

Çoklu-GNSS ile Mutlak Prezisyonlu Nokta Konum Belirleme Üzerine Örnek Bir İnceleme

İrem Köz¹, Serdar Erol^{2,*}, Asude Meryem Karaç³, Bihter Erol⁴

^{1,2,4}İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul.

³Pekin Havacılık ve Uzay Üniversitesi, Lisans Üstü Programlar Enstitüsü, GNSS Programı, Pekin, Çin Halk Cumhuriyeti.

Özet

Uydu teknoloji ve veri değerlendirme stratejilerindeki son gelişmeler ile birlikte nokta konum bilgisinin daha yüksek doğrulukla ve ekonomik olarak üretilmesi olanaklı hale gelmiştir. Prezisyonlu (Hassas) Nokta Konumlama (Precise Point Positioning - PPP) yaklaşımı, uydulara dayalı konum belirleme alanında yaşanan güncel gelişmelerin önemli sonuçlarından biridir. PPP uygulamaları tek bir istasyonun konum bilgisinin çok hassas yörünge ve saat bilgilerinin değerlendirilmesi ile hesaplanmasına dayanır. Böylelikle bu yöntem, jeodezik uygulamalarda ve yer bilimlerine ilişkin çalışmalarda ağı dayalı görel nokta konumlama yaklaşımına, elde edilecek konum doğrulukları bakımından alternatif sunmaktadır. Bu çalışmada, PPP yönteminin nokta konum bilgisinin üretilmesindeki performansı, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou navigasyon uydu sistemlerinden elde edilen ölçülerin ayrı ayrı ve kombine şekilde değerlendirilmesinde elde edilen sonuçlar nezdinde incelenerek analiz edilmiştir. Bu amaçla, IGS - ISTA istasyonundaki 2 Ağustos 2017 (2017 yılının 214. günü) tarihli statik RINEX GNSS gözlemleri kullanılmış, farklı uydu navigasyon sistemlerinin ve bunların kombinasyonlarının (çoklu GNSS çözümleri) mutlak prezisyonlu nokta konum bilgisinin üretilmesindeki performansları analiz edilmiştir. GNSS gözlemlerinin değerlendirilmesinde akademik (açık-kaynak kodlu) ve ticari masa üstü GNSS veri değerlendirme yazılımları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar ve gerçekleştirilen değerlendirmeler irdelenerek çoklu-GNSS verilerinin (GPS (PPP), GPS/GLONASS (PPP), GPS/GLONASS/Galileo (PPP), GPS/GLONASS/BeiDou (PPP) ve GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou (PPP)) mutlak prezisyonlu nokta konum belirlenmesi üzerindeki etkileri (nokta konum doğrulukları ve yakınsama süreleri açısından) ayrıntılı biçimde yorumlanmıştır. Sonuçlar çoklu-GNSS PPP çözümlerinin nokta konum doğrulukları ve yakınsama süreleri açısından tek sistem PPP çözümlerine üstünlük sağladığını göstermiştir.

Anahtar Sözcükler

çoklu-GNSS, Galileo, BeiDou, Mutlak konum belirleme, PPP

1. Giriş

Kullanım ve uygulama alanı giderek artan GNSS teknolojisi ile konum belirleme yöntemleri bağıl (rölatif) ve mutlak yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bağıl yöntemin, iki istasyonda eş zamanlı gerçekleştirilen gözlemler yardımıyla doğruluğunun mutlak yöntemle göre daha yüksek olduğu bir gerçektir. Ancak zaman içerisinde geliştirilen GNSS sistemlerinin modernizasyonu çalışmaları ile birlikte IGS (International GNSS Service), JPL (Jet Propulsion Laboratory), CODE (Center for Orbit Determination in Europe) gibi kuruluşlar tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat bilgilerinin kullanıma açık olması ve tek GNSS alıcısı ile konum belirleme algoritmalarının geliştirilmesi sonucunda mutlak konumlama yöntemi olan PPP yönteminin uzun süreli ölçmeler ile bağıl konumlama hassasiyetine ulaştığı gözlemlenmiştir. Çoklu-GNSS teknolojisi, PPP yöntemi için uydu sayısının artması ile güçlü uydu geometrisi sağlamış ve nokta konum doğruluğunu artırmıştır.

Geleneksel PPP tekniği başta sadece GPS gözlemlerini kullanmak için tasarlanmıştır. Bu nedenle, geleneksel PPP modelleri, kombinasyonlu Çoklu-GNSS PPP gereksinimini karşılamamaktadır. Uydu sistemlerinin birlikte çalışabilirliğini sağlamak için, koordinat sistemi tanımı, zaman referansı ölçeği, gözlem ve ürün kalitesi gibi sistemler arasındaki farklılıkları yansıtan yeni fonksiyonel ve stokastik modellerin kullanılması gerekmektedir. Aynı zamanda, Multi (Çoklu)-GNSS PPP için çözüm sağlayabilen özel yazılımlara gereksinim vardır. Bu amaçla; Uluslararası GNSS Servisi (IGS) başta olmak üzere, araştırma merkezleri, üniversiteler ve ticari firmalar tarafından önemli projeler yürütülmekte, çeşitli PPP uygulama yazılımları geliştirilmektedir. IGS-MGEX, IGS-RTS, EUREF Real-Time Analysis, GFZ EPOS-RT Service, Wuhan PANDA, Geo++ GNSMART, WaPPP, GrafNav, GAMP, CNES PPP-WIZARD ve Trimble RTX bu çalışmalardan bazılarıdır.

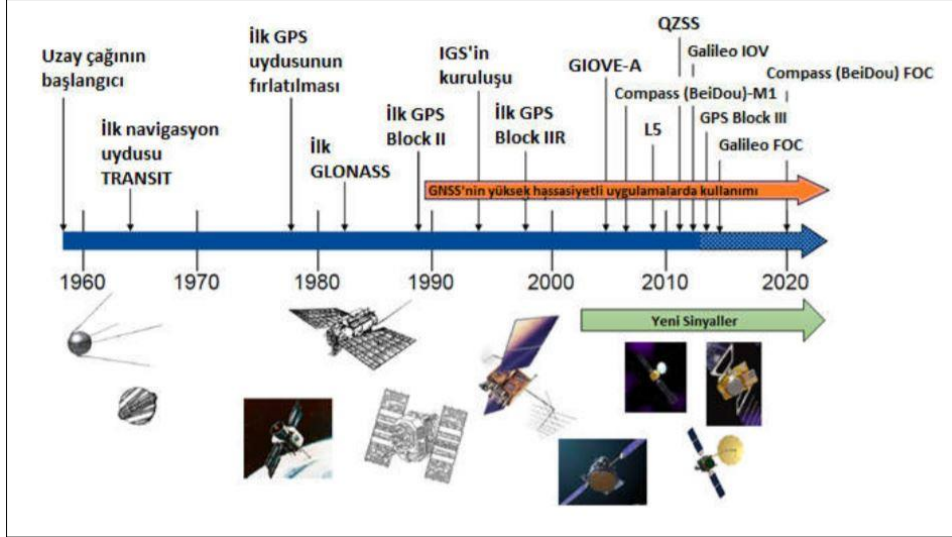
IGS, uzun yıllar boyunca yüksek hassasiyetli GPS ve GLONASS ölçme modelleri ve analizleri için önemli standartları belirlemiştir. Özellikle 2012-2014 dönemi itibarıyla IGS, istasyonlarında verileri toplanmaya başlanan BeiDou, Galileo, QZSS ve SBAS gibi diğer uydu sistemlerinin de aktif hale gelmesiyle yeni bir strateji belirleyerek, tüm sistemler için yüksek kalitedeki veri ve ürünlerin gelecekte sağlanması için MGEX projesini başlatmıştır. IGS bünyesindeki Multi-GNSS Çalışma Grubu yürütücülüğünde 2011 yılında başlatılan bu projenin temel hedefi kullanılabilen mevcut tüm GNSS sinyallerinin izlenmesi, entegrasyonu ve analizlerinin gerçekleştirilmesidir. Bu kapsamda bu proje ile yeni Multi-GNSS veri işleme ve analiz stratejilerinin geliştirilmesinin yanı sıra, yeni Multi-GNSS ürünlerinin (yörünge, saat, sinyal kayıklığı, iyonosfer vb.) belirlenmesi ve kullanıcılara sunulması hedeflenmektedir (Öcalan 2015).

* Sorumlu Yazar: Tel: (0212)2853826 Faks: (0212)2856587

E-posta: iremkoz95@gmail.com (Köz İ), erol@itu.edu.tr (Erol S), asudemkrc@gmail.com (Karaç A M), bihter@itu.edu.tr (Erol B)

2. GNSS Sistemleri

GNSS küresel uydu tabanlı navigasyon, konumlandırma ve zaman transfer sistemlerini kapsamaktadır. Günümüzde dört ana GNSS sistemi vardır: ABD Federal Savunma Bakanlığı (DoD) tarafından geliştirilen GPS, Rusya Federasyonu Savunma Bakanlığı tarafından kontrol edilen GLONASS, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından sürdürülen Galileo ve Çin Ulusal Uzay İdaresi tarafından işletilen BeiDou' dur. Şekil 1'de GNSS sistemlerinin tarihsel gelişimi gösterilmektedir. Mevcut GNSS sistemleri ve sinyal yapıları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1: GNSS Sistemlerinin Tarihi

Tablo 1: Navigasyon Sistemlerinin Mevcut Durumu

SİSTEM	UYDU TİPİ	SİNYAL	UYDU SAYISI
GPS	I/A	L1 C/A, L1/L2 P(Y)	1
	IIR	L1 C/A, L1/L2 P(Y)	11
	IIR-M	+L2C	7+(1)
	IIF	+L5	12
GLONASS	M	L1/L2 C/A + P	22
	M+	L1/L2 C/A + P, L3 (CDMA)	1
	K	L1/L2 C/A + P, L3 (CDMA)	1+(1)
BeiDou	GEO	B1-2, B2, B3	5
	IGSO	B1-2, B1, B2ab, B3	7
	MEO	B1-2, B1, B2ab, B3	21
Galileo	IOV	E1, E6, E5a/b/ab	3
	FOC	E1, E6, E5a/b/ab	21
QZSS	Block I(IGSO)	L1 C/A, L1C, SAIF, L2C, E61, L5	1
	Block II(GEO/IGSO)	L1 C/A, L1C, SAIF, L2C, E62, L5, L5S	1/2
IRNSS	IGSO	L5,S	6+(2)

2.1. GPS Konumlama Sistemi

GPS, tam faaliyet kapasitesine ulaşan ilk uydu tabanlı navigasyon ve konumlandırma sistemidir. GPS uzay segmenti, navigasyon ve konumlandırma amaçlı radyo sinyallerini ileten bir uydu takımından oluşur. GPS uydu takımı, Dünya'dan yaklaşık 20200 kilometrelik yüksekliğe sahiptir. GPS uyduları, ekvator ile 55°'lik bir eğim yapan altı yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş olup, uydularının yörünge periyodu 11 saat 58 dakikadır. GPS uydu takımının tasarımı, global kapsama alanı sağlar ve navigasyon için gerekli olan en az dört uydu, dünyanın herhangi bir yerinde görünür durumdadır. GPS' in şu anda güncel olarak 32 uydusu faaliyet göstermektedir.

GPS uyduları CDMA (Code Division Multiple Access) yöntemini kullanır. CDMA tekniği, her uydu tarafından iletilen farklı kod dizileri vasıtasıyla alıcıların GPS uydularını birbirinden ayırmalarını sağlar. Diğer bir yandan, GPS navigasyon sinyalleri, farklı katsayılarla temel frekansın ($f_0 = 10.23 \text{ MHz}$) çarpılmasıyla üretilir. GPS' de kullanılan taşıyıcı frekanslar sağ elle dairesel polarize edilmiştir ve modülasyonlu kodların yanı sıra navigasyon mesajlarını iletmek üzere tasarlanmıştır. Temel olarak, GPS frekansları, (C/A) kod, hassas kod (P) ve navigasyon mesajı (D) olan üç modüle edilmiş kod içerir. L1 frekansı hem C/A hem de P kod taşırken, L2 frekansı sadece P-kodunu GPS kullanıcılarına ulaştırır. IIR-M blok uyduları ek olarak L2C ve IIF blok uyduları L2C ve L5 frekanslarını da kullanmaktadır.

2.2. GLONASS Konumlama Sistemi

GLONASS, 2011 yılında yörüngesel uydu takımıyla tam faaliyet kapasitesine ulaşmıştır. Uydu takımı rngesel düzlemde yirmi dört uyduyu içermektedir. Yörünge düzlemleri ile Dünya'nın ekvator düzlemi arasında 64.8° lik bir eğim vardır. GLONASS uydularının yörüngesel ykseklieği yaklaşık 19130 kilometre olup, yörünge periyodu yaklaşık 11 saat 16 dakikadır. GLONASS, dünyanın herhangi bir yerindeki kullanıcıların en az dört görünür uydudan yayılan sinyalleri alabilmesini sağlamak için tasarlanmıştır.

GLONASS uyduları, navigasyon ve konumlama amaçları için sağ elle dairesel polarize sinyaller iletir. GLONASS, GPS benzeri G(L)-bandı üzerinde modüle edilmiş iki farklı frekans kullanır. Ayrıca, GLONASS'ın taşıyıcı frekansları iki modüle edilmiş kod, yani sadece G1' de (C/A) kodu ve G1 ve G2' de hassas kod (P) içerir. Ayrıca, GLONASS uyduları, uydu konumu ve saat bilgisi dahil olmak üzere navigasyon mesajlarını iletmektedir.

GLONASS uyduları tarafından iletilen sinyaller diğer GNSS sinyallerine benzer, ancak GLONASS ve diğer sistemler arasında çok az fark vardır. Temel olarak GLONASS, FDMA (Frequency Division Multiple Access) tekniğini kullanır, her uydu, farklı frekanstaki navigasyon sinyallerini yayınlar. Her uydu, farklı frekanslar kullanmasına rağmen, tüm GLONASS uyduları, navigasyon sinyallerinde standart değişken kodları (C/A ve P) iletmektedir. Böylece kullanıcı alıcıları farklı tekniklere göre uyduları tanımlar. GLONASS sisteminin M+ ve K uydu tipleri CDMA tekniğini ve ayrıca L3 frekansını da kullanmaktadır.

2.3. GALİLEO Konumlama Sistemi

Galileo, Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) navigasyon ve konumlama amaçlı geliştirdiği küresel uydu tabanlı bir sistemdir. İlk dört Galileo uyduları, sırasıyla 21 Ekim 2011 ve 12 Ekim 2012'de ifter olarak fırlatılmıştır. Uydu takımını tamamlamak için yeni uyduların 2020 yılına kadar fırlatılması ve tam faaliyet kapasitesine ulaşması planlanmıştır.

Galileo uydu takımı, dünya yüzeyinden 23222 kilometre ykseklieği sahip 24 uydudan oluşmaktadır. Galileo uydularının yörünge periyodu yaklaşık 14 saattir. Galileo uyduları, Dünya'nın ekvator düzleminde 56° eğim ile birbirinden ayrılmış 3 yörüngesel düzlemde eşit olarak yayılmıştır. Galileo, global kapsama alanı sağlamak için tasarlanmıştır, tam faaliyet kapasitesine ulaşıldığında dünyanın herhangi bir noktasında, herhangi bir zamanda en az dört uydu izlenebilecektir.

Sağ elle dairesel olarak polarize olan Galileo navigasyon sinyalleri, dört frekans bandında iletir. Bu frekanslar temel frekanstan elde edilir ($f_0 = 10.23 \text{ MHz}$). Ayrıca, çeşitli kullanıcı gereksinimlerini karşlamak için navigasyon sinyali bu taşıyıcı frekanslar tarafından iletir. Galileo navigasyon hizmetleri sırasıyla Open Service (OS), Public Regulated Service (PRS) ve Commercial Service (CS) dir. PRS, yalnızca güvenlik yetkilileri için tasarlanırken; OS, GNSS kullanıcıları tarafından ücretsiz olarak global olarak kullanılabilir. Ayrıca, CS ticari amaçlar için iki ek sinyal sağlar. GPS' te olduğu gibi, tüm Galileo uyduları da aynı taşıyıcı frekansı kullanır. Böylece, sinyaller CDMA tekniği kullanılarak yayılma spektrumu ile ayırt edilirler (European GNSS (GALILEO) open service interface control document 2016).

2.4. BeiDou Konumlama Sistemi

Çin, 30 Ekim 2000 yılında ilk uydu fırlatmasını yaparak BeiDou (BDS) adlı uydu tabanlı bir navigasyon sistemini başlatmıştır. Böylece Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Rusya'dan sonra bağımsız olarak böyle bir sistemi geliştirebilecek üçüncü ülke olmuştur. BeiDou, Aralık 2012 de Asya-Pasifik bölgesinde hizmet vermeye başlamıştır. Günümüzde BDS geliştirme aşamasındadır ve 2020 yılına kadar tam olarak faaliyete geçecektir (Report on the Development of BeiDou Navigation, 2018).

Tamamen konuşlandırıldığında, BDS uydu takımı beş adet Geostationary Earth Orbit (GEO) uydu, yirmi yedi adet Medium Earth Orbit (MEO) uydu ve  adet Inclined Geosynchronous Satellite Orbit (IGSO) uydularını içerecektir. MEO uyduları, Dünya yüzeyinden 21528 kilometre ykseklindedirler. Yirmi yedi adet MEO uydusu, dünya'nın ekvator düzlemine 55°lik bir eğim ile eşit olarak  yörüngesel düzlemde olacaktır. Diğer uydu tabanlı navigasyon sistemlerine benzeyen BDS sistemi tam faaliyet kapasitesine ulaştığında, dünyanın herhangi bir yerindeki navigasyon amaçları için gereken en az dört adet uydu görünürlüğünü garanti etmektedir.

BeiDou uyduları, B1, B2 ve B3 bantları olarak adlandırılan sağ elle dairesel polarize sinyaller yayınlar. Bu bantları, navigasyon amaçlı kullanımlar için Open Service (OS) ve özel amaçlı kullanımlar için Authorised Service (AS) servisleri sağlar. Tüm BDS kullanıcıları ücretsiz olarak OS 'ye erişebilirken, AS servisinden yalnızca yetkili kullanıcılar yararlanabilirler. GPS ve Galileo gibi, BDS da CDMA tekniğinden elde edilen navigasyon sinyallerini kullanır. (BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document 2018).

2.5. GNSS Karşılaştırması

Daha önce de belirtildiği gibi, GPS, GLONASS, Galileo ve BDS temel olarak benzer sistemlerdir, ancak aralarında bazı farklılıklar vardır. Navigasyon sistemlerinin bazı önemli zellikleri, Tablo 2'de ana farklılıkları içerecek şekilde özetlenmiştir.

GPS, GLONASS, Galileo ve BDS kendi atomik zaman ölçeklerine sahiptir. Bu zaman ölçekleri, Eş Güdümlü Evrensel Zamanın (UTC) farklı gerçekleştirmeleridir. GPS Saati, 6 Ocak 1980'de (00.00'da) UTC' ye uyacak şekilde sabitlenmiştir, bu yüzden sürekli olarak Uluslararası Atomik Zamanından (TAI) 19 saniye farkı vardır. Öte yandan, GLONASS zamanı, Greenwich ile Moskova arasındaki zaman farkını yansıtan üç saatlik sabit fark dahil olmak üzere UTC ile senkronize edilmiştir. Sabit fark dışında, GLONASS' ın UTC' den zaman farkı 1 mikro saniyeyi geçmemektedir. Galileo Sistem Zamanı (GST), 22 Ağustos 1999' da (21'i 22 Ağustos'a bağlayan gece yarısında (00.00)) UTC' ye sabitlenmiştir, bu nedenle UTC' nin başlangıcından 13 saniye öndedir. Ayrıca, 31 Aralık 2005 ve 2008 ile 30 Haziran 2012 tarihlerinde üç saniye daha eklenmiştir. Bu nedenle, GST ve UTC arasındaki sabit fark 16 saniyedir. Galileo navigasyon mesajı, GST ' yi UTC' ye dönüştürmek için gerekli tüm parametreleri içerir. Son olarak BeiDou Sistem Zamanı (BDT), 1 Ocak 2006' da (00.00'da) UTC' ye sabitlenmiştir. Sonuç olarak, 33 saniyeye eşit olan BDT ve TAI arasında düzenli bir fark vardır (BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document 2018).

Her sistem farklı bir elipsoide dayalı bireysel Dünya Merkezli Yer Sabit (ECEF) referans sistemini kullanır. GPS, Dünya Jeodezik Sistemi 1984' ü (WGS-84) referans elipsoid olarak kullanır ve koordinat sisteminin merkezi Dünya'nın kütle merkezidir. X eksen, IERS (International Earth Rotation Service) Referans Meridyeni (IRM) ile çakışır. Z eksen, IERS Referans Kutupunun (IRP) yönünü gösterir ve Y eksen sağ el ortogonal koordinat sistemini tanımlar (Gendt ve diğ. 2011). GLONASS, PZ-90' ı referans elipsoid olarak benimser ve koordinat sisteminin merkezi Dünya'nın kütle merkezinde bulunur. X eksen, Dünya' nın ekvator düzleminin ve Bureau International de l'Heure (BIH) tarafından kurulan sıfır meridyenin kesişme noktasına yönlendirilir. Z-ekseni IRP' ye yönlendirilmiştir ve Y eksen sağ el bir koordinat sistemini tanımlar (Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing, 2018). Galileo, Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRF) tanımına uyan Galileo Yersel Referans Sistemini (GTRF) kullanmaktadır. GTRF, en son ITRF versiyonuyla, üç santimetre hassasiyet seviyesinde kabul edilebilir (Gendt ve diğ. 2011). BDS, Referans Sistemi olarak Çin Koordinat Sistemi 2000' i (CGCS2000) kullanmaktadır. Dünyanın kütle merkezi, CGCS2000' in merkezi ve X eksen IRM' e yönlendirilmiştir. Ayrıca, Z eksen IRP 'ye yönlendirilir ve Y eksen sağ el bir koordinat sistemi oluşturur.

Tablo 2: GNSS Sistemlerinin Özellikleri

	GPS	GLONASS	GALILEO	BEIDOU
Uydu Sayısı	32	25	24	33
Yörünge Düzlemi	6	3	3	3
Yörünge Yarıçapı	26508	25510	29601	27878
Yörünge Eğim Açısı	55°	64,8°	56°	55°
Yaklaşık Yörünge Periyodu	11 ^s 58 ^{dk}	11 ^s 16 ^{dk}	14 ^s 04 ^{dk}	12 ^s 53 ^{dk}
Sinyal Ayırma Tekniği	CDMA	FDMA,CDMA	CDMA	CDMA
Taşıyıcı Fazlar (MHz)	1575,42 1227,60 1176,45	1602 + k*0,5626 1246 + k*0,4375	1575,42 1176,45 1207,14 1278,75	1561,098 1207,14 1268,52
Koordinat Sistemi	WGS-84	PZ-90	GTRF	CGCS
Zaman Ölçeği	GPS Zamanı	GLONASS Zamanı	GST	BDT

Sistemler arasında doğru bir ilişki kurmak için gerekli olan parametreler, navigasyon mesajlarından elde edilebilir. Ayrıca, GLONASS' ın kod ve faz ölçümleri, FDMA yönteminin kullanılmasından kaynaklanan daha fazla bias içerir. Sonuç olarak, yörünge ve saat farkları, bu parametreler dikkate alınarak her sistem için ayrı ayrı hesaplanabilir. Alternatif olarak, GNSS yörünge verileri ve uydu saat hataları doğrudan aynı referans sisteminde tahmin edilebilir. IGS Multi-GNSS Deneyi' in (MGEX) bir parçası olarak, bazı analiz merkezleri GNSS efemeris ürünlerini aynı referans sisteminde üretmekte ve yayınlamaktadır. Bu durumda, herhangi bir dönüşümün gerçekleştirilmesi gerekli değildir, ancak sistemler arası sapmaların (ISB) hala dikkate alınması gerekir.

3. Hassas Konum Belirleme (PPP)

PPP olarak adlandırılan hassas nokta konumlama tekniği, tek bir GNSS alıcısı ile mutlak konumlama ilkesine dayalı olarak gözlemlerin gerçekleştirildiği, konum belirleme için uydu yörünge ve saat düzeltme verilerinin kullanıldığı bir GNSS ölçme metodudur. Bu yöntemin en önemli avantajı, koordinatı bilinen bir ya da daha fazla referans istasyonuna gereksinim duyulmamasıdır. Buna karşın PPP tekniğinde, kod ve taşıyıcı faz gözlemlerinin her ikisine birden gereksinim duyulmaktadır. PPP yönteminde iyonosfer-bağımsız kombinasyonlar kullanılarak GNSS gözlemlerindeki birinci derece iyonosfer etkileri (toplam etkinin %99'unu oluşturur) ortadan kaldırılabilir. Geleneksel PPP yaklaşımında taşıyıcı faz başlangıç belirsizliği, modellenmemiş donanım sapmasından ve iyonosfer-bağımsız gözlemleri kullanmasından dolayı float sayı olarak kestirilebilmektedir. Konum doğruluğu (faz başlangıç belirsizliği nihai değerine

yakınlaşana kadar) kod pseudorange gözlemlerine bağlıdır. İstenen doğruluk seviyesine ulaşmak için geçen zaman yakınsama süresi olarak adlandırılır. PPP'nin ana kısıtlaması, yakınsama s residir. 5 santimetre ya da daha iyi yatay doğruluk elde etmek için yakınsama süresi genellikle 1 saat sürer (Seepersad ve Bisnath 2014). Bu durum PPP tekniğinin gerçek zamanlı uygulamalarında da kısıtlayıcı önemli bir faktördür. Son yıllarda, PPP yöntemindeki yakınsama süresini kısaltmak için faz başlangıç belirsizliği çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Yeni uydu tabanlı navigasyon sistemlerinin ortaya çıkması, görünür uyduların sayısını arttırmak ve bunun sonucunda yakınsama süresini azaltmak için bir fırsat sunmaktadır.

Kombine GPS/GLONASS PPP' nin performansını inceleyen bazı araştırmacılar, ek uyduların yakınsama süresi ve doğruluğu açısından PPP performansını artırdığını doğrulamıştır (Yiğit 2014). Ek olarak, Çin BeiDou ve Avrupa Galileo gibi ek navigasyon sistemlerinin ortaya çıkmasıyla birlikte, son yıllarda dört uydu takımlarını içeren Multi-GNSS PPP alışmaları başlamıştır. İlk sonuçlar, kombine Multi-GNSS'in, PPP performansını önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, Multi-GNSS PPP performansının çeşitli yönleriyle daha fazla araştırma ile doğrulanması gerekmektedir.

PPP tekniği için çeşitli  niversiteler, araştırma merkezleri ve ticari firmalar tarafından bilimsel ve ticari yazılım paketleri geliştirme çalışmaları günümüzde de devam etmektedir. PPP tekniğinin bazı dezavantajları olmasına rağmen, özellikle ambiguity çözümü için geliştirilen yeni algoritmaların GNSS yazılımlarına adaptasyonu ile bu teknik gelecekte konum belirlemede önemli bir potansiyele sahip olacaktır. Son yıllardaki tüm gelişmeler PPP tekniğinin GNSS konum belirlemede bir yenilik olduğunu göstermektedir. PPP tekniği kullanarak konumlama yapabilen bazı yazılım ve servisler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Bilimsel, akademik ve ticari yazılım ve servisler

Geliştiren Kurum/Kişi	Yazılım/Servis
İsviçre Bern Üniversitesi	BERNESE
NASA-JPL	GIPSY-OASIS
MIT	GAMIT/GLOBK
Lambert Wanninger	WaPPP
NovAtel	GrafNav
BKG	BNC ve RTNET
Tomoji Takasu	RTKLIB
Feng Zhou	GAMP
Wuhan Üniversitesi	PANDA
GFZ	EPOS-RT
ESA/ESOC	RETINA
CNES	PPP-WIZARD
Geo++	GNSMART
Trimble	RTX
Natural Resources Canada	CSRS-PPP
GMV Aerospace and Defense S.A.	MagicGNSS
New Brunswick Üniversitesi	GAPS

4. Uygulama

Bu alışmada, GPS, GPS/GLONASS, GPS/GLONASS/GALILEO, GPS/GLONASS/BEIDOU ve GPS/GLONASS/GALILEO/BEIDOU sistem kombinasyonları kullanılarak PPP yöntemiyle statik bir noktada kinematik konumlama gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan hesaplanan konumlarla olması gereken konum arasındaki farklar alınarak her bir çözüm için konum doğrulukları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışmada IGS-ISTA istasyonunun 2017 yılının 214. gününün verileri kullanılmıştır. Kullanılan veriye ait bilgiler Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4: Yapılan Gözlemlere Ait Temel Bilgiler

Nokta Adı	�l� Süresi	Kayıt Aralığı	Tarih	GPS haftası	Yılın Günü
ISTA	00:00:00-23:59:59	30 sn	02.08.2017	1960	214-2017

Tablo 5: ISTA Referans Koordinatları

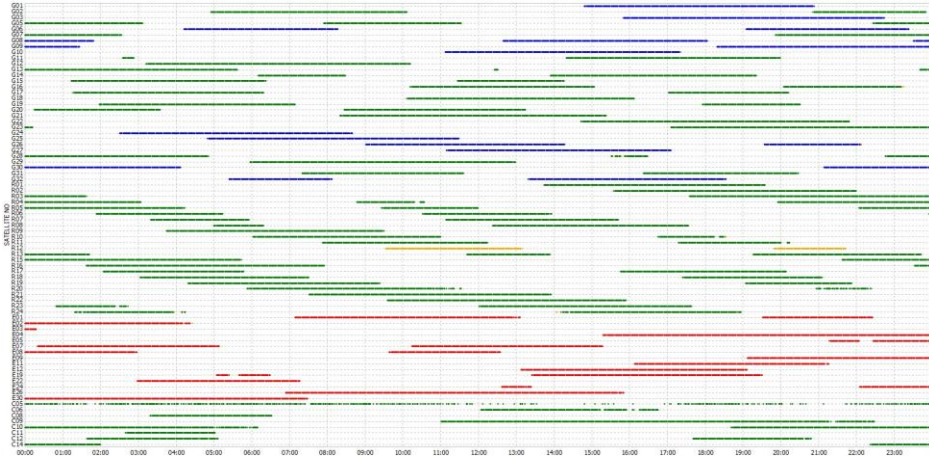
Nokta Adı	Datum-Referans Epok	Sağa (m)	Yukarı (m)	h (m)	Projeksiyon
ISTA	ITRF2014-2017.60	417622.0774	4552636.3840	147.2433	TM, DG:3°, DOM:30°

Çoklu-GNSS PPP çözümlerini gerçekleştirebilmek için öncelikle çalışmada belirlenen zaman dilimine ilişkin gerekli GNSS verileri aşağıdaki tabloda bulunan internet adreslerinden temin edilmiştir.

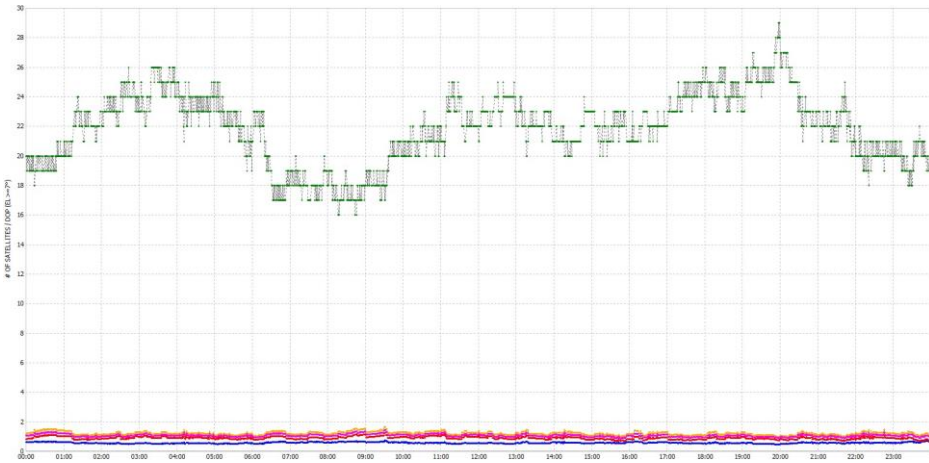
Tablo 6: GNSS Verilerinin Elde Edildiği Kurum ve İnternet Adresleri

GNSS verisi	Kurum	URL
DCB	IGS	ftp://igs.ign.fr/pub/igs/products/mgex/dcb/YYYY
Hassas yörünge ve saat bilgisi	IGS	ftp://igs.ign.fr/pub/igs/products/mgex/WWW
SINEX dosyası	IGS	ftp://igs.ign.fr/pub/igs/products/WWW
Yayın efemerisi	IGS	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/data/daily/YYYY/

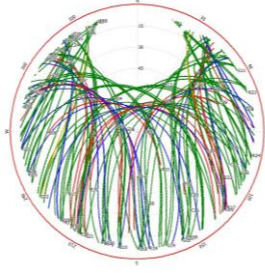
ISTA istasyonuna ait gözlem dosyasından elde edilen sistem görünür uydu bilgileri Şekil 3, DOP değerleri ve toplam uydu sayıları Şekil 4 ve görünür uydu sky plot grafiği Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 3: Görünür uydu bilgileri (OBS=L1/2 L1 L2 L1/2/5 L1/5 L5)



Şekil 4: Görünür uydu DOP değerleri (Uydu Sayısı GDOP PDOP HDOP VDOP)



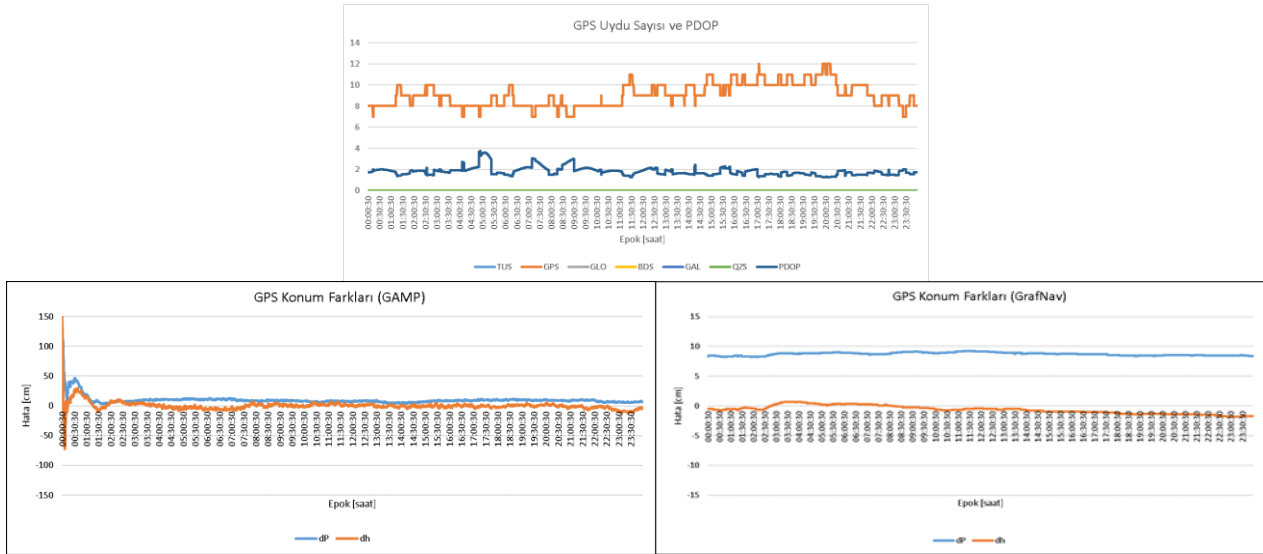
Şekil 5: Görünür uydu sky plot grafiği (OBS=L1/2 L1 L2 L1/2/5 L1/5 L5)

GNSS PPP işlemine ait veriler temin edildikten sonra ilgili rinex gözlem verileri her bir kombinasyon için açık kaynak kodlu GAMP ve ticari GrafNav yazılımları kullanılarak kinematik modda değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan yazılımlara ait özet bilgiler Tablo 7. de verilmektedir.

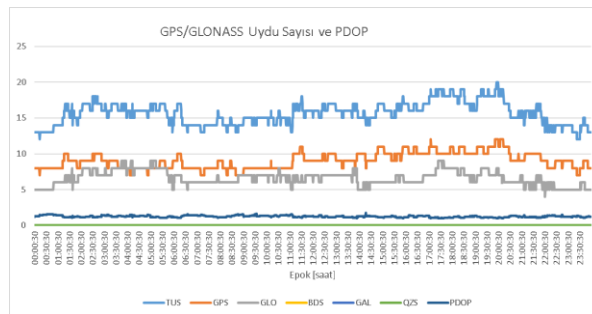
Tablo 7: GAMP ve GrafNav Yazılım Özellikleri

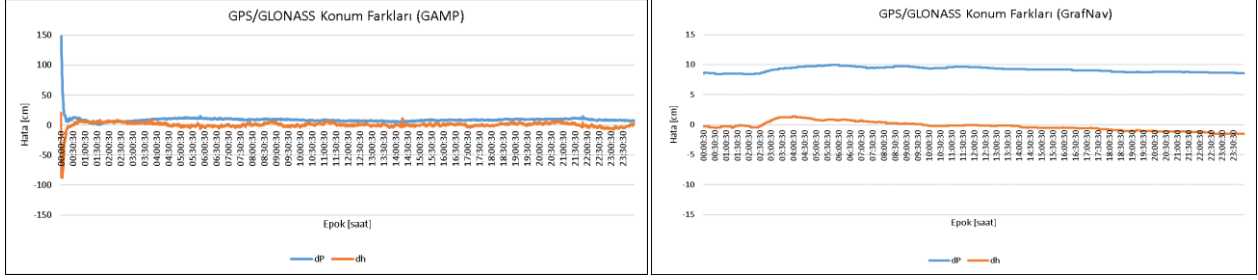
GAMP Yazılımı	GrafNav Yazılımı
Geliştirici: Feng Zhou	Geliştirici: NovAtel Inc.
Açık kaynaklı, akademik yazılım	Ticari yazılım
Multi-GNSS desteği: GPS, GLONASS, BDS, Galileo ve QZSS	Multi-GNSS desteği: GPS, GLONASS, BDS, Galileo ve QZSS
Multi-GNSS pseudorange inter-frequency bias (IFBs) işleme	Statik, kinematik, mutlak, rölatif değerlendirme
C shell script kullanarak etkili toplu işleme	İleri, geri ve sonra yine ileri işleme (multi-pass) ile geliştirilmiş doğruluk
Sonuçlarda güçlü çıktı, analiz ve grafik çizimi	Çıktı olarak: Google Earth, TXT, RIEGL POF/POQ, DXF and SBET format

Son olarak her bir kombinasyon için her iki yazılımdan elde edilen çözümler referans koordinatları ile karşılaştırılarak konum fark tabloları oluşturulmuş, istatistik bilgiler çıkartılmış ve grafikler elde edilmiştir. Her bir çözüm için uydu sayıları, DOP değerleri ve fark grafikleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 6-10) verilmektedir (Karaç 2018).

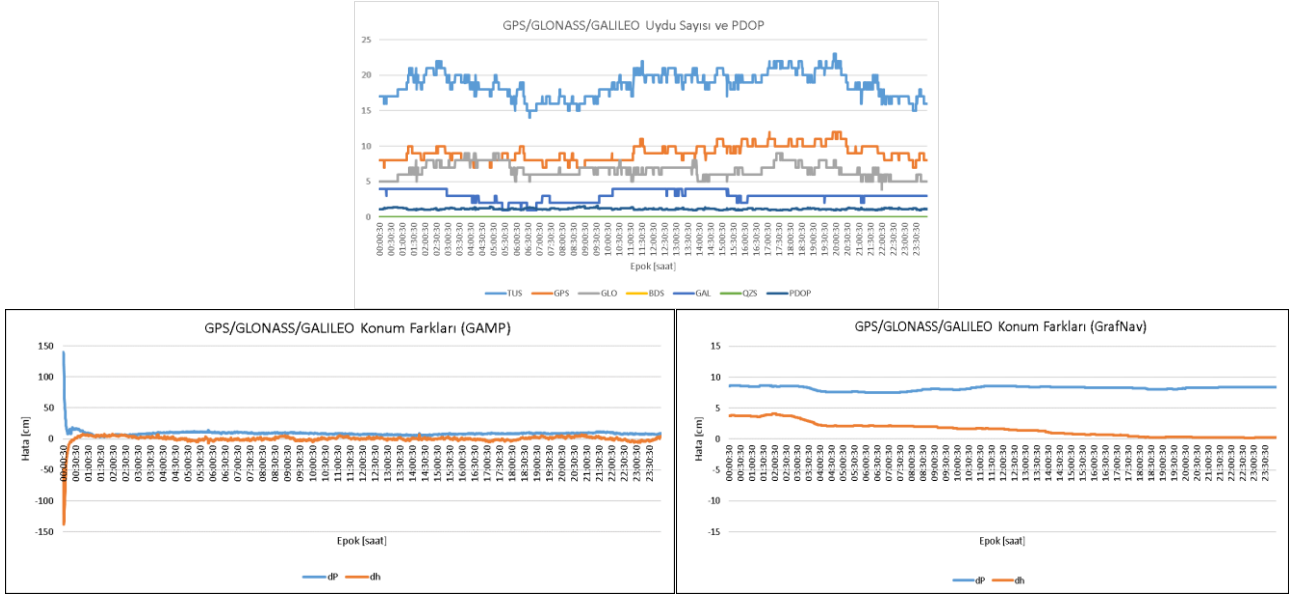


Şekil 6: sadece-GPS çözümlerinden elde edilen fark grafikleri

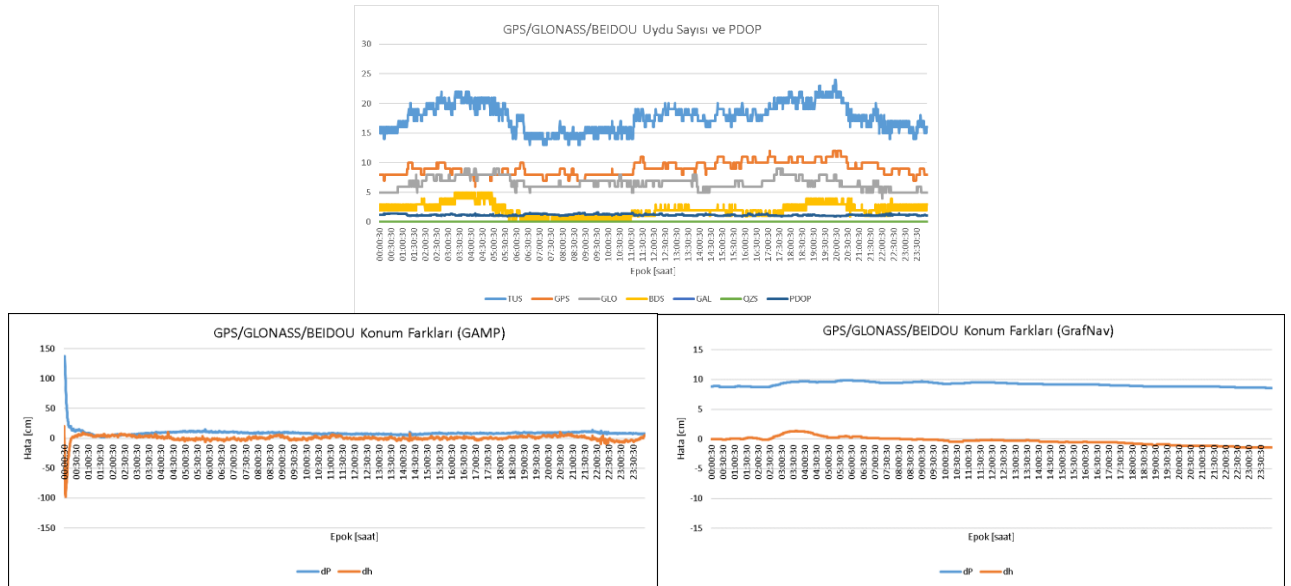




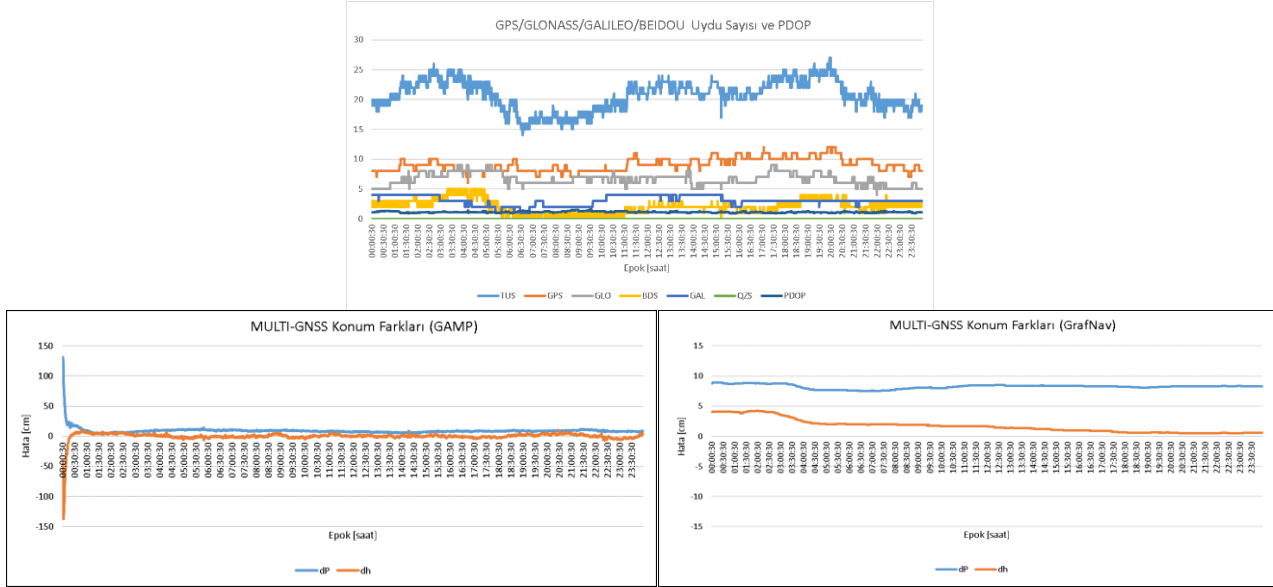
Şekil 7: GPS/GLONASS kombinasyon çözümü fark grafikleri



Şekil 8: GPS/GLONASS/GALILEO kombinasyon çözümü fark grafikleri



Şekil 9: GPS/GLONASS/BEIDOU kombinasyon çözümü fark grafikleri



Şekil 10: GPS/GLONASS/GALILEO/BEIDOU kombinasyonu fark grafikleri

5. Sonuçlar

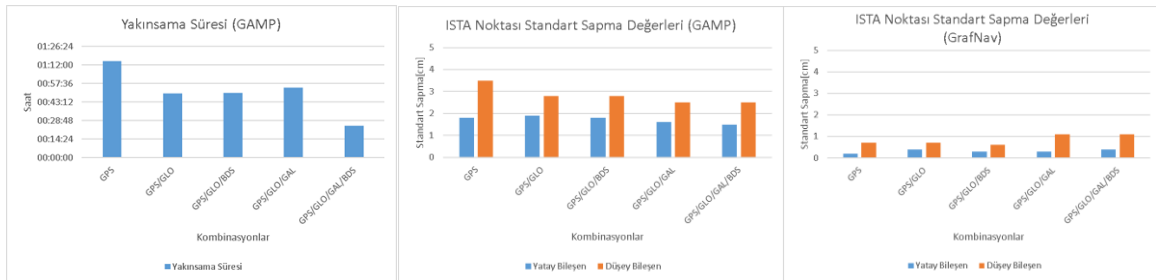
Grafikler ve Şekil 11. incelendiğinde tüm kombinasyonlar için GAMP yazılımının çözümlerinde yakınsamaların daha belirgin olduğu ve Çoklu-GNSS çözümlerinin sadece-GPS çözümüne göre yakınsama süresini önemli derecede azalttığı görülmektedir. Dörtlü PPP çözümü sadece-GPS çözümüne göre yakınsama süresini %80 azaltmıştır ve 25 dakikaya indirmiştir. Tablo 8. ve Şekil 11. de verilen standart sapma değerleri incelendiğinde, GAMP yazılımının dörtlü kombinasyondaki GNSS çözümünün hem yatayda hem düşeyde tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlara göre standart sapma değerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. GAMP dörtlü PPP çözümüne göre, yükseklikteki farkın standart sapması sadece-GPS çözümüne göre %30 daha iyidir.

Her ne kadar GrafNav çözümlerinin standart sapmaları GAMP çözümlerine göre daha iyi olsa da, GrafNav kombinasyonlarında, GPS sistemine her yeni sistem eklendikçe düşey yönde standart sapma değerleri kötüleşmektedir. Bu sonucun sebebi GrafNav yazılımının sadece GPS DCB'leri (Differential Code Bias) kullanması, GAMP yazılımının ise bütün uydu sistemlerinin DCB değerlerini kullanması olabilir.

GAMP ve GrafNav PPP çözümlerinin fark grafikleri incelendiğinde, yatay konumda (dP) yaklaşık 8 cm'lik bir sapma olduğu ve bu sapma değerinin yatay konumun doğu bileşeninden geldiği anlaşılmaktadır.

Tablo 8: Kombinasyonlara Göre Standart Sapmalar

Çözümler	GAMP-Standart Sapma (cm)		GrafNav-Standart Sapma (cm)	
	Yatay	Düşey Bileşen	Yatay Bileşen	Düşey Bileşen
GPS	1.8	3.5	0.2	0.7
GPS/GLO	1.9	2.8	0.4	0.7
GPS/GLO/BDS	1.8	2.8	0.3	0.6
GPS/GLO/GAL	1.6	2.5	0.3	1.1
GPS/GLO/GAL/BDS	1.5	2.5	0.4	1.1



Şekil 11: Yakınsama Süresi (GAMP) ve Standart Sapma Grafikleri (GAMP, GrafNav)

6. Kaynaklar

- Bahadur, B., Nohutcu, N., (2018), *Türkiye ve yakın çevresi için çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansına etkisi*, Harita Dergisi, Sayı 160.
- BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document. China Satellite Navigation Office: , <http://www.beidou.gov.cn/attach/2016/11/07/21212.pdf> , [Erişim Mayıs 2018].
- Karaç, A.M, (2018), *MGNSS Hassas Mutlak Konum Belirleme*, Lisans Bitirme Tezi, İTÜ Geomatik Müh. Bölümü
- European GNSS (GALILEO) open service interface control document. European Global Navigation Satellite Systems Agency. https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/Galileo_OS_SIS_ICD_1.3.pdf , [Erişim Mayıs 2018].
- Gendt, G., Altamimi, Z., Dach, R., S. W., & Springer, T., (2011), *GGSP: Realisation and maintenance of the Galileo terrestrial reference*. Advances in Space Research (47), 174-185.
- GLONASS Official Website. <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php>, [Erişim 25 Nisan 2019].
- Space Segment, GPS Official Web Sitesi, <http://www.gps.gov/> ,[Erişim 25 Nisan 2019]
- GrafNav GNSS Post-Processing Software. <https://www.novatel.com/products/software/grafnav/> [Erişim 19 Nisan 2019].
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS – Global navigation satellite systems*. Springer .
- MGEX Product Analysis, <http://mgex.igs.org/analysis/index.php>, [Erişim 24 Nisan 2019].
- Öcalan, T., (2015), *GNSS ağlarında GPS hassas nokta konumlama (GPS-PPP) tekniği yaklaşımli çözümler* , Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Report on the Development of BeiDou Navigation. China Satellite Navigation Office. <http://www.beidou.gov.cn/attach/2013/12/26/20131226fed336adf2184d52843d5bf81832e82c.pdf> , [Erişim Mayıs 2018].
- Seepersad, G., & Bisnath, S. (2014). *Challenges in assessing PPP performance*. Journal of Applied Geodesy (8), 205-222.
- Yiğit, C. Ö., Kızılarıslan, M., Çalışkan, E., (2016), *GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin konum belirleme performanslarının ölçü süresine bağlı olarak değerlendirilmesi*, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8, (22-39).
- Yiğit, C. Ö., Gikas, V., Alcay, S., Ceylan, A., (2014), *Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS post-processed PPP*, Survey, 155-166.
- Zhou, F., Dong, D., Li, W., Jiang, X. ve diğ., (2018), *GAMP: An open-source software of multi-GNSS precise point positioning using undifferenced and uncombined observations*, GPS Solutions. 22-33.