1.39	0.96	±1.61	-1.27	±1.90
6d	-1.23	±2.77	-2.91	±3.27	2.47	±2.85	-0.67	±1.91	-0.24	±2.12	0.69	±2.43
4a	0.74	±3.15	0.50	±3.70	-0.86	±3.27	2.31	±2.36	-0.72	±2.37	-0.02	±2.68
4b	0.12	±2.37	2.40	±2.87	-2.31	±2.42	0.55	±1.39	-1.13	±1.64	1.60	±1.82
4c	3.47	±3.77	7.14	±4.44	0.70	±3.92	0.17	±1.72	0.87	±1.70	-0.45	±2.11
4d	0.82	±6.55	-1.66	±7.76	-3.62	±6.77	-0.47	±1.34	0.07	±1.54	-0.14	±1.77
4e	-0.10	±3.23	0.82	±3.83	-1.64	±3.35	0.07	±2.42	0.98	±2.53	-0.19	±2.83
4f	-0.72	±2.94	-0.65	±3.95	2.42	±3.07	-0.96	±1.85	-0.27	±2.15	0.55	±2.25

*Tabloda yer alan parametreler istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır.



Şekil 4: İSTA istasyonuna ait hız farkları (mutlak değer olarak)

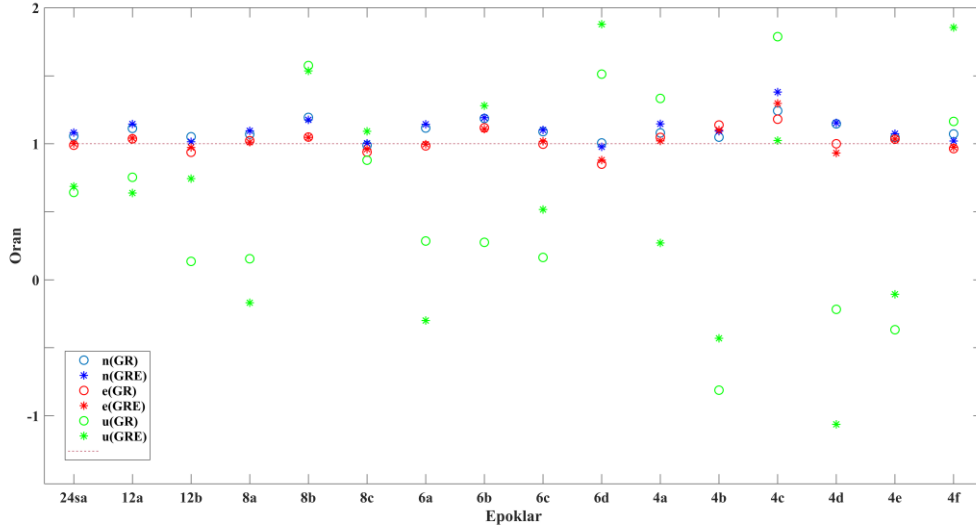


Şekil 5: KIRU istasyonuna ait hız farkları (mutlak değer olarak)

Her stratejinin kendi iç doğruluğundan sonra GPS'e göre 24 saatlik verilerden elde edilen hız değerleri doğru olarak kabul edilerek diğer stratejilerin bütün epokları için elde edilen hız değerlerinin oranları hesaplanmıştır. Şekil 6 ve 7 sırasıyla İSTA ve KIRU istasyonlarına ait değerleri göstermektedir. Yatay eksen Tablo 1'de verilen epokları, dikey eksen ise hız değerlerinin oranlarını göstermektedir. Şekillerde turuncu renkli kesikli çizgi beklenen değer olan 1'i temsil etmektedir.

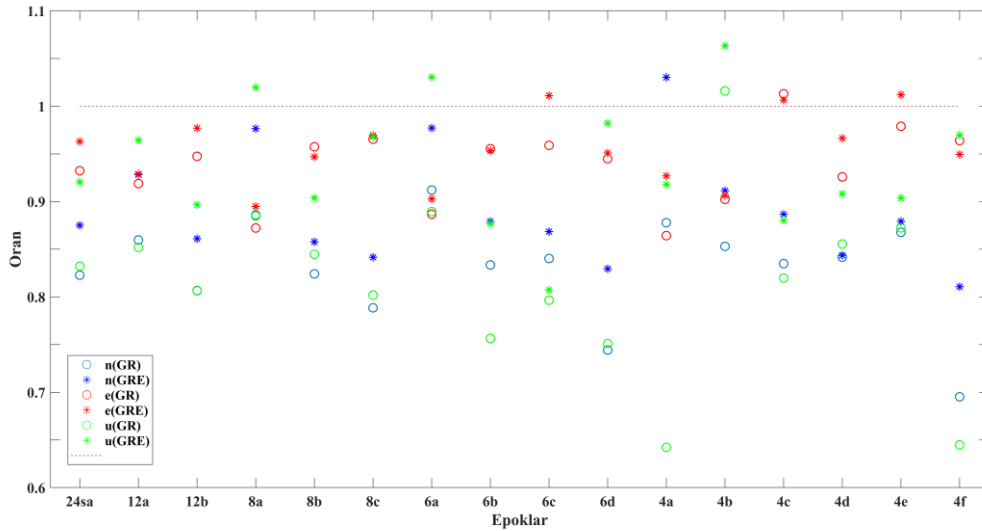
İSTA istasyonuna ait şekle genel olarak bakıldığında, 24 saatlik veriden elde edilen kuzey-güney ve doğu-batı bileşenlerine ait hız değerlerinin her iki veri seti için de sadece GPS verisi ile elde edilen değerlere yakın olduğu görülmektedir. Daha

detaylı incelendiğinde ise yatay bileşenler için Galileo verisinin sisteme eklenmesiyle beklenen değere daha yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Yükseklik bileşeni için ise özellikle 4 saatlik epoklarda saçılmalar dikkat çekmektedir (Şekil 6).



Şekil 6: İSTA istasyonunun G'ye göre 24 saatlik veri değerlendirme sonucu elde edilen hız değerlerinin doğru kabul edilerek GR ve GRE'nin oranları. Bordo çizgi beklenen değeri göstermektedir.

Şekil 7'de KIRU istasyonuna ait 24 saatlik veriden elde edilen değerlerin oranının her üç bileşen için de birbirine yakın olduğu görülmektedir. Aynı şekilde her üç hız bileşeni için de Galileo verisi (GRE) eklenerek elde edilen değerlerin, beklenen değere daha yakın olduğu görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7: KIRU istasyonunun G'ye göre 24 saatlik veri değerlendirme sonucu elde edilen hız değerlerinin doğru kabul edilerek GR ve GRE'nin oranları. Bordo çizgi beklenen değeri göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmanın temel amacı, farklı ölçüm süreleri ve uydu kombinasyonlarından elde edilen koordinat değerleri kullanılarak kestirilen hız değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemektir. IGS-MGEX ağında, mevsimsel etkinin elemine edilebilmesi için her yılın aynı gününe ait 5 yıllık verisi bulunan iki istasyonda uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, veri değerlendirme aşamasında internet tabanlı Trimble RTX servisi kullanılmıştır. Seçilen istasyonların elde edilen koordinat değerleri ve standart sapmaları kullanılarak, her epok için hız değerleri EKK yöntemine göre kestirilmiştir.

Her veri grubu için 24 saatlik hız değerleri doğru kabul edilip seçilen epoklar arasındaki farklar ve farkların standart sapmaları hesaplanmış ve 24 saatlik hız değerleri arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu belirlenmiştir. Stratejiler kendi içerisinde tutarlı sonuçlar verse de 24 saatlik GPS verisinde elde edilen sonuçlara göre nasıl bir katkı sağladıklarının da ortaya konulması gerekmektedir. Yatay ve düşey hız bileşenleri için GPS verisine sadece GLONASS verisi eklenerek elde edilen değerlerde doğruluk düşerken, bu iki veriye Galileo verisi de eklendiğinde doğruluk sadece GPS ile elde edilen doğruluğa yaklaşmaktadır. Bu nedenle çoklu-GNSS verisi çözümlerinde GPS'in yanına hangi veri setinin ekleneceğine dikkat edilmelidir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan GNSS verileri için IGS ve BKG'ye teşekkür ederim. Çizimler Matlab ve Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel & Smith, 1998) yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Abdallah, A., & Schwieger, V. (2016). Static GNSS precise point positioning using free online services for Africa. *Survey review*, 48(346), 61-77.
- Bruyninx, C. (2007). Comparing GPS-only with GPS+ GLONASS positioning in a regional permanent GNSS network. *GPS Solutions*, 11(2), 97-106.
- Doucet, K., Herwig, M., Kipka, A., Kreikenbohm, P., Landau, H., Leandro, R., Moessmer, M. & Pagels, C. (2012). Introducing ambiguity resolution in web-hosted global multi-GNSS Precise point positioning with trimble RTX-PP. *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2012)*, 1115-1125.
- Ebner, R., & Featherstone, W. (2008). How Well Can Online GPS PPP Post-processing Services be Used to Establish Geodetic Survey Control Networks?. *Journal of Applied Geodesy*, 2(3), 149-157.
- El-Hattab, A. I. (2014). Assessment of PPP for establishment of CORS network for municipal surveying in Middle East. *Survey review*, 46(335), 97-103.
- Erol, T. (2021). Web tabanlı CSRS-PPP uygulamasının farklı uydu sistemleri üzerindeki performansı. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 8(1), 41-56.
- Gao, Y., & Shen, X. (2001). Improving ambiguity convergence in carrier phase-based precise point positioning. *Proceedings of the 14th international technical meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS 2001)*, 1532-1539.
- Ghoddousi-Fard, R., & Dare, P. (2006). Online GPS processing services: an initial study. *GPS solutions*, 10, 12-20.
- Gökdaş, Ö., & Özlüdemir, M. T. (2021). Velocity estimation performance of GNSS online services (APPS and AUSPOS). *Survey review*, 53(378), 280-288.

- Guo, Q. (2015). Precision comparison and analysis of four online free PPP services in static positioning and tropospheric delay estimation. *GPS solutions*, 19(4), 537-544.
- Gümüş, K., Çelik, C. T., & Gümüş, M. G. (2023). A statistical investigation on the effects of different GNSS systems. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 432-442.
- Güneş, Ö., & Demir, D. Ö. (2022). Comparing results of online GNSS services: A case study from Turkey. *Survey Review*, 54(383), 163-171.
- İnal, C., Bilgen, B., Bülbül, S., & Başbük, M. (2022). Farklı uydu sistemi kombinasyonlarının gerçek zamanlı hassas nokta konumlamaya etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 109-115.
- Jamieson, M., & Gillins, D. T. (2018). Comparative analysis of online static GNSS postprocessing services. *Journal of surveying engineering*, 144(4), 05018002.
- Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS solutions*, 5, 12-28.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Prange, L., Deng, Z., Zhao, Q., Perosanz, F., Romero, I., Noll, C., Stürze, A., Weber, G., Schmid, R., MacLeod, K., & Schaer, S. (2017). The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS)—achievements, prospects and challenges. *Advances in space research*, 59(7), 1671-1697.
- Nocquet, J. M., & Calais, E. (2003). Crustal velocity field of western Europe from permanent GPS array solutions, 1996–2001. *Geophysical Journal International*, 154(1), 72-88.
- Öcalan, T., Erdoğan, B., & Tunahöglü, N. (2013). Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques. *Boletim de ciencias geodesicas*, 19, 191-207.
- Öğütçü, S. (2019). The contribution of Multi-GNSS Experiment (MGEX) to precise point positioning over Turkey: Consideration of observation time and satellite geometry. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(3), 642-658.
- Sezer, G., Doğan, A. H., & Erdoğan, B. (2021). Çoklu-GNSS çözümlerinin performansının internet tabanlı Trimble RTX servisi ile incelenmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 8(1), 30-40.
- Tsakiri, M. (2008). GPS processing using online services. *Journal of Surveying Engineering*, 134(4), 115-125.
- Vázquez-Ontiveros, J. R., Padilla-Velazco, J., Gaxiola-Camacho, J. R., & Vázquez-Becerra, G. E. (2023). Evaluation and analysis of the accuracy of open-source software and online services for PPP processing in static mode. *Remote Sensing*, 15(8), 2034.
- Wessel, P., & Smith, W. H. (1998). New, improved version of Generic Mapping Tools released. *Eos, transactions American geophysical union*, 79(47), 579-579.
- Yiğit, C.Ö., Özdemir, B. N., Alçay, S. & Ceylan, A. (2016). CSRS-PPP Yazılımının Uzun Dönemli GNSS Zaman Serilerinin Oluőturulmasında ve Nokta Hızlarının Kestirilmesinde Kullanılabilirliği. *Harita Dergisi*, 155, 23-31.
- Yurdakul, Ö. (2023). Performance investigation of GLONASS in the static PPP technique with independent short measurement times using online processing services. *Survey Review*, 55(393), 567-577.
- URL-1: <https://igs.org/mgex/>, (Eriőim Tarihi: 1 Aralık 2023).
- URL-2: <https://www.trimblertx.com/>, (Eriőim Tarihi: 20 Kasım 2023).
- URL-3: <https://igs.bkg.bund.de/>, (Eriőim Tarihi: 15 Kasım 2023).