

Araştırma Makalesi / Research Article

Hassas Nokta Konumlama (PPP) Tekniğinin Ağaçlık Alanlardaki Konum Belirleme Performansının CSRS-PPP Yazılımı Kullanılarak İncelenmesi**Berkant KONAKOĞLU^{1*}, Serhat ŞENSES¹**¹Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 05100, Amasya, Türkiye.Sorumlu yazar e-posta*: berkantkonakoglu@amasya.edu.tr
serhat.senses@amasya.edu.trORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8276-587X>
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9648-5844>

Geliş Tarihi: 22.02. 2023

Kabul Tarihi: 08.06.2023

Öz

GNSS teknolojisi, orman kaynaklarının araştırılması ve izlenmesi için güçlü bir araç haline gelmiştir. Ancak, ormanlık/ağaçlık alanlarda orman örtüsü GNSS sinyalleri ve uydu sayısı üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Bu yüzden hassas konum belirlemek mümkün olmayabilmektedir. Uydu jeodezisinde ve analiz tekniklerinde yaşanan gelişmeler ile sadece bir GNSS alıcısı kullanarak üzeri açık alanlarda santimetre düzeyinde konumlama yapılabilen Hassas Nokta Konumlama (PPP) tekniği yakın zamanda büyük ilgi görmüştür. Bu çalışmada, ağaçlık alanlarda yapılan statik PPP-AR (Ambiguity Resolution) çözümlerinin, farklı gözlem sürelerinin (1, 2, 4 ve 6 saat), farklı örnekleme aralıklarının (30, 60 ve 120 sn) ve farklı uydu verilerinin (sadece GPS ve GPS+GLONASS) doğruluk açısından etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, Amasya Üniversitesi Yeşilirmak Kampüsü'nde iki farklı konumda (açık ve ağaçlık alanda) GNSS ölçümleri yapılmıştır. Ağaçlık alanın kapalılık oranı i-Tree Canopy yazılımı ile yaklaşık %56 olarak belirlenmiştir. Toplanan gözlem verileri statik PPP-AR çözümü yapabilen Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP) online (çevrimiçi) değerlendirme yazılımına gönderilmiştir. Sonuçlar, ağaçlık alanlarda PPP-AR tekniği kullanılarak 2 saat ölçü ile yaklaşık 10 santimetre doğruluğunda konum belirlenebileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, genel olarak GPS+GLONASS sonuçların sadece GPS sonuçlarına göre daha doğru performans gösterdiği ve örnekleme aralığının yüksek seçilmesinin elde edilen sonuçlarda anlamlı olmadığı görülmüştür.

Anahtar kelimelerPPP;
CSRS;
Konum Doğruluğu;
Ağaçlık Alanlar.**Investigation of Positioning Performance of Precise Point Positioning (PPP) Technique in Woodland Areas Using CSRS-PPP Software****Abstract**

GNSS technology has become a powerful tool for researching and monitoring forest resources. However, forest cover has a negative impact on GNSS signals and satellite availability in woodland areas, which may make it difficult to determine a position with high accuracy. The Precise Point Positioning (PPP) technique, which allows for centimeter-level positioning in open areas using only a GNSS receiver, has gained considerable interest due to advancements in satellite geodesy and analysis techniques. In this study, the effect of different observation durations (1, 2, 4, and 6 hours), sampling rates (30, 60, and 120 seconds), and satellite data (GPS-only and GPS+GLONASS) on the accuracy of static PPP-AR (Ambiguity Resolution) solutions in woodland areas was investigated. GNSS measurements were conducted at two different locations (open and woodland areas) on the Yeşilirmak Campus of Amasya University. The canopy closure ratio of the woodland area was determined to be approximately 56% using i-Tree Canopy software. The collected observation data was sent to the Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP) online evaluation software, which is capable of performing static PPP-AR solutions. The results were showed that using the PPP-AR technique in woodland areas, the position can be determined with an accuracy of about 10 centimeters with a 2-hour observation duration. In addition, it was observed that generally GPS+GLONASS results perform better than GPS-only results and selecting a high sampling rate did not have a significant impact on the results.

KeywordsPPP;
CSRS;
Positioning Accuracy;
Woodland Areas.

1. Giriş

GNSS, mutlak ve rölatif konum belirleme teknikleri jeodezi ve farklı pek çok meslek disiplinlerince uzun bir süredir yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırmacılar yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda rölatif konum belirleme yöntemini tercih etmektedir (Hofmann-Wellenhof *et al.* 2001; Leick, 2003). Bu yöntemde kesin koordinatı bilinen başka nokta ya da noktalar yardımıyla bilinmeyen bir noktanın ya da noktaların konum bilgileri hesaplanmaktadır. Bu durum, kullanıcıya en az 2 adet GNSS alıcısı ile eş zamanlı ölçü yapma zorunluluğu getirmektedir. Bu zorunluluğun nedeni söz konusu yöntemin hata kaynaklarını (uydu-alıcı saat hataları ve atmosferik etkileri gibi) ikili farklar çözümü ile gidermesidir. Ayrıca bilinmeyen nokta ya da noktaların koordinatlarının hesaplanabilmesi için bir veri değerlendirme yazılımına ihtiyaç duymaktadır.

Teknolojide yaşanan gelişmeler neticesinde gerçek zamanlı olarak santimetre düzeyinde konum belirleme uygulamaları Real-Time Kinematik (RTK) veya Ağ-RTK teknikleri kullanılarak yapılmaya başlanmıştır. Klasik RTK yönteminde konumu yüksek doğrulukta bilinen bir referans istasyona ihtiyaç duyulurken, Ağ-RTK'da çok sayıda referans istasyona ihtiyaç duyulmaktadır (Pırtı ve Kurtulgu 2021). Her iki yöntemde düzeltmelerin iletilmesi ya da alınması için radyolink, internet, GSM vb. gibi iletişim altyapısı gerektirmektedir. Kanyonlar, ormanlık/ağaçlık alanlar, vadiler, yüksek dağlar/tepelerle çevrili alanlar vb. gibi zorlu arazi koşullarında yukarıda bahsi geçen iletişim yollarının kullanımı mümkün olmayabilir. Bu durumda GNSS ölçümleri için statik oturumlar yapılmalı ve toplanan veriler post-proses yöntem ile değerlendirilmelidir.

IGS (International GNSS Service) analiz merkezinin, uydulara ait hassas yörünge ve saat düzeltme verilerini üreterek araştırmacılara sunması, bir GNSS alıcısı kullanarak duyarlılığı yüksek konum belirlemeye imkân sağlamıştır. Bu sayede rölatif konum belirleme yöntemine yakın konumsal hassasiyet verebilen PPP tekniği geliştirilmiştir. Bu yöntem, mutlak konum belirleme yöntemlerinden

biridir (Zumberge *et al.* 1997). İyonosferden bağımsız olan kod ve taşıyıcı faz gözlemlerini kullanan bu teknik ile kullanıcılar tek bir GNSS alıcısı kullanarak küresel bir referans sisteminde konum belirleyebilmektedir. Böylece ölçümler daha kolay yapılabilmekte ve ölçüm maliyetini azaltmaktadır. Yöntem avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajlara da sahiptir. Bu tekniğin en büyük dezavantajı, noktanın konum doğruluğunun santimetre düzeyinde olabilmesi için yakınsama süresinin ortalama 20-30 dakika, bazı durumlarda da daha bu süreden daha fazla olması gerektiğidir (Alkan vd. 2022). Ayrıca, santimetre hatta milimetre doğruluğunda konum elde edebilmek için bazı hataların modellenmesi veya düzeltmelerin getirilmesi gereklidir (Héroux and Kouba 2001). Geleneksel PPP tekniğinde tam sayı belirsizliği çözümü yapılamazken, son yıllarda tam sayı belirsizlik çözümünü içeren ve PPP tekniğine göre yakınsama süresini kısaltan PPP-AR tekniğine ilişkin çalışmalar yapılmaktadır (Li *et al.* 2018, Li *et al.* 2020).

GNSS alıcıları ile toplanan verilerin PPP tekniğini (post-process işlemler için) kullanılarak değerlendirilmesi aşamasında akademik yazılımlar kullanılmaktadır. Bu yazılımlara örnek olarak Bernese, GIPSY-OASIS, RTKLIB ve BNC verilebilir. PPP tekniğinin popüler hale gelmesiyle birlikte bazı üniversiteler ve araştırma merkezleri web-tabanlı online (çevrimiçi) çalışan veri değerlendirme yazılımları geliştirmeye başlamıştır. Söz konusu servislerin genel amacının, araştırmacılara kullanıcı dostu ve kısa sürede konum bilgisi elde edilmesine olanak sağlamak olduğu söylenebilir. Ancak, değerlendirme hızının arayüze yüklenen dosya boyutuna, internet hızına/kesintisine, servisin yoğunluğuna ve sistem güncelleme durumuna bağlı olduğu unutulmamalıdır. Genel olarak alıcıdan bağımsız veri değişim formatında (RINEX) gözlem dosyasının sisteme yüklenmesi ile başlayan GNSS verisinin işlenmesi, araştırmacının sisteme girmiş olduğu e-posta adresine detaylı sonuç raporunun ya da koordinat bilgilerinin gelmesi ile son bulmaktadır. Temel seviyede teorik bilgi gerektiren bu servisler kullanıcılara değerlendirme yöntemi (statik ve/veya kinematik), koordinat sistemi, GNSS alıcı anten tipi

ve yüksekliği gibi bilgilerin arayüze girilmesini isteyebilmektedir. Web tabanlı bu yazılımlar kullanım kolaylığı sayesinde hassas tarım uygulamaları (Guo *et al.* 2018), arkeolojik ölçmeler (İlçi ve Ozulu 2016), hidrografik uygulamalar (Aykut ve Akpınar 2021), kabuk deformasyonu belirleme (Tiryakioglu *et al.* 2017, Gunaydin *et al.* 2023); yapı sağlığının izlenmesi (Yigit and Gurlek 2017, Yigit *et al.* 2020) gibi birçok çalışmada kullanılmıştır.

Ormanlık/ağaçlık bölgeler, GNSS sinyal kalitesi bakımından bir engel oluşturmaktadır. Alınan sinyallerde ağaç, dal ve yaprak yüzeylerinden dolayı yansıma hatası oluşmakta ve bu da konum hassasiyetinin kötüleşmesine neden olmaktadır (Pirti 2021) Sinyaller ya tamamen bloke edildiğinden ya da yapraklar tarafından zayıflatıldığından, orman alanlarının ana etkisi sinyal kırınımıdır. PPP tekniğinin konum belirleme performansı sadece tam sayı belirsizliği çözümüne bağlı değildir. Ağaçlık alanların da neden olduğu kısıtlı uydu görüşleri ve hata kaynakları ile doğrudan ilişkilidir.

Literatürde ağaçlık alanlarda web-tabanlı online GNSS değerlendirme servislerin konum performanslarını inceleyen çalışma sayısı kısıtlıdır. Ocalan (2016) yaptığı çalışmada orman alanlarında mutlak ve rölatif konumlandırma tekniklerini kullanan web-tabanlı online veri değerlendirme servislerin (CSRS-PPP, APPS, GAPS ve OPUS, AUSPOS) performansları araştırılmıştır. Ocalan *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada, uydu görüşünün sınırlı olduğu yerlerde 6 farklı web-tabanlı online PPP değerlendirme servislerinde (AUSPOS, OPUS, CSRS-PPP, APPS, GAPS ve Trimble-RTX) farklı efemeris ürünleri kullanarak analizler yapılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Uçarlı vd. (2021) yaptıkları çalışmada, farklı ölçme koşullarına sahip bölgelerde (açık alan, orman alanı, su kenarı ve yerleşim yoğunluklu alan) yapılan GNSS ölçümlerinden elde edilen verilerin farklı kombinasyonları ile, APPS, CSRS-PPP ve magicGNSS servislerini kullanarak, PPP konum doğruluğu, farklı GNSS uydu sistemleri ile değerlendirilmiştir. Farklı örnekleme aralığının PPP tekniği kullanılarak yakınsama süresi ve konum doğruluğu üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar da bulunmaktadır

(Bahadur and Nohutcu 2021, Erol *et al.* 2021, Romero-Andrade *et al.* 2021, Ogutcu *et al.* 2022). Yapılan çalışmalarda seçilen istasyonlar, açık gökyüzü gözlem imkanına sahip olup uydu görünürlüğünü kısıtlayacak konumlarda bulunmamaktadırlar.

Ormanlık/ağaçlık alanların, yerleşim yerlerinden uzak olabileceği, iletişim imkanlarının zorluğu ve yakınlarda koordinatı bilinen jeodezik nokta olmaması gibi nedenlerle haritalama çalışmalarının yapılabilmesi zor olabilmektedir. Bu sorunlara eş zamanlı ölçüme ihtiyaç duymadan çözüm olabilecek yöntemlerden PPP/PPP-AR tekniği öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın üç tane amacı bulunmaktadır: (1) kapalılık oranı belirlenen ağaçlık alanlarda farklı gözlem sürelerinin (1, 2, 4 ve 6 saat) PPP-AR çözümleri üzerindeki etkisini incelemek, (2) GLONASS'ın GPS çözümüne katkısını da görebilmek, (3) farklı örnekleme aralığının (30, 60 ve 120 sn) konum doğruluğu üzerindeki etkileri incelemektir. Çalışma kapsamında i-Tree Canopy yazılımı ile kapalılık oranı belirlenen ağaçlık alanda jeodezik nokta tesis edilerek GNSS verileri toplanmıştır. PPP-AR çözümü yapan CSRS-PPP çevrimiçi değerlendirme servisi sonuçları rölatif konum çözümleri ile karşılaştırılmıştır.

2. Uygulama

2.1 Çalışma alanı ve kapalılık oranının hesaplanması

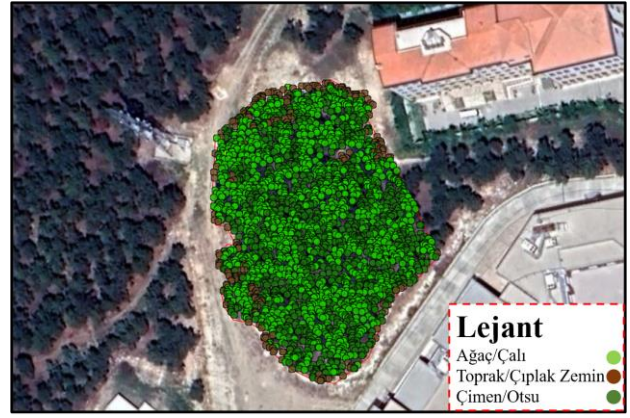
Ağaçlık alanlarda PPP-AR tekniğinin performansını değerlendirmek için 11 Ocak 2023 tarihinde (11. GPS günü) Amasya Üniversitesi Yeşilirmak Kampüsünde jeodezik ölçümler yapılmıştır. Ölçümler için üzeri açık ve ağaçlık alanda olmak üzere 2 jeodezik nokta tesis edilmiştir. Noktaların konumları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Noktaların konumları: a) ağaçlık alan, b) açık alan.

Çalışma kapsamında tesis edilen jeodezik noktalarda aynı zaman aralığında 2 adet çift frekanslı Sokkia GCX3 ile 6 saat süreyle eş zamanlı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan alıcıların özellikleri üretici firmanın web sitesinde bulunabilir (Int. Kyn. 1). Ölçüm sırasında uydu yükseklik açıları 10° olarak seçilmiştir.

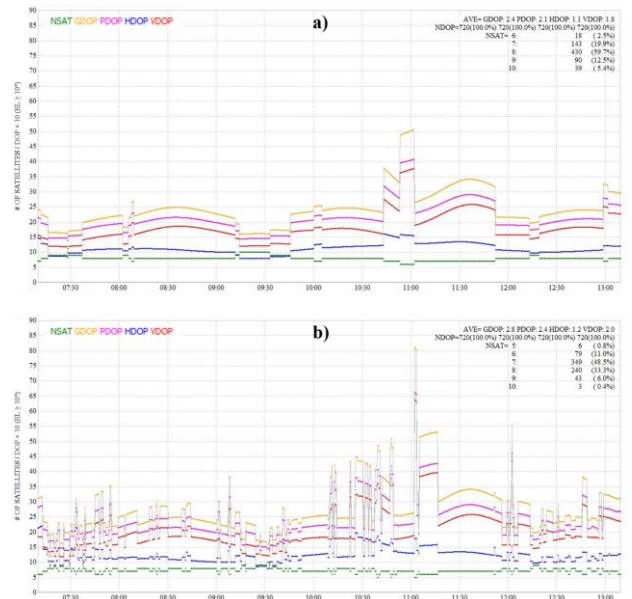
Çalışma alanının ne oranda kapalı olduğunu belirlemek için i-Tree Canopy uygulamasından yararlanılmıştır (Int. Kyn. 2). Uygulamaya <https://canopy.itreetools.org/> adresinden ulaşılabilir. Ücretsiz web tabanlı bir uygulama aracı olan uygulama, altlık olarak Google uydu görüntülerini kullanmaktadır. Analiz üç aşama takip edilerek gerçekleştirilmiştir. İlk olarak uygulama alanının sınırlarının tespiti yapılmış olup daha sonra arazi örtüsü tiplerine göre alan içerisinde rasgele noktalar seçilmiştir. Nokta sayısı arttığında tahmin düzeyinin de artacağı düşüncesiyle toplam 6.500 tane rastgele nokta otomatik olarak atanarak, arazi örtüsü tipleri belirlenmiştir (Şekil 2). Çalışma alanında tespit edilen arazi örtüsü tiplerinden Ağaç/Çalı sınıfının toplam çalışma bölgesi içerisinde kapladığı alan yaklaşık olarak %56 olarak belirlenmiştir.



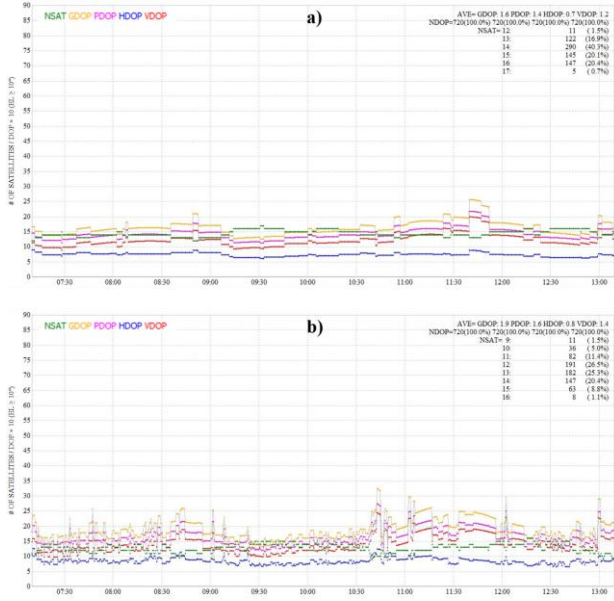
Şekil 2. Noktaların çalışma alanındaki dağılımlarının gösterimi (i-Tree Canopy uygulaması ile hazırlanmıştır).

2.2 Veri Toplama ve Değerlendirme

Dilution of Precision (DOP) değeri, GNSS konum doğruluğu üzerinde önemli bir göstergedir. Düşük uydu görünürlüğü, DOP değerinde bir artışa neden olur ve konum hesaplamasının hatalı olmasına neden olmaktadır. Ölçüm süresince toplam izlenen uydu sayısı (GPS+GLONASS) ve DOP değerlerinin zamana göre değişimleri RTKLIB yazılımı kullanılarak sadece GPS için Şekil 3'de, GPS+GLONASS için ise Şekil 4'te verilmiştir. Şekillerin sağ üst kısımlarında ise uydu sayısı ve DOP değerlerinin istatistiksel bilgileri bulunmaktadır. Burada açık alandaki nokta için, minimum, maksimum ve ortalama toplam izlenen uydu sayısı sırasıyla 12, 17 ve 14 iken, ağaçlık alandaki jeodezik nokta için, minimum, maksimum ve ortalama toplam izlenen uydu sayısı sırasıyla 9, 16 ve 13'dür.



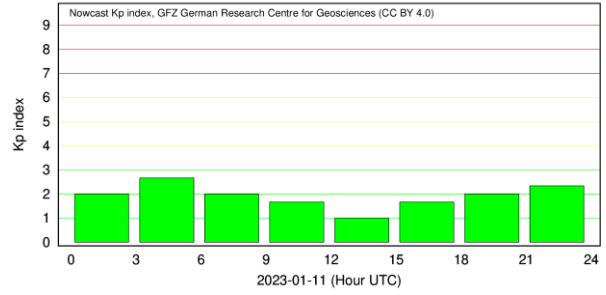
Şekil 3. Açık (a) ve ağaçlık (b) alanlardaki jeodezik noktalara ait ölçüm süresince izlenen uyduların sayısı ve DOP değerleri (sadece GPS).



Şekil 4. Açık (a) ve ağaçlık (b) alanlardaki jeodezik noktalara ait ölçüm süresince izlenen uyduların sayısı ve DOP değerleri (GPS+GLONASS).

Ayrıca, PDOP değeri açık alandaki nokta için, minimum, maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 1, 2 ve 1 iken, ağaçlık alandaki nokta için, minimum, maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 1, 3 ve 2'dir.

Gerçekleştirilen arazi çalışmaları sonunda veri seti hazırlama ve analizler öncesi ölçüm gününde herhangi bir jeomanyetik aktivitenin olup olmadığı <https://kp.gfz-potsdam.de/en/> web adresinden küresel ölçekte etkiyi ifade eden Kp indeks değeri incelenmiştir. İlgili kuruluşlar tarafından üretilen bu indeks, dünya üzerine yerleşik manyetik alan dedektörleri ile elde edilmektedir. Bu indeks en az 0, en çok 9 değerlerini alan bir indekstir. Yapılan çalışmalarda, bu indeks için sınır değer 4 olarak alınabileceği belirtilmiştir. 11 Ocak 2023 tarihli ölçüm gününe ait günlük Kp indeks değerleri Şekil 5'de gösterilmektedir. Buna göre; Kp indeksinin gün boyu genellikle 2 ve altında değerler aldığı görülmektedir. Böylece, jeomanyetik etkilerin yapılan gözlemler üzerinde bozucu bir etkiye neden olmayacağı söylenebilir.



Şekil 5. Ölçü gününe ait Kp indeks değerleri.

Daha sonra, tüm gözlemler '.tps' formatından RINEX formatına dönüştürülmüştür. Dönüşüm sırasında arazide toplanan uydu verileri ile sadece GPS ve GPS+GLONASS olacak şekilde 2 farklı veri seti hazırlanmıştır. Farklı örnekleme aralığının (30, 60 ve 120 sn) ağaçlık alanlardaki PPP-AR çözümlerine etkisini araştırmanın yanında gözlem sürelerinin de sonuçlar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, RINEX gözlem dosyaları 1-, 2-, 4- ve 6- saatlik zaman dilimlerine ayrılmıştır. Bu çalışmada, PPP-AR tekniği ile koordinatları hesaplamak için popüler web-tabanlı online veri değerlendirme servislerinden CSRS-PPP seçilmiştir. Natural Resources Canada (NRCan) kuruluşu tarafından 2000'li yılların başında hizmete alınan web-tabanlı GNSS (GPS+GLONASS) değerlendirme servisi olan CSRS-PPP ultra hızlı/hızlı/hassas uydu yörünge efemeris ve saat bilgilerini kullanarak tek bir noktanın konumunu PPP-AR tekniği ile belirleyebilmektedir. Ücretsiz olan servise giriş yapabilmek için üye olunması gerekmektedir. Servise üye olduktan sonra gözlem dosyası (RINEX formatında) kullanıcı tarafından sisteme yüklenir. Sistem, değerlendirmeyi yoğunluğa göre dakikalar içerisinde yaparak kullanıcıya iletebilmektedir. Statik veya kinematik yöntemle çözümler yapabilen servis, PPP-AR çözümünden türetilen koordinatları, grafik analizleri ve raporları içeren birkaç dosyayı, diğer başka bilgileri de içeren sonuç klasörünü erişimi sağlayan bir link ile birlikte e-posta ile kullanıcılara gönderir. Servis, 2020 Ekim ayından itibaren elde edilen geleneksel PPP çözümü yerine, PPP-AR tekniği ile çözüm yapmaktadır. CSRS-PPP, 30 saniye ve daha yüksek gözlem aralığına sahip verileri çözebilmektedir. Çözümde kullanılan bazı parametreler Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. CSRS-PPP Yazılımında Kullanılan Temel Bazı Parametreler

Parametre	Tanımı
Yazılım ve sürümü	SPARK v.3.54.2
Proses modu	Statik
Çözüm stratejisi	PPP-AR
Uydu verisi	GPS/GPS+GLONASS
Troposferik model	Davis (GPT); Hopf (GPT); GMF
Gözlemler	Faz ve kod
Uydu yörünge ve saat bilgisi	NRCan Final
Referans çerçevesi	ITRF20

PPP-AR sonuçlarının doğruluğunu test etmek amacıyla jeodezik noktaların kesin olarak kabul edilen koordinatları GPS+GLONASS uydu verileri kullanılarak Topcon Magnet Tools yazılımı ile elde edilmiştir. Rölatif konum değerlendirme aşamasında, Amasya'da Tusaga-Aktif sisteminde bulunan AMA1 istasyonu sabit olarak alınmış olup IGS tarafından sunulan hassas yörünge/saat ürünleri kullanılmıştır. Örnekleme aralığı 30 saniye olan ölçüm gününe ait 24 saatlik GNSS verileri sistemin ilgili web sayfasından indirilmiştir (Int. Kyn. 3). Veri değerlendirme işleminden sonra gerekli datum ve epok dönüşümleri yapılarak jeodezik noktaların kesin (referans) koordinatları ITRF2020 datumu ölçü epeğinde elde edilmiştir (Int. Kyn. 4).

3. Bulgular

Farklı GNSS gözlem setleri CSRS-PPP yazılımıyla değerlendirilmiş olup epok epok coğrafi koordinatlar elde edilmiştir. Rölatif çözümler ile karşılaştırma yapabilmek için coğrafi koordinat sisteminden Kartezyen koordinat sistemine (X, Y, Z) dönüşüm yapılmıştır. Daha sonra Topcon Magnet Tools yazılımı ile elde edilen koordinatlar referans olarak kullanılarak tüm koordinat değerleri Kartezyen koordinat sisteminden, toposentrik kartezyen sistemine (Kuzey, Doğu ve Yukarı) epok epok dönüştürülmüştür. Rölatif çözümler ile CSRS-PPP çözümler arasındaki koordinat fark değerleri kullanılarak her iki noktaya ait konum doğrulukları Karesel Ortalama Hata (KOH) değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Hesaplama yapmadan önce koordinat serilerindeki uyumsuz ölçüler, robust yöntemlerden biri olan Medyan yöntemi kullanılarak değerlendirmelerden çıkarılmıştır (Hekimoğlu 2005, Rousseeuw *et al.* 2011, Sezer vd. 2021). Uyumsuz ölçü analizi sonucu hesaplanan

KOH değer bilgileri açık alandaki nokta için Çizelge 2'de, ağaçlık alandaki nokta için ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. Açık alanda bulunan jeodezik noktaya ait KOH değerleri (cm)

Ö.S.	Sadece GPS			GPS+GLONASS			Ö.A. (sn)
	Kuzey	Doğu	Yukarı	Kuzey	Doğu	Yukarı	
1 sa	5.8	13.4	13.7	1.0	1.6	1.5	30
	6.0	14.4	13.6	1.4	4.8	3.3	60
	6.4	14.1	13.6	1.5	4.3	2.0	120
2 sa	3.9	10.3	6.0	0.8	1.9	1.6	30
	3.7	10.2	5.9	0.7	2.0	0.6	60
	3.6	9.7	5.9	0.6	2.2	0.7	120
4 sa	1.2	1.8	1.9	0.9	1.4	1.2	30
	1.2	1.7	1.7	0.8	0.9	0.8	60
	1.1	1.6	1.6	0.8	0.8	1.0	120
6 sa	1.1	1.5	1.6	1.0	1.3	1.4	30
	1.0	1.5	1.6	0.8	0.7	0.9	60
	0.8	1.3	1.3	0.8	0.8	1.0	120

Ö.S.: Ölçü Süresi, Ö.A.: Örnekleme Aralığı, sa: Saat

Çizelge 3. Ağaçlık alanda bulunan jeodezik noktaya ait KOH değerleri (cm)

Ö.S.	Sadece GPS			GPS+GLONASS			Ö.A. (sn)
	Kuzey	Doğu	Yukarı	Kuzey	Doğu	Yukarı	
1 sa	5.1	24.6	12.4	0.9	5.1	14.0	30
	5.7	28.6	19.9	3.2	4.6	14.0	60
	6.7	30.9	21.0	2.9	8.5	7.8	120
2 sa	3.2	9.7	13.3	1.2	3.3	9.7	30
	3.3	12.0	15.1	0.8	4.3	10.6	60
	2.6	8.9	12.6	2.1	5.8	9.1	120
4 sa	4.9	9.0	8.5	0.9	1.6	7.7	30
	1.1	2.8	7.1	0.5	2.5	8.9	60
	1.3	2.6	6.3	0.5	1.1	5.4	120
6 sa	0.8	1.3	5.3	0.7	1.0	6.4	30
	1.3	0.8	4.4	0.4	0.7	6.5	60
	1.6	0.9	3.1	0.6	1.0	4.0	120

Ö.S.: Ölçü Süresi, Ö.A.: Örnekleme Aralığı, sa: Saat

Çizelgelerdeki KOH değerleri incelendiğinde, daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi gözlem süresinin artmasıyla konum doğruluğunun hem açık alanda hem de ağaçlık alanda arttığı görülmektedir. Bileşen bazında değerlendirildiğinde açık alanda KOH değeri tüm bileşenlerde 4 saatlik ölçüm sonucunda 2 cm'nin altına inebilmiş, ağaçlık alanda ise bu değere sadece kuzey ve doğu bileşenlerde 6 saatlik ölçüm sonucunda ulaşabilmiştir. Ağaçlık alanda yukarı bileşeninde en iyi KOH değeri yaklaşık 3-4 cm olarak elde edilebilmiştir. GLONASS sisteminin neredeyse tüm bileşenlerde, açık ya da ağaçlık alan fark etmeksizin, GPS sistemine katkı sağladığı görülmektedir. Katkı oranı açık alanda 2 saatlik verilere kadar net bir şekilde görülebilirken, ağaçlık alanda ise 4 saatlik ölçüm süresinden sonra değişim gözlemlenmemiştir. Farklı kayıt aralıkları

bileşen bazında incelendiğinde; konum doğrulukları açık ve ağaçlık alanlarda birbirlerine oldukça yakın performans göstermiştir.

Çizelge 4 ve Çizelge 5 sırasıyla, açık ve ağaçlık alanlar için elde edilen yatay konum doğruluklarını göstermektedir. Ayrıca, Şekil 6 ve 7’de sırasıyla yatay ve yukarı bileşeni konum doğrulukları verilmiştir. Kuzey ve doğu bileşenler için KOH değerleri ile yatay konum doğruluğu (YKD) eşitlik (1) ile hesaplanır.

$$YKD = \sqrt{KOH_{Kuzey}^2 + KOH_{Doğu}^2} \quad (1)$$

Çizelge 4. Açık alan için elde edilen yatay konum doğruluğu sonuçları (cm)

Sadece GPS				GPS+GLONASS				Ö.A. (sn)
1 sa	2 sa	4 sa	6 sa	1 sa	2 sa	4 sa	6 sa	
14.6	11.0	2.2	1.9	1.9	2.1	1.7	1.6	30
15.6	10.9	2.1	1.8	5.0	2.1	1.2	1.1	60
15.5	10.3	1.9	1.5	4.6	2.3	1.1	1.1	120

Ö.A.: Örnekleme Aralığı, sa: Saat

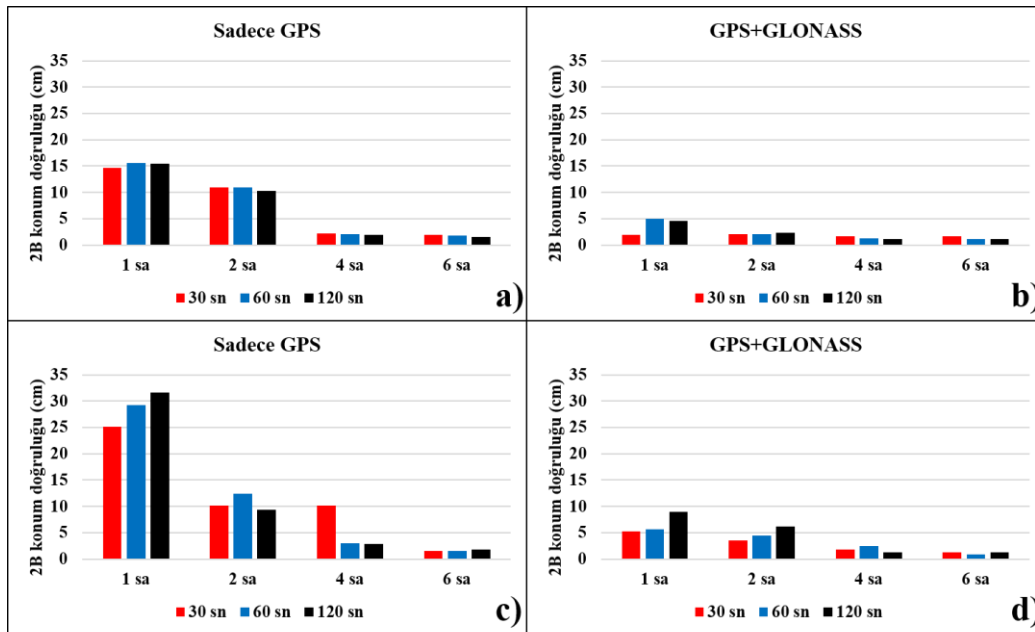
Çizelge 5. Ağaçlık alan için elde edilen yatay konum doğruluğu sonuçları (cm)

Sadece GPS				GPS+GLONASS				Ö.A. (sn)
1 sa	2 sa	4 sa	6 sa	1 sa	2 sa	4 sa	6 sa	
25.1	10.2	10.2	1.5	5.2	3.5	1.8	1.2	30
29.2	12.4	3.0	1.5	5.6	4.4	2.5	0.8	60
31.6	9.3	2.9	1.8	9.0	6.2	1.2	1.2	120

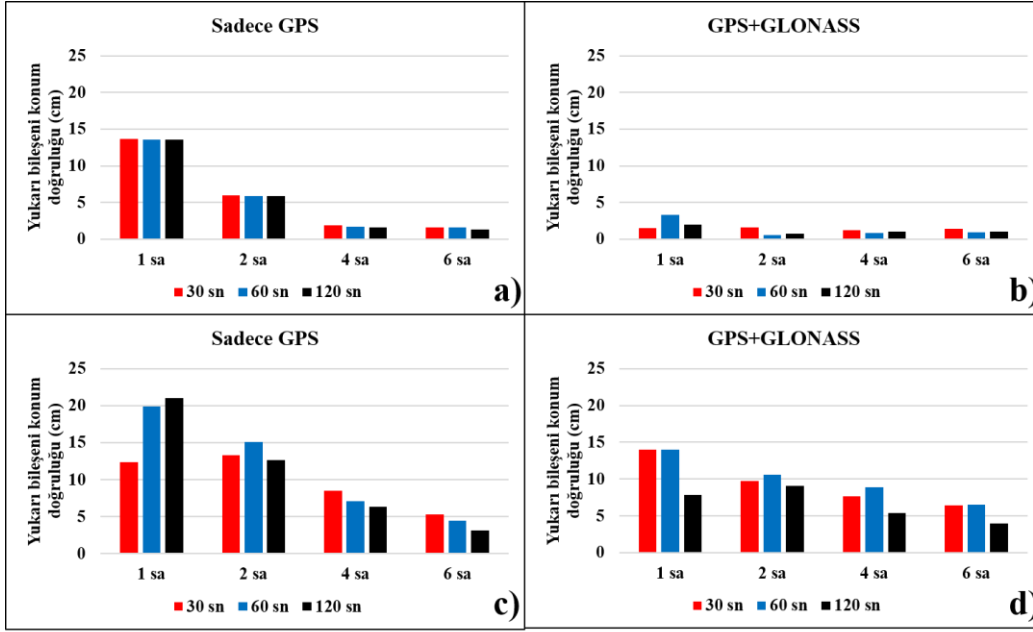
Ö.A.: Örnekleme Aralığı, sa: Saat

Açık alan için yapılan incelemede kayıt aralığının sadece GPS ve GPS+GLONASS çözüm sonuçlarından hesaplanan yatay ve yukarı bileşen konum doğrulukları üzerinde önemli bir fark oluşturmadığı görülmüştür. Ağaçlık alan için ise sadece GPS verileri ile yapılan değerlendirme sonuçlarında kayıt aralığının artması yatay konum doğruluğunu 1 saatlik ölçü süresinde azaltabildiğini ancak 1 saat ve üzeri değerlendirmelerde anlamlı bir değişim olmadığı belirlenmiştir. GPS+GLONASS çözümü ise kayıt aralığının yatay konum doğruluğu üzerinde 4 saat ve üzeri veri çözümünden sonra büyük oranda bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Ağaçlık alanda sadece GPS verileri kullanıldığında kayıt aralığının artması yukarı bileşeni konum doğruluğunu 2 saat ve üzeri ölçü süresinde iyileştirebildiği, GPS+GLONASS verilerinin kullanılması durumunda ise tüm ölçü sürelerinde kayıt aralığının artmasının konum doğruluğunu iyileştirebileceği gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Yatay konum doğruluğu: a) Açık alan (sadece GPS) b) Açık alan (GPS+GLONASS) c) Ağaçlık alan (sadece GPS) d) Ağaçlık alan (GPS+GLONASS).



Şekil 7. Yukarı bileşeni konum doğruluğu: a) Açık alan (sadece GPS) b) Açık alan (GPS+GLONASS) c) Ağaçlık alan (sadece GPS) d) Ağaçlık alan (GPS+GLONASS).

4. Sonuç ve Öneriler

Orman tipinin ve orman örtüsü yoğunluğu, GNSS sinyallerini engelleyebilir veya ağaç gövdesi/yaprak gibi yüzeylerden yansıyan sinyaller konumlandırma doğruluğunu olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, son zamanlarda sağladığı doğruluk ve kullanım kolaylığı bakımından her geçen gün kullanımı tüm dünyada artan statik PPP-AR yönteminin ağaçlık alanlardaki performansı araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı ölçü sürelerinin konum doğruluklarını incelemek amacıyla ilk olarak iki farklı jeodezik noktada 6 saatlik ölçü süresi ile toplanan GNSS verileri, öncelikle 1, 2, 4 ve 6 saat olmak üzere yeni veri setlerine bölünmüştür. Farklı GNSS uydu sistemlerinin (sadece GPS ve GPS+GLONASS) ve örnekleme aralığının (30, 60 ve 120 sn) kullanılmasının PPP-AR konum doğruluğunu nasıl etkilediğini de araştırmak üzere toplamda 48 veri seti değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları;

- Optimum ölçüm koşullarına sahip açık ya da kapalılık oranı yaklaşık %56 olan ağaçlık alanda ölçüm süresi arttıkça KOH değerleri azalarak daha hassas yatay ve düşey konum bilgileri elde edilmiştir. Ağaçlık bir alanda dm ve altı düzeyde yatay konum doğruluğu elde edilebilmesi için, ölçü süresinin sadece

GPS verileri kullanılması durumunda en az 2 saat, GPS+GLONASS verileri kullanıldığında ise en az 1 saat olması gerektiği, yukarı bileşende ise GPS verileri kullanılması durumunda en az 4 saat, GPS+GLONASS verileri kullanıldığında ise en az 1 saat olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

- GPS ve GPS+GLONASS çözümleri incelendiğinde tüm ölçü sürelerinde açık ve ağaçlık alanlarda GPS+GLONASS çözümlerinin yatay konum doğruluğunu belirgin şekilde iyileştirdiği ancak yüksek düşey konum doğruluğunu elde etmek için kısa süreli gözlemlerin yeterli olmayabileceği görülmüştür.
- En az dm düzeyinde doğruluk istenmesi durumunda verilerin (sadece GPS ve GPS+GLONASS fark etmeksizin) yüksek kayıt aralığı ile toplanmasına gerek olmadığı görülmektedir. Yani, 30 ve 60 sn'lik örnekleme aralığına gerek kalmadan, arazide 120 sn'lik örnekleme aralığı ile 1 saatlik ölçü yapılması yeterli olabilir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak yorumlandığında günümüzde pek çok farklı uygulamalarda kullanılan PPP tekniği, ormanlık/ağaçlık alanlarda rölatif

yönteme alternatif olabilecek doğrulukla konum belirleme imkânı sağlayabildiğini göstermiştir. Kamu kurumları, özel mühendislik firmaları ya da araştırmacılar bu tarz alanlarda çift frekanslı tek bir GNSS alıcısı ve PPP-AR çözüm algoritmasını kullanan CSRS-PPP online değerlendirme servisini kullanarak ulaşabilirler.

Teşekkür

Bu çalışmada veri değerlendirmede kullanılan CSRS-PPP için Natural Resources Canada (NRCan), Geodetic Survey Division'a, yazılım desteği için Paksoy Teknik Hizmetler firmasına ve donanım desteği için Amasya Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Alkan, R.M., Erol, S. ve Mutlu, B., 2022. IGS-RTS ürünleri kullanılarak gerçek-zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) tekniğinin performans analizi: Antarktika örneği. *Yerbilimleri*, **43**, 76-95.

Aykut, N.O. ve Akpınar, B., 2021. Hassas nokta konumlama yönteminin hidrografik çalışmalardaki kinematik çözüm performansının araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **21**, 837-845.

Bahadır, B. and Nohutcu, M., 2021. Impact of observation sampling rate on Multi-GNSS static PPP performance. *Survey Review*, **53**, 206-215.

Erol, S., Alkan, R.M., Ozulu, İ.M. and İlçi, V., 2021. Impact of different sampling rates on precise point positioning performance using online processing service. *Geo-spatial Information Science*, **24**, 302-312.

Gunaydin, O., Inceyol, Y., Cetin, H. and Ulukavak, M., 2023. Fault displacement analysis using a multidisciplinary approach on the Gerede Segment of the North Anatolian Fault Zone. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **164**, 107519.

Guo, J., Li, X., Li, Z., Hu, L., Yang, G., Zhao, C., Fairbairn, D., Watson, D. and Ge, M., 2018. Multi-GNSS precise point positioning for precision agriculture. *Precision Agriculture*, **19**, 895-911.

Hekimoğlu, Ş., 2005. Do robust methods identify outliers more reliably than conventional tests for outliers?. *Zeitschrift fuer Vermessungswesen*, **3**, 174-180.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J., 2001. *Global positioning system: theory and practice*, Springer.

İlçi, V. ve Ozulu, İ.M., 2016. PPP yönteminin arkeolojik amaçlı ölçme uygulamalarında kullanılabilirliği: Şapınuva kazı alanı örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **8**, 1-9.

Leick A. 2003. *GPS satellite surveying*, John Wiley and Sons.

Li, P., Jiang, X., Zhang, X., Ge, M. and Schuh, H., 2020. GPS+ Galileo+ BeiDou precise point positioning with triple-frequency ambiguity resolution. *GPS Solutions*, **24**, 1-13.

Li, X., Li, X., Yuan, Y., Zhang, K., Zhang, X. and Wickert, J., 2018. Multi-GNSS phase delay estimation and PPP ambiguity resolution: GPS, BDS, GLONASS, Galileo. *Journal of Geodesy*, **92**, 579-608.

Ocalan, T., 2016. Accuracy assessment of GPS precise point positioning (PPP) technique using different web-based online services in a forest environment. *Şumarski List*, **140**, 357-367.

Ocalan, T., Erdogan, B., Tunalioglu, N. and Durdag, U.M., 2016. Accuracy investigation of PPP method versus relative positioning using different satellite ephemerides products near/under forest environment. *Earth Sciences Research Journal*, **20**, D1-D9.

Ogutcu, S., Shakor, A. and Farhan, H., 2022. Investigating the effect of observation interval on GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou static PPP. *International Journal of Engineering and Geosciences*, **7**, 294-301.

Pirti, A., 2021. Investigation of GPS positioning accuracy near a deciduous forest area. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry Wood, Industry and Agricultural Food Engineering*, **14**, 43-50.

Pirtı, A. Ve Kurtulgu, Z., 2021. Sürekli gözlem yapan referans istasyonları kullanılarak yapılaşmış ve ağaçlık bölgelerdeki konum belirlemenin doğruluk analizi. *Geomatik*, **6**, 1-14.

Romero-Andrade, R., Trejo-Soto, M.E., Vázquez-Ontiveros, J.R., Hernández-Andrade, D. and

- Cabanillas-Zavala, J.L., 2021. Sampling rate impact on precise point positioning with a low-cost GNSS receiver. *Applied Sciences*, **11**, 7669.
- Rousseeuw, P.J., Hampel, F.R., Ronchetti, E.M. and Stahel, W.A., 2011. Robust statistics: the approach based on influence functions. John Wiley and Sons.
- Sezer, G., Doğan, A.H. ve Erdoğan, B., 2021. Çoklu-GNSS çözümlerinin performansının internet tabanlı Trimble RTX servisi ile incelenmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, **8**, 30-40.
- Tiryakioglu, I., Yigit, C.O., Yavasoglu, H., Saka, M.H. and Alkan, R.M., 2017. The determination of interseismic, coseismic and postseismic deformations caused by the Gökçeada-Samothraki earthquake (2014, Mw: 6.9) based on GNSS data. *Journal of African Earth Sciences*, **133**, 86-94.
- Uçarlı, A.C., Demir, F., Erol, S. ve Alkan, R.M., 2021. Farklı GNSS uydu sistemlerinin hassas nokta konumlama (PPP) tekniğinin performansına etkisinin incelenmesi. *Geomatik*, **6**, 247-258.
- Yigit, C.O. and Gurlek, E., 2017. Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **8**, 893-904.
- Yigit, C.O., El-Mowafy, A., Bezcioglu, M. and Dindar, A.A., 2020. Investigating the effects of ultra-rapid, rapid vs. final precise orbit and clock products on high-rate GNSS-PPP for capturing dynamic displacements. *Structural Engineering and Mechanics*, **73**, 427-436.
- 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: Solid Earth*, **102**, 5005- 5017.

İnternet kaynakları

1. https://eu.sokkia.com/sites/default/files/product/downloads/sokkia_gcx3_brochure_sok_1041_reva_sm.pdf, (23.03.2023)
2. <https://canopy.itreetools.org/>, (06.02.2023)
3. <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/>, (06.02.2023)
4. https://itrf.ign.fr/docs/solutions/itrf2020/Transfo-ITRF2020_TRFs.txt, (08.02.2023)