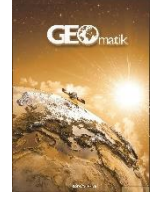




GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



TUSAGA-AKTİF İstasyonlarında Gürültü Analizi, Türkiye' nin Güneydoğusu Örneği

Fuat Başçiftçi*

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Karaman, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Bernese
GNSS
CATS
Gürültü
TUSAGA-Aktif

ÖZ

Uydularla Konum Belirleme Sistemi (GNSS, Global Navigation Satellite System) ile nokta konumlarının belirlenmesi sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. GNSS ile nokta konumları belirlenirken hem GNSS ölçü hatalarına, hem de GNSS frekanslarını etkileyen gürültülere dikkat edilmesi gerekmektedir. GNSS ölçü hataları uygun ölçme yöntemi, kullanılan ekipmanla vb. giderilebilirken, GNSS sinyallerini etkileyen gürültüler ise analizler sonucu giderilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarında gürültü bileşenlerinden arındırılmış hız bileşenleri belirlenmiş ve aralarında farklar yorumlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada 2013-2019 yılları arasında her haftadan bir gün seçilerek 7 yıllık GNSS verisi Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile değerlendirilmiş ve CATS yazılımı ile analiz edilerek hız bileşenleri verilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar dikkate alındığında gürültüden arındırılmış ve arındırılmamış hızlar arasında mm altı bir yakınlık olduğundan dolayı aslında temel jeodezik ölçmelerde gürültüden arındırılmış hızların kullanımının pratikte kullanıcılara çok katkı sağlamayacağı ancak ölçü ile referans epogu arasındaki farklar arttıkça hata miktarının da artacağından dolayı yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalarda ise gürültüden arındırılmış hızların kullanılmasının hesaplanacak nokta konum ve doğruluğunu büyük oranda etkileyeceği sonucuna varılmıştır.

Noise Analysis at CORS-TR Stations, A Case Study South-East Turkey

Keywords

Bernese
GNSS
CATS
Noise
CORS-TR

ABSTRACT

GNSS (Global Navigation Satellite System) is a frequently used method for determining point positions. When determining point positions with GNSS, It should be paid attention to both GNSS measurement errors and noise affecting GNSS frequencies. While GNSS measurement errors can be reduced with an appropriate measurement method, the noise affecting GNSS signals are resolved as a result of analyzes. In this study, It has been determined noise-removed velocity components at TUSAGA-Active stations in southeast of Turkey and the differences between noise-loaded and noise removed velocities were interpreted. GNSS data of 7 years has been evaluated with Bernese v5.2 Scientific GNSS software by selecting a day from every week between the years 2013-2019 and velocities components have been given by analyzing with CATS software. Considering the comparisons, It has been concluded that the use of noise-removed velocities in basic geodetic measurements has not much contribution for users in practice, because there is a proximity below mm between noisy and noiseless velocities. While differences between the measurement epoch and the reference epoch increase, the errors increase also. Therefore the use of noise-removed velocities in geodetic studies that require high accuracy will greatly affect the position and accuracy at the point to be calculated.

*Sorumlu Yazar

*(fuatbasçiftci@kmu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 5791 – 0676

Kaynak Göster (APA)

Başçiftçi, F. (2021). TUSAGA-AKTİF İstasyonlarında Gürültü Analizi, Türkiye' nin Güneydoğusu Örneği. Geomatik, 6(2), 135-147, DOI: 10.29128/geomatik.731486

1. GİRİŞ

Günümüzde Uydularla Konum Belirleme Sistemi (GNSS: Global Navigation Satellite System) ile nokta konumlarının belirlenmesi sıkça kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Gleason ve ark., 2009; Shi, ve ark. 2019). Nokta konumları GNSS ile belirlendiği zaman hem GNSS hata kaynaklarına dikkat edilmesi hem de uzun dönemli GNSS ölçüleri ile belirlenen nokta konumlarındaki gürültü bileşenlerinin ortaya konulması gerekmektedir (Wang, 2015). GNSS yöntemi ile uzun süreli nokta konumları belirlendikten sonra belirlenen nokta koordinatlarına dayalı olarak nokta hızları da kestirilmektedir.

GNSS ölçülerini etkileyen hatalar ve GNSS sinyallerini etkileyen gürültüler birbirleriyle karıştırıldığı için GNSS zaman serilerinin doğruluğunu ve gürültünün kaynağını belirlemek zorlaşmaktadır. Gürültü analizinin gerçek amacı muhtemel gürültüyü veriden arındırmak ya da en aza indirmektedir. GNSS sinyallerini etkileyen gürültü türleri, zamandan bağımsız, donanım ve ölçü hataları ile ilişkili ise bu hatalar beyaz gürültü (WN: White Noise), zamanla korelasyonlu ve GNSS frekanslarını etkileyen hatalar ile ilişkili olması durumunda ise renkli gürültü (CN: Coloured Noise) olarak ifade edilmektedir (Williams, ve ark. 2004; Bülbül, 2019; He ve ark., 2019; Montillet ve ark., 2020;).

Jeodezik amaçlarla kullanılacak nokta koordinatları deprem, tektonik hareketler, dünyanın hareketi vb. doğal olaylar ya da insanoğlunun müdahalesi sonucunda yer değiştirmelere maruz kalmaktadır (Bülbül, 2019). Bu yer değiştirmeler sonucunda nokta koordinatları dinamik bir yapıda olmaktadır. Dinamik yapıda olan bu hareketler sonucunda daha önce tesis edilmiş olan sabit noktaların koordinatları zamana bağlı olarak yer değiştirmekte ve bir hareket göstermektedir. Bu hareket sonucunda ise gerçekleştirilecek ölçümlerin doğruluğu değişecek ve gerçek değerler elde edilemeyecektir. Bu kapsamda sabit olarak kabul edilen noktaların koordinat bileşenlerinin hareketlerini etkileyen hız bileşenlerinin belirlenmesi ve bu hızlar dikkate alınarak bu noktaların kullanılması gerekmektedir (Bülbül, ve ark. 2017).

Korelasyonlu gürültü modellerini ortaya koymak için, gerçekleştirilen çalışmada üç gürültü tipi ve bu gürültü tiplerinin kombinasyonları kullanılmıştır. İlk olarak, gürültünün sadece WN olduğu varsayılmış, daha sonra ise WN + flicker gürültünün (FN: Flicker Noise) bir kombinasyonu ve WN + random walk gürültünün (RWN: Random Walk Noise) kombinasyonu kullanılmıştır. Tercih edilen gürültü modeli bu üç kombinasyondan biri olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, gürültü modelinin özellikleri ve spektral indeksleri WN ile eş zamanlı olarak ortaya konulmuştur. Gürültü parametrelerini tahmin etmek ve en uygun gürültü modelini ortaya koymak için Maksimum Likelihood Tahmin (MLE:

Maximum Likelihood Estimation) kullanılmıştır (Zang, ve ark. 1997; Mao, ve ark. 1999; Langbein, 2004; Williams ve ark. 2004; Williams, 2004;2008; Bos ve ark. 2008; Santamaría-Gómez ve ark. 2011).

2. TUTGA VE TUSAGA-AKTİF İSTASYONLARINDA KOORDİNAT DEĞİŞİMLERİNİN KESTİRİLMESİ

Günümüzde jeodezik noktaların koordinatları sabit olarak kabul edilen noktalara göre belirli bir referans epoğunda hesaplanmaktadır. Nokta koordinatlarının hesaplanmasında buldukları tektonik plakalara göre rölatif bir hareket söz konusu olmaktadır. Jeodezik noktaların buldukları tektonik plakalar ise birbirlerine karşı bir hareket yapmakta ve nokta koordinatlarını yıllık cm seviyesinde değiştirmektedir. Ayrıca ülkemizin deprem bölgesinde olduğu dikkate alınırsa jeodezik noktaların konumlarını depremler de büyük oranda etkilemektedir. Nokta koordinatlarını GNSS ölçüleri yardımıyla sürekli izlemek olanaklı olmaktadır. Ülkemizde de sabit GNSS istasyonları yardımıyla jeodezik noktalar sürekli izlenebilmekte ve güncel koordinatları ile hızları hesaplanabilmektedir (Özdemir, 2016).

Türkiye, Afrika ve Arap tektonik plakalarının Avrasya tektonik plakası ile çarpışma bölgesindedir. Bölgedeki tektonik plaka sınırları, yanal atımlı ve normal faylar ile bindirme bölgeleri genel hatlarıyla Şekil 1' de gösterilmektedir.



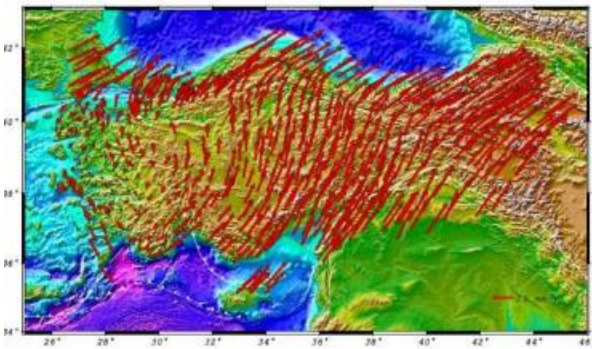
Şekil 1. Türkiye'nin üzerinde bulunduğu tektonik plakalar ve hareketleri (URL-1)

Bölgedeki tektonik plaka hareketleri; Arap plakasının Avrasya plakasına göre kuzey-kuzeybatı doğrultusunda 15-20 mm/yıl hızla hareketi sonucu, Doğu Anadolu Bölgesinin sıkışması ve Anadolu plakasının 20-25 mm/yıl hızla batıya hareket edip saat yelkovanı tersinde dönmesi, Afrika plakasının 5-10 mm/yıl hızla kuzey yönünde hareketi sonucu Anadolu plakasının altına dalması ve Helenik Yay boyunca çekilme nedeniyle Ege bloğunun kuzey-güney yönünde genişlemesi biçiminde özetlenebilir (Jackson ve Mckenzie, 1988; Cucci, ve ark.. 2012).

Jeodezik ağların hız alanlarının hesaplanmasında, GNSS ile kabuk deformasyonlarının, yüzey kabuğu hareketlerinin, fay sistemlerinin ve tektonik hareketlere bağlı deformasyonların modellenmesi ve jeodezik sıklaştırma nokta koordinatlarının istenilen referans

epoğuna ötelenmesi çalışmalarında temel parametre olarak kullanılan jeodezik nokta hız bilgilerinin yüksek doğrulukla kestirilmesi büyük önem arz etmektedir (Yılmaz, 2012).

TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı)' da sabit ve kampanya tipi GNSS ölçülerinin birleştirilmesi çalışmaları sürekli olarak devam etmektedir. Yapılan analizler sonucunda Türkiye ve çevresinde meydana gelen depremlerden önce 612 ve depremlerden sonra 107 nokta tekrarlı ve tektonik açıdan uyumlu bulunmuş ve hız alanları bu noktalar ile belirlenmiştir. Türkiye ve çevresinin ITRF2005' te belirlenen hız alanı Şekil 2' de verilmiştir. Şekil 2' de verilen hız alanları sıfır-net-dönüklüğe göre tanımlıdır. Sıfır net dönüklük ile ilgili detaylı bilgiye Altamimi ve ark., (2003) ve Aktuğ (2003)'den ulaşılabilir.



Şekil 2. Türkiye yatay hız alanı (Aktuğ, ve ark. 2011)

3. GNSS AĞLARINDA VAR OLAN GÜRÜLTÜLER

20. yy' ın sonlarından itibaren, jeodezik ölçüler plaka hareketleri sonucunda meydana gelen deformasyonları belirlemek için kullanılır. Büyük depremler gibi önemli episodik deformasyonlar meydana geldiğinde, tekrarlı ölçülere lineer bir trend uygulanmakta ve deformasyon hızları ya da nokta hızları belirlenmektedir. Belirlenen nokta hızları geleneksel yöntemler olan jeodezik ağ dengelemesi, rölatif baz uzunluklarının lineer regresyonu ya da koordinat bileşenlerinin her birinin ayrı ayrı lineer regresyonu ile belirlenmektedir. Bu hızların belirlenmesinde genellikle En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) kullanılmaktadır. Ayrıca ölçülerin normal dağılımda ve korelasyonsuz olduğu varsayılmaktadır. Fakat bazı jeodezik ölçülerde, veriler arasında büyük zamansal bir korelasyonun olduğu tespit edilmiştir (Williams, 2003; Bülbül ve İnal, 2019).

GNSS sinyallerinin yayılımı için kabul edilen istatistiksel model power-law süreç olarak tanımlanmaktadır. Bu istatistik model de gürültü bileşeninin belirlenmesine imkân sağlamaktadır. Bu stokastik sürecin tek boyutlu zaman ya da alan davranışları, stokastik sürecin power spektrumunda aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P_x(f) = P_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^\kappa \quad (1)$$

Burada; f konumsal ya da zamansal frekans, P_0 ve f_0 normalize edilmiş sabitler, κ da spektral indekstir (Mandelbrot ve Van Ness, 1968). Genellikle spektral indeks κ -3 ile 1 aralığında değer almaktadır (Agnew, 1992). Bu oranlar arasındaki süreç $-3 < \kappa < -1$ ise kesirli rasgele (fractional Brownian) hareket, $-1 < \kappa < 1$ aralığında ise fractional beyaz gürültü olarak alt bölümlere ayrılır (Mandelbrot ve Van Ness, 1968; Mandelbrot 1977;1983). Bu stokastik model içinde özel durumlar tam sayı değerlerinden oluşur. $\kappa=0$ olması durumunda WN, $\kappa=-1$ olması durumunda FN ve $\kappa=-2$ olması durumunda RWN olarak ifade edilir.

Çoğu araştırma, potansiyel modeller olarak tam sayılı spektral indeksler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Fakat gürültü analizi tam sayı spektral indeks olmadan da yapılabilmektedir. Örneğin, 8/3 ile 5/3 spektral indeks su buharı dalgalanmalarında (Tatarskii, 1961; Treuhaft ve Lanyi, 1987; Davis ve ark. 1994), spektral indeksin -2.3 olması durumunda batimetrik ölçülerde (Malinaverno, 1989) ve $\kappa=-2.7$ olması durumunda ise kabuk deformasyonlarında gürültü analizinde kullanılmaktadır (Wyatt, ve ark. 1988).

3.1. Ağırlıklı En Küçük Kareler (WLS) Yöntemi ile Hız Belirsizliklerinin Tahmini

Hızların belirlenmesi için temel lineer regresyon problemi t_i zaman x_i nokta konumu ve n zaman serisinin uzunluğu olarak alınırsa aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$x_i = x_0 + rt_i + \varepsilon_i(t_i) \quad (2)$$

Burada, $\varepsilon_i(t_i)$ hata terimidir. Burada eşit olarak dağılmış birim varyansın rasgele değişkenleri olan $\varepsilon_i(t_i)$ bağımsız lineer kombinasyonudur. $\alpha(t_i)$ ve a bir dizi zamanla korelasyonlu rasgele değişkenler olmak üzere,

$$\varepsilon_i(t_i) = a \cdot \alpha(t_i) + b_{\kappa} \beta(t_i) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Ölçek faktörü a ve $b_{\kappa \neq 0}$ sırasıyla K spektral indekste WN ve CN büyüklükleridir. x_i , ölçülerinin kovaryans matrisi bu durumda aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$C_x = a^2 I + b_{\kappa}^2 J_{\kappa} \quad (4)$$

Burada I birim matris ve J_{κ} yaklaşık CN kovaryans matrisidir. WLS kullanılarak, x_0 ve r için tahminler aşağıdaki eşitliklerden elde edilebilir.

$$\hat{y} = [A^T C_x^{-1} A]^{-1} A^T C_x^{-1} x \quad (5)$$

Burada,

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & t_1 \\ 1 & t_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & t_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\hat{y} = (\hat{x}_0, \hat{t})^T$$

ve değerlendirme için kullanılan kovaryans matrisi de (7) eşitliğinde verilmiştir.

$$\hat{C}_{\hat{y}} = [A^T C_x^{-1} A]^{-1} \quad (7)$$

Eşitlikte geçen; A katsayılar matrisi \hat{y} bilinmeyenleri ve $\hat{C}_{\hat{y}}$ ise bilinmeyenlerin kovaryans matrisini ifade etmektedir.

3.2. Power-law Gürültünün Kovaryans Matrisi

$-3 < \kappa < 1$ aralığında herhangi bir spektral indekste power-law gürültü (renkli gürültü) için, kovaryans matrisi Johnson ve Wyatt (1994)'de tanımlanan metot Williams (2003) tarafından türetilmiştir. Bir dönüşüm matrisi (T), kovaryans matrisi J_j ile rasgele değişken x dizisi, birim varyans rastgele değişkenlerinin bir vektöründen, $x = T.d$ ile oluşturulur. Power-law süreç için kovaryans matrisi J_K hata yayılım kuralı ile aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$J_K = T C_d T^T \quad (8)$$

$C_d = I$ olduğu için, $J_K = T T^T$ olur. Dönüşüm matrisi, kesirli diferansiyel/integral yöntemi kullanılarak Hosking (1981)'de tanımlanmıştır. Tanımlanan dönüşüm matrisi aşağıdaki gibidir.

$$T = \begin{bmatrix} \psi_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \psi_1 & \psi_0 & 0 & \dots & 0 \\ \psi_2 & \psi_1 & \psi_0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_n & \psi_{n-1} & \psi_{n-2} & \dots & \psi_0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

burada,

$$\psi_n = \frac{-\frac{\kappa}{2}(1-\frac{\kappa}{2})\dots(n-1-\frac{\kappa}{2})}{n!} = \frac{\sum(n-\frac{\kappa}{2})}{n! \sum(-\frac{\kappa}{2})} \quad (10)$$

gibidir.

Dönüşüm matrisi T, $\Delta T^{-\kappa/4}$ ile ölçeklendirilmiştir. Burada, ΔT , $T T^T$ oluşturulmadan önceki örnekleme aralığıdır. Bu, spektral indeks j'ye sahip herhangi bir gürültü kaynağı için aynı spektrumda ΔT ile aynı frekansta çapraz olacak ve eşit gürültü genliği b_j 'yi güvence altına almasını sağlayacaktır. Power spektrum için eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$P = \frac{D_\kappa b_\kappa^2}{f_s^{\kappa+1}} f^\kappa \quad (11)$$

burada,

$$D_\kappa = 2(2\pi)^\kappa (24 \times 60 \times 60 \times 365.25)^{\kappa/2} \quad (12)$$

ve f_s Hz biriminde örnekleme frekansıdır. Bu sebeple çapraz frekans f_0 aşağıdaki şekli alır.

$$f_0 = \frac{f_s^{1/2}}{2\pi \sqrt{24 \times 60 \times 60 \times 365.25}} \quad (13)$$

Eğer veriler eşit aralıklı değilse, dönüşüm matrisinin her bir sütunu, tek tek ΔT ' ler tarafından ölçeklendirilir. Kovaryans matrisini oluşturmadan önce $\Delta T_j = |t_j - t_0|$ gerçekleştirilmelidir.

3.2.1. Tam sayı spektral indekslerdeki gürültü

3.2.1.1. Beyaz gürültü ($\kappa = 0$)

Mevcut veride WN olması durumunda, spektral indeks tam sayı değeri olmakta ve $\kappa = 0$ ' dir. WN olması durumunda $\Psi_0 = 1$ ve $\psi_n = 0$ olur. Dönüşüm matrisi ve kovaryans matrisi birim varyansa eşit olur ve skaler değer olurlar. Bu durumda dönüşüm matrisi zamandan bağımsız olur.

3.2.1.2. Random-walk gürültü ($\kappa = -2$)

Random-walk için tam sayı spektral indeks $\kappa = -2$ olur. Herhangi bir n için $\psi_n = 1$ olur ve bu durumda, dönüşüm matrisi,

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

ve kovaryans matrisi de,

$$J_{-2} = \begin{bmatrix} \Delta T_1 & \Delta T_1 & \Delta T_1 & \dots & \Delta T_1 \\ \Delta T_1 & \Delta T_2 & \Delta T_3 & \dots & \Delta T_2 \\ \Delta T_1 & \Delta T_2 & \Delta T_3 & \dots & \Delta T_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta T_1 & \Delta T_2 & \Delta T_3 & \dots & \Delta T_n \end{bmatrix} \quad (15)$$

şeklinde olacaktır (Johnson ve Wyatt, 1994; Zhang, ve ark. 1997; Mao, ve ark. 1999)

3.2.1.3. Flicker gürültü ($\kappa = -1$)

FN için, kovaryans matrisi J_{-1} Zhang ve ark. (1997)' de tanımlanmıştır ve kovaryans matrisi de Gardner. M. (1978)'de tanımlanan algoritmaya gürültü türetilerek üretilmiştir. Bu matristeki sabitler FN ve RWN büyüklükleri ve periyotları eşitmiş gibi düşünülerek seçilir ($b_{-1} = b_{-2}$). Bu ilk kovaryans matrisi (15) eşitliğinde ki dönüşüm matrisinden türetilen matrisle tam olarak aynı değildir. Bu iki dönüşüm matrisi arasındaki en önemli fark büyüklüklerin ($b_{-1}=b_{-2}$) ölçeklendirilmesidir. Yeni ve eski büyüklükler

arasındaki ölçeklendirme oranları kendi power spektrum eşitliklerinden türetilir. Yani,

$$P_{\text{eski}} = \frac{b_{\text{eski}}^2 f^{-1}}{2\pi^2} \quad (16)$$

$$P_{\text{yeni}} = \frac{b_{\text{yeni}}^2 f^{-1}}{\pi \sqrt{f_s \times 24 \times 60 \times 60 \times 365.25}}$$

olduğundan,

$$b_{\text{yeni}} = \frac{(f_s \times 24 \times 60 \times 60 \times 365.25)^{1/4}}{\sqrt{2\pi}} b_{\text{eski}} \quad (17)$$

örnekleme aralığı günde bir ölçü olduğunda (Hz biriminde)

$$b_{\text{yeni}} = 1.7440 b_{\text{eski}} \quad (18)$$

olur. Bu yüzden FN büyüklüğü için verilen değerler, kovaryans matrisini oluşturmadan önce yapılacak herhangi bir çalışma için yeniden hesaplanmalıdır (Zhang, ve ark. 1997).

3.3. Gürültü Modellerinin Zaman Serileri ile Belirlenmesi

Zaman serileri günümüzde farklı amaçlar için kullanılan farklı fonksiyonları içermektedir. Günümüze kadar bu seriler farklı disiplinlerde farklı amaçlarda kullanılmış, son yıllarda ise mühendislik alanında ve mesleğimizde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bir zaman serisi, ilgilenilen bir büyüklüğün zaman içerisinde sıralanmış ölçümlerinin bir kümesidir. Bu analizin yapılma amacı ise, gözlem kümesince temsil edilen gerçeğin anlaşılması ve zaman serisindeki değişkenlerin gelecekteki değerlerinin tahmin edilmesidir. Zaman serileri dört bileşenden oluşur. Bunlar;

- Genel eğilim (Trend)
- Mevsimlik dalgalanmalar (Seasonal Variations)
- Konjonktürel değişimler (Cyclic Variations)
- Tesadüf (rastgele) hareketler (Random or Irregular movements) olarak sıralanabilir (Anand, 2016).

3.4. Koordinat zaman serisi analizi

Gürültü modellerinin belirlenmesinde farklı yazılımlar bulunmaktadır. Bunlar;

- FOGMEX-GPS Solutions (Herring, 2003)
- CATS (Williams, 2008)
- Varyans Bileşen Analizi (Teunissen and Amiri-Simkooei, 2008)
- SURMODERR (Teza, ve ark. 2010)

yazılımlarıdır. Bu çalışmada en uygun gürültü modellerinin belirlenmesi için Williams (2008) tarafından geliştirilen Koordinat Zaman Serileri Analizi (CATS) yazılımı kullanılmıştır. CATS yazılımı

lineer olmayan veriyi çözülmesi, ücretsiz olarak temin edilmesi ve kurulum/kullanım dosyalarının internet aracılığıyla temin edilmesi bu yazılımın tercih edilmesinde etkin olmuştur.

CATS yazılımı stokastik gürültü modelinin büyüklüğünü ve tipini belirlemek için kalıntı hataları analiz ederken, zaman serisi için çok parametrelili model uydurmada EKKY kullanmaktadır. Program iki aşamalı süreçte tüm parametreleri çözmektedir. Bu süreçler, deprem, eğim, duraksama ve bilinen periyotları içeren doğrusal fonksiyonlar ve tahmin edilecek gürültü bileşenlerinin büyüklüğünü ve parametresini belirleyen lineer olmayan fonksiyondur (Williams, 2008).

3.4.1. CATS yazılımında stokastik modeller

CATS yazılımı gürültü modelini belirleyebilmek için 3 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; Langbein and Johnson (1997)' de tanıtılan MLE, Beran (1994)' de tanıtılan spektral tahmin (SE: Spectral Estimation) ve Williams (2003)' de tanıtılan deneysel yöntemdir (EM: Empirical Method).

CATS yazılımı gürültü analizinde model seçiminde aşağıdaki işlem gerçekleştirilecektir.

➤ Stokastik model

Stokastik model, model seçeneği kullanılarak tanımlanır ve herhangi bir zaman serisinde gerekli olması halinde kullanılabilir. Örneğin;

-- model wh: -- model pl: k-1

WN ve FN seçenekleri için kullanılır. Burada pl, power law süreci ve wh beyaz gürültü sürecini tanımlamaktadır. Power law sürecin ikinci kısmı k-1 ise -1 indekste flicker gürültüyü ifade etmektedir. Eğer spektral indeks tanımlanmaz ise, program bu durumda bu parametreleri tanımlayacaktır. CATS farklı gürültü modelleri için kovaryans matrisi üretebilmektedir. Bunlar;

- Beyaz gürültü
- Power law gürültü
- Birinci sıradan Gauss Markov gürültü
- Bant geçiren gürültü
- Genelleştirilmiş Gauss Markov
- Değişken beyaz gürültü
- Adım adım değişken beyaz gürültü

olarak sıralanabilir.

➤ Fonksiyonel Model

Fonksiyonel model eğer bir eğime, sıçramaya ya da herhangi bir ofset veri setinde olması durumunda daha önceden tanımlanmaktadır. Eğer herhangi bir periyodik sinyalin büyüklüğü ve genliği belirlenecekse, o zaman bu "sinusoid" komutu ile belirlenir. Bu komut gerekli olduğu her zaman komut satırında kullanılabilir. Eğer programın trendi belirlemesi istenmiyorsa, "notrend" komutu kullanarak bunu gerçekleştirilebilir.

➤ Diğer seçenekler

Yöntem, hangi tahmin yönteminin kullanılacağını ifade eder. “Verbose” komutu, çıktı dosyasında ekstra bilgilere izin verir. “Output” komutu ise çıktıların ekrana yazılmasının yanı sıra bir dosyaya yazılması için kullanılır. vvas.neu uzantılı bir dosyada beyaz gürültü ile flicker gürültünün miktarı belirlenecek ve veride yıllık bir sinyal etkisinin olduğu da düşünülüyorsa bu durumda, cats vvas.neu -- sinusoid 1y -- model pl:k-1 -- model wh: -- verbose -- output vvas.fn_mle komutu kullanılmalıdır. Bu durumda sonuçlar vvas.fn_mle isimli bir dosyaya programın çalıştırıldığı dizinde saklanacaktır.

4. UYGULAMA

Çalışma kapsamında Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2013-2019 yılları arasında her haftadan genellikle cuma günü seçilerek GNSS verileri temin edilmiş, verilerin değerlendirilmesi Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile yapılmıştır. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile yapılan değerlendirme aşamasında, her ne kadar yüksek dereceden iyonosferik düzeltme (HOI: Higher order ionospheric) uygulanmış olsada, sonuçların herhangi bir iyonosferik fırtınadan etkilenmemesi amacıyla, çözüm yapılacak günler seçilirken, jeomanyetik fırtına (Kp), jeomanyetik aktivite (Dst) ve güneş aktivite (F10.7) indis değerleri incelenmiştir. İlgili günde herhangi bir fırtına olması durumunda değerlendirme günü fırtınasız olan bir önceki ya da bir sonraki gün olarak seçilmiştir. Değerlendirme işleminin ardından bu verilerdeki mevcut gürültü bileşenlerinin ayrıştırılması yapılmıştır. Gürültü bileşenlerinin tipi ve büyüklüğü ortaya konulduktan sonra bu bileşenlerden ayrıştırılmış hız bileşenleri belirlenmiştir.

4.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Türkiye’de son yıllarda bazı kurum ve kuruluşlar tarafından tesis edilen ve sürekli ölçü toplayan birçok GNSS ağı mevcuttur. Bu ağların büyük bir çoğunluğu bölgesel ağlardır. Hem anlık olarak hem de sonradan değerlendirme (post-process) ile nokta konumlamaya imkan veren TUSAGA-Aktif Ağı tüm ülkeyi kapsayan ulusal bir ağıdır. Bu kapsamda çalışma alanı olarak Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan istasyonlar seçilmiştir (Şekil 4, Tablo 2). Bu istasyonların seçilmesinin en temel nedeni ise belirtilen tarih aralığında 30 sn RINEX verisinin var olmasıdır.

Çalışmada nokta hızları belirlenecek ve bu hızlara etki eden WN ve CN bileşenleri açıklanacak ve referans noktalarına dayalı olarak belirlenecek test noktalarının hızları plaka hareketlerinin etkilerine göre belirlenecektir. Referans noktalarının farklı plakalarda olması, bu plakaların birbirlerine olan itici etkilerinin de gürültü olarak ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir (Aktuğ, ve ark.. 2011). Bu nedenle, çalışma da kullanılan referans noktalarının, test noktaları ile aynı tektonik plaka üzerinde olmasına dikkat edilmiştir ve IGS noktaları Avrasya plakasında seçilmiştir (Şekil 3, Tablo 1).



Şekil 3. Kullanılan IGS istasyonları



Şekil 4. Kullanılan TUSAGA-AKTİF istasyonları

Tablo 1. IGS noktalarının yaklaşık konum bilgileri

No	Ülke	Kısa adı	Enlem (°)	Boylam (°)
1	Türkiye	ANKR	39.8875	32.7583
2	Avusturya	GRAZ	47.0669	15.4933
3	İtalya	MATE	40.6489	16.7044
4	Finlandiya	METS	60.2175	24.3953
5	İtalya	NOT1	36.8758	14.9897
6	İsveç	ONSA	57.3953	11.9253
7	Almanya	POTS	52.3792	13.0658
8	Rusya	SVTL	60.5328	29.7808
9	İspanya	VILL	40.4433	-3.9519
10	Rusya	ZECK	43.7883	41.5650
11	İsviçre	ZIMM	46.8769	7.4650

Çalışma alanı olarak seçilen Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan 7 adet TUSAGA-Aktif istasyonuna ait bilgileri Tablo 2' de verilmiştir. Yaklaşık konum ve koordinat bilgileri verilen istasyonlar analiz için kullanılmıştır. Yalnız bu istasyonlardan ADN1, HAT1 ve MAR1 istasyonları ADAN, HATA ve MARA istasyonlarının zamanla yerleri değiştirilmiş yeni tesisler olması nedeniyle Şekil 4' te gösterilmemiş ancak yeni nokta olarak analizlere dâhil edilmiştir.

Tablo 2. TUSAGA-Aktif istasyonları yaklaşık koordinatları ve yerleri

No	İl	Kısa adı	Enlem (°)	Boylam (°)
1	Adana	ADAN	37.0035	35.3437
		ADN1	37.0042	35.3437
2	Gaziantep	ANTE	37.0650	37.3736
3	Adana/Feke	FEEK	37.8151	35.9123
4	Hatay	HATA	36.2083	36.1528
		HAT1	36.2000	36.1558
5	Kilis	KLIS	36.7086	37.1122
6	Kahramanmaraş	MARA	37.5808	36.9311
		MAR1	37.5934	36.8615
7	Osmaniye	ONYI	37.1022	36.2539

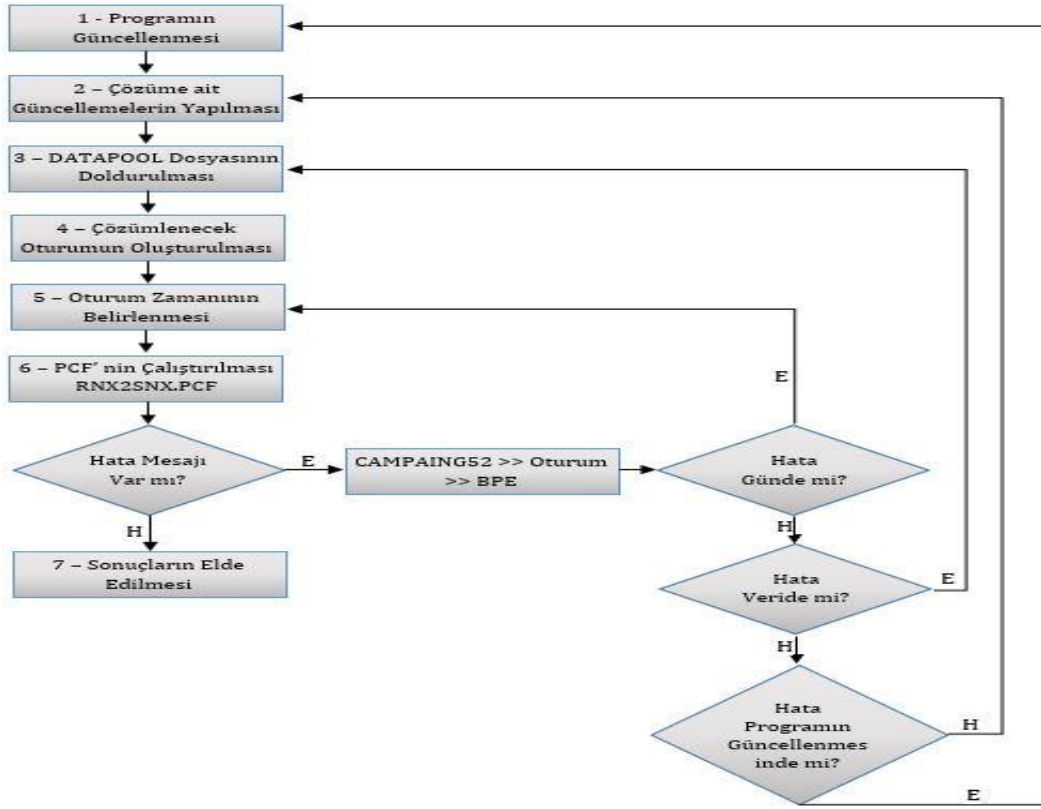
4.2. Verilerin Temin edilmesi

Çözüm için IGS ham verileri, TUSAGA-Aktif verileri ve Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı verilerinin bazıları MATLAB' da yazılan Veri İndirme Yazılımı (VIP) programı yardımıyla internette otomatik olarak, bazıları internette manuel olarak indirilmiş geri kalan veriler ise kullanıcı tarafından oluşturulmuştur. VIP programıyla ilgili detaylı bilgi Başçiftçi (2017) ve Başçiftçi ve ark., (2018)' den elde edilebilir.

Elde edilen veriler daha sonra Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile Şekil 5' te ki iş akış diyagramına bağlı olarak ikili farklar (double differences) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Değerlendirilen verilerin birleştirilmesi sonucunda 2005.00 referans epoğunda nokta koordinat ve hız bileşenleri elde edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. 2005.00 ölçü epoğunda güncel koordinatlar (m)

NN	X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
ADAN	4159895.2140	2950137.3930	3817739.7250	-0.01021	0.00915	0.00293
ADN1	4159857.0155	2950113.4502	3817799.89120	-0.01021	0.00915	0.00293
ANTE	4050047.3870	3093540.1590	3823682.7520	-0.02353	0.00588	0.01601
FEEK	4086437.8920	2959427.7290	3889620.6970	-0.01650	0.00282	0.01184
HATA	4160364.8050	3039661.1290	3746945.117	-0.02050	0.00610	0.01470
HAT1	4160635.1827	3040200.7997	3746202.5033	-0.02121	0.00787	0.01541
KLIS	4082921.9590	3089253.7660	3791925.0510	-0.02257	0.00501	0.01746
MARA	4045897.8910	3041185.2380	3869047.0430	-0.01820	0.00210	0.01210
MAR1	4048981.8907	3035809.1080	3870228.8971	-0.01872	0.00469	0.01425
ONYI	4107230.2470	3011971.0020	3826521.2630	-0.01814	0.00406	0.01225



Şekil 5. İkili farklar yöntemi iş akışı diyagramı (Bülbül, 2019)

Elde edilen çözümlerden sonra CATS yazılımı ile gürültü analizine geçilmiştir. Gürültü analizinde her 3 koordinat bileşeni için, Sadece Beyaz Gürültü (WN), Beyaz gürültü + Flicker Gürültü (WN+FN) ve Beyaz gürültü + Random Walk Gürültü (WN+RWN) kombinasyonları ile analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada WN dışında kalan gürültü türleri renkli gürültü (CN) olarak isimlendirilmiştir. Kuzey, Doğu ve yükseklik yönlerinde gürültülerin MLE değerleri tablo 4-6'de verilmiştir.

Tablo 4. Kuzey Bileşeni (n) için MLE değerleri

NN	WN	WN+FN	WN+RWN
ADAN	-716.1	-665.514	-663.033
ADN1	-700.2	-645.312	-642.041
ANTE	-691.25	-606.722	-605.538
FEEK	-1116.5	-769.154	-684.116
HATA	-611.075	-556.098	-555.953
HAT1	-600.075	-543.085	-542.558
KLIS	-440.219	-424.046	-742.555
MARA	-646.099	-600.131	-598.113
MAR1	-606.078	-550.12	-557.236
ONİY	-145.103	-135.103	-156.103

Tablo 5. Doğu bileşeni (e) için MLE değerleri

NN	WN	WN+FN	WN+RWN
ADAN	-634.29	-596.738	-600.034
ADN1	-624.336	-576.325	-599.325
ANTE	-325.254	-810.254	-725.124
FEEK	-1218.53	-821.189	-728.764
HATA	-666.661	-566.022	-566.457
HAT1	-1067.42	-1067.42	-1060.42
KLIS	-667.155	-632.928	-634.363
MARA	-419.655	-842.713	-751.537
MAR1	-144.356	-139.054	-140.055
ONİY	-150.536	-145.325	-141.55

Tablo 6. Yükseklik bileşeni (h) için MLE değerleri

NN	WN	WN+FN	WN+RWN
ADAN	-259.623	-242.19	-239.6
ADN1	-263.251	-254.125	-243.266
ANTE	-987.474	-977.093	-977.203
FEEK	-1030.57	-1002.14	-1001.42
HATA	-1077.72	-983.959	-980.532
HAT1	-921.621	-905.819	-908.885
KLIS	-915.215	-904.215	-905.215
MARA	-825.251	-752.215	-698.25
MAR1	-707.105	-702.23	-705.29
ONİY	-962.791	-949.264	-950.971

Tablo 4-6 incelendiğinde koordinat bileşenleri için WN ve CN yoğunluklarına bakıldığında ve tüm istasyonlar dikkate alındığında;

- Kuzey bileşeninin sadece beyaz gürültü ile yüklü olmadığı, noktaların ~%20'sinin WN + FN ile ve ~%80'inin ise WN + RWN ile yüklü olduğu,

- Doğu bileşeninin ise %30'unun sadece WN ile yüklü olduğu, ~%50'sinin WN + FN ile ve %20'sinin ise WN + RWN ile yüklü olduğu,

- Düşey bileşeninin sadece beyaz gürültü ile yüklü olmadığı, ~%50'sinin WN + FN ile, ~%50'sinin ise WN + RWN ile yüklü olduğu görülmektedir.

Aynı tablolar incelendiğinde MLE değerlerinin kuzey koordinat bileşeni için, WN' de -145.103 – -1116.497, WN+FN' de -135.103 – -769.154 ve WN+RWN' de -156.103 – -742.555 aralığında, doğu koordinat bileşeni için, WN' de -144.356 – -1218.534, WN+FN' de -139.054 – -1067.421 ve WN+RWN' de -140.055 – -1060.420 aralığında, yükseklik bileşeni için, WN' de -259.623 – -1077.720, WN+FN' de -242.190 – -1002.14 ve WN+RWN' de -239.600 – -1001.415 aralığında değiştiği görülmektedir.

Gürültü analizi için önemli parametrelerden biri de genliklerdir. Genlikler mevcut veride var olan uygun gürültü modelinin büyüklüğünü göstermektedir. WN, WN+FN ve WN+RWN gürültü modelleri için hesaplanan genlikler Tablo 7-9'da verilmiştir.

Tablo 7. Kuzey bileşeni gürültü genlikler (mm)

NN	WN		WN+FN		WN+RWN	
ADAN	2.03	± 0.08	3.56	± 0.38	2.69	± 0.45
ADN1	7.20	± 0.28	7.07	± 0.28	9.81	± 0.75
ANTE	2.03	± 0.08	2.88	± 0.38	1.67	± 0.32
FEEK	2.05	± 0.24	2.87	± 0.35	2.33	± 0.32
HATA	3.53	± 0.14	5.55	± 0.74	3.64	± 0.66
HAT1	3.52	± 0.17	5.51	± 0.67	1.69	± 0.70
KLIS	1.57	± 0.07	2.67	± 0.33	1.72	± 0.37
MARA	1.60	± 0.09	2.60	± 0.38	1.77	± 0.45
MAR1	1.26	± 0.1	2.25	± 0.28	1.67	± 0.32
ONİY	1.47	± 0.07	2.19	± 0.46	16.46	± 0.64

Tablo 8. Doğu bileşeni gürültü genlikler (mm)

NN	WN		WN+FN		WN+RWN	
ADAN	1.52	± 0.15	3.65	± 2.45	1.98	± 0.61
ADN1	1.70	± 0.07	2.81	± 0.41	1.73	± 0.41
ANTE	5.75	± 0.22	2.35	± 2.60	1.56	± 0.35
FEEK	1.85	± 0.07	2.68	± 0.41	1.56	± 0.38
HATA	3.55	± 0.09	2.59	± 2.12	1.63	± 1.10
HAT1	9.82	± 0.38	8.28	± 0.32	9.16	± 0.78
KLIS	1.86	± 0.07	3.57	± 0.37	2.56	± 0.44
MARA	2.49	± 0.11	3.45	± 0.39	3.12	± 0.86

MAR1	1.41	±	0.11	2.78	±	0.76	2.08	±	0.93
ONİY	1.35	±	0.07	8.97	±	2.85	15.98	±	1.14

Tablo 9. Yükseklik bileşeni gürültü genlikler (mm)

NN	WN		WN+FN		WN+RWN	
ADAN	6.62	± 0.26	4.63	± 1.64	1.55	± 0.69
ADN1	5.12	± 0.19	4.89	± 1.61	1.78	± 0.88
ANTE	6.40	± 0.25	10.68	± 1.14	6.82	± 1.23
FEEK	4.05	± 0.16	5.38	± 1.09	2.58	± 0.79
HATA	4.36	± 0.21	6.25	± 1.02	6.25	± 1.16
HAT1	4.53	± 0.17	4.28	± 1.00	1.78	± 0.56
KLIS	5.60	± 0.22	6.58	± 1.12	3.08	± 0.81
MARA	5.74	± 0.26	10.57	± 1.80	6.82	± 1.23
MAR1	4.39	± 0.20	6.07	± 1.82	1.94	± 0.87
ONİY	4.90	± 0.19	5.81	± 1.27	2.40	± 0.75

Tablo 7-9 incelendiğinde genliklerin benzer büyüklüklerde olduğu görülmektedir. WN için; kuzey bileşeninde genlikler 1.26 mm – 7.20 mm, doğu bileşeninde 1.35 mm – 9.82 mm, yükseklik bileşeninde ise 4.05 mm – 6.62 mm arasında, WN+FN için; kuzey bileşeninde genlikler 2.19 mm – 7.07 mm, doğu bileşeninde 2.35 mm – 8.97 mm, yükseklik bileşeninde ise 4.28 mm – 10.68 mm arasında, WN+RWN içinde; kuzey bileşeninde genlikler 1.67 mm – 16.46 mm, doğu bileşeninde 1.56 mm – 15.98 mm, yükseklik bileşeninde ise 1.55 mm – 6.82 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama hataları ise; WN de; kuzey bileşeni için $\pm 0.07 - \pm 0.28$, doğu bileşeni için, $\pm 0.07 - \pm 0.38$, yükseklik bileşeni için, $\pm 0.16 - \pm 0.26$ arasında, WN+FN' de; kuzey bileşeni için $\pm 0.28 - \pm 0.74$, doğu bileşeni için, $\pm 0.32 - \pm 2.85$, yükseklik bileşeni için, $\pm 1.00 - \pm 1.82$ arasında, WN+ RWN' de ise; kuzey bileşeni için $\pm 0.32 - \pm 0.75$, doğu bileşeni için, $\pm 0.35 - \pm 1.14$, yükseklik bileşeni için, $\pm 0.56 - \pm 1.23$ arasında değiştiği görülmektedir. Genlikler incelendiğinde yükseklik bileşenini diğer bileşenlerden daha yüksek ortalama hataya sahip olduğu görülmektedir.

4.3. Gürültüden Arındırılmış Hız Bileşenlerinin Belirlenmesi

Gürültü bileşenlerinden arındırılmış hız bileşenlerinin belirlenmesinde zaman serilerinden yararlanılmıştır. Gürültü bileşenleri ve genlikleri belirlendikten sonra gürültü bileşenlerinden arındırılmış hız bileşenleri elde edilmiştir. Bu bölümde koordinatlar zaman serileri ile ifade edilmiş ve gürültüden arındırılmış hız bileşenleri verilmiştir. Koordinatların zaman serileri ile analiz edilmesinde bir dizi MATLAB komutundan yararlanılmıştır. Hazırlanan DT.m isimli MATLAB fonksiyonu kullanılmıştır. DT.m fonksiyonu ile birlikte önce trend daha sonra gürültü + trend belirlenmiştir. DT.m fonksiyonunun çıktı verileri

CATS yazılımı ile değerlendirilerek gürültü ve trendden arındırılmış hız bileşenleri elde edilmiştir.

Gürültüden arındırılmış her bir koordinat bileşenine ait hızlar ve bunların karesel ortalama hataları Tablo 10-a,b-11' de verilmiştir.

Tablo 10a. Gürültü bileşenlerinden arındırılmamış hız bileşenleri (m)

NN	Gürültüden arındırılmamış		
	V _x	V _y	V _z
ADAN	-0.0102	0.0092	0.0029
ADN1	-0.0102	0.0092	0.0029
ANTE	-0.0235	0.0059	0.0160
FEEK	-0.0165	0.0028	0.0118
HATA	-0.0205	0.0061	0.0147
HAT1	-0.02121	0.00787	0.01541
KLIS	-0.0226	0.0050	0.0175
MARA	-0.0182	0.0021	0.0121
MAR1	-0.01872	0.00469	0.01425
ONİY	-0.0181	0.0041	0.0123

Tablo 10b. Gürültü bileşenlerinden arındırılmış hız bileşenleri (m)

NN	Gürültüden arındırılmış		
	V _x	V _y	V _z
ADAN	-0.0104	0.0091	0.0030
ADN1	-0.0101	0.0093	0.0028
ANTE	-0.0233	0.0057	0.0162
FEEK	-0.0168	0.0025	0.0119
HATA	-0.0204	0.0060	0.0145
HAT1	-0.0209	0.0080	0.0153
KLIS	-0.0225	0.0046	0.0176
MARA	-0.0185	0.0022	0.0119
MAR1	-0.0186	0.0044	0.0145
ONİY	-0.0183	0.0039	0.0124

Tablo 11. Gürültü bileşenlerinden arındırılmış hızlara ait karesel ortalama hatalar (m)

NN	m_{V_x}	m_{V_y}	m_{V_z}
ADAN	0.00015	0.00009	0.00013
ADN1	0.00013	0.00013	0.00011
ANTE	0.00012	0.00008	0.00015
FEEK	0.00019	0.00032	0.0002
HATA	0.00009	0.00008	0.0001
HAT1	0.00017	0.00008	0.00014
KLIS	0.00011	0.00008	0.00011
MARA	0.00089	0.00092	0.0008
MAR1	0.00079	0.00082	0.0007
ONİY	0.00015	0.00023	0.0003

Gürültüden arındırılmadan önce Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile elde edilmiş hız bileşenleri ile CATS yazılımı kullanılarak gürültüden arındırılmış olarak elde edilmiş hız bileşenleri arasındaki farklar Tablo 12' de verilmiştir.

Tablo 12. Gürültüden arındırılmış ve arındırılmamış hızlar arasındaki farklar (mm)

NN	ΔV_x	ΔV_y	ΔV_z
ADAN	-0.2	-0.1	0.1
ADN1	0.1	0.1	-0.1
ANTE	0.2	-0.2	0.2
FEEK	-0.3	-0.3	0.1
HATA	0.1	-0.1	-0.2
HAT1	0.3	0.1	-0.1
KLIS	0.1	-0.4	0.1
MARA	-0.3	0.1	-0.2
MAR1	0.1	-0.3	0.2
ONİY	-0.2	-0.2	0.1

Tablo 12 incelendiğinde, gürültüden arındırılmış ve arındırılmamış hızlar arasındaki farkların X bileşeninde ± 0.3 mm seviyesinde olduğu, Y bileşeni için -0.4 mm ile 0.1 mm arasında değiştiği, Z koordinat bileşeni için ± 0.2 mm seviyesinde olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR

20.yy sonlarından itibaren GNSS teknikleri tektonik plaka hareketlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Büyük plaka hareketleri sonucunda oluşan depremler nokta koordinatlarında büyük değişikliklere neden olmuş, sürekli ya da tekrarlı olarak gerçekleştirilen ölçülere lineer bir trend uygulanmış ve bu etkiler sonucunda meydana gelen yer değiştirmeler ile nokta hızları belirlenmiştir.

Jeodezik amaçlarla kullanılacak nokta koordinatları deprem, tektonik hareketler, dünyanın hareketi vb. doğal olaylar ya da insanlığın müdahalesi sonucunda yer değiştirmelere maruz kalmaktadır. Bu yer değiştirmeler sonucunda nokta koordinatları dinamik bir yapıda olmaktadır. Dinamik yapıda olan bu hareketler sonucunda daha önce tesis edilmiş olan sabit noktaların koordinatları zamana bağlı olarak yer değiştirmekte ve bir hareket göstermektedir. Bu hareket sonucunda ise gerçekleştirilecek ölçümlerin doğruluğu değişecek ve gerçek değerler elde edilemeyecektir.

GNSS verilerinden günlük koordinat kestirimi yapılarak, noktaların hızları belirlenebilmektedir. Bu hızların GNSS sinyallerinin sahip olduğu gürültü bileşenleriyle de yüklü olduğu bilinmektedir. Bunlara bağlı olarak GNSS koordinatlarının hızlarının kestiriminde gürültülerle yüklü olan hızlar belirlenmektedir. Bu durumda karşımıza çıkan en temel sorunlardan biriside bu verilerde bulunan

renkli gürültü ve beyaz gürültülerin hız bileşenlerine etkilerinin araştırılması, etkilerinin ortaya çıkartılması ve bu etkilerden arındırılmış olarak hızların belirlenmesidir.

Çalışma kapsamında GNSS ölçülerini etkileyen gürültü türleri ve bu gürültü türlerini belirlenmesinde kullanılan yazılımlar irdelenmiştir. Günümüze kadar yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde, GNSS sinyallerini genellikle WN, WN ile FN ve WN ile RWN' un etkilediği ortaya konmuştur. Bu sebepten dolayı Türkiye'nin güney doğusunda bulunan 7 adet TUSAGA-Aktif istasyonlarında var olduğu bilinen WN, WN+FN ve WN+RWN türleri incelenmiştir. Ayrıca bu gürültülerden arındırılmış hız bileşenleri ve bu gürültülerle yüklü olduğu bilinen hız bileşenleri elde edilerek aralarındaki farklar ortaya konulmuştur.

GNSS ölçülerini etkileyen gürültü türlerinin belirlenmesinde CATS yazılımı kullanılmıştır. CATS yazılımı sonucunda elde edilen en uygun gürültü türünün belirlenmesinde ise MLE değerleri dikkate alınarak yorumlanmıştır.

Tablo 4-6 incelendiğinde koordinat bileşenleri için WN ve CN yoğunluklarına bakıldığında ve tüm istasyonlar dikkate alındığında; kuzey bileşeninin sadece beyaz gürültü ile yüklü olmadığı, noktaların ~%20'sinin WN + FN ile ve ~%80'inin ise WN + RWN ile yüklü olduğu, doğu bileşeninin ise %30'unun sadece WN ile yüklü olduğu, ~%50'sinin WN + FN ile ve %20'sinin ise WN + RWN ile yüklü olduğu, düşey bileşeninin sadece beyaz gürültü ile yüklü olmadığı, ~%50'sinin WN + FN ile, ~%50'sinin ise WN + RWN ile yüklü olduğu görülmektedir.

MLE değerlerinin kuzey koordinat bileşeni için,

- WN' de -145.103 – -1116.497,
- WN+FN' de -135.103 – -769.154,
- WN+RWN' de -156.103 – -742.555 aralığında,

Doğu koordinat bileşeni için,

- WN' de -144.356 – -1218.534,
- WN+FN' de -139.054 – -1067.421,
- WN+RWN' de -140.055 – -1060.420 aralığında,

Yükseklik bileşeni için,

- WN' de -259.623 – -1077.720,
- WN+FN' de -242.190 – -1002.14,
- WN+RWN' de -239.600 – -1001.415 aralığında

değiştirdiği görülmektedir.

Tablo 7-9 incelendiğinde genliklerin benzer büyüklüklerde olduğu görülmektedir.

- ❖ WN için; kuzey bileşeninde genlikler 1.26 mm – 7.20 mm, doğu bileşeninde 1.35 mm – 9.82 mm, yükseklik bileşeninde ise 4.05 mm – 6.62 mm arasında,
- ❖ WN+FN için; kuzey bileşeninde genlikler 2.19 mm – 7.07 mm, doğu bileşeninde 2.35 mm – 8.97 mm, yükseklik bileşeninde ise 4.28 mm – 10.68 mm arasında,
- ❖ WN+RWN içinde; kuzey bileşeninde genlikler 1.67 mm – 16.46 mm, doğu bileşeninde 1.56 mm – 15.98 mm, yükseklik bileşeninde ise 1.55 mm – 6.82 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.

Ortalama hataları ise;

- ❖ WN de; kuzey bileşeni için $\pm 0.07 - \pm 0.28$, doğu bileşeni için, $\pm 0.07 - \pm 0.38$, yükseklik bileşeni için, $\pm 0.16 - \pm 0.26$ arasında,
- ❖ WN+FN' de; kuzey bileşeni için $\pm 0.28 - \pm 0.74$, doğu bileşeni için, $\pm 0.32 - \pm 2.85$, yükseklik bileşeni için, $\pm 1.00 - \pm 1.82$ arasında,
- ❖ WN+ RWN' de ise; kuzey bileşeni için $\pm 0.32 - \pm 0.75$, doğu bileşeni için, $\pm 0.35 - \pm 1.14$, yükseklik bileşeni için, $\pm 0.56 - \pm 1.23$ arasında değiştiği görülmektedir.

Yapılan karşılaştırmalar dikkate alındığında gürültüden arındırılmış ve arındırılmamış hızlar arasında mm altı bir yakınlık olduğundan dolayı aslında temel jeodezik ölçmelerde gürültüden arındırılmış hızların kullanımının pratikte kullanıcılara çok katkı sağlamayacağı ancak ölçü epöğü ile referans epöğü arasındaki farkları arttıkça hata miktarının da artacağından dolayı yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalarda ise gürültüden arındırılmış hızların kullanılmasının hesaplanacak nokta konum ve doğruluğunu büyük oranda etkileyeceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Agnew, D.C. (1992). The Time-Domain Behavior of Power-Law Noises. *Geophys Research Letters*, 19,333-336, <https://doi.org/10.1029/91GL02832>
- Aktuğ, B., Kurt, M., Parmaksız, E., Lenk, O., Erkan, Y. ve Aysezen, Ş. (2011). Türkiye'de Sabit GNSS İstasyonlarının Tarihi ve Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif). TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Aktuğ, B. (2003). ITRF Hız Alanı ve Görelî Hız Referans Sistemlerine Bakış, *Harita Dergisi*, Ankara.
- Altamimi, Z., Sillard, P. ve Boucher, C. (2003). The Impact of NNet Rotation Condition on ITRF2000. *Geophysical Research Letters*, Vol.30, No.2, 1064.
- Anand, S. (2016). Everything About Time Series Analysis And The Components of Time Series Data. <https://www.linkedin.com/pulse/everything-time-series-analysis-components-data-saranya-anandh>: Accesed date: 16.07.2018.
- Başçıftçı, F. (2017). GNSS Verileri Kullanılarak İyonosfer Modelinin Oluşturulması ve Global Modellerle Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Başçıftçı, F., İnal, C., Yıldırım, Ö. Ve Bülbül, S. (2018). Automatic Data Downloading Program (DDP) in Determining Regional Ionosphere Model. *Journal of New Results in Science*, 7 (1), 17-28.

- Beran, J. (1994). *Statistics for Long-Memory Processes*, Monogr Stat Appl Probab, 61, 315 pp. Chapman and Hall, New York.
- Bülbül, S. (2019). TUSAGA-AKTİF Noktalarında Renkli Gürültülerden Arındırılmış Hız Bileşenlerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 179.
- Bülbül, S., ve İnal, C. (2019). Noise Analysis In CORS-Tr Stations -Case Of ADAN Station, Euroasia International Congress On Applied Sciences-II, Hatay.
- Bülbül, S., İnal, C., Yıldırım, Ö. ve Başçiftçi, F. (2017). Velocity Estimation of Turkish National Permanent GNSS Network Active Points Located at Central Anatolia Region, Bilge International Journal of Science and Technology Research.
- Bos, M. S., Bastos, L. ve Fernandes, R. M. S. (2010). The Influence of Seasonal Signals on The Estimation of The Tectonic Motion in Short Continuous GPS Time-Series, *Journal of Geodynamics*, 49, 205-209, <https://doi.org/10.1016/j.jog.2009.10.005>
- Cucci, L., De Martini, P. M., Masana, E. ve Vanneste, K. (2012). Active Tectonics around The Mediterranean Region: Site Studies and Application of New Methodologies. *Annals of Geophysics*, 55 (5), 843-846, doi: 10.4401/ag-6272
- Davis, A., Marshak, A., Wiscombe, A. ve Cahalan, R. (1994). Multifractal Characterizations of Nonstationarity and Intermittency in Geophysical Fields: Observed, Retrieved or Simulated. *Journal of Geophysical Research*, 99, 8055-8072, <https://doi.org/10.1029/94JD00219>
- Gardner. M. (1978). *Mathematical Games: White and Brown Music, Fractal Curves and One-over-f Fluctuations*. *Scientific American*, 238 (4), 16–32.
- Gleason, S., Gebre-Egziabher, D., ve Gebre Egziabher, D. (2009). *GNSS Applications and Methods*. Artech House.
- He, X., Bos, M.S., Montillet, J.P. (2019). Investigation of the noise properties at low frequencies in long GNSS time series. *J Geod* 93, 1271–1282, <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01244-y>
- Herring, T. (2003). MATLAB Tools for Viewing GPS Velocities and Time Series. *GPS Solutions*, 7, 194-199, <https://doi.org/10.1007/s10291-003-0068-0>
- Hosking, J. R. M. (1981). Fractional Differencing. *Biometrika*, 68 (1), 165–176.
- Jackson, J. ve Mckenzie, D. (1988). The Relationship Between Plate Motions and Seismic Moment Tensors, and The Rates of Active Deformation in The Mediterranean and Middle-East. *Geophysical Journal-Oxford*, 93 (1), 45-73.
- Johnson, H. ve Wyatt, F. K. (1994). *Geodetic Network Design for Faultmechanics Studies*, *Manuscripta Geodaetica*, 19, 309-323.
- Langbein, J. (2004). Noise in two-color electronic distance meter measurements revisited. *Journal Geophysical Research*, 109 (B04406). doi:10.1029/2003JB002819
- Langbein, J. ve Johnson, H. (1997). Correlated Errors in Geodetic Time Series: Implications for Time-dependent Deformation. *Journal Geophysical Research*, 102 (B1), 591-603.
- Malinaverno, A. (1989). Testing Linear Models of Sea Floor Topography. *Pure and Applied Geophysics*, 131,139-155, <https://doi.org/10.1007/BF00874484>
- Mandelbrot, B. ve Van Ness, J. (1968). Fractional Brownian Motions, Fractional Noises, and Applications. *SIAM Review*, 10 (4), 422–437, <https://doi.org/10.1137/1010093>
- Mandelbrot, B. (1977). *Fractals: Form, Chance, and Dimension*. W. H. Freeman and Company, p. 352.
- Mandelbrot, B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco, Freeman.
- Mao, A., Harrison, C.G.A., ve Dixon, T.H. (1999). Noise in GPS coordinate time series. *Journal Geophysical Research*, 104 (B2):2797–2816. doi:10.1029/1998JB900033
- Montillet, JP., Bos M.S., Melbourne, T.I., Williams, S.D.P., Fernandes, R.M.S. ve Szeliga, W.M. (2020). Estimation of the Vertical Land Motion from GNSS Time Series and Application in Quantifying Sea-Level Rise. In: Montillet JP., Bos M. (eds) *Geodetic Time Series Analysis in Earth Sciences*. Springer Geophysics. Springer, Cham
- Özdemir, S. (2016). TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine, *Harita Dergisi*, 155, 53-81.
- Santamaría-Góme A., Bouin M.N., Collilieux X., ve Wöppelmann G. (2011). Correlated errors in GPS position time series: implications for velocity estimates. *J Geophys Res*, 116 (B15):B01405
- Shi, C., Guo, S., Gu, S., Yang, X., Gong, X., Deng, Z., Ge M., ve Schuh, H. (2019). Multi-GNSS satellite clock estimation constrained with oscillator noise

- model in the existence of data discontinuity. *Journal of Geodesy*, 93:515–528
<https://doi.org/10.1007/s00190-018-1178-3>
- Tatarskii, V.I. (1961). *Wave Propagation in A Turbulent Medium*. New York, Dover.
- Teunissen, P. J. G. ve Amiri-Simkooei, A. R. (2008). Least-squares Variance Component Estimation. *Journal of Geodesy*, 82 (2), 65-82,
<https://doi.org/10.1007/s00190-007-0157-x>
- Teza, G., Pesci, A., ve Casula, G. (2010). SURMODERR: A MATLAB Toolbox for Estimation of Velocity Uncertainties of A Non-permanent GPS Station. *Computers & Geosciences*, 36 (8), 1033-1041,
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.03.003>
- Treuhaft, R. N., ve Lanyi, G.E. (1987). The Effect of the Dynamic Wet Troposphere on Radio Interferometric Measurements. *Radio Science*, 22, 251-265. doi: 10.1029/RS022i002p00251
- Wang, G. (2015). Noise characterization of GPS time series from the second IGS reprocessing campaign. University of Stuttgart, Institute of Geodesy, Bachelor Thesis, Stuttgart, 78.
- Williams, S.D.P. (2003). The effect of coloured noise on the uncertainties of rates from geodetic time series. *Journal of Geodesy*, 76 (9–10):483–494. doi:10.1007/s00190-002-0283-4
- Williams, S.D.P. (2008). CATS: GPS coordinate time series analysis software. *GPS Solutions*, 12 (2):147–153. doi:10.1007/s10291-007-0086-4
- Williams, S.D.P., Bock Y., Fang, P., Jamason, P., Nikolaidis, R.M., Prawirodirdjo, L., Miller, M., ve Johnson, D.J. (2004). Error analysis of continuous GPS position time series. *Journal Geophysical Research*, 109 (B03412). doi:10.1029/2003JB002741
- Wyatt, F., Morrissey, S. T., ve Agnew, D. C. (1988). Shallow Borehole Tilt: A Reprise. *Journal Geophysical Research*, 93, 9197-9201,
<https://doi.org/10.1029/JB093iB08p09197>
- Yılmaz, M. (2012). Jeodezik Nokta Hız Kestiriminde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılabilirliği. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 106.
- Zhang, J., Bock, Y., Johnson, H., Fang, P., Williams, S., Genrich, J., Wdowinski, S., ve Behr, J. (1997). Southern California Permanent GPS Geodetic Array: error analysis of daily position estimates and site velocities. *Journal Geophysical Research*, 102 (B8):18035–18055.



© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>