

Elipsoidal Yükseklik Değişiminin Hassas Nokta Konumlamaya Etkisi**Duygu ARIKAN¹, Ramazan Alpay ABBAK²**¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya.² Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konyae-posta: 1duygu.arikannn@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9976-7479>² aabbak@ktun.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6944-5329>

Geliş Tarihi: 12.12.2018 ; Kabul Tarihi: 21.03.2019

Öz**Anahtar kelimeler**

BPE; CSRS; Hassas Nokta Konumlama; PPP.

GNSS (Global Navigation Satellite Systems - Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri) yardımıyla tek noktanın mutlak konum belirlenmesi, literatürde Hassas Nokta Konumlama (PPP: Precise Point Positioning) olarak adlandırılmaktadır. Alıcının tek olması nedeniyle PPP'nin doğruluğu yerbilimleri çalışmalarında araştırma konusudur. Bu çalışmada yükseklik değişiminin hassas nokta konumlarına etkisi global olarak irdelenmiştir. Bu amaçla 20 IGS istasyonunun 24, 12, 6, 3, 1 saatlik gözlemleri kullanılmıştır. Bu veriler internet tabanlı değerlendirme servisi CSRS ve akademik yazılım Bernese (v.5.2) ile değerlendirilmiştir. Bernese yazılımının BPE modülü kullanılmıştır. Sonuçlar, yükseklik değişiminin nokta konum doğruluğuna etkisi olmadığını göstermektedir.

Effect of Ellipsoidal Height Variation on Precise Point Positioning**Abstract****Keywords**

Bernese; BPE; CSRS; PPP; Precise Point Positioning.

In the geodetic literature, absolute determination of the position of a single point by using GNSS (Global Navigation Satellite Systems) is called Precise Point Positioning (PPP). Due to the one receiver, the accuracy of PPP is subject to research in geoscientific studies. In this study, the effect of the height variation on Precise Point Positioning was examined globally. For this purpose, 24, 12, 6, 3, 1 hourly data of 20 IGS stations was used. The data was evaluated by web-based CSRS and academic Bernese (v.5.2) software. Bernese Positioning of Engineer (BPE) module was used in the analysis. The results show that the height variation does not affect the accuracy of point positioning.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. GİRİŞ

Günümüzde uydu sistemlerinden, yüksek doğruluklu, gerçek zamanlı ve 4 boyutlu (x,y,z,t) konumsal bilgi üretilmektedir. Bu sistemler içerisinde en çok bilinen ve kullanılan GPS (Global Positioning System – Küresel Konumlama Sistemi)'dir. GPS'in başlangıçtaki amacı askeri olsa da, günümüzde birçok alanda yer almaktadır. Ölçme ve navigasyon uygulamaları için sayıları giderek artan ve çeşitlenen GNSS (Global Navigation Satellite Systems - Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri) uyduları mevcuttur. Güncel uydular, yeni

frekans ve kodlara sahip sinyallerle "Multi-GNSS (Çoklu-GNSS)" kavramını oluşturmuştur (Öcalan ve Soycan, 2012). Şekil 1'de Multi-GNSS olarak ifade edilen uydu bazlı sistemler ve ait olduğu ülkeler görülmektedir.

GNSS tekniklerinde de yeni ve farklı algoritmalar geliştirilmektedir. Geleneksel yöntem olarak daha çok diferansiyel çözümle konum belirlenmekteydi. Günümüzde aktif şekilde de kullanılan teknik, jeodezik ağların oluşturulması, deformasyon analizlerinin izlenmesi gibi daha birçok çalışmalarda

yer almaktadır. Bağlı konum belirleme ilkesinin temelinde koordinatı bilinen bir ya da daha fazla

noktada eş zamanlı ölçülere ihtiyaç duyulmaktadır. Statik veya kinematik mod olması, alet ve donanım, ölçü süresi, uyduların geometrik yapısı gibi etkenler, konum belirlemede farklı duyarlılıkta sonuç üretmektedir.

Ülkemizde 2008 yılında Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA-Aktif) yani CORS-TR ağı kurulmuştur. TÜBİTAK projesi kapsamında, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Harita Genel Müdürlüğü ve İstanbul Kültür Üniversitesi'nin işbirliği ile gerçekleştirilen bir projedir. Bu proje kapsamında, homojen olarak dağılmış 146 adet sürekli gözlem yapan sabit GNSS istasyonu ve iki adet kontrol merkezi tesis edilmiştir (Cingöz vd. 2013).

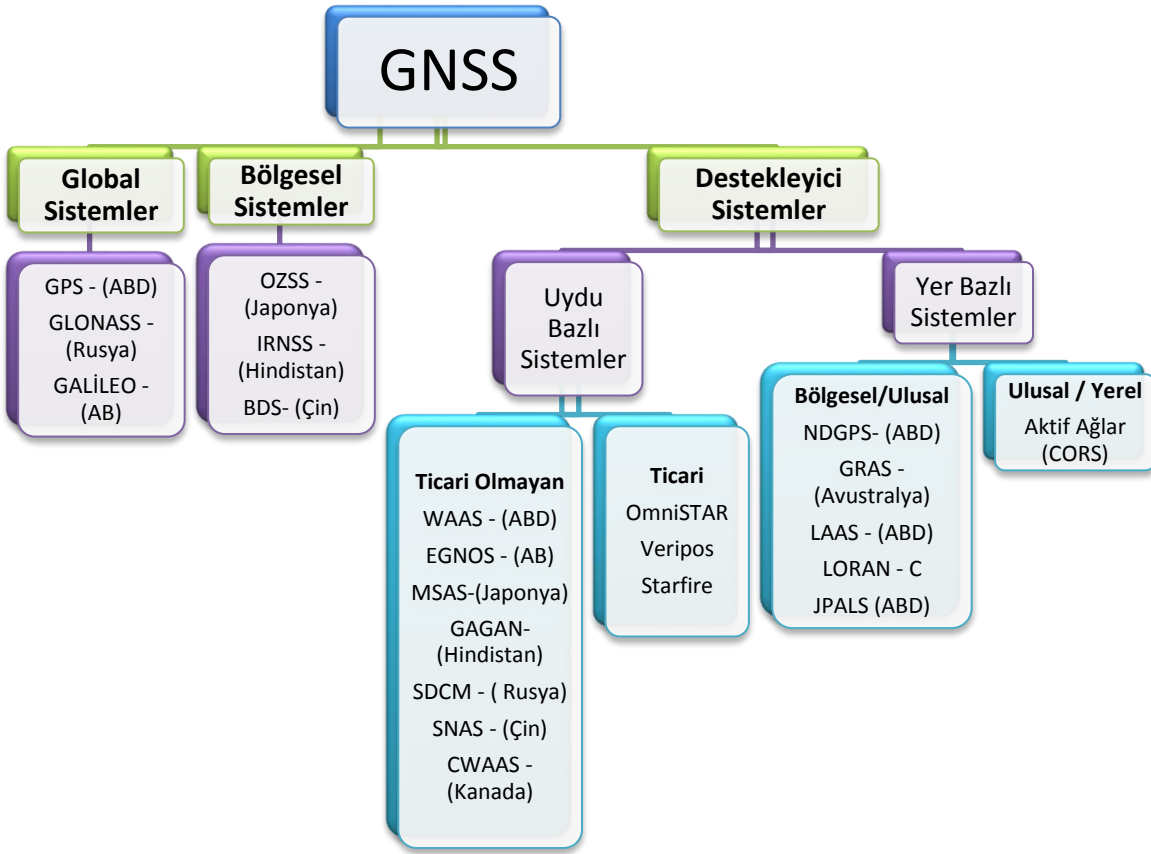
Birçok üstünlüğü olan TUSAGA-Aktif ağı, çeşitli zayıflıkları da barındırmaktadır (Öcalan, 2011). Bu tür ağların yapım maliyeti, ağ yapısının sıklaştırılmasındaki sıkıntılar, iletişim sistemindeki aksaklıklar ağ yöntemine alternatif olarak hassas nokta konumlama (PPP: Precise Point Positioning) tekniğinin kullanılmasına sebep olmuştur. PPP üzerine çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin Ebner ve Featherstone (2008) PPP tekniğiyle jeodezik kontrol ağlarının tesis edilebilirliğini incelemiştir. Bunun için Güneybatı Avustralya'da 550 km x 440 km'lik bir alan belirlenmiş, veriler Bernese ve online yazılım CSRS ile değerlendirilmiş elde edilen çözümler karşılaştırılmıştır. Çalışmada her iki yazılımdan elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu raporlanmıştır. Sonuç olarak PPP yöntemiyle jeodezik kontrol ağlarının kurulabileceği ve bu tekniğin bağlı yöneme alternatif olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Yiğit vd. (2014) online CSRS yazılımıyla uzun süreli zaman serilerinin üretilmesi ve bu serilerin nokta hızlarının kestirilmesindeki performansı değerlendirilmiştir. Bunun için, IGS (International GNSS Service)'den 3 istasyonun günlük verileri, PPP analizleriyle elde edilen koordinatlardan zaman serileri oluşturulmuştur. CSRS yazılımıyla elde edilen zaman serilerinden nokta hızları robust regresyon yöntemi ile kestirilmiş ve JPL (Jet Propulsion Laboratory) zaman serileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçta yatay bileşenlerin benzer olduğunu, fakat karesel ortalama hata yönünden incelendiğinde CSRS'nin JPL'den daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Alçay (2016) farklı enlem bölgelerinden seçilen istasyon noktalarını, farklı online internet servislerinde değerlendirmiş ve sonuçların yakın değerler olduğunu belirtmiştir.

Benzer şekilde PPP'nin doğruluğunun yükseklikle ilişkisi olup olmadığı diğer bir araştırma konusudur. Bu amaçla şimdiki çalışmada, farklı yükseklikte bulunan noktalar, online CSRS ve akademik Bernese yazılımıyla değerlendirilip aralarındaki ilişki incelenmiştir. Bu kapsamda IGS ağından, 24 saatlik gözlemler içeren 20 nokta seçilmiş ve bu 24 saatlik veriler farklı zaman dilimlerine bölünmüştür. Sonuçta her iki yazılımla da, yükseklik arttıkça duyarlılıkta bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

Makalenin akışı şu şekilde özetlenebilir: 2. bölümde PPP tekniği ve hata kaynakları hakkında temel teorik bilgiler verilmektedir. 3. bölümde online internet servisleri ve Bernese yazılımı tanıtılmaktadır. 4. bölümde çalışma alanı ve sayısal uygulamalar tartışılmaktadır. Son olarak 5. bölümde araştırma sonuçlarına yer verilmiştir.



Şekil 1. Multi GNSS kavramı

2.HASSAS NOKTA KONUMLAMA

Hassas Nokta Konumlama (PPP) tekniği günümüzde başarılı bir şekilde uygulanan yöntemlerdendir. Geleneksel algoritmaların aksine bu yöntemin üstünlüğü tek bir alıcı vasıtasıyla oldukça yüksek doğrulukta (birkaç cm) nokta konum bilgisi elde edilebilmektedir (İlçi ve Özlü, 2016).

Mutlak konum belirleme yöntemi olarak da bilinen bu yöntemin teorik temelini ilk olarak 1970 yılında Zumberge ve arkadaşları tarafından ortaya atılmış ve çalışmalar geliştirilerek devam ettirilmiştir (Zumberge vd. 1997). PPP, 1970 yılında ortaya çıkmasına rağmen 1990'lı yıllarda çift frekanslı alıcılarla yaygınlaşmaya başlamıştır. 1990 yıllarında, GNSS ile konum belirlemek için en az iki alıcıya ihtiyaç duyarken, günümüzde gelişen teknikler ve teknoloji sayesinde tek bir alıcı ile düşük seviyelerde konum doğruluğuna ulaşılmaktadır. Böylece çift frekanslı tek bir alıcı ile kod ve taşıyıcı faz gözlemleri kullanılarak, iyonosferden bağımsız (ionosphere-free) kombinasyonlarla ve fark almaksızın (undifferenced), cm mertebesinde nokta konum

doğrulukları elde edilebilmektedir (Gao ve Shen, 2001). Ayrıca IGS (International GNSS Service), JPL (Jet Propulsion Laboratory), CODE (Center for Orbit Determination in Europe) gibi uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından üretilmekte olan hassas uydu yörünge bilgileri ve saat düzeltmelerinin hizmete sunulmasıyla çalışmalara farklı bir boyut kazandırılmıştır.

Uydu sistemlerinin iyileştirilmesiyle küresel ve bölgesel uydu sistemlerinin (GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou, IRNSS vd.) olması ve alıcının daha fazla uydu görmesi de bu teknikte elde edilen konum doğruluğunu arttırmıştır.

PPP, sıfır fark çözümünün (zero-difference process) özel bir durumudur. Diğer uygulamalarda uydu saat düzeltme tahmin edilemez, fakat bilinen olarak kabul edilir. Ayrıca bu yöntemde kod ve taşıyıcı faz gözlemleri birlikte kullanılmaktadır. PPP'de tahmini olarak ayrılan parametreler ise; istasyon saat düzeltmeleri, koordinatlar ve troposferik parametrelerdir (Dach vd., 2015).

PPP tekniği uydu yörünge - saat, atmosferik gecikmeden kaynaklanan hatalara düzeltme getirildiği bir GNSS ölçme yöntemidir. Bu yöntemin

diğer yöntemlere göre birçok üstünlüğü olmasına karşın zayıflığı da bulunmaktadır. Bu tekniğin en olumsuz yanı; uyduların geometrik yapısı, uydu sayısı ve diğer parametrelere de bağlı olarak tam sayı belirsizliğinin (float ambiguity) bilinmeyen (faz belirsizliğinin kesirli sayı seçilmesi) olarak alınmasıdır. Santimetre seviyesinde konum doğruluğu elde etmek için uzun süreli ölçü yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, faz başlangıç belirsizliğinden kaynaklı yakınsama süresini kısaltmak ve konum doğruluğunu arttırmak için bazı kurumlar ve araştırmacılar çalışmalar yapmaktadır ve çeşitli yöntemler geliştirmektedir (Ge vd.,2008; Laurichesse vd., 2009; Collins vd., 2008; Geng vd., 2010b). Başta IGS olmak üzere, NRCan (Natural Resources Canada), CODE, JPL gibi uluslararası kuruluşlar başlangıç faz belirsizliğinin çözümüne katkı sağladıkları gibi, hassas uydu yörüngede ve saat bilgilerinin hesaplanması gibi çalışmaları da yürütmektedir. Ayrıca başlangıç tam sayı belirsizliğini çözmek için, Fransa CNES (National Center for Space Studies) tarafından oluşturulan bir grup "PPP Wizard Projesi" yürütmektedir. Bu projede kayda değer bir şekilde yol alındığı görülmektedir. Bu çalışmalara ek olarak IGS tarafından GPS/GLONASS uydu yörünge ve saat bilgileri belirli zaman aralıklarında güncellenmekte ve ücretsiz olarak hizmet vermektedir. PPP tekniğinde, yayın (broadcast) efemeris bilgisi yerine, hassas yörünge (ultra-rapid, rapid, final) ve uydu saat değerleri kullanılmaktadır. Pratik olarak jeodezik konum belirlemek için yayın efemerisleri yeterli olabilirken, hassas sonuç istenilen uygulamalarda hassas efemeris kullanılması doğruluğu etkileyen bir faktör olmaktadır. Hassas efemeris yeryüzüne dağılmış çok sayıda noktadan elde edilen uydu verilerinin değerlendirilmesi (post-process) ile elde edilen sonuçlardır. Yayın efemerisi anlık olarak yayınlanmakta olup yaklaşık olarak 12-36 saat süre geçerli iken, hassas efemerisi gözlemden itibaren 2-6 gün içerisinde internetten sunulmaktadır (Tuşat ve Turgut, 2004).

Daha önce PPP tekniğinin birkaç üstünlük ve zayıflıklarından bahsedildi. Bunları kısaca belirtmek gerekirse, PPP tekniğinin üstün yanları:

- Kullanıcı için gerekli olan tek bir GNSS alıcısını kapsar.
- Koordinatı bilinen sabit bir istasyona ya da birden fazla referans istasyonuna bağlı olarak eş zamanlı bir gözleme ihtiyaç

duymaz. Bu durum uygulamada kolaylık sağlar.

- İstasyonlar arasındaki bağımlılığı ortadan kaldırdığı için saha çalışmasında kolaylık sağlamakta olup, işçilik ve süre bakımından kullanıcıya avantaj olarak geri dönmektedir.
- IGS, CODE, JPL gibi kuruluşlardan yayınlanan hassas yörünge ve saat bilgileri ile tek bir GNSS alıcısı ile cm mertebesinde konum üretilmekte ve bu durum da maliyet yönünden fayda sağlamaktadır.
- PPP tekniği sadece konumlandırma olarak değil, diğer uygulamalarda da kullanılabilir. Örneğin; troposferik etki parametrelerinin tahmininde yer alır.

Kullanımın kolay olması, konum doğruluğunun giderek artması gibi nedenlerle yöntemin popülerliği ve uygulama alanı da gün geçtikçe artmaktadır. PPP tekniği;

- Yer-yakın uydularının hassas yörüngelerinin belirlenmesi (Back vd., 2003)
- GNSS sismolojisi (Kouba, 2003)
- Yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi (Savage vd., 2004)
- Jeodezik konum belirleme uygulamaları (Ebner ve Featherstone, 2008; Bahadır ve Üstün, 2014)
- Kara, deniz, hava gibi yerlerde hareketli objelerin hassas konumlanması (Geng vd., 2010a; Alkan vd., 2015)
- Yapı sağlığının izlenmesi (Yiğit, 2016)
- Arkeolojik ölçmeler (İlçi ve Özlü, 2016)

gibi birçok bilimsel ve teknik çalışmalarda kullanılmaktadır.

PPP tekniğinin zayıflıkları:

- En önemlisi başlangıç tam sayı belirsizliğinin çözümü için geçen sürenin uzun olmasıdır.
- Yöntemin doğruluğunu etkileyen faktörler gözlem süresi, uydu sayısı, uydu geometrisi gibi etkenlere de bağlı olmaktadır.

Bu özelliklerinin yanında PPP'de cm mertebesinde veya daha iyi konum bilgisi elde edebilmek için çeşitli düzeltmelerin yapılması gerekmektedir. Genellikler bu hatalar uydu kaynaklı, alıcı kaynaklı, jeodinamik ve atmosferik etkilerden doğmaktadır. Faz dönmesi (phase wind-up) etkisi, uydu anteni faz merkezi kayıklıkları, katı yeryüzü gelgiti,

okyanus yüklemesi gibi düzeltmeler de PPP tekniğinde konum doğruluğunun artırılması için gereken modellerdir. Bu düzeltmeler yapılarak konum doğruluğu arttırılmaktadır.

3. PPP DEĞERLENDİRME YAZILIMLARI

PPP yöntemi ile konum belirlemek için birçok akademik yazılım ve internet tabanlı GNSS yazılımları tercih edilmektedir. Yakın gelecekte ise ticari yazılımlara PPP değerlendirme modülü eklenebileceği düşünülmektedir. Akademik yazılım olarak daha çok Bernese, Gipsy kullanılmaktadır. Fakat bu yazılımları kullanan kişilerin GNSS değerlendirme hakkında hem bilgisi hem de yazılım tecrübesi gerekmektedir. Aynı zamanda belirtilmiş olan akademik yazılımları kullanan kişilerin bilgi birikimi ile doğru orantılı sonuçlar alındığı düşünülmektedir. Diğer yandan, yazılımı kullanan kişinin kodlama yaparken eksikliği olabileceği gibi (okyanus düzeltmesini unutmak vs.), daha sonra yazılıma eklenen

yeniliklerden, güncellemelerden haberdar olması çok kolay olmamaktadır.

Günümüzde, gelişen teknoloji ve internet sayesinde birçok şeye kolayca ulaşma imkanımız bulunmaktadır. Ayrıca yukarıdaki olumsuzlukları da ortadan kaldıran, PPP tekniğinde elde edilen verileri değerlendirmek için birçok online yazılım bulunmaktadır. PPP tekniğinde değerlendirme yaparken sıkça kullanılan online yazılımlar Çizelge 1’de verilmiştir.

Bu yazılımlar sayesinde nokta konumları tespit edilebilmektedir. Bu online servislerinin birçoğu JPL, NASA, NRCan, UNB gibi kurum ve kuruluşlar tarafından geliştirilmiş ve oldukça basit bir kullanıma sahip yazılımlar sunmaktadır.

Yazılımlardaki eksiklikler güncellenmekte ve bazıları ücretsiz erişim sağlamaktadır. Online servislerinin kullanımı oldukça basittir (Şekil 2).

Çizelge 1. PPP tekniği için kullanılan online veri değerlendirme servisleri

Servis Kısa Adı	Servis Uzun Adı	Organizasyon	İnternet Sayfası (2018 Eylül ayı itibariyle)
CSRS	Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning	Natural Resources Canada (NRCan)	http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php
GAPS	GPS Analysis and Positioning Software	University of New Brunswick (UNB)	http://gaps.gge.unb.ca/
APPS	Automatic Precise Positioning Service	NASA – Jet Propulsion Laboratory (JPL)	http://apps.gdgps.net/
magicGNSS	magicPPP – Precise Point Positioning Solution	GMV Innovating Solutions	http://magicgnss.gmv.com/ppp



Şekil 2. Online PPP servislerinin işlem adımları

Kullanıcının genel olarak yapması gerekenler maddeler halinde ifade edilirse;

- Online yazılımın internet sayfasına girilir (Çizelge 1’de URL adresleri verilmiştir).
- E-posta adresi girilir.
- Kullanıcının tercihine bağlı olarak statik ya da kinematik mod seçilir.
- Datum tipi seçilir (North America Datum 1983 (NAD83) veya The International Terrestrial Reference Frame (ITRF))
- Okyanus gel-git yüklemesi kullanıcıya bağlı olarak seçilir.
- RINEX (Receiver Independent Exchange) gözlem dosyası yüklenir. (.zip, .gzip, .gz, .z, .??O) formatlarında olabilir.

Yukarıda açıklanan işlem adımlarında, kullanılan yazılıma göre farklı durumlar olması söz konusudur. Örneğin; NAD83 datumu CSRS yazılımında mevcut iken diğer yazılımlarda bulunmamaktadır. Bazı yazılımlar düşey datum seçeneği de sunmaktadır.

RINEX dosyasına ilişkin genel bilgi verilirse, Rinex dosya adı : ssssddd.f.yyt şeklindedir;

sss; 4 karakterden oluşan istasyon adının kısaltması,

ddd; yılın GNSS günü,

f; oturum numarası ya da kodu (veri tüm günü kapsıyorsa, sıfırdır)

yy; hangi yıl olduğunu,

t; dosya türünü (O: ölçü dosyası, N: navigasyon dosyası, M: meteorolojik dosyası, G: GLONASS navigasyon dosyası) ifade etmektedir. Örneğin;

ISTA2060.17o : ISTA noktasının 2017 yılının 206. gününe (25.07.2017) ait 24 saatlik bir ölçü dosyasıdır.

Bu işlem adımları yapıldıktan sonra, servis otomatik şekilde verileri değerlendirmeye başlar. Değerlendirme sonucu olarak türetilen koordinatları ve bazı grafik bilgileri e-posta adresine göndermekte ya da kullanıcıya ekranda sunmaktadır. Ayrıca daha ayrıntılı bilgi öğrenmek istendiğinde URL bağlantısı da göndermektedir.

Online internet servislerin kullanımı oldukça basit olmasına rağmen bazı dezavantajları da vardır. Değerlendirme işlemi yapılırken, herhangi bir şekilde müdahale edilememekte, otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Ya da internet hızının bağlantısı, kısa süreli internet kesintisi olabileceği gibi online servislerin güncellenme durumlarında servis dışı olabilmektedir. Bu durum kullanıcılar açısından sistemin bir eksikliği olarak değerlendirilmektedir.

3.1 Canadian Spatial Reference System

Precise Point Positioning (CSRS) Servisi

2003 yılında 1.0 sürümüyle kurulan servisten ücretsiz olarak yararlanılmaktadır. Sistem günümüze kadar birçok defa güncellenmiş, son olarak 2.18.0 sürümüyle kullanımına devam etmektedir. CSRS, verinin toplandığı güne ait en uygun hassas uydu yörünge efemeris (Ultra-rapid, Rapid veya Final) ve saat bilgisini kullanmaktadır. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar ölçme epoğunda olmaktadır. Hesaplanan koordinatlar, tercihe bağlı olarak NAD83 veya ITRF datumlarından birinde elde edilebilmektedir. Ayrıca okyanus gel-git yüklemesi (ocean tidal loading) ve düşey datum seçimi imkânı da sunmaktadır. Servisten yararlanmak isteyenler üye olmaları yeterlidir.

3.2 magic GNSS-PPP Değerlendirme Servisi

Bu servis, İspanyol GMV Uzay ve Savunma firması tarafından geliştirilmiş bir uygulamadır. Servisten, bazı kısıtlarla ücretsiz olarak yararlanma imkânı olmakla birlikte, profesyonel uygulamalar için geliştirilmiş ve daha gelişmiş özelliklere sahip *pro* seçeneği de mevcuttur. Ancak *magicGNSS* *pro* hesabı almak için yıllık lisans ücreti ödeme zorunluluğu olup, eğitim kurumlarına uygun fiyatlarla hizmet sağlamaktadır. GPS ve GLONASS verileri ayrı ayrı veya GPS+GLONASS seçeneği ile değerlendirme yapan servis, statik/kinematik modlarda, verileri değerlendirmektedir. Kullanıcılar servisin internet sayfası aracılığıyla veya e-posta ile verilerini gönderip, sonuçlarını e-posta ile (PPP koordinatları, analiz raporları ve grafikleri ile birlikte) elde etmektedir.

3.3 GPS Analysis and Positioning Software (GAPS)

GAPS, New Brunswick Üniversitesi tarafından işletilmektedir ve ücretsiz hizmet özelliği sağlamaktadır. Kullanıcılara, doğru uydu konumlama ile hem statik hem de kinematik modda çalışmayı sağlar. IGS ve NRCAN gibi kaynaklardan sağlanan hassas yörünge ve saat ürünlerinin kullanımı sayesinde, statik modda santimetre düzeyinde, kinematik modda desimetre düzeyinde konumlarını elde etmek mümkündür.

3.4 Automatic Precise Positioning Service (APPS)

APPS; NASA, JPL ve California Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilen ve yürütülen internet tabanlı online değerlendirme servisi. Arka planında, aynı kurumda geliştirilen akademik yazılım Gipsy (v.6.4) yer almaktadır. Servise, doğrudan internet sitesi üzerinden ya da ftp servisleri aracılığıyla dosyalar yüklenebilmektedir. RINEX dışında Gipsy TDP dosyaları da girdi verileri olarak kullanılabilir.

Servis statik ve kinematik seçeneklerini, haftalık ve gerçek zamanlı yörünge ve zaman bilgileri desteğinde yakın gerçek zaman ve yüksek doğruluklu olarak sunar. Yazılımın ara yüzünde bulunan (anten yüksekliği, anten tipi, e-posta adresi vb.) seçenekler işaretlenip dosya servise yüklendikten hemen sonra, gerekli e-posta adresine sonuçlar gönderilmektedir.

3.5 Bernese Yazılımı

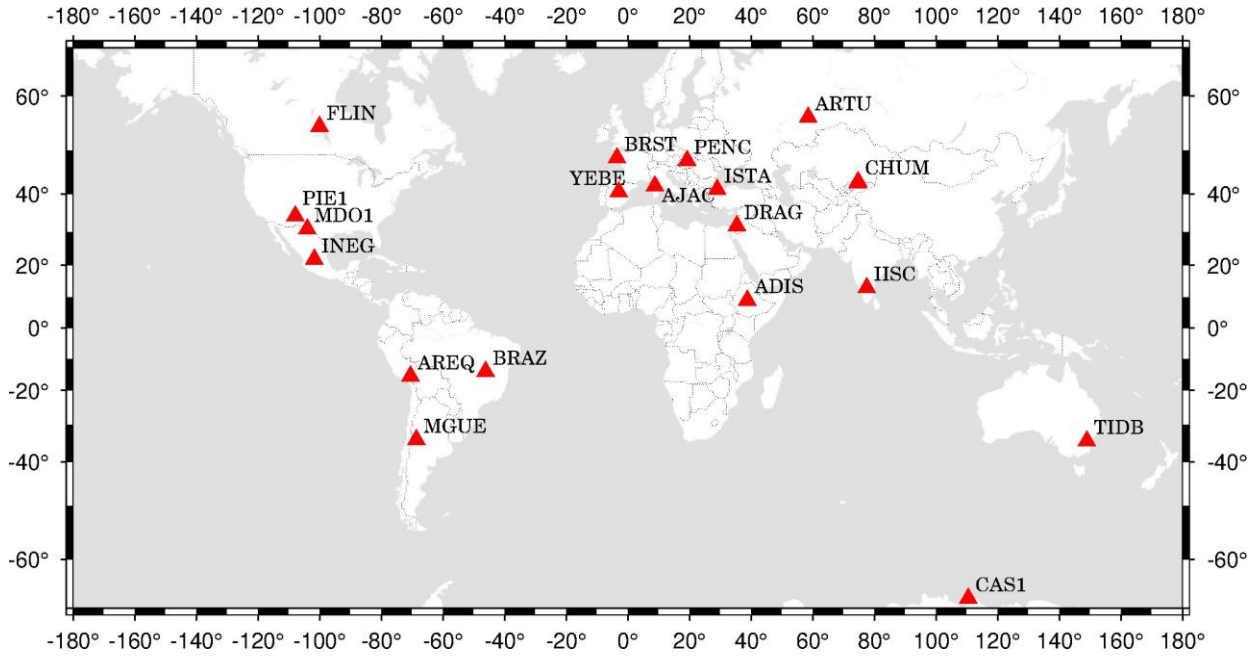
Bernese yazılımı, İsviçre Bern Üniversitesi tarafından geliştirilerek; yüksek duyarlıklı ve güvenilir sonuçlar üreten akademik bir yazılımdır. Bernese 5.2 en güncel versiyonu olup, 28.02.2018'de yayınlanmıştır. (Dach R. vd., 2015) Yazılım 3 dizinden meydana gelmektedir. Bunlar; DATAPOOL, GPSUSER52, CAMPAIGN52'dir. Yazılımı kullanan kişiler GPS, GPS+GLONASS, alıcılarından alınan verilerin bütün halinde işlemlerini yapabilmektedir. Yazılım şu an için GLONASS verilerini değerlendirememekte, Galileo için de özellik mevcut fakat kullanım için önerilmemektedir. Ayrıca değerlendirme esnasında CODE ve IGS ürünlerini de kullanabilmektedir. Yazılım UNIX/Linux, Mac ve Windows platformlarında çalışabilmekte ve yerleşik bir HTML tabanlı yardım sistemi ile kullanıcı dostu olan programdır. Yazılımda PPP, ikili farklar ile ağ analizi, sabit GNSS istasyon verilerinin otomatik işlenmesi gibi birçok uygulama yapabilmektedir.

4. SAYISAL UYGULAMA

4.1 Veriler

Uygulama için farklı yüksekliklerde 20 adet IGS istasyon noktası seçilmiştir. Yeryüzüne homojen dağılmış şekilde seçilen bu noktalar 0-100 m, 100-500 m, 500-1000 m, 1000-2000 m, 2000-3000 m şeklinde gruplandırılmış ve her grup içerisinde 4 adet IGS noktası seçilmiştir (Şekil 3). Veriler 24 saatlik olup, 25.07.2017 tarihine aittir. 24 saatlik verileri "Teqc" yazılımı sayesinde 12, 6, 3 ve 1 saatlik zaman dilimlerine bölünmüştür.

Çalışmada online CSRS yazılımı ve Bernese yazılımının 5.2 sürümü kullanılmıştır. CSRS online web servisinin tercih edilmesinde; yazılımının kullanımının kolay olması, değerlendirme süresinin kısa olması ve sonuçları hemen göndermesi etkili olmuştur. Ayrıca *magicGNSS* yazılımına yıllık belirli bir ücret ödenmesi ve APPS yazılımının da veri gönderi boyutunun kısıtlı olmasından dolayı CSRS yazılımı tercih edilmiştir. Her iki yazılım içinde sadece GPS verileri değerlendirilmiştir. Çizelge 2'de istasyonların adı, bulunduğu ülke, gözlem tarihi, coğrafi koordinatları (enlem, boylam, elipsoidale yüksekliği) ve Çizelge 3'de bir güne ait değerlendirilmesi yapılan RINEX gözlem dosyalarının zaman dilimleri verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanı ve IGS istasyonlarının dağılımı

Çizelge 2. Uygulamadaki verilere ait bilgiler

Bulunduğu Ülke	İstasyon Adı	Enlem (φ)	Boylam (λ)	Elipsoidal Yüksekliği (h)	Aralığı
Antartika	CAS1	-66° 17' 0.08"	110° 31' 10.94"	22.5516 m	0-100
İsrail	DRAG	31° 35' 35.52"	35° 23' 31.45"	31.86473 m	0-100
Fransa	BRST	48° 22' 49.76"	-4° 29' 47.75"	65.8055 m	0-100
Fransa	AJAC	41° 55' 38.83"	8° 45' 45.39"	98.7909 m	0-100
Türkiye	ISTA	41° 06' 16.00"	29° 01' 9.60"	147.3371 m	100-500
Rusya	ARTU	56° 25' 47.36"	58° 33' 37.63"	247.51111 m	100-500
Macaristan	PENC	47° 47' 23.01"	19° 16' 53.99"	294.04857 m	100-500
Kanada	FLIN	54° 43' 32.10"	-101° 58' 40.91"	311.4944 m	100-500
Avustralya	TIDB	-35° 23' 57.13"	148° 58' 47.99"	665.3719 m	500-1000
Kazakistan	CHUM	42° 59' 54.60"	74° 45' 3.95"	716.3321 m	500-1000
Hindistan	IISC	13° 1' 16.19"	77° 34' 13.35"	843.7144 m	500-1000
İspanya	YEBE	40° 31' 29.63"	-3° 05' 19.06"	972.7775 m	500-1000
Brezilya	BRAZ	-15° 56' 50.91"	-47° 52' 40.32"	1106.0200 m	1000-2000
Meksika	INEG	21° 51' 22.15"	-102° 17' 3.13 "	1888.0949 m	1000-2000
Arjantin	MGUE	-35° 46' 38.46"	-69° 23' 52.53"	1553.7113 m	1000-2000
Kırgızistan	POL2	42° 40' 47.17"	74° 41' 39.35"	1714.2042 m	1000-2000
ABD	MDO1	30° 40' 49.83"	-104° 00' 53.97"	2004.4760 m	2000-3000
ABD	PIE1	34° 18' 5.42"	-108° 07' 8.13"	2347.7108 m	2000-3000
Mısır	ADIS	9° 2' 6.48"	38° 45' 58.69"	2439.1557 m	2000-3000
Peru	AREQ	-16° 27' 55.86"	-71° 29' 34.06"	2488.9226 m	2000-3000

Çizelge 3. 24 saatlik RINEX gözlem dosyalarına ait zaman dilimleri.

Saat	Değerlendirmesi yapılan Rinex verilerinin Başlangıç ve Bitiş zamanı
24s	0-24
12s	0-12
6s	0-6
3s	0-3
1s	0-1

Çalışmada, NASA'nın yayınladığı IGS istasyonlarının ücretsiz RINEX verileri değerlendirilmiştir. Analiz için ayrıca okyanus yükleme etkisi, uydu yörünge bilgisi, atmosferik düzeltme etkisi, iyonosferik düzeltme değerleri göz önünde bulundurulmuştur. RINEX verileri ve analiz için gereken diğer dosyalara internet kaynakları kısmındaki bağlantılardan ulaşılabilir. CSRS yazılımında kullanılan proses modu olarak statik ve ITRF seçilmiştir. Ayrıca okyanus gelgit

yüklemesi için OTL dosyası da Rinex dosyası ile birlikte sisteme yüklenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de gösterilmiştir. Bernese yazılımında tüm veriler temin edilmiştir. Okyanus yükleme için FES2004 tercih edilmiş, çıktı dosyası olarak BLQ olarak seçilmiştir. Bernese için diğer gerekli olan ATL, CRD, VEL, PLD, BLQ, STA uzantılı dosyalar düzenlenip, sisteme yüklenmiştir. Analiz sonucu Çizelge 5'de gösterilmiştir.

4.2. Analiz

CSRS online değerlendirme servisine gönderilen RINEX verilerden elde edilen sonuçlar yükseklik grubuna göre sınıflandırılıp, çizelgeler halinde gösterilmiştir (Çizelge 4). Çizelgedeki 3 boyutlu konumun standart sapması,

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2 + \sigma_U^2} \quad (1)$$

formül ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki

Çizelge 4. IGS istasyonlarının CSRS'den elde edilen 24 saatlik ölçülerin sonuçları

Yükseklik (m)	İstasyon Adı	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_U (cm)	σ_P (cm)
0-100	BRST	0.25	0.44	0.83	0.97
0-100	CAS1	0.27	0.37	0.83	0.95
0-100	DRAG	0.21	0.42	0.87	0.99
0-100	AJAC	0.22	0.43	0.81	0.94
100-500	ISTA	0.22	0.42	0.83	0.95
100-500	FLIN	0.25	0.43	0.79	0.93
100-500	ARTU	0.40	0.60	1.21	1.41
100-500	PENC	0.25	0.44	0.85	0.99
500-1000	TIDB	0.31	0.59	1.12	1.30
500-1000	CHUM	0.31	0.61	1.03	1.24
500-1000	IISC	0.31	0.77	1.70	1.89
500-1000	YEBE	0.34	0.61	1.18	1.37
1000-2000	BRAZ	0.17	0.37	0.78	0.88
1000-2000	MGUE	0.22	0.46	0.84	0.98
1000-2000	INEG	0.20	0.50	1.00	1.13
1000-2000	POL2	0.35	0.75	1.18	1.44
2000-3000	MDO1	0.22	0.47	0.88	1.02
2000-3000	PIE1	0.23	0.47	0.87	1.01
2000-3000	ADIS	0.22	0.50	1.00	1.14
2000-3000	AREQ	0.25	0.70	1.21	1.42

parametreler; sırasıyla n ve e ; yatay bileşenleri, u ise yükseklik bileşenini temsil etmektedir.

Çizelge 4'deki yatay ve düşey bileşenler incelendiğinde; n , e değerleri mm seviyesinde iken u değeri cm seviyesinde çıkmıştır. Yani CSRS yazılımından elde edilen sonuca göre yatay

bileşenler, düşey bileşene oranla daha yüksek doğruluklu olarak belirlenmiştir.

Benzer şekilde veriler Bernese yazılımında da değerlendirilmiş, sonuçlar Çizelge 5'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; yatay ve düşey konum doğrulukları birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5. IGS istasyonlarının Bernese'den elde edilen 24 saatlik ölçülerin sonuçları

Yükseklik (m)	İstasyon Adı	σ_N (cm)	σ_E (cm)	σ_U (cm)	σ_P (cm)
0-100	BRST	0.26	0.11	0.86	0.82
0-100	CAS1	0.26	0.10	0.81	0.73
0-100	DRAG	0.26	0.21	0.59	0.46
0-100	AJAC	0.23	0.10	0.65	0.48
100-500	ISTA	0.24	0.23	0.65	0.53
100-500	FLIN	0.27	0.23	0.82	0.79
100-500	ARTU	0.33	0.30	0.92	1.02
100-500	PENC	0.33	0.51	0.81	1.02
500-1000	TIDB	0.22	0.63	1.46	2.57
500-1000	CHUM	0.24	0.42	0.70	0.72
500-1000	IISC	0.46	0.98	0.76	1.75
500-1000	YEBE	0.29	0.23	0.78	0.74
1000-2000	BRAZ	0.28	0.29	0.54	0.45
1000-2000	MGUE	0.23	0.29	0.59	0.48
1000-2000	INEG	0.34	0.62	0.65	0.92
1000-2000	POL2	0.31	0.98	0.82	1.72
2000-3000	MDO1	0.28	0.33	0.62	0.57
2000-3000	PIE1	0.27	0.26	0.71	0.57
2000-3000	ADIS	0.34	0.12	0.65	0.55
2000-3000	AREQ	0.30	0.13	0.54	0.39

Her iki yazılımdan da elde edilen sonuç; düşey bileşenler yatay bileşene göre, daha yüksek değer üretmiştir. Bernese yazılımından elde edilen sonuçlar, CSRS yazılımına göre daha iyi doğrulukta belirlenmiştir. CSRS yazılımında yatay bileşenler 5-6 mm düzeyinde iken, düşey bileşende 1-2 cm düzeyindedir. Ancak Bernese yazılımında yatayda ve düşeyde mm'nin altında sonuçlar elde edilmiştir. Diğer yandan her iki yazılımda da yükseklik değiştiğinde, nokta konum doğruluğunda herhangi bir artma ya da azalma olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde 12, 6, 3 ve 1 saatlik zaman dilimleri için de birer karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde yatay

bileşenlerin düşey bileşene göre daha iyi sonuç verdiği ve yükseklikle bir ilişki olmadığı aynı şekilde tespit edilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte uydu teknolojisine ilgi gün geçtikçe daha da artmaktadır. Uydularla konum belirleme yöntemi olan PPP tekniği de araştırmacıların dikkatini çekmiş ve internet tabanlı yazılımlarda yerini almıştır.

Bu çalışmada PPP tekniği hakkında temel teorik bilgiler verilmiş, PPP tekniğine etkiyen hata kaynakları açıklanmıştır. Sonra internet tabanlı PPP yazılımlarının işleyişi kısaca özetlenmiştir. Son

olarak sayısal uygulama kısmında yükseklik değişiminin nokta konum duyarlılığına etkisi araştırılmıştır. Uygulamada farklı yükseklikte seçilen 20 adet IGS noktasına ilişkin 24 saatlik verileri CSRS ve Bernese yazılımı yardımıyla statik PPP tekniğiyle değerlendirilmiştir.

IGS istasyonlarındaki konum duyarlılıkları her iki yazılımdan elde edilen sonuçların incelenmesiyle, yükseklikle herhangi bir ilişkisi olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca tüm noktalarda her bir ölçü için “n” ve “e” bileşenleri, “u” bileşeninden daha iyi çıktığı görülmüştür.

Diğer yandan Bernese yazılımından elde edilen sonuçların, online yazılımlara göre daha doğru sonuç verdiği görülmektedir. Bernese yazılımına doğrudan parametre girişi (okyanus düzeltmesi, yer dönme parametreleri, iyonosferik düzeltme vs.) kullanıcı tarafından girilmiş olmasının da etkisi bulunmaktadır. Online yazılımlarda değerlendirme sırasında müdahale yapılamamakta, sistem tarafından otomatik olarak değerlendirilmektedir. Bu durum online yazılımları için zayıflık olarak görülmektedir.

Gelecek çalışmalar için öneri olarak; ölçülerin kalitesi olabildiğince iyi olmalıdır. Çünkü internet tabanlı değerlendirmede müdahale edilemediği için, tüm hatalar doğrudan sonuç kısmında standart sapma olarak ortaya çıkmaktadır. Bernese yazılımında ise elde edilen sonuçların online yazılıma göre daha iyi değerler gelmesinin nedeni tüm parametrelerin elle girilmesi olarak gösterilebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, GNSS verilerinin Bernese yazılımında işlenmesi ve yorumlanmasındaki katkılarından dolayı Harita Genel Müdürlüğü'nden Ayhan CİNGÖZ'e ve Seval AYDIN'a teşekkür eder.

KAYNAKÇA

- Alçay S. 2016, Farklı Gözlem Sürelerinde GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**, 292—302.
- Alkan R.M., Ozulu İ.M., İlçi V., 2015, Deniz Uygulamalarında Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin (PPP) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma, *Harita Dergisi*, **154(2)**, 1—8.
- Bahadur B., Üstün A., 2014, İnternet Tabanlı GNSS Veri Değerlendirme Servisleri, *Harita Dergisi*, **152(2)**, 40—50.

- Bock H, Hugentobler U, Beutler G., 2003. Kinematic and dynamic determination of trajectories for low Earth satellites using GPS. In: *Reigber C, Luhr H, Schwintzer P. editors. First CHAMP mission results for gravity magnetic and atmospheric studies*. Heidelberg: Springer; p. 65—69.
- Cingöz A., Erkan Y., Kurt A.İ., Peker S., 2013, Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı- Aktif (Tusaga Aktif Sistemi), TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 14-17 Mayıs 2013, Ankara.
- Collins P., Lahaye F., Héroux P., Bisnath S., 2008. Precise point positioning with ambiguity resolution using the decoupled clock model. In: *Proceedings of ION GNSS 21st international technical meeting of the satellite division, Savannah, US*, pp: 1315—1322.
- Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P., 2015, Bernese GNSS Software Version 5.2. <http://www.bernese.unibe.ch/>
- Ebner, R., ve Featherstone, W. E., 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.
- Gao, Y. and Shen X., 2001, Improving converge speed of carrier phase based Precise Point Positioning. *Proceedings of ION GPS 2001*, 12-14 September, Salt Lake City, Utah, pp. 1532-1539.
- Geng J., Teferle F.N., Meng X., Dodson A.H., 2010a, Kinematic precise point positioning at remote marine platforms, *GPS Solutions*, **14**, 343—350.
- Geng J., Meng X., Teferle F.N., Dodson A.H., 2010b, Performance of precise point positioning with ambiguity resolution for 1- to 4-hour observation periods. *Survey Review*, **42(316)**: 155—165.
- Ge M., Gendt G., Rothacher M., Shi C., Liu J., 2008, Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations. *Journal of Geodesy*, **82(7)**: 389—399.
- İlçi V., Özlü İ.M., 2016, PPP Yönteminin Arkeolojik Amaçlı Ölçme Uygulamalarında Kullanılabilirliği: Şapınuva Kazı Alanı Örneği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: **8**, No: 3.
- Kouba J., 2003, A Guide to Using International GPS Service (IGS) Products, IGS Central Bureau.
- Laurichesse D., Mercier F., Berthias J.P., Broca P., Cerri L., 2009, Integer ambiguity resolution on undifferenced GPS phase measurements and

its application to PPP and satellite precise orbit determination. *Navig J Inst Navig*, **56(2)**:135–149.

Öcalan, T., 2011, GPS/GNSS Konum Belirlemede Yeni Bir Yöntem: PPP Tekniği ve Web Tabanlı (Online) Servisler, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Bülteni*, Sayı: **2011-1**, Mart 2011.

Öcalan, T., 2012, GNSS/CORS Ağları ile Gerçek Zamanlı Konumsal Bilgi, *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, Ocak 2012, Sayı: **530**, sayfa: 66–71.

Öcalan, T. ve Soyca, M., 2012, RTCM/SSR Mesajları İle Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (PPP-RTK) Tekniği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **4, 2**, 30-41.

Savage JC., Gan W., Prescott WH., Svarc JL., 2004, Strain accumulation across the coast ranges at the latitude of San Francisco 1994–2000, *Journal of Geophysical Research*, **109(B03413)**, pp: 1–11.

Tuşat E., Turgut B., 2004, Selçuk Üniversitesi, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **c.19**, s.1

Yigit C.O., 2016, Experimental assessment of post-processed Precise Point Positioning for Structural Health Monitoring, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **7(1)**, pp: 360–383.

Yiğit C.O, Gikas V., Alçay S., Ceylan A., 2014, Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS post-processed PPP, *Survey Review*, **46(3)**,155–166.

Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M., and Webb, F. H. 1997, Precise Point Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks, *Journal of Geophysical Research*, **102(B3)**, pp. 5005–5017.

İnternet kaynakları

1-GPS ve GPS/GLONASS RINEX verileri;
<ftp://cddis.nasa.gov/gnss/product> (06.09.2018)

2-Sadece GLONASS RINEX verileri;
<ftp://cddis.nasa.gov/glonass/product> (06.09.2018)

3-Uydu yörünge bilgileri; <ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs> (06.09.2018)

4-İyonosferik düzeltme değerleri;
<http://ftp.aiub.unibe.ch/CODE> (06.09.2018)

5-Okyanus düzeltme dosyası;
<http://holt.oso.chalmers.se/loading> (06.09.2018)

6-Yer dönme parametresi dosyası;
<ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/product> (06.09.2018)”

7- <http://acc.igs.org/UsingIGSProductsVer21.pdf> (17.12.2018)