GÜFBED/*GUSTIJ* (2019) 9 (1): 180-188
DOI: 10.17714/gumusfenbil.417853 Araştırma Makalesi / *Research Article*

Serisel Korelasyonun Toplam Zenit Gecikmesi Zaman Serilerinde Parametrik Olmayan Trend Belirleme Üzerindeki Etkisi

The Effect of Serial Correlation on Nonparametric Trend Determination at Zenith Total Delay Time Series

Cansu BEŞEL*[,a], Emine TANIR KAYIKÇI[b]
[1]*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080,Trabzon*

• Geliş tarihi / *Received*: 23.04.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / *Received in revised form*: 17.07.2018 • Kabul tarihi / *Accepted*: 23.07.2018

Öz
GNSS gözlemlerinin analizinden elde edilen toplam zenit gecikmesi (ZTD) hava şartlarının belirlenmesinde önemli bir parametre olması sebebiyle GNSS tekniğinin iklimsel çalışmalarda da önemli bir yeri vardır. ZTD verilerinden oluşturulan zaman serilerinin trend analizi ile, uzun dönemlerde veride meydana gelen değişimler incelenebilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye ve Avrupa'dan seçilen 10 adet IGS (Uluslararası GNSS Servisi) istasyonu için 1995-2010 yılları arasındaki ZTD ürünlerinin COST Aksiyonu ES1206, GNSS4SWEC (Advanced Global Navigation Satellite Systems Tropospheric Products for Monitoring Severe Weather Events and Climate) kapsamında yeniden kestirimi ile elde edilmiş (IGS Repro1) verileri kullanılarak oluşurulan zaman serilerindeki trend ve serisel korelasyon etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Trend analizinde parametrik olmayan yöntemlerden Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Serisel korelasyonu belirlemek için otokorelasyon katsayısı hesaplanmış olup seriyi korelasyondan arındırmak için Trend-Free Prewhitening yöntemi uygulanmıştır. Korelasyondan arındırılan seriye tekrar trend analizi yapılarak serisel korelasyonun trendin belirlenmesi üzerindeki etkisi ve Trend-Free Prewhitening yönteminin performansı üzerine irdelemeler yapılmaya çalışılmıştır. Çalışmada IGS istasyonlarındaki ZTD verilerinin tümünde anlamlı serisel korelasyonlar elde edilmiştir. Aynı zamanda LAMA, ONSA ve PENC istasyonlarında Trend-Free Prewhitening uygulandıktan sonra trend olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan yöntemlerle ilgili hesaplamalar MATLAB program kodları kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Mann-Kendall Testi, Serisel Korelasyon, Trend, Trend-Free Prewhitening, Toplam Zenit Gecikmesi

Abstract
GNSS technique is important in climate studies because of obtaining Zenith Total Delay which is significant parameter to determine weather conditions with analysis of GNSS observations. Interchanges of long term data can be detected via trend analysis produced by ZTD time series data. In this study, trend and serial correlation effect of time series of (IGS Repro1) were investigated using between 1995-2010 reprocessed ZTD data in the framework of COST Action ES1206, GNSS4SWEC (Advanced Global Navigation Satellite Systems Tropospheric Products for Monitoring Severe Weather Events and Climate). Mann-Kendall test was performed for nonparametric method. The autocorrelation coefficient was calculated to set the serial correlation. Trend-Free Prewhitening method has been applied to eliminate the correlation. The effect on the trend determination of serial correlation and the performance of Trend-Free Prewhitening method were tried to made examination by making re-trend analysis in series which eliminated correlation. As a result of the performed methods, serial correlation is substantial whole ZTD data. At the same time, there are trends in LAMA, ONSA and PENC stations after applying Trend-Free Prewhitening. In this work, MATLAB programming language was handled in all of the tests.

Keywords*: Mann-Kendall Test, Serial Correlation, Trend, Trend-Free Prewhitening, Zenith Total Delay*

*[a] Cansu BEŞEL; cansubesel@ktu.edu.tr; Tel: (0462) 377 27 76; orcid.org/0000-0003-3434-6483
[b] orcid.org/0000-0001-8259-5543

1. Giriş

İklim değişikliği, en önemli çevre sorunlarından biridir. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) iklim çalışmalarında sağladığı avantajlar sebebiyle önemlidir. GNSS sinyalleri yer yüzündeki alıcılara ulaşmadan önce atmosferin yapısından kaynaklı olarak troposferik gecikmeye uğramaktadır. Bu gecikme, genellikle zenit doğrultusuna dönüştürülerek Toplam Zenit Gecikmesi (ZTD-Zenith Total Delay) olarak elde edilmektedir (Baldysz vd., 2016). ZTD verileri zamana bağlı sıcaklık ve su buharı içeriği ile korelasyon göstermektedir (Guerova, 2013; Yong vd., 2008). ZTD verilerinin büyüklüğü ve mevsimsel değişkenliği enlem, boylam, su kütlesine uzaklık gibi etkenlere bağlıdır. Bu nedenle, ZTD verileri bölgesel hava şartları hakkında bilgi sağlamaktadır (Jin vd., 2007). ZTD'nin sıcaklık ve basınç gibi meteorolojik verilerle kullanılması ile su buharı belirlenebilmektedir (Bevis vd., 1992). İklim değişikliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri olan su buharı, sera gazı etkisine sebep olan temel gazlardan biridir ve atmosfer ve hidrolojik döngünün işleyişini şekillendirmede de önemli bir rol oynamaktadır (COST, 2012; Baldysz vd., 2015).

ZTD, Hidrostatik Zenit Gecikmesi (ZHD) olarak adlandırılan kuru bileşen ve Islak Zenit Gecikmesi (ZWD) olarak adlandırılan ıslak bileşenden oluşmaktadır. Islak gecikmeye atmosferik su buharı, kuru gecikmeye ise diğer tüm atmosferik bileşenler (büyük oranda sıcaklık ve basınç) sebep olur (Rocken vd., 1994). ZWD değişken bir yapıya sahip olduğundan sadece basınç, sıcaklık ve bağıl nem gibi yüzey ölçümleri (in-situ) ile doğru bir şekilde tahmin edilememektedir. ZWD; ZTD'nin %10'unu oluşturmaktadır ve su buharının düzensiz dağılımından dolayı modellenmesi zordur. ZWD, ortalama atmosfer sıcaklığı kullanarak entegre su buharına (Integrated Water Vapour-IWV) dönüştürülebilmektedir. Bu dönüşüm iklim çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. ZTD verilerinden oluşturulan zaman serilerinin trend analizi ile, uzun dönemlerde veride meydana gelen değişimler göz önüne serilmektedir. Böylece, ZTD'nin su buharına bağlı ıslak bileşeni olan ZWD etkisi tahmin edilebilmekte ve geleceğe yönelik meteorolojik yorumlar yapıla-bilmektedir (Tanır Kayıkçı ve Beşel 2017; Beşel 2017).

Zaman serileri, gözlemlenen trendlerin önemini büyük ölçüde etkileyen ve serisel bağımlılık olarak da bilinen otokorelasyon bileşenini içermektedir. Serisel bağımlılığın giderilmesi, oldukça değişken zaman serilerinde zayıf trend eğilimlerinin belirlenmesinde önemlidir. Zaman serilerindeki otokorelasyon, trendin fazla veya eksik belirlenmesine sebep olmaktadır (Blain 2015).

Von Storch ve Navarra (1995), Hamed ve Rao (1998) ve Yue ve Wang (2002) yapmış oldukları çalışmalarda trend testinin performansını serisel korelasyonun varlığı durumda da test etmiştir. Çalışmaların sonucunda, pozitif serisel korelasyon varlığının Mann-Kendall testinin varyansını artırdığı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, Mann-Kendall yöntemini uygulamadan önce seri içerisindeki otokorelasyon katsayısı belirlenmeli ve seri içerisinden çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla uygulanan yöntem Prewhitening olarak adlandırılmaktadır. Bu sayede serisel korelasyonun I. Tip hatalarının oluşumu üzerindeki etkisi ortadan kaldırılmaktadır (Blain, 2012; Von Storch ve Navarra, 1995; Yue ve Wang, 2002). Fakat bu yöntem otokorelasyonu kaldırırken trendin de bir kısmını kaldırabileceğinden II. Tip hatalarının ortaya çıkmasında bir artışa da neden olabilmektedir (Fleming ve Clark, 2002; Yue ve Wang, 2002). Yue ve Wang (2002), serisel korelasyon ile doğrusal trend arasındaki ilişkiyi araştırmıştır ve lag 1 otokorelasyon katsayısını belirlemeden önce seri içerisinden trendin eğiminin çıkarılmasının gerçek seri korelasyonunun belirlenmesine önemli derecede katkı sağladığı sonucuna varmıştır. Bunun üzerine Trend-Free Prewhitening yöntemini geliştirmiştir. Bu çalışmada, öncelikle serisel korelasyondan arındırılmamış ZTD zaman serisine trend analizi yapmak ardından ZTD zaman serilerindeki serisel korelasyon varlığını araştırıp ortaya çıkan serisel korelasyonu gidererek veriye uygulanan Mann-Kendall testi sonucunda trendin varlığında değişim olup olmadığını belirlemek amaçlanmıştır. Serisel korelasyon varlığını test etmek için otokorelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Veriyi serisel korelasyondan arındırmak için Trend-Prewhitening yöntemi uygulanmış olup tekrar Mann-Kendall testi yapılarak serisel korelasyonun trend belirleme üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Böylece Trend-Free Prewhitening yönteminin trendin belirlenmesi üzerindeki etkisi de görülmeye çalışılmıştır.

2. Yöntem

2.1. Mann-Kendall Testi ile Trend Analizi

Mann-Kendall testi, hidroloji ve klimatoloji gibi alanlarda zaman serilerindeki trendin

belirlenmesinde sıklıkla kullanılan ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO-World Meteorological Organization) tarafından da önerilen parametrik olmayan trend analizi yöntemlerinden biridir. Yöntemde uygulanan hipotez testi ile trend varlığı araştırılmaktadır. Bu testte hipotezler;

- H_0 hipotezi: *"Zamana bağlı olarak sıralanmış $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ gözlem değerleri zamandan bağımsız ve benzer dağılımlı rasgele değişkenlerdir."*
- H_1 hipotezi: *"$(k \neq j)$ olmak üzere $(k, j \leq n)$ için seri içerisinde x_k ve x_j değerlerinin dağılımı benzer değildir."*

şeklinde kurulur. Mann-Kendall test değeri ise,

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sgn(x_j - x_k) \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada; n, ölçü sayısı olup sgn işaret fonksiyonudur. Test, x_k $(k = 1, \dots, n-1)$ veri setine ve x_j $(j = i+1, \dots, n)$ veri setine uygulanır, sgn işaret fonksiyonu değeri x_j ve x_k değerlerinin

$$sgn(x_j - x_k) = \begin{cases} 1\ ;\ x_j > x_k \\ 0\ ;\ x_j = x_k \\ -1\ ;\ x_j < x_k \end{cases} \quad (2)$$

şeklinde kıyaslanması ile elde edilir. S'nin varyansı ise,

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

şeklinde bulunur. Eğer seri içerisinde aynı değere sahip veriler varsa varyans hesabı Eşitlik (4)'e göre yapılır.

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{k} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

Burada; k, veri setindeki bağıl grupların sayısı, t_i değeri ise i uzunluğundaki bir seride bağlı gözlemleri ifade etmektedir. Standartlaştırılmış Mann-Kendall istatistiği Z,

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}\ ;S > 0 \\ 0\ ;S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}\ ;S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

şeklindedir. Burada, %95 istatistik güvenle $(Z_{1-\alpha/2})$ bulunan standart normal dağılım tablo değeri (Z_{tablo}) ile Z Mann-Kendall test değeri karşılaştırılır. Eğer $|Z| < Z_{tablo}$ ise H_0 hipotezi kabul edilir. Tersi durumda H_0 hipotezi reddedilir. Bu durumda trend olduğu sonucuna varılır. S değeri pozitif ise trendin artan yönde olduğu, negatif ise azalan yönde olduğuna karar verilir (Mann 1945, Kendall 1975).

2.2. Serisel Korelasyon (Otokorelasyon)

Otokorelasyon veya serisel korelasyon, gözlemlenen değerler arasındaki benzerliğin zamansal gecikmenin bir fonksiyonu olarak ifade edilmesidir (URL-2, 2017). Seri değerlerinden hesaplanarak elde edilen otokorelasyon katsayıları farklı zaman değerlerindeki gözlem değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren katsayılardır. Bu katsayılar, zaman serilerinin sahip olduğu özelliklerin önemli bir göstergesidir ve bir serinin komşu değerleri ile arasındaki bağımlılığın derecesini ortaya koymaktadır (Akgül, 2003). Zaman serilerindeki iç bağımlılık otokorelasyon katsayıları ile ölçülebilmektedir. Eğer, zaman serisinde serisel bir korelasyon mevcut ise trend analizi yapılmadan önce giderilmesi gerekmektedir. Aksi halde, seride trend yokken, trendin var olduğu sonucu ortaya çıkabilmektedir veya zayıf trend eğilimlerinin belirlenememesi olabilmektedir. Bunu belirlemek için önce k-aralıklı otokorelasyon katsayısı hesaplanmaktadır.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k}(x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\ , k = 1,2, \dots \quad (6)$$

Burada; x_i, zaman serisi verileri, n ise veri sayısı, k ise aralıktır. r_k, $0 \leq r_k \leq 1$ arasında değerler almaktadır. "0" zaman serisinin bağımsız olduğu, "1" ise zaman serisinde otokorelasyon olduğu anlamına gelmektedir. Otokorelasyon katsayısı, Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından önerilen %95 anlamlılık seviyesinde yapılan tek yönlü hipotez testi ile test edilmektedir (Olofintoye vd, 2012).

$$r_k(\%95) = \frac{-1 + 1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad (7)$$

Eğer elde edilen korelasyon katsayısı (r_k), %95 istatistik güvenle hesaplanan kritik değerden $(r_k(\%95))$ büyükse zaman serisinin içerisinde serisel bir korelasyon olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durumda, serisel korelasyonun seri içerisinden çıkarılması gerekmektedir.

2.3. Trend Free Prewhitening Yöntemi

Zaman serilerindeki pozitif serisel korelasyon parametrik olmayan testlerle trendin belirlenmesini olumsuz etkilemektedir (Kulkarni ve Von Storch 1995). Bu nedenle, verinin serisel

korelasyondan arındırılması gerekmektedir. Trend-Free Prewhitening (TFPW) yöntemi, Yue ve Wang (2002), Yue vd. (2003) tarafından lineer trend bileşeni ve AR(1) (Autoregressive Process) bileşeni arasındaki ters etkileşiminin üstesinden gelmek için ortaya çıkarılmıştır. Yönteme göre,

1. lag 1 otokorelasyon katsayısı (r_1);

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k}(x_i-\bar{x})(x_{i+k}-\bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \quad (8)$$

olarak hesaplanır. Burada; *x*, veri, $\bar{x}$, verilerin ortalaması, *k*, aralığı ifade etmektedir.

2. Hesaplanan otokorelasyon katsayısının anlamlılığı;

$$\frac{-1-1.645\sqrt{N-k-1}}{N-k} \leq r_k \leq \frac{-1+1.645\sqrt{N-k-1}}{N-k} \quad (9)$$

ile test edilir. Eğer otokorelasyon katsayısı Eşitlik (9) da belirtilen aralıkta ise %95 istatistik güvenle serinin bağımsız olduğu ve trend-free prewhitening yapılması gerekmediği sonucuna varılır. Tersi durumda verilerin bağımlı olduğu kabul edilerek Mann-Kendall testini uygulamadan önce Trend-Free Prewhitening uygulanır.

3. Trendi modellemek için,

$$y = a_0 + a_1 x \quad (10)$$

regresyon modeli oluşturulur. Burada; *y*, zamana bağlı değişimi ifade eden veriler, *x*, bağımsız değişken, a_1, eğim, a_0, kesişim sabitini ifade etmektedir. Burada a_1, x trend bileşenidir ve;

$$y_i' = y_i - a_1 x_i \quad (11)$$

olarak seriden çıkarılır.

4. Eşitlik (8) kullanılarak trendden arındırılmış seri için lag 1 otokorelasyon katsayısı hesaplanır.

5. Trendden arındırılmış seriden serisel korelasyonun etkisi;

$$y_i'' = y_i' - r_1 * y'_{i-1} \quad (12)$$

ile giderilir.

6. Elde edilen seriye trend tekrar eklenerek serisel korelasyondan arındırılmış yeni bir seri;

$$y_i''' = y_i'' + a_1 x_i \quad (13)$$

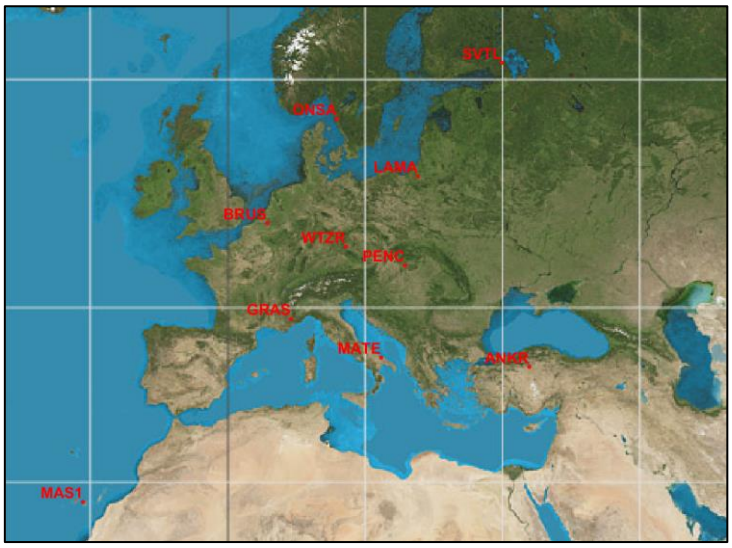
olarak elde edilir. Mann-Kendall testi elde edilmiş olan y_i''' serisine tekrar uygulanır. Trend-Free Prewhitening yöntemi, yapılan trend analizinin istatistiksel öneminin daha iyi tahmin edilmesini sağlamaktadır (Adib vd. 2017; Wang vd. 2015).

3. Uygulama

Bu çalışmada, Türkiye'den ANKR istasyonu, Avrupa'dan BRUS (Belçika), GRAS (Fransa), LAMA (Polonya), MAS1 (İspanya), MATE (İtalya), PENC (Macaristan), WTZR (Almanya), ONSA (İsveç) ve SVTL (Rusya) istasyonları olmak üzere toplam 10 tane IGS istasyonunda (Şekil 1) (Tablo 1) 1995-2010 yıllarına ait verilerin analizi ile elde edilmiş ZTD ürünlerinin COST Aksiyonu ES1206, GNSS4SWEC kapsamında Dr. Olivier Bock (IGN, Fransa) tarafından yeniden hesaplanmış (IGS Repro1) ZTD zaman serileri kullanılmıştır (URL-1, 2017). Zaman serilerinde trend ve serisel korelasyon etkilerini incelemek amacıyla seçilen yöntemlerin uygulanması için MATLAB ortamında kodlar yazılmıştır.

Tablo 1. İstasyon bilgileri

IGS İstasyon Kodu	Ülke	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Yükseklik (m)
ANKR	Türkiye	39.8875	32.7583	974.8
BRUS	Belçika	50.7980	4.3583	158.3
GRAS	Fransa	43.7547	6.9205	1319.3
LAMA	Polonya	53.8922	20.6697	187.0
MAS1	İspanya	27.7636	-15.6330	197.3
MATE	İtalya	40.6488	16.7044	535.6
ONSA	İsveç	57.3953	11.9245	44.4
PENC	Macaristan	52.3791	13.0658	144.4
SVTL	Rusya	60.5328	29.7808	77.1
WTZR	Almanya	49.1441	12.8788	666.0

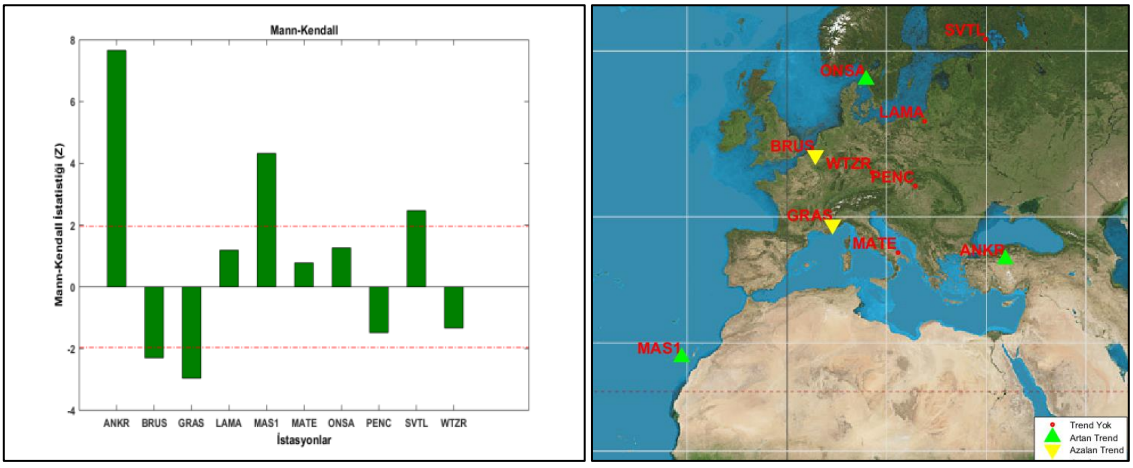


Şekil 1. Çalışmada kullanılan istasyonlar

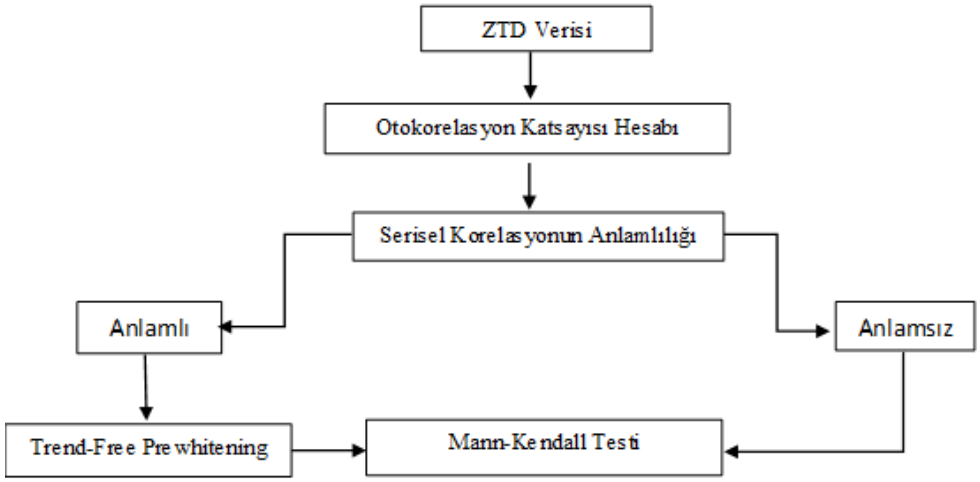
Parametrik olmayan testlerden biri olan Mann-Kendall testi ile 1995-2010 yılları arasında 10 IGS istasyonu için günlük ZTD verilerinde trend eğilimi belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan istasyonlarda aynı değere sahip ZTD verileri bulunması sebebiyle varyans değerleri (4) eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu nedenle öncelikle aynı değere sahip olan veriler MATLAB programlama dilinde yazılan program kodları ile tespit edilmiştir. Mann-Kendall test değeri (Z) bulunduktan sonra %95 istatistik güvenle standart normal dağılım tablo değeri (Z_{tablo}) elde edilmiştir ve test istatistiği tablo değeri ile karşılaştırılarak trend olup olmadığı tespit edilmiştir. Ardından trendin olduğu istasyonlarda trendin yönü belirlenmiştir. Bu istasyonlarda (1) eşitliğine göre hesaplanan S değeri pozitif ise artan yönde bir trend, negatif ise azalan yönde bir trend olduğuna karar verilmiştir.

Yapılan Mann-Kendall testi sonucunda, ANKR, MAS1 ve ONSA istasyonlarında artan yönde trend, BRUS ve GRAS istasyonlarında azalan yönde trend, diğer istasyonlarda ise belirgin bir trend belirlenememiştir (Şekil 2).

ZTD verilerine Mann-Kendall testi uygulandıktan sonra serisel korelasyonun Mann-Kendall yöntemi ile trend belirleme üzerindeki etkisini belirlemek için Şekil 3'te belirtilen adımlara göre seri içerisinde korelasyonun etkili olup olmadığı tespit edilip ardından Trend-Free Prewhitening yöntemi uygulanmıştır.

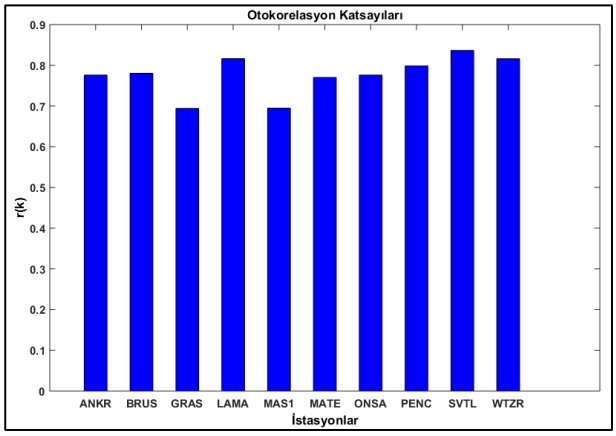


Şekil 2. Serisel korelasyondan arındırılmamış ZTD verileri Mann-Kendall testi sonuçları



Şekil 3. Serisel korelasyondan arındırma iş akış şeması

Her bir istasyona ait ZTD verilerinde serisel korelasyon olup olmadığına karar verebilmek için (6) eşitliğine göre otokorelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Lag 1 için hesaplanan otokorelasyon katsayılarına bakıldığında en büyük değerin r_k=0.8366 ile SVTL istasyonunda olduğu görülmüştür. En küçük otokorelasyon ise r_k=0.6942 ile GRAS istasyonuna aittir (Şekil 4).



Şekil 4. ZTD istasyonları otokorelasyon katsayıları (trend çıkarılmamış)

Elde edilen otokorelasyon katsayıları ile kritik değer Başlık 1.2 de anlatıldığı gibi karşılaştırıldığında istasyonların tümünde serisel korelasyonun anlamlı olduğu ve Trend-Free Prewhitening yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Tablo 2).

Serisel korelasyonun çıkarılması gerektiğine karar verildikten sonra ZTD verilerinden korelasyonu çıkarmak için öncelikle (11) eşitliğine göre seriden trend çıkarılmıştır. Ardından tekrar (6) eşitliğine göre lag 1 otokorelasyon katsayısı hesaplanmıştır (Tablo 3).

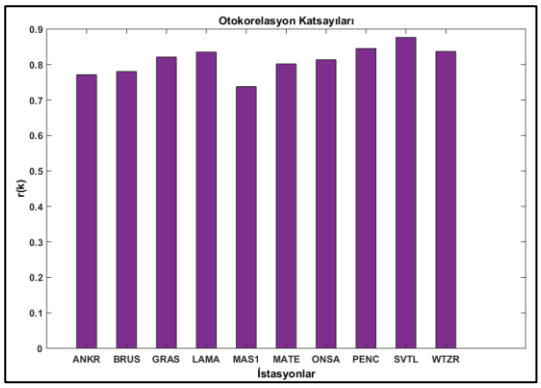
Tablo 2. ZTD verilerine ait otokorelasyon katsayıları (trend çıkarılmamış)

İstasyon Kodu	Otokorelasyon Katsayısı (k=1)	Kritik Değer (α=0.05)
ANKR	0.7762	0.0304
BRUS	0.7805	0.0257
GRAS	0.6942	0.0274
LAMA	0.8165	0.0259
MAS1	0.6948	0.0261
MATE	0.7702	0.0260
ONSA	0.776	0.0263
PENC	0.7985	0.0264
SVTL	0.8366	0.0264
WTZR	0.8162	0.0259

Tablo 3. ZTD verilerine ait otokorelasyon katsayıları (trend çıkarılmış)

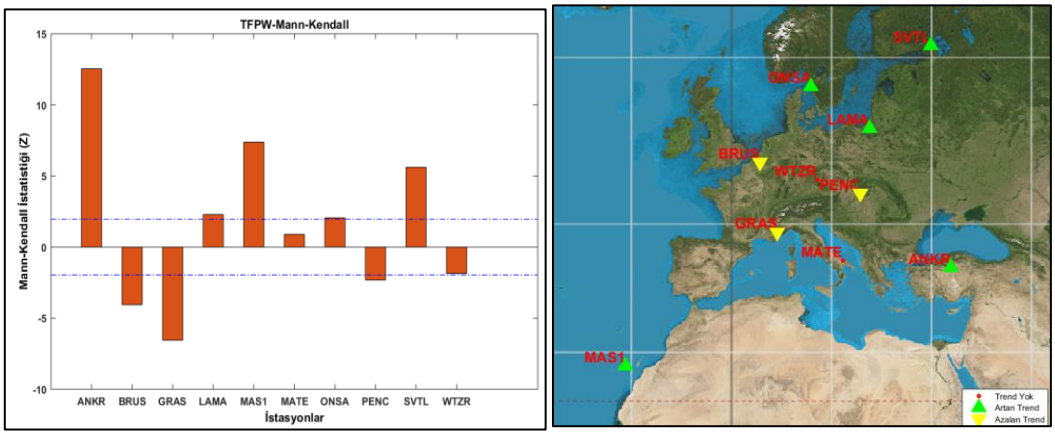
İstasyon Kodu	Otokorelasyon Katsayısı (k=1)	Kritik Değer (α=0.05)
ANKR	0.7713	0.0304
BRUS	0.7802	0.0257
GRAS	0.8211	0.0274
LAMA	0.8349	0.0259
MAS1	0.7378	0.0261
MATE	0.8017	0.0260
ONSA	0.8132	0.0263
PENC	0.8449	0.0264
SVTL	0.8762	0.0264
WTZR	0.8368	0.0259

Trend çıkarıldıktan sonrada hesaplanan otokorelasyon katsayıları kritik değer ile karşılaştırıldığında serisel korelasyonun anlamlı olduğu görülmüştür. En büyük otokorelasyon katsayısı r_k=0.8762 ile SVTL istasyonunda elde edilmiştir. En küçük otokorelasyon ise r_k=0.7378 ile MAS1 istasyonuna aittir. (Şekil 5).



Şekil 5. ZTD istasyonları otokorelasyon katsayıları (trend çıkarılmış).

Ardından (12) eşitliğinde anlatıldığı şekilde serisel korelasyonun etkisi giderilmiştir ve (13) eşitliğine göre tekrar trend eklenerek serisel korelasyondan arındırılmış yeni bir seri elde edilmiştir. Bu seriden tekrar Başlık 1.1 de anlatıldığı üzere Mann-Kendall testi uygulanarak serisel korelasyonun trend belirleme üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre, ANKR, MAS1, LAMA, ONSA ve SVTL istasyonlarında artan yönde trend, BRUS, GRAS ve PENC istasyonlarında azalan yönde, MATE ve WTZR istasyonlarında ise trend bulunmamıştır (Şekil 6) (Tablo 4).



Şekil 6. Serisel korelasyondan arındırılmış ZTD verileri Mann-Kendall testi sonuçları

Tablo 4. TFPW öncesi ve TFPW sonrası Mann-Kendall testi trend sonuçları

	TFPW Öncesi		TFPW Sonrası	
	Trend	**Trendin Yönü**	**Trend**	**Trendin Yönü**
ANKR	Trend Var	Artan	Trend Var	Artan
BRUS	Trend Var	Azalan	Trend Var	Azalan
GRAS	Trend Var	Azalan	Trend Var	Azalan
LAMA	Trend Yok	-	Trend Var	Artan
MAS1	Trend Var	Artan	Trend Var	Artan
MATE	Trend Yok	-	Trend Yok	-
ONSA	Trend Yok	-	Trend Var	Artan
PENC	Trend Yok	-	Trend Var	Azalan
SVTL	Trend Var	Artan	Trend Var	Artan
WTZR	Trend Yok	-	Trend Yok	-

4. Sonuçlar

Uzun dönem ZTD zaman serilerinde trend belirleme iklim çalışmaları için önemlidir. Özellikle doğru trend eğilimlerinin belirlenmesi için seride korelasyonun etkili olup olmadığının tespit edilmesi ve varsa arındırılması önemlidir.

Bu çalışmada, Türkiye ve Avrupa'dan seçilen çeşitli istasyonlara ait ZTD verileri Trend-Free Prewhitening yöntemi ile serisel korelasyondan arındırılarak serisel korelasyondan arındırılmadan önceki ve sonraki Mann-Kendall trend analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Serisel korelasyonun trend belirleme üzerindeki etkisi görülmeye çalışılmıştır.

ZTD zaman serilerinde gerçek trend eğilimlerinin belirlenmesi için seri içerisinde korelasyon varlığını araştırmanın ve korelasyon olması

durumunda seriden çıkarılmasının önemli olduğu görülmüştür. Korelasyondan arındırmanın yapılmadığı durumda, trend eğilimi olmasına rağmen belirlenemediği istasyonlar olmuştur. TFPW öncesi ve TFPW sonrası test sonuçlarına göre, serisel korelasyonun ZTD trend analizinde sonuçları önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Serisel korelasyon nedeniyle küçük trend eğilimi olan LAMA (Polonya), ONSA (İsveç) ve PENC (Macaristan) istasyonlarında TFPW öncesi yapılan Mann-Kendall testinde trend belirlenmemiş olup serisel korelasyonun arındırılması ile LAMA (Polonya) ve ONSA (İsveç) istasyonlarında artan yönde, PENC (Macaristan) istasyonunda azalan yönde trend belirlenmiştir. Diğer istasyonlarda ise değişiklik gözlemlenmemiştir.

Tüm istasyonların trend analizi sonuçlarına bakıldığında, ANKR (Türkiye), LAMA (Polonya), MAS1 (İspanya), ONSA (İsveç) ve SVTL (Rusya) istasyonlarında artan yönde trend; BRUS (Belçika), GRAS (Fransa) ve PENC (Macaristan) istasyonlarında azalan yönde trend tespit edilmiştir. MATE (İtalya) ve WTZR (Almanya) istasyonlarında trend eğilimi belirlenmemiştir. Artan yönde trend belirlenen LAMA, MAS1 ve ONSA istasyonları okyanusa kıyısı olan bir konumda olması nedeniyle nemli bir bölgede bulunmaktadır. Bu bölgelerde ZTD'nin ıslak bileşeninin etkisinin artmasına bağlı olarak artan yönde trend bulunduğu düşünülmüştür.

Teşekkür

IWV verilerini IGS Repro1 ve ERA-Interim'den elde ettiği için Fransa IGN'deki Dr. Olivier BOCK'a teşekkür ederim. Bu veriler COST Action ES1206, GNSS4SWEC çerçevesinde hazırlanmış ve kalitesi kontrol edilmiştir.

We would like to acknowledge Dr. Olivier BOCK, IGN, France, for making the IWV data from IGS repro1 and ERA-Interim available. These data were prepared and quality checked in the framework of COST Action ES1206, GNSS4SWEC.

Kaynaklar

Adib A., Kalaee M.M.K., Shoushtari M.M., Khalili K., 2017. Using of Gene Expression Programming and Climatic Data for Forecasting Flow Discharge by Considering Trend, Normality, and Stationarity Analysis, Arabian Journal of Geosciences, 10: 208, DOI 10.1007/s12517-017-2995-z.

Akgül, I., 2003. Zaman Serilerinin Analizi ve ARIMA Modelleri, Der Yayınevi, İstanbul.

Baldysz, Z., Nykiel, G., Figurski, M., Szafranek, K. ve Kroszczyński, K., 2015. Investigation of the 16-year and 18-year ZTD Time Series Derived from GPS Data Processing, Acta Geophysica, 1103-1125.

Baldysz, Z., Nykiel, G., Araszkiewicz, A., Figurski, M., and Szafranek, K., 2016. Comparison of GPS Tropospheric Delays Derived from Two Consecutive EPN Reprocessing Campaigns from the Point of View of Climate Monitoring, Atmos. Meas.Tech. Discuss., doi:10.5194/amt-2016-5, 1.

Beşel C., 2017. IGS İstasyonları Zenit Troposferik Gecikme Parametresi Zaman Serilerinde Trend ve Mevsimsel Etki Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Bevis, M., Businger, S., Herring, T.A., Rocken, C., Anthes, R.A. ve Ware, R.H., 1992. GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapour Using the Global Positining System, Journal of Geophysical Research, 97, D14, 15787–15801.

Blain, G.C., 2012. Revisiting the Probabilistic Definition of Drought: Strengths, Limitations and an Agrometeorological Adaptation, Bragantia, 71, 1,132-141.

Blain G.C.,2015. The Influence of Nonlinear Trends on the Power of the Trend-Free Pre-Whitening Approach, Acta Scientiarum. Agronomy,37, 1, 21-28, DOI 10.4025/actasciagron.v37i1.18199.

COST, 2012. Memorandum of Understanding for the Implementation of a European Concerted Research Action, COST Action ES1206, Advanced Global Navigation Satellite Systems Tropospheric Products for Monitoring Severe Weather Events And Climate (GNSS4SWEC), European Cooperation in Science and Technology.

Fleming, S.W ve Clarke, G.K.C., 2002. Autoregressive Noise, Deserialization, and Trend Detection and Quantification in Annual River Discharge Time Series, Canadian Water Resources Journal, 27, n. 3, p. 335-354.

Guerova, G., 2013. Ground-Based GNSS Meteorology, Gfg Summer School, Potsdam, Almanya.

Hamed, K.H. ve Rao, A.R.A., 1998. Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data, J. Hydrol., 204,182–196.

Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London.

Kulkarni A. ve Von Storch H., 1995. Monte Carlo Experiments on the Effect of Serial Correlation on the Mann–Kendall Test of Trend, Meteorologische Zeitschrift, 4(2):82–85.

Mann, H.B, 1945. Non-Parametric Tests Aganist Trend, The Econ. Society, 3, 245-259.

Olofintoye, O., Adeyemo, J., ve Otieno, F., 2012. Impact of Regional Climate Change on Freshwater Resources and Operation of the Vanderkloof Dam System in South Africa, Global Warming-Impact and Future Perspective, doi: 10.5772/50414 165-184.

Rocken C., Hove T.V., Johnson J., Solheim F., Ware R., Bevis M., Chiswell S. ve Businger S., 1994. GPS/STORM-GPS Sensing of Atmosferic Water Vapor for Meteorology, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 12, 468-478.

Jin, S., Park, J., Cho, J. ve Park, P., 2007. Seasonal Variability of GPS-Derived Zenith Tropospheric Delay (1994-2006) and Climate Implications, Journal of Geophysical Research, 112, D09110, doi:10.1029/2006JD007772.

Tanır Kayıkçı E. ve Beşel C., 2017. Trend Analysis of The Zenith Tropospheric Delay Time Series, Proceedings, International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences, 445-455.

Von Storch H. ve Navarra A., 1995. Analysis of Climate Variability, Applications of Statistical Techniques, Springer, Berlin.

Wang W., Chen Y., Becker S. and Liu B., 2015. Linear Trend Detection in Serially Dependent Hydrometeorological Data Based on a Variance Correction Spearman Rho Method, Water 7(12):7045-7065, DOI 10.3390/w7126673.

URL-1: https://doi.org/10.14768/06337394-73a9-407c-9997-0e380dac5590. Aralık 2017.

URL-2 https://tr.wikipedia.org/wiki/Otokorelasyon. 25 Ocak 2017.

Yong, W., Binyun, Y., Debao, W. ve Yanping, L., 2008. Zenith Tropospheric Delay from GPS Monitoring Climate Change of Chinese Mainland, Education Technology and Training, 2008 and 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing, ETT and GRS 2008, International Workshop on, 1, doi: 10.1109/ETTandGRS.2008.43.

Yue S. ve Wang C., 2002. Applicability of Prewhitening to Eliminate the Influence of Serial Correlation on the Mann–Kendall Test, Water Resour Res 38(6):41–47.

Yue, S., Pilon, P. ve Phinney, B., 2003. Canadian Streamflow Trend Detection: Impacts of Serial and Cross-Correlation, Hydrogical, Sciences Journal, 48,1,51-64.