

# IGS İstasyonlarından Elde Edilen Zenit Troposferik Gecikme (ZTD) Parametresi Zaman Serilerinde Trend Analizi

Emine Tanır Kayıkcı<sup>1</sup>, Cansu Beşel<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

## Özet

Günümüzde, iklim değişikliği en önemli çevre sorunlarından biridir ve iklim değişikliğine uyum konusunda pek çok bilimsel çalışma yapılmaktadır (Demircan vd.,2016). GNSS (Global Navigation Satellite System) gözlemleri sağladığı avantajlar dolayısıyla iklimsel çalışmalarda önemli bir rol oynamaktadır (Baldysz vd.,2016). GNSS gözlemlerinin analizleri ile hava şartlarının etkisini temsil eden zenit troposferik gecikme (ZTD) parametresi elde edilebilmektedir. GNSS meteorolojisi ile GNSS gözlemlerinden elde edilen zenit troposferik gecikme (ZTD) ve ZTD'den çeşitli dönüşüm modelleri yardımıyla hesaplanabilen entegre su buharı (IWV) parametreleri iklim değişikliği üzerine yapılan çalışmalarda büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye ve Avrupa'dan seçilen IGS (International GNSS Service-IGS) istasyonlarında kaydedilmiş ZTD verilerinden elde edilen zaman serilerinin trend analizi yapılmıştır. Çalışma için kullanılan veriler 1995-2010 yılları arasına aittir. Trend analizi için Mann-Kendall ve Mann-Kendall Sıra Korelasyon testleri kullanılmıştır.

## Anahtar Sözcükler

İklim, GNSS, International GNSS Servisi, Zenit Troposferik Gecikme, Entegre Su Buharı

## Abstract

Nowadays, climate change is one of the most important environmental problems and there are many scientific studies on adaptation to climate change (Demircan vd.,2016). GNSS (Global Navigation Satellite System) observations play an important role in climatic studies because of the advantages (Baldysz vd.,2016). Analyzes of GNSS observations can be used to obtain the zenith tropospheric delay (ZTD) parameter representing the effect of weather conditions. Integrated water vapour (IWV) parameters which can be calculated from GNSS meteorology and ZTD obtained from GNSS observations and ZTD with various transformation models, have a great importance in climate change studies. In this study, a trend analysis of time series obtained from ZTD datas recorded at IGS stations selected from Turkey and Europe. The data used for the study are between 1995-2010. Mann-Kendall and Mann-Kendall Rank Correlation tests were used for trend analysis.

## Keywords

Climate, GNSS, International GNSS Servisi, Zenith Tropospheric Delay, Integrated Water Vapour

## 1. Giriş

GNSS (Global Navigation Satellite System) meteorolojisi ile GNSS gözlemlerinden elde edilen zenit troposferik gecikme (Zenith Tropospheric Delay-ZTD) ve ZTD'den çeşitli dönüşüm modelleri yardımıyla hesaplanabilen entegre su buharı (Integrated Water Vapour-IWV) parametreleri iklim değişikliği üzerine yapılan çalışmalarda büyük öneme sahiptir. Hava şartlarının etkisini temsil eden ZTD troposferik parametresi iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan biri atmosferin hidrostatik bileşeni (Zenith Hydrostatic Delay – ZHD) diğeri ise atmosferin ıslak bileşenidir (Zenith Wet Delay – ZWD). ZHD, ZTD'nin %90'ını oluşturur ve modellenmesi kolaydır. Fakat ZTD'nin %10'unu oluşturan ZWD'nin su buharının düzensiz yersel, uzaysal ve düşey dağılımından dolayı modellenmesi zordur (Baldysz vd.,2015). Troposferdeki su buharının (IWV) belirlenmesinde birçok yöntem vardır. Radyosonde gözlemleri, ve çeşitli uydularla yapılan gözlemler bunlara örnektir. Bununla birlikte klimatolojik verilere olan ihtiyacın artması ile jeodezik tekniklerde su buharının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bunların arasında GNSS gözlemleri su buharının belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmanın amacı Türkiye ve Avrupa'da seçilen IGS istasyonlarında kaydedilen 1995-2010 yılları arasındaki ZTD verilerinin zaman serilerini oluşturulması ve bu seriler üzerinden trend analizinin yapılmasıdır. Böylece istasyonların bulunduğu bölgelerde son 15 yılda oluşan iklimsel değişim üzerine incelemeler yapılacaktır.

\*Sorumlu Yazar E-posta: cansubesel@ktu.edu.tr (Cansu Beşel)

## 2. Yöntem

Zamana bağlı bir değişken hakkında elde edilen gözlem değerlerinin, uzun zaman aralığında artma veya azalma yönünde gösterdiği eğilime “trend” denir (URL-1,2013). Trend testleri parametrik testler ve parametrik olmayan testler şeklinde ikiye ayrılır. Parametrik testlerde bağımsız ve normal dağılıma sahip olan veriler, parametrik olmayan testlerde ise sadece bağımsız veriler kullanılır. Verilerin normal dağılımında olması gerekmemektedir.

Parametrik testler

- t testi
- Basit doğrusal regresyon modeli

Parametrik olmayan testler

- Mann-Kendall testi
- Spearman’ın Rho testi
- Sen’in T testi

Trend analizi ile verilerin zaman içerisinde gösterdiği eğilim hakkında bilgi elde edilir. Yıllar, mevsimler veya aylar arasında meydana gelen sıcaklık değişimleri hakkında karşılaştırmalar yapılabilir ve geleceğe yönelik yorumlamalarda bulunulabilir. Bu çalışmada parametrik olmayan trend analizi yöntemlerinden Mann-Kendall testi ve Mann-Kendall Sıra Korelasyon testi kullanılmıştır.

### 2.1. Mann-Kendall Testi

Mann-Kendall parametrik olmayan trend testlerinden biridir. Bu testte  $H_0$  hipotezine göre zamana bağlı olarak sıralanmış  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  gözlem değerleri zamandan bağımsız ve benzer dağılımlı rasgele değişkenlerdir.  $H_1$  hipotezine göre ise  $(k \neq j)$  olmak üzere  $(k, j \leq n)$  için seri içerisinde  $x_k$  ve  $x_j$  değerlerinin dağılımı benzer değildir. Mann-Kendall test istatistiği,

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

şeklinde hesaplanır. Burada  $n$  veri uzunluğu,  $\text{sgn}$  işaret fonksiyonu olup gidiş testi  $i = 1, \dots, n - 1$ 'e kadar sıralanmış olan  $x_i$  veri setine ve  $j = i + 1, \dots, n$ 'e kadar sıralanmış olan  $x_j$  veri setine uygulanır.  $S$  değeri  $n \geq 8$  olduğunda ortalama ve varyans ile yaklaşık olarak normal dağılım gösterir. Eğer  $n \geq 30$  ise z-testi, t-testine yaklaşıp. Formülde belirtilmiş olan  $\text{sgn}$  işaret fonksiyonu  $x_j$  ve  $x_i$  değerlerinin kıyaslanması ile aşağıdaki gibi bulunur.

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

$S$ 'nin varyansı ise,

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

şeklinde bulunur. Eğer seri içerisinde aynı değere sahip veriler varsa varyans hesabı aşağıdaki gibi yapılır.

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

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

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

şeklindedir. Burada %95 güven düzeyinde ( $Z_{1-\alpha/2}$ ) bulunan  $Z_{tablo}$  değerleri ile Mann-Kendall istatistiği  $Z$  karşılaştırılır. Eğer  $Z < Z_{tablo}$  ise  $H_0$  hipotezi kabul edilir. Tersisi durumda  $H_0$  reddedilir. Bu durumda trend olduğu sonucuna varılır.  $Z$  değeri pozitif ise trendin artan yönde olduğu, negatif ise azalan yönde olduğuna karar verilir (Mann 1945, Kendall 1975).

## 2.2. Mann-Kendall Sıra Korelasyon Testi

Mann-Kendall sıra korelasyon testi de parametrik olmayan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde grafiksel gösterim ile seride trend olup olmadığı görülebilmektedir. Şayet seride trend mevcut ise trendin başlangıç yılı bulunabilmektedir. Yöntemin uygulama aşamasında öncelikle zaman serisinde verilerin ( $x_i$ ) her biri için kendisinden önce gelen verilerin kaç tanesinin kendisinden büyük olduğu sayılır. Bu sayıya  $n_i$  denir ve  $x_i$  verileri  $n_i$  verileri ile yer değiştirir. Böylece yeni bir seri elde edilir. Bu serideki sayıların toplamı,

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (6)$$

şeklindedir. Elde edilen t değerlerinin ortalaması ise,

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (7)$$

varyansı,

$$Var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (8)$$

olarak elde edilir. Mann-Kendall test istatistiği  $u(t)$ ,

$$u(t) = \frac{t-E(t)}{\sqrt{Var(t)}} \quad (9)$$

şeklindedir (Sneyers,1990). Burada elde edilen  $u(t)$  değeri sıfıra yakın ise zaman içerisinde bir değişim olmadığı anlamına gelir.  $u'(t)$  ise geri yönde  $u(t)$  ile aynı şekilde hesaplanır. Grafiklerde  $u(t)$  ve  $u'(t)$  eğrilerinin birbirini birkaç kez kestiği durum trendin olmadığı anlamına gelir. Tersisi durumda ise bu iki eğrinin birbirini kestiği zaman trendin başlangıç zamanını ifade etmektedir (Gümüş vd.,2011).

## 3.Sonuç

ZTD zaman serilerinin trend analizinde Mann-Kendall testi ile trendin yönü belirlenmiştir. Mann-Kendall Sıra Korelasyon testi ile trendin yönü ve trendin başlangıç yılı tespit edilmeye çalışılmıştır. İstasyonların bulunduğu bölgelerde son 15 yılda oluşan iklimsel değişim üzerine incelemelerde bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile ekstrem hava olaylarının oluşumunun tahminine katkıda bulunulması öngörülmektedir.

## 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

- 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, vol. 63, no. 4, , ss. 1103-1125.
- Baldysz, Z., Nykiel, G., Araszkiwicz, A., Figurski, M., ve 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.
- Beşel, C. Ve Tanır Kayıkçı E., (2016), *Meteorolojik Verilerin Zaman Serisi ve Tanımlayıcı İstatistiklerle Yorumlanması; Karadeniz Bölgesi Örneği*, TÜCAUM2016 Uluslar arası Coğrafya Sempozyumu, Ankara, ss. 50-69.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., (1976), *Time Series Analysis Forecasting and Control, Revised Edition*, Holden Day Inc., California, 170ss.
- Cosun, F., ve Karabulut, M., (2009), *Kahramanmaraş ilinde yağışların trend analizi*, Coğrafi Bilimler Dergisi CBD 7(1), 65-83.
- Çeribaşı, G., (2015), *Karadeniz ve Sakarya Havzalarında Yağış Askıda Katı Madde Verilerinin Trend Analizi ile İncelenmesi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Guerova, G., (2015), Exploitation of Ground-Based GNSS for Meteorology and Climate Studies in Bulgaria/South-Eastern Europe, FIG Working Week 2015 From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World Sofia, Bulgaria.

Gümüş, V., Yenigün, K. ve Kırkgöz, M.S., (2011), *Göksu nehri-himmetli istasyonu aylık ortalama akım gidişlerinin belirlenmesi*, Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi, 26, 1, 31-32.

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

Mann,H.B.,(1945),*Non-Parametric Tests Against Trend*,The Econ.Society,3:245-259.

URL1-(<http://web.sakarya.edu.tr>). 08.10.2013(Erişim Tarihi)