

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 015502 (138-146)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 015502 (138-146)

DOI: 10.35414/akufemubid.827658

Araştırma Makalesi / Research Article

Real-Time eXtended (RTX) Konum Doğruluğuna Etki Eden Bazı Faktörlerin İstatistiksel Analizi

Yasemin ŞİŞMAN¹, Veli İLÇİ^{1*}¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Samsun.e-posta: ysisman@omu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6600-0623>Sorumlu yazar e-posta: veli.ilci@omu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9485-874X>

Geliş Tarihi: 18.11.2020

Kabul Tarihi: 11.02.2021

Öz

Uydu teknikleri ile konum belirleme günümüzde en çok kullanılan konum belirleme tekniği olmuştur. Uydu konumlama doğası gereği birçok parametreden etkilenir. Bu etkilerin bir kısmı elimine edilebilirken bir kısmının da modellenmesi ve sonuç üzerindeki etkilerinin araştırılması gerekir. Deney tasarımı birçok farklı parametreden etkilenen mühendislik çalışmalarında önemli avantajlar getirmektedir. Bu çalışma uydularla konum belirlemede etkili olduğu bilinen 3 parametrenin 2 farklı seviyelerdeki çözümünün yatay ve dikey konum hatasına etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla ölçü sezonu, uydu sayısı ve konum duyarlık kaybı (PDOP) bağımsız parametreler olarak seçilmiştir. Uygulama verisi olarak bahar ve yaz 2018 dönemlerinde Samsun'dan Kırıkkale'ye uzanan bölgede yirmişer kilometre aralıklarla tesis edilen 14 noktada gerçekleştirilen Uydularla Global Navigasyon Sistemleri (GNSS) gözlemleri kullanılmıştır. Bu gözlemlerde Trimble firması tarafından kullanıma sunulan CenterPoint Real-Time eXtended (RTX) teknolojisinin sağladığı veriler toplanmıştır. Bu verilerden tam faktöriyel deney tasarımı için elde edilen deneyler analiz edilmiş ve parametrelerin RTX konumlama üzerindeki ana ve etkileşimli etkileri araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda, seçilen faktörlerden tümünün ana etkilerinin %95 güven aralığında anlamlı olduğu tespit edilmiş, ayrıca etkileşimli etkilerin de sonucu etkileyecek değerlere sahip olduğu ve dikkate alınmaları gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler

Faktöriyel Dizayn;
GNSS; GNSS Hata
Kaynakları; Regresyon
Analizi; Konum Hatası;
Trimble CenterPoint
RTX.

Statistical Analysis of Some Factors Affecting on the Real-Time eXtended (RTX) Positioning Accuracy

Abstract

Nowadays, Global Navigation Satellite Systems (GNSS) positioning has become the most used positioning technique. GNSS positioning is inherently affected by many parameters. While some of these effects can be eliminated, some of them should be modeled, and their impact on the result should be investigated. The experimental design brings significant advantages in engineering studies affected by many different parameters. This study is aimed to examine the effect of the GNSS-based solution of 3 parameters at 2 different levels on horizontal and vertical positioning errors. For this purpose, measurement season, the number of satellites, and position dilution of precision (PDOP) were selected as the independent parameters. GNSS observations carried out at 14 points established at 20 km intervals in the region extending from Samsun to Kırıkkale in spring and summer 2018 periods were used as test data. In these observations, data provided by CenterPoint Real-Time eXtended (RTX) technology made available by Trimble company were collected. Experiments obtained from these data for full factorial experiment design were analyzed, and the primary and interactive effects of parameters on RTX positioning were investigated. As a result of this research, it was determined that the main effects of all the selected factors were significant at a 95% confidence interval, and it was concluded that the interactive effects also had values that would affect the result and should be taken into account.

Keywords

Factorial Design; GNSS;
GNSS Error Sources;
Regression Analysis;
Positioning Error;
Trimble CenterPoint
RTX.

1. Giriş

Uydu-tabanlı konum belirleme sistemleri günümüzde en çok kullanılan konum belirleme sistemi halini almıştır. Ancak bu sistemler ile elde edilecek konum doğruluklarını etkileyen uydudan, alıcıdan veya çevresel faktörlerden kaynaklı pek çok hata kaynağı bulunmaktadır. Küresel konum belirleme sistemleri her yerde ve her zaman konum verisi sağlama ilkesiyle yola çıkmalarına karşın bazı koşullarda doğrudan erişim sağlanabilen uydu sayısının yetersizliğinden dolayı konum bilgisi ya üretilmemekte ya da oldukça hatalı konum bilgisi elde edilebilmektedir. Bu duruma çözüm sağlanabilmesi amacıyla çoklu uydu sistemlerinin kullanılması ve böylece daha fazla sayıda uydu sayısı ve daha uygun uydu geometrisi kullanılarak iyileştirilmiş konum bilgisi elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda temelde Global Konum Belirleme (GPS) sisteminin yanı sıra GLONASS, Beidou ve Galileo uydu sistemleri denenerek kullanılmakta ve konum bilgisi iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Böylece duyarlılık kaybı (dilution of precision - DOP) olarak adlandırılan uydu geometrisinden kaynaklı hata miktarının da azaltılması hedeflenmektedir. Uydu gözlemleri yapılırken uyduların geometrik dağılımının uygun olması ve uydu sayısının yeterli olması sonucunda düşük duyarlılık kaybı verisi ve dolayısıyla yüksek konum doğruluğu elde edilmektedir. DOP verileri yatay duyarlılık kaybı (HDOP), düşey duyarlılık kaybı (VDOP), zamana bağlı duyarlılık kaybı (TDOP), konuma bağlı duyarlılık kaybı (PDOP), ve geometrik duyarlılık kaybı (GDOP) olarak sınıflandırılmaktadır.

Atmosferik hatalar GNSS konum doğruluğunu etkileyen diğer önemli hata kaynaklarından biridir. Bu hatalar GNSS sinyallerinin troposfer ve iyonosfer tabakalarından geçerken etkilenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık, su buharı, basınç ve nem gibi parametrelerin mevsimsel olarak farklılık göstermeleri sonucunda GNSS doğrulukları mevsimsel değişiklik gösterebilmektedirler. Mevsimsel değişkenlerin GNSS konum doğrulukları üzerine etkisi sınırlı sayıda çalışmada ele alınmıştır

(Dogan et al. 2014, Saracoglu and Sanli 2020, Zheng et al. 2018).

Günümüzde yoğun şekilde kullanılan klasik Gerçek zamanlı Kinematik (RTK) ve ağ-RTK gibi GNSS ölçme yöntemlerinin mevcut kısıtlamalarının önüne geçilebilmesi amacıyla uydu tabanlı destek sistemleri yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Ülke yönetimleri tarafından kurulan destek sistemlerinin yanı sıra OmniSTAR (Int Kyn. 1), Globalstar (Int Kyn. 2) ve TerraStar (Int Kyn. 3) gibi ticari amaçlı destek sistemleri kullanıcılarına gerçek zamanlı konum belirleme hizmeti sağlamaktadırlar (Kahveci 2017). Benzer bir yapıyla Trimble firması tarafından 2011 yılında Real-Time-eXtended (RTX) sistemi geliştirilmiş ve 2012 yılında kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu servis CenterPoint RTX, FieldPoint RTX, RangePoint RTX ve ViewPoint RTX olmak üzere 4 farklı seviyede kullanıcılara düzeltme hizmeti sunmaktadır (Int Kyn. 4). Bu hizmetlerden en iyi performansa sahip olan CenterPoint RTX hizmeti kullanıcılarına tek bir GNSS alıcısıyla gerçek-zamanlı cm-seviyesinde konum doğruluğu sağlamaktadır (Alkan 2019). CenterPoint RTX çalışma prensibinin ilk aşaması GPS, GLONASS, Galileo, BEIDOU ve Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) uydularının yaklaşık 120 yer istasyonu kullanılarak izlenmesi ve toplanan verilerin internet üzerinden operasyon merkezine gönderilmesinden oluşmaktadır. Operasyon merkezinde hassas uydu yörünge bilgileri, uydu saat hataları, kod ve faz hataları, iyonosfer ve troposfer hataları yenilikçi algoritmalar kullanılarak modellenmektedir (Brandl et al. 2014, Zhang et al. 2013). Bu hesaplamalar sonucunda üretilen düzeltme verisi Compact Measurement Record (CMRx) mesaj formatına dönüştürülür ve kullanıcılara internet yoluyla veya yer sabit uydular aracılığıyla olmak üzere iki farklı şekilde yollanabilir. Düzeltme verisinin internet yoluyla yayınlanmasında Networked Transport of Radio Technical Commission for Marine via Internet Protocole (NTRIP) kullanılır ve gezen alıcı gerçek zamanlı olarak konumunu belirler (Glocker et al. 2012). İkinci yöntemde ise düzeltme verilerinin yer istasyonlarından Sky-terra uydulara ve uydulardan da L-band üzerinden kullanıcılara iletimi söz konusudur (Krzyżek 2013). Bu iletim şeklinin en

önemli avantajı birinci yöntemde ve ağ-RTK yöntemlerinde ihtiyaç duyulan internet bağlantısına veya klasik-RTK yönteminde ihtiyaç duyulan radyo iletişimine gereksinim duyulmamasıdır (İlçi 2019). Önceleri 4 cm yatay doğruluk sağlayan servis günümüzde 2 cm yatay, 5 cm düşey konum doğruluğu (RMS) sağlayabilmektedir (Alkan *et al.* 2020a). Benzer şekilde International Terrestrial Reference Frame (ITRF) 2008 datum ve 2005.0 anına göre koordinat verisi sağlayan servis günümüzde ITRF2014 datum ve ölçme anı epogunda veri üretmektedir. Bu veriyi MORVEL56 Plaka Hareket Modelini (DeMets *et al.* 2010) kullanarak ITRF2014 datum ve 2005.0 epoguna dönüştürmektedir (Talbot *et al.* 2016). RTX teknolojisinde cm-seviyesinde doğruluk sağlanabilmesi için belirsizlik çözümü gerçekleştirilmeli ve bunun için de bir yakınsama süresi gerekmektedir. Bu süre Kuzey Amerika ve Avrupa'daki bazı bölgeler için birdakikadan daha kısa iken diğer bölgelerde 15 dakikadan kısa olmaktadır (Nie *et al.* 2020). Yakınsama süresi ve doğruluk, uydu sayısı ve geometrisine, verilerin sağlıklı alınabilmesine, doğrudan görüş durumuna, kullanıcı konumuna vb. değişiklik göstermektedir (Alkan *et al.* 2020b). Düzeltme verisinin kesilmesi durumunda RTX sistemi 200 saniyeye kadar destek vererek sürekli konum bilgisi elde edilebilmesini sağlamaktadır. Ancak sınırlı sayıda GNSS alıcısının RTX servisinin düzeltme verisi alabilme kapasitesine sahip olması ve servisin abonelik gerektirmesi sistem kullanımını sınırlayıcı en önemli etkenlerdir (Richter 2019). Trimble CenterPoint RTX servisinin sahip olduğu avantajlar sayesinde sistemin kullanımı başta hassas tarım, haritacılık faaliyetleri ve açık maden işletmeciliği olmak üzere her geçen gün artmaktadır.

Uydu jeodezisi teknikleri kullanılarak elde edilen konum bilgisini etkileyen pek çok hata bulunmaktadır. Bunlar temelde uydu-alıcı mesafesine etkileyen hatalar ve uydu geometrisi kaynaklı hatalar olarak sınıflandırılmaktadırlar (Kahveci ve Yıldız 2018). Hata parametrelerinin sonuçta elde edilen konum bilgisine etkilerinin araştırılması bilimsel çalışmalarda sıklıkla yapılan bir uygulamadır. Bu etkileri belirlemek amaçlı yapılan çalışmalardan biri de belli sayıda deney tasarlamak ve bu deneyin

sonuçlarını analiz etmektir. Deney tasarımında hata kaynağı olan parametreler ve parametrelerin seviyeleri; tekrar sayıları belirlenir. Ayrıca yapılan deneylerin sonucunu analiz etmek için sonuç değişkeni belirlenir. Deney tasarımında tanımlanması gereken bazı kavramlar vardır. Bu kavramlar;

- Sonuç değişkeni; seçilen problemin doğruluğunu ve duyarlılığını belirlemede kullanılan bağımlı değişken (y),
- Parametre; sonuç değişkeni üzerinde etkisi araştırılan bağımsız değişken (x),
- Seviye; parametrelerin iyi ya da kötü sonuç vereceği düşünülen farklı değerler,
- Ana etki; parametrenin tek başına sonuç değişkeni üzerindeki etkisi,
- Etkileşimli etki; parametrelerin ikisi ya da daha fazlasının sonuç değişkeni üzerindeki etkileri, olarak tanımlanabilir.

Deney tasarımı ile problem için seçilen parametrelerin (x) sonuç değişkeni (y) üzerindeki etkileri için doğrusal ya da doğrusal olmayan bir regresyon modeli elde edilir. Bu model;

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum \sum_{i < j} a_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

eşitliğiyle tanımlanabilir. Burada; a_0 regresyon eşitliği katsayısını, a_i , $a_{i,j}$ ise ana ve etkileşimli etki katsayılarını, ε regresyon eşitliği hatasını göstermektedir (Sisman and Bektas 2012, Sisman and Sisman 2017). Deney tasarımı ile parametre seviyelerindeki değişimin sonuçlar üzerindeki etkileri istatistiksel ve grafiksel olarak kolaylıkla yorumlanabilir. Ayrıca uygulamanın modelini elde etmek için deney tasarımı ile yapılan çalışmalarda gerekli deney sayısı azalacağından harcanan zaman, para ve işgücü de azalacaktır (Çoruh *et al.* 2012, Seltman 2018).

Deney tasarımı birçok bilim dalında kullanılan oldukça yaygın bir konudur. Harita mühendisliği bilim dalında deney tasarımı çalışmaları oldukça sınırlıdır (Sisman 2014). Birçok veri grubunun ölçülüp değerlendirildiği bilim dalı olan harita mühendisliğinde deney tasarımı çalışmalarının sayısının artırılması gerekmektedir. Farklı yapıda

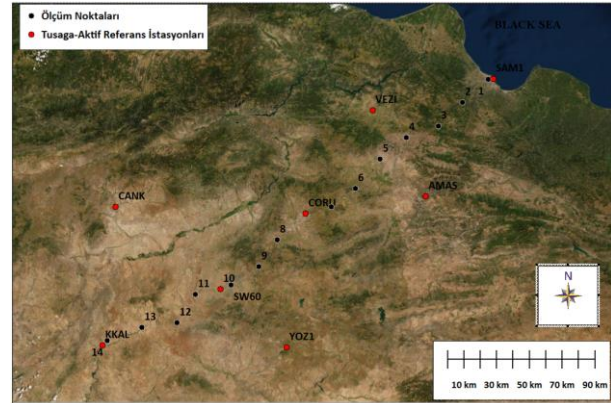
tanımlanmış ve uygulanmış birkaç deney tasarımı modeli vardır (Gündoğdu *et al.* 2016). Tam faktöriyel deney tasarımı (TFDT) oldukça geniş uygulama alanı olan deney tasarımı modelidir (George *et al.* 2005, Jeff Wu and Hamada 2009, Navidi 2008). 2^P şeklinde tanımlanan TFDT; tasarlanmış deneyler kullanarak p adet parametrenin ikili seviyelerinin sonuç değişkeni üzerindeki etkilerini araştıran bir modeldir (Box *et al.* 2005, İsmail *et al.* 2008).

Uydu konumlamasında parametrelerin sonuç değişkenleri üzerindeki etkilerini araştıran birkaç çalışma olmasına rağmen deney tasarımı yaklaşımı çalışmaları oldukça azdır (Sisman *et al.* 2014). RTX konumlamasının deney tasarımı analiz çalışması ise literatürde yoktur. Bu nedenle günlük kullanımda oldukça yaygın şekilde kullanılan RTX konumlamasının parametrelerden etkilenme durumunun analiz edilmesi gereklidir. Bu çalışmada sonuç değişkeni olarak doğruluk ve duyarlık analizinde en çok kullanılan duyarlık kriteri olan konum hatası yatay ve düşey bileşen olarak ayrı ayrı seçilmiştir. Sonuç değişkenini etkileyen parametreler olarak ise hem konum hatasında direk etkili olduğu bilinen hem de farklı seviyelerinin kolaylıkla belirlenebilecek ölçü sezonu, uydu sayısı ve PDOP seçilmiştir. Bu çalışmada, TFDT modeli ile ölçü sezonu, uydu sayısı ve DOP parametrelerinin RTX yatay ve düşey konum hatası üzerindeki ana ve etkileşimli etkileri araştırılmaktadır. Ayrıca TFDT modelinden elde edilen regresyon eşitliği ile ana ve etkileşimli etkilerin katsayılarının büyüklüğü, işareti analiz edilerek en uygun parametre seviyeleri belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

Bu çalışma Şekil 1’de görülen bölgede tesis edilen 14 ölçüm noktasında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu 14 ölçüm noktası yirmişer km aralıklarla Samsun’dan Kırıkkale’ye kadar olan ana güzergâh üzerinde yer almaktadır. Çalışma’da Trimble R10 multi-GNSS alıcısı kullanılmıştır. Mevsimsel etkilerin de araştırılabilmesi amacıyla ilkbahar ve yaz dönemlerinde 2 kez veri toplanmıştır. 1’er saniye aralıklarla 75 dakika boyunca (4500 epok) hem GPS, GLONASS, Galileo ve Beidou uydu sistemlerine ait

ham veriler hem de Trimble CenterPoint RTX servisinden gerçek zamanlı nokta konum bilgileri, uydu sayısı ve PDOP bilgileri toplanmıştır. RTX servisinin istenilen konum doğruluklarında veri sağlayabilmesi için yakınsama süresine ihtiyaç duymaktadır. Bu veri setinin kullanılmış olduğu bir diğer çalışmada yakınsama süresinin yaklaşık 50 dk. olduğu tespit edilmiştir (İlçi 2019). Bu sebeple bu çalışmada verilerin ilk elliser dakikalık kısmı değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Ham uydu gözlemleri kullanılarak ölçüm noktalarının bilinen konumları GRAFNET post-process değerlendirme yazılımıyla belirlenmiştir. RTX servisinin sağladığı koordinat bilgisinin 50 dakikalık yakınsama süresi sonrasındaki verileri kullanılarak ölçüm noktalarına ait yatay ve düşey konum doğrulukları elde edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

Bu çalışmada seçilen parametre (ölçü sezonu (ÖS), uydu sayısı (US) ve PDOP için TFDT tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımda (+1) yüksek, (-1) düşük seviyeyi göstermektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Parametrelerin seviyeleri.

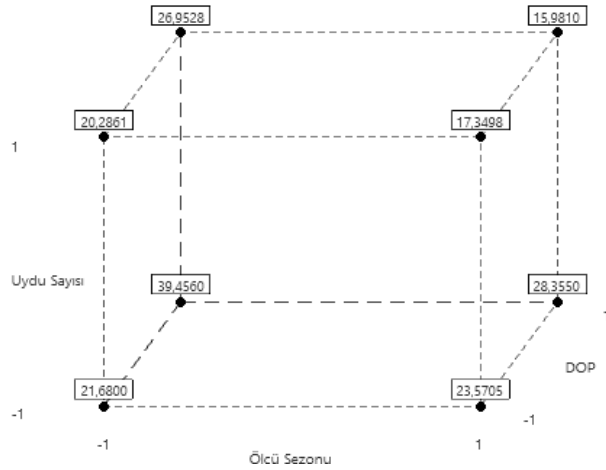
Parametre	Düşük Seviye (-1)	Yüksek Seviye (+1)
Ölçü Sezonu (A)	İlkbahar	Yaz
Uydu Sayısı (B)	<15	>15
DOP (C)	>1.4	<1.4

Uygulama için Minitab 16 istatistik yazılımı ile oluşturulan tasarım matrisi ve bu matrise göre RTX yatay ve düşey konum hatası için oluşturulan deney değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Bu deney verilerinin tanımlayıcı istatistiksel bilgileri (ortalama, standart sapma, maksimum, minimum ve çeyreklik dilimleri) ise Çizelge 3’de verilmiştir.

Küp grafiği ile parametrelerin düşük ve yüksek seviyeleri için deneylerden elde edilen konum hatası verileri grafik olarak gösterilmiştir. Bu grafikte ikili deney verilerinin ortalama değerleri küpün köşe değerlerini oluşturmaktadır. RTX konum hatasına

Çizelge 2. RTX konumlanmanın tasarım matrisi.

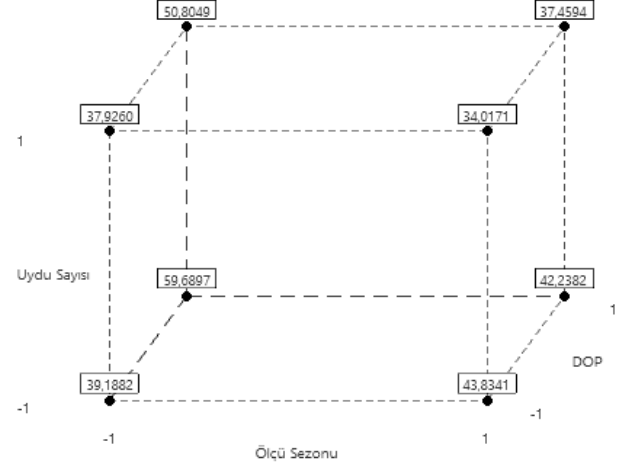
No	Parametre			Yatay konum hatası (mm)		Düşey konum hatası (mm)	
	A	B	C				
				1.	2.	1.	2.
				Deney	Deney	Deney	Deney
1	-1	-1	-1	21,513	21,847	38,989	39,387
2	+1	-1	-1	22,935	24,206	42,315	45,353
3	-1	+1	-1	20,189	20,384	37,579	38,273
4	+1	+1	-1	17,018	17,682	33,684	34,351
5	-1	-1	+1	38,197	40,715	58,791	60,588
6	+1	-1	+1	26,902	29,808	41,012	43,465
7	-1	+1	+1	26,838	27,067	50,342	51,268
8	+1	+1	+1	15,202	16,760	34,020	40,899



göre oluşturulmuş olan tasarım matrisi değerlerinin küp grafiği Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 3. Yatay ve düşey RTX konumlama hatasının tanımlayıcı istatistiksel bilgileri.

Data	Yatay Konum Hatası (mm)	Düşey Konum Hatası (mm)
Ortalama	24,20	43,14
Standart Sapma	7,29	8,24
Minimum	15,20	33,68
Q1	18,31	37,75
Medyan	22,39	40,96
Q3	27,03	49,09
Maksimum	40,72	60,59



Şekil 2. RTX yatay (sol) ve düşey (sağ) konumlanma için yapılan deneylerin küp grafiği.

3. İrdeleme ve Değerlendirme

Tablo 2’de verilen TFDT deneylerinin %95 güven aralığına göre parametre anlamlılık testi yapılmış ve regresyon katsayıları elde edilerek model oluşturulmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 4’ün sonuçlarına göre; RTX yatay ve düşey konumlamada ana etkiler sonuç değişkeni üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir. Etkileşimli etkiler incelendiğinde A*B (ölçü sezonu*uydu sayısı) ve A*B*C (ölçü sezonu*uydu sayısı*PDOP) etkileşimi

RTX yatay konumlamada; A*B (ölçü sezonu*uydu sayısı) ve B*C (uydu sayısı*PDOP) RTX düşey konumlamada sonuç değişkeni anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Anlamlı olmayan parametreler elde edilen modelden çıkarılarak yapılan analiz sonucunda seçilen parametreler ve sonuç değişkeni arasındaki model elde edilebilir. Çizelge 4’e göre anlamlılık seviyesinden küçük P-değerine sahip olan parametrelerin modelde anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Anlamlı parametreler için oluşturulan regresyon eşitlikleri Eşitlik 2 ve 3’de verilmektedir.

Çizelge 4. RTX yatay ve düşey konumlama için regresyon analizi ve anlamlılık testi.

RTX Yatay Konumlama					RTX Düşey Konumlama				
Terim	Etki	Katsayı	T-Değeri	P-Değeri	Terim	Etki	Katsayı	T-Değeri	P-Değeri
Sabit		24,204	87,75	0,000	Sabit		43,145	83,87	0,000
A	-5,780	-2,890	-10,48	0,000	A	-7,515	-3,758	-7,30	0,000
B	-8,123	-4,061	-14,73	0,000	B	-6,186	-3,093	-6,01	0,000
C	6,965	3,482	12,63	0,000	C	8,807	4,403	8,56	0,000
A*B	-1,174	-0,587	-2,13	0,066	A*B	-1,112	-0,556	-1,08	0,311
A*C	-5,257	-2,628	-9,53	0,000	A*C	-7,884	-3,942	-7,66	0,000
B*C	-4,316	-2,158	-7,82	0,000	B*C	-0,646	-0,323	-0,63	0,548
A*B *C	1,239	0,619	2,25	0,055	A*B *C	3,165	1,583	3,08	0,015
S=1,103 ; R-sq=98,78%					S=2,058 ; R-sq=96,67%				

$$RTX_{yatay} = 24,204 - 2,890 * A - 4,061 * B + 3,482 * C - 2,628 * A * C - 2,158 * B * C \quad (2)$$

$$RTX_{düşey} = 43,145 - 3,758 * A - 3,093 * B + 4,403 * C - 3,942 * A * C - 1,583 * A * B * C \quad (3)$$

Eşitlik 2 incelendiğinde RTX yatay konumlama hatasına en büyük etkiyi yapan ilk üç parametrenin B, C ve A olduğu (katsayısı -4,061, +3,482, -2,890); parametre seviyelerinin konum hatasını küçültmesi amaçlandığından B ve A için yüksek (+1), C için düşük (-1) olması gerektiği görülebilir. Ancak ikili etkiler dikkate alındığında parametre seviyeleri sırasıyla (+1, +1, -1) olarak alınırsa RTX yatay konum hatası 18,557 mm. olurken, (-1, +1, +1) olarak alınırsa 15,949 mm olduğu görülür. Aynı şekilde; eşitlik 3 incelendiğinde RTX düşey konumlama hatasına en büyük etkiyi yapan ilk üç parametrenin C, A*C ve A olduğu (katsayısı 4,403, -3,942, -3,758) görülür. Parametre seviyelerinin konum hatasını küçültmesi amaçlandığından ana etkiler için C için düşük (-1), A için yüksek (+1) olmalıdır. Bu durumda A*C etkileşimli etkisinin katsayısı gereği RTX düşey

konum hatasını artırıcı etkiye sahip olacaktır. B parametresinin ana etkisi incelendiğinde (katsayısı -3,093) yüksek (+1) seviyenin seçilmesi gerektiği görülür. Aynı şekilde ikili etkiler dikkate alındığında parametre seviyeleri sırasıyla (+1, +1, -1) olarak alınırsa RTX düşey konum hatası 37,416 mm olurken, (-1, +1, -1) olarak alınırsa 33,882 mm olduğu görülür. Her iki durum etkileşimli etkilerin önemini ortaya koymaktadır.

TFDT için ayrıca varyans analizi (ANOVA- analysis of variance) testi yapılarak grupların ortalamalarının eşit olup olmadığı test edilir. RTX yatay ve düşey konumlama için ANOVA sonuçları Çizelge 5'de verilmektedir.

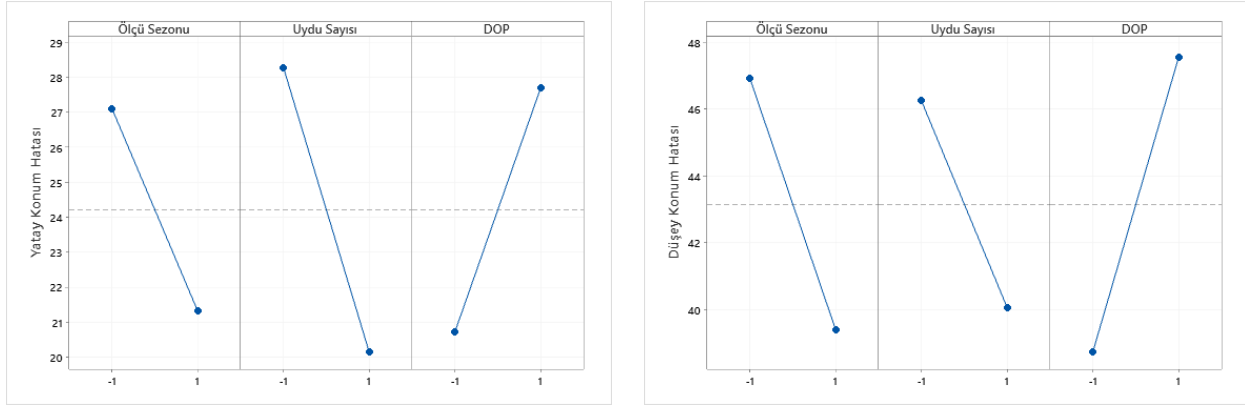
Çizelge 5. RTX yatay ve düşey konumlama için ANOVA testi

RTX Yatay Konumlama					RTX Düşey Konumlama				
Kaynak	SS	MS	F-Değeri	P-Değeri	Kaynak	SS	MS	F-Değeri	P-Değeri
A	133,617	133,617	109,77	0,000	A	225,90	225,901	53,36	0,000
B	263,932	263,932	216,83	0,000	B	153,05	153,049	36,15	0,000
C	194,022	194,022	159,39	0,000	C	310,23	310,232	73,27	0,000
A*B	5,517	5,517	4,53	0,066	A*B	4,95	4,948	1,17	0,311
A*C	110,533	110,533	90,81	0,000	A*C	248,60	248,598	58,72	0,000
B*C	74,500	74,500	61,20	0,000	B*C	1,67	1,670	0,39	0,548
A*B *C	6,140	6,140	5,04	0,055	A*B *C	40,07	40,073	9,46	0,015

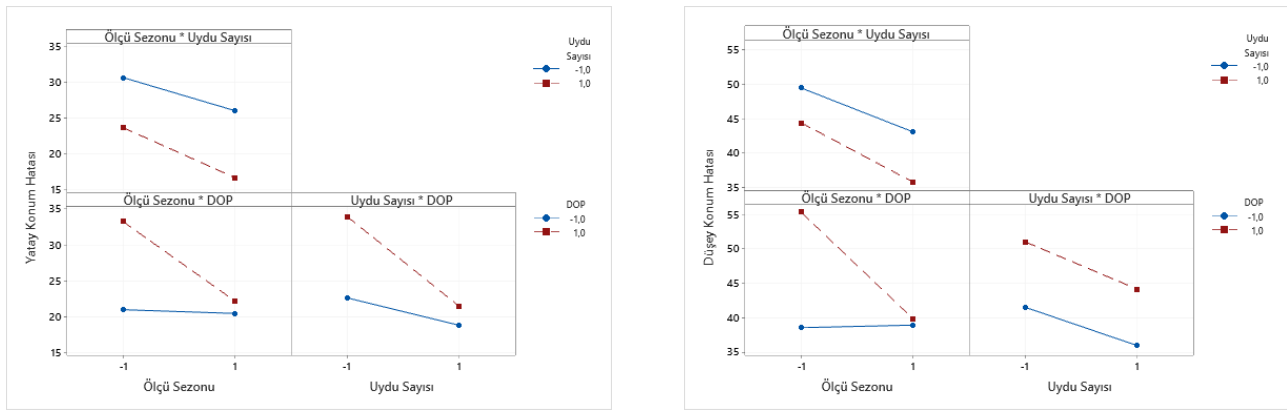
Çizelge 5'e göre iki grubun varyanslarının %95 güven aralığında birbirine denk olarak alınabileceği görülmüştür.

Parametrelerin seviye değişiminin sonuç değişkeni üzerindeki etkileri de incelenmelidir. Bu inceleme için ana ve etkileşimli etki grafikleri kullanılır. Bu grafiklerde parametre seviye değişimine göre sonuç değişkeninin durumu grafiksel olarak gösterilir.

Uygulama verileri için elde edilen ana ve etkileşimli etki grafikleri Şekil 3 ve Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 3. Parametrelerin sonuç değişkeni üzerindeki ana etkileri.



Şekil 4. Parametrelerin sonuç değişkeni üzerindeki etkileşimli etkileri.

Şekil 3’de verilen ana etki grafikleri incelendiğinde ölçü sezonu ve uydu sayısı parametrelerinin sonuç değişkeninin azalttığı; PDOP parametresindeki değişimin ise artırdığı görülmektedir. Sonuç değişkeni olarak seçilen RTX yatay ve düşey konum hatasının küçük olması isteneceğinden ilk iki parametrenin seviye seçimlerinin başarılı, üçüncü parametre seviye değişimininse başarısız olduğu sonucuna varılabilir.

Şekil 4’de verilen etkileşimli etki grafikleri incelendiğinde parametrelerin aynı eğimi gösterdiği durumda sonuç değişkeni üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı (yatay konum hatasında ölçü sezonu*uydu sayısı (A*B); düşey konum hatasında ölçü sezonu*uydu sayısı (A*B) ve uydu sayısı*PDOP (B*C)) anlaşılmaktadır. Diğer etkileşimli etkilere bakıldığında iki parametrenin seviye değişiminin sonuç değişkenini anlamlı olarak etkilediği ve RTX yatay ve düşey konum hatasını azalttığı görülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada RTX konumlamaya etki eden faktörleri ve etki seviyelerinin istatistiksel deney tasarımı ile incelenmesi amaçlanmaktadır. RTX konumlamayı etki eden parametreler olarak ölçü sezonu, uydu sayısı ve PDOP seçilirken yatay ve düşey RTK konum hatası ise sonuç değişkeni olarak alınmıştır. Parametreler ve sonuç değişkenleri için TFDT matrisi kurulmuş ve ikili tekrar şeklinde deney sonuçları gerçek bir çalışma verisinden elde edilmiştir. RTX yatay konum hatası 15.20mm ile 40.72mm arasında, düşey konum hatası 33.68 mm ile 60.59 mm arasında değer almıştır. Her iki konumlama hatası için regresyon eşitliği oluşturulmuştur. Bu eşitliklerde ana etkilerin yanında etkileşimli etkilerin de sonuç değişkeni üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu görülmüştür. Parametre seviyelerinin RTX yatay konumlama için (-1, +1, +1); düşey konumlama için (-1, +1, -1) olarak alınırsa konum hatasının daha küçüldüğü sonucuna varılmıştır. Bu

irdelemeler sonucunda etkileşimli etkilerin tüm incelemelerde dikkate alınması gerektiği ortaya konulmuştur.

İstatistiksel analizler ve grafiksel gösterimler uygulama verilerini ve uygulama sonuçlarını anlamayı ve değerlendirmeyi kolaylaştırmaktadır. Harita mühendisliği çalışmalarında sınırlı olarak kullanılan bu analizlerin çoğaltılması gerekmektedir. Özellikle nokta bulutu ve uzaktan algılama çalışmalarının bu yaklaşımlarla analiz edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- Alkan, R.M. 2019. Cm-level high accurate point positioning with satellite-based GNSS correction service in dynamic applications. *Journal of Spatial Science*, 1-9.
- Alkan, R.M., Erol, S., İlçi, V. and Ozulu, M. 2020a. Comparative analysis of real-time kinematic and PPP techniques in dynamic environment. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, **163**, 107995, 1-12.
- Alkan, R.M., Erol, S., Ozulu, I.M. and İlçi, V. 2020b. Accuracy comparison of post-processed PPP and real-time absolute positioning techniques. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **11**(1), 178-190.
- Box, G.E.P., Hunter, J.S. and Hunter, W.G. 2005. Statistics of Experimenters. 559, *John Wiley & sons*. (2nd ed.), 1-672.
- Brandl, M., Chen, X., Drescher, R., Glocker, M., Landau, H., Nardo, A. and Zhang, F. 2014. Advancing Trimble RTX Technology by adding BeiDou and Galileo. *ESA European Navigation Conference (ENC2014)*, Rotterdam, Netherland, April 14-17, 2014.
- Çoruh, S., Elevli, S. and Geyikçi, F. 2012. Statistical evaluation and optimization of factors affecting the leaching performance of copper flotation waste. *The Scientific World Journal*, **758719**, 1-8.
- DeMets, C., Gordon, R.G. and Argus, D.F. 2010. Geologically current plate motions. *Geophys. J. Int.* **181**, 1-80.
- Dogan, U., Uludag, M. and Demir, D.O. 2014. Investigation of GPS positioning accuracy during the seasonal variation. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, **53**, 91-100.
- George, M., Rowlands, D., Price, M. and Maxey, J. 2005. *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. NewYork, McGraw Hill, 2005.
- Glocker, M., Landau, H., Leandro, R. and Nitschke, M. 2012. Global precise multi-GNSS positioning with trimble centerpoint RTX. *6th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies: Multi-GNSS Navigation Technologies Galileo's Here, NAVITEC 2012 and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing*, 5-7 December.
- Gündoğdu, T.K., Deniz, İ., Çalışkan, G., Şahin, E.S. and Azbar, N. 2016. Experimental design methods for bioengineering applications. *Critical Reviews in Biotechnology*, **36**(2), 1-21.
- İlçi, V. 2019. Accuracy comparison of real-time GNSS positioning solutions: Case study of Mid-North Anatolia. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, **142**, 40-47.
- Ismail, A.A., El-Midany, A.A., Ibrahim, I.A. and Matsunaga, H. 2008. Heavy metal removal using SiO₂-TiO₂ binary oxide: Experimental design approach. *Adsorption*, **14**, 21-29.
- Jeff Wu, C.F. and Hamada, M.S. 2009. *Experiments: Planning, Analysis, and Optimization*, **2**, John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 1-760.
- Kahveci, M. 2017. *Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları*. **2**, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. 1-156.
- Kahveci, M. and Yıldız, F. 2018. *GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri*. **10**. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. 1-264.
- Krzyżek, R. 2013. Verification of applicability of the Trimble RTX satellite technology with xFill function in establishing surveying control networks. *Geodesy and Cartography*, **62**(2), 217-233.
- Navidi, W. 2008. *Statistics for Engineers and Scientists*. McGraw-Hill Companies Inc., New York. McGraw-Hill Education, 2 Penn Plaza, New York, NY 10121. 1-922.
- Nie, Z., Liu, F. and Gao, Y. 2020. Real-time precise point positioning with a low-cost dual-frequency GNSS device. *GPS Solutions*, **24**(9).
- Richter, M. 2019. Using PPP Corrections in Precise Real-time Applications: Minding the Gaps. *GIM International*.
- Saracoglu, A. and Sanli, D.U. 2020. Effect of meteorological seasons on the accuracy of GPS positioning. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, **152**, 107301.
- Seltman, H.J. 2018. *Experimental Design and Analysis*. 1-

428. Retrieved from
<http://www.stat.cmu.edu/~hseltman/309/Book/Book.pdf>

Sisman, A. 2014. AN EXPERIMENTAL DESIGN APPROACH ON GEOREFERENCING. *Boletim de Ciências Geodésicas*, **20**(3), 548–561.

Sisman, Y., Elevli, S. and Sisman, A. 2014. A statistical analysis of GPS positioning using experimental design. *Acta Geodaetica et Geophysica*, **49**, 343–355.

Sisman, Y., and Bektas, S. 2012. Linear regression methods according to objective functions. *Acta Montanistica Slovaca*, **17**(3), 209-217.

Sisman, Y. and Sisman, A. 2017. The Factors Optimization on Georeferencing Analogue Maps. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **42**, 2471-2478.

Talbot, N., Chen X., Reussner, N., Brandl, M., Nitschke, M., Rodriguez-Solano, C. and Zhang, F. 2016. Trimble RTX orbit determination and user positioning performance with beidou satellites. *International Global Navigation Satellite Systems Conference (IGNSS 2016)*. Sydney, Australia.

Zhang, F., Brandl, M., Chen, X., Drescher, R., Glocker, M., Landau, H. Leandro, R., Nitschke, M., Salazar, D. and Weinbach, U. 2013. Trimble CenterPoint RTX – A First Study on Supporting Galileo. *The European Navigation Conference 2013*, (April 23-25), 1–8. Vienna.

Zheng, F., Lou, Y., Gu, S., Gong, X. and Shi, C. 2018. Modeling tropospheric wet delays with national GNSS reference network in China for BeiDou precise point positioning. *Journal of Geodesy*, **92**, 545-560.

İnternet kaynakları

1- <https://www.omnistar.com/>, (18.11.2020)

2- <https://www.globalstar.com/en-us/>, (18.11.2020)

3- <https://novatel.com/products/correction-services/terrastar-correction-services>, (18.11.2020)

4- <https://positioningservices.trimble.com/services/rtx/>, (18.11.2020)