



# Türkiye Kıyılarında TUDES Ortak Yerleşkeli GNSS İstasyonlarında GNSS-IR Tekniği İle Deniz Seviyesi Değişiminin Belirlenmesi

Cansu Beşel<sup>1,\*</sup>, Emine Tanır Kayıkcı<sup>1</sup>, Kristine M. Larson<sup>2</sup>, Erdinç Sezen<sup>3</sup>, İbrahim H. Keskin<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> University of Colorado, Department of Aerospace Engineering Sciences, Boulder, CO, USA.

<sup>3</sup> Harita Genel Müdürlüğü, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, 06590, Ankara, Türkiye.

## Özet

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) sinyalleri, uzaktan algılama uygulamaları için kullanılacak bazı ayırt edici özelliklere sahiptir. Bu anlamda, GNSS İnterferometrik Reflektometri (GNSS-IR) tekniği yansıyan sinyali kullanarak etkili bir şekilde deniz seviyesinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada; Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Servisi'ne (TUDES) bağlı mareograf istasyonları ile ortak yerleşkeli sabit GNSS istasyonlarında GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi değişimlerinin izlenmesi ve sonuçların geleneksel mareograf gözlemleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Karadeniz kıyılarında Trabzon ve Sinop mareograf istasyonları ile ortak yerleşkeli GNSS istasyonlarında kaydedilen Sinyal Gürültü Oranı (SNR) verileri kullanılmıştır. SNR sinyallerinin dominant sinyal yansıma etkisi frekansı Lomb-Scargle periodogram (LSP) yöntemi ile belirlenmiştir. Daha sonra GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemleri ortak yerleşkeli mareograf istasyonlarındaki deniz seviyesi gözlemleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, Trabzon ve Sinop istasyonlarında GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi ve mareograf istasyonları gözlemlerinden elde edilen deniz seviyesi değişimleri arasında sırasıyla 0.95 ve 0.90 düzeyinde yüksek bir korelasyon elde edilmiştir. Aynı istasyonlarda elde edilen deniz seviyesi değişimi farklarına ait standart sapmalar ise yaklaşık 3 cm olarak bulunmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Deniz seviyesi, GNSS interferometrik reflektometri, Sinyal gürültü oranı, Mareograf

## Abstract

Global Navigation Satellite System (GNSS) signals have some characteristics that can be used for remote sensing applications. GNSS Interferometric Reflectometry (GNSS-IR) technique enables to effectively determine sea level using the reflected signal. In this study; sea level change was determined using the GNSS-IR technique at co-located GNSS stations, and the results were compared with conventional tide gauge observations. Signal-to-noise ratio (SNR) data was used from Trabzon and Sinop stations on the Black Sea coasts. The dominant multipath frequency of SNR signals of co-located GNSS stations with Trabzon and Sinop tide gauges on the Black Sea coasts was computed with the Lomb-Scargle periodogram (LSP). GNSS-IR-based sea level observations of Trabzon and Sinop stations were compared to sea level records from co-located tide gauges. Consequently, GNSS-IR-based sea level observations show high correlations by 0.95 and 0.90 for Trabzon and Sinop, respectively. Standard deviations of the differences between the sea level changes are 3 cm for these stations, respectively.

**Keywords:** Sea level, GNSS Interferometric Reflectometry, Signal-to-noise ratio, Tide gauge

## 1. Giriş

Deniz seviyesi küresel iklim değişikliği ve iklim değişimi modelleri için dünya çapında özellikle kıyısız alanlar için ilgi odağı olmaktadır. İklim senaryolarında önemli bir parametre olan deniz seviyesi değişimleri farklı konumlarda ve farklı oranlarda meydana gelmektedir. Bu nedenle, bölgesel ölçekte deniz seviyesinde meydana gelen değişimin belirlenmesi son derece önemlidir. Geleneksel olarak, deniz seviyesi gözlemleri mareograf istasyonları yardımıyla belirlenmektedir. Ancak bu şekilde gerçekleştirilen mareograf ölçümlerinin sadece deniz seviyesi gözlemlerini içermediği, aynı zamanda düşey yüzey hareketlerinden de etkilendiği bilinmektedir. Bunun sonucunda da deniz seviyesi gözlemlerinde belirsizlikler meydana gelmektedir. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) sinyalleri, uzaktan algılama uygulamaları için kullanılacak bazı ayırt edici özelliklere sahiptir. Bu anlamda, GNSS İnterferometrik Reflektometri (GNSS-IR) tekniği yansıyan sinyali kullanarak etkili bir şekilde deniz seviyesinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Son zamanlarda, GNSS sinyalinin bu yenilikçi kullanımının birçok potansiyel çalışmaya sahip olması nedeniyle bilim dünyasındaki ilgi artmıştır.

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Harita Mühendisliği Bölümü ve Harita Genel Müdürlüğü (HGM) arasında Mart 2020 tarihinde başlatılan "Karadeniz Kıyılarındaki Deniz Seviyesi Değişiminin GNSS-IR Tekniği İle Araştırılması" başlıklı ortak araştırma projesi kapsamında yapılmış olan ilk analizlerin sonuçları sunulacaktır. KTÜ ve HGM arasında bir işbirliği protokolü çerçevesinde yürütülmekte olan bu araştırma projesi Türkiye'de GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi değişimlerinin izlenmesine öncülük edecek ilk araştırma projesi olması

bakımından önemlidir. Bu proje ile ülkemiz kıyılarında bulunan TUSAGA-Aktif istasyonları ve GNSS entegre mareograf istasyonlarının GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi belirlenmesine katkısı araştırılacaktır.

## 2. Yöntem

### 2.1. GNSS İnterferometrik Reflektometri ve Sinyal Gürültü Oranı

GNSS sinyal yansıma etkisi ölçülerin doğruluğunu etkileyen büyük hata kaynaklarından biridir. Hassas konum belirleme için istenmeyen bu hata kaynağının deniz seviyesi gözlemlerinde kullanılması, Martin-Neira (1993) tarafından GNSS elektromanyetik dalgalarındaki doğrudan ve dolaylı sinyal girişimlerinin yansıma yüzeylerinin özelliklerinin kestirilmesi ile ortaya atılmıştır. Daha sonra, Anderson (2000) okyanuslarda doğrudan gelen ve yansıyan sinyaller arasındaki SNR girişim desenleri üzerine çalışmıştır. GNSS tabanlı mareograf ise ilk olarak Larson vd. (2013a) tarafından rölatif deniz seviyesi değişikliğini Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio, SNR) gözlemlerini kullanarak ölçmek için sunulmuştur.

GNSS-IR tekniği, başlıca deniz seviyesi (Larson vd. 2013a; Larson vd. 2013b; Larson vd. 2017; Nievinski vd. 2020), kar kalınlığı (Larson ve Nievinski, 2013), toprak nemi (Larson vd. 2008; Vey vd. 2016) değişimini belirleme gibi çeşitli çalışmalarda kullanılmaktadır.

Doğrudan gelen sinyal ile yansıyan sinyal anten faz merkezinde birleşmekte olup girişim desenleri en fazla SNR verilerinde gözlemlenmektedir. Alıcıya gelen sinyalin SNR ile olan ilişkisi;

$$SNR^2 \approx A_c^2 = A_d^2 + A_r^2 + 2A_dA_r\cos\psi \quad (1)$$

şeklindedir. Burada,  $A_c$  ; girişim yapan sinyalin genliği,  $A_d$  ; doğrudan gelen sinyalin genliği,  $A_r$  ; yansıyan sinyalin genliği,  $\psi$  ise iki sinyal arasındaki faz farkını ifade etmektedir. (Larson vd. 2008). Doğrudan gelen sinyalin etkisini kaldırarak sadece yansıyan sinyali kullanmak için tüm veriye düşük dereceli polinom veya yüksek geçirgenli filtre uygulanarak trend veri setinden çıkarılmaktadır. Böylece, doğrudan gelen sinyalin etkisinin kaldırıldığı trendden arındırılmış ( $\delta SNR$ ) SNR verileri elde edilmektedir. Trendden arındırılmış SNR verisi için sinyal yansıma etkisi salınımları;

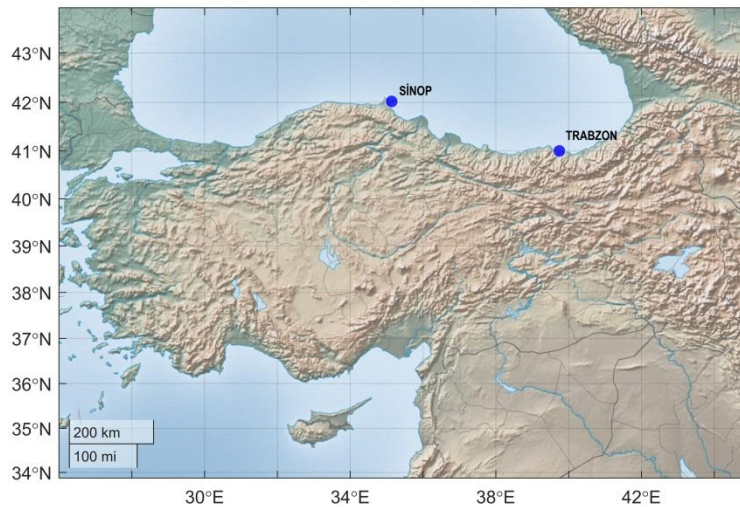
$$\delta SNR = A\cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda}\sin(\theta) + \varphi\right) \quad (2)$$

olarak ifade edilir. Burada,  $A$ ; genlik,  $h$ ; anten faz merkezi ile yansıma yüzeyi arasındaki düşey mesafe (reflektör yüksekliği),  $\lambda$  ; GNSS taşıyıcı dalga boyu,  $\theta$ ; uydu yükseklik açısını ifade etmektedir (Larson vd. 2013a). SNR salınımlarındaki dominant frekans Lomb-Scargle periodogram (LSP) ile belirlenebilmektedir. Dominant frekans en yüksek spektral güce karşılık gelmekte olup Eşitlik (3) kullanılarak reflektör yüksekliğine dönüştürülmektedir.

$$RH = \frac{\lambda f}{2} \quad (3)$$

### 2.2. Çalışma Alanı ve Veri

Çalışma kapsamında Türkiye'nin Karadeniz kıyısında bulunan Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Servisi (TUDES) bünyesindeki mareograf ortak yerleşkeli Sinop ve Trabzon GNSS istasyonları kullanılmıştır (Şekil 1).

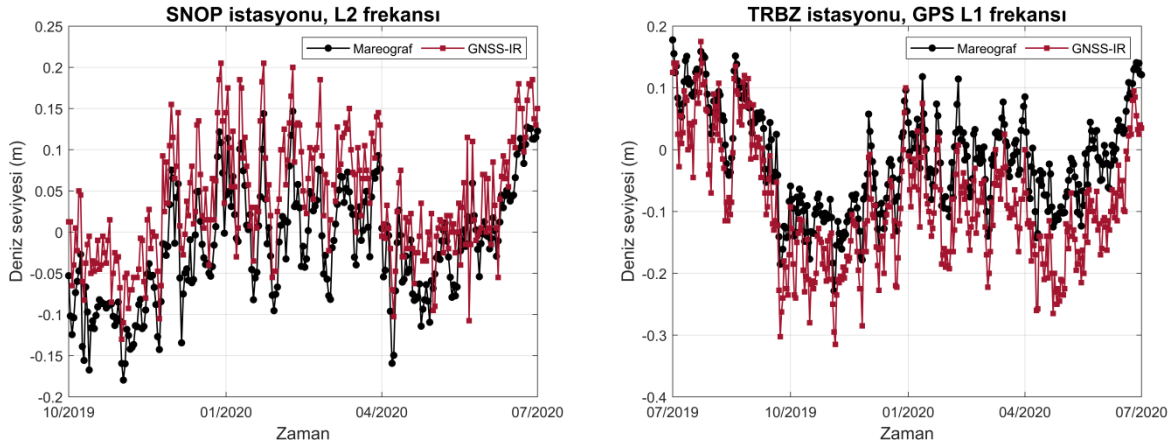


Şekil 1. Çalışma alanı

Çalışmada Sinop istasyonunda GPS L2 frekansı SNR verisi, Trabzon istasyonunda ise GPS L1 frekansı SNR verisi kullanılmıştır. Sinop istasyonu için zaman aralığı 16 Temmuz 2019- 29 Ağustos 2020, Trabzon istasyonu için ise 19 Haziran 2019-31 Ağustos 2020 şeklindedir. Yapılan analizler sonucunda, elde edilen GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi verilerini karşılaştırıp doğrulama yapmak amacıyla istasyona entegre mareograf istasyon gözlemleri kullanılmıştır (URL-1).

### 3. Analiz

Çalışma kapsamında, TUDES'e bağlı mareograf istasyonları ile ortak yerleşkeli sabit GNSS istasyonlarında GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi değişimlerinin izlenmesi ve sonuçların geleneksel mareograf gözlemleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. İlk olarak ülkemiz kıyılarındaki GNSS istasyonlarının GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi belirlenmesine katkısını araştırmak amacıyla Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz kıyılarında bulunan Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı Aktif (TUSAGA-Aktif) ait ANMU, DATC, TEKR, SINP ve FASA istasyonları, Akdeniz kıyılarında bulunan Uluslararası GNSS Servisine (International GNSS Service, IGS) ait MERS istasyonunda kaydedilmiş kısa dönemli SNR verileri kullanılarak GNSS-IR tekniği ile istasyonların bulunduğu kıyılarda deniz seviyesi belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, Akdeniz'de MERS ve Marmara'da ise TEKR istasyonunun güçlü yansıma genliklerine sahip olduğu ve anlamlı gözlemler içerdiği görülmüş olup GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi belirlenmesine olanak sağlayan istasyonlar olarak bulunmuştur (Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2021). Çalışmada daha sonra Karadeniz kıyılarında Trabzon ve Sinop mareograf istasyonları ile ortak yerleşkeli GNSS istasyonlarında deniz seviyesi gözlemleri elde edilmiştir. Bunun için Sinop ve Trabzon istasyonlarında ayrı ayrı azimut ve yükseklik açıları aralıkları belirlenmiştir. Her bir sabit GNSS istasyonuna ait belirlenen aralıklardaki uydu izlerine ait SNR verileri kullanılmıştır. SNR salınımlarındaki doğrudan gelen sinyalin etkisinden kurtulmak için 2. dereceden polinom geçirilerek Eşitlik 2'de gösterildiği şekilde trendden arındırılmış SNR verileri hesaplanmıştır. Ardından SNR sinyallerinin dominant sinyal yansıma etkisi frekansı LSP yöntemi ile belirlenmiştir. Buradan elde edilen GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemleri ortak yerleşkeli mareograf istasyonlarındaki deniz seviyesi gözlemleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2).



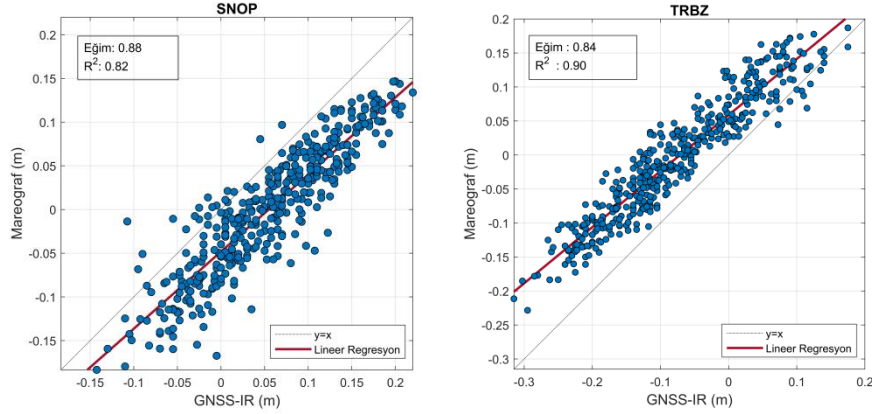
Şekil 2. GNSS-IR ile elde edilen deniz seviyesi gözlemleri

Yapılan karşılaştırma sonucunda, Sinop ve Trabzon istasyonlarında GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi ve mareograf istasyonları gözlemlerinden elde edilen deniz seviyesi değişimleri arasında sırasıyla 0.90 ve 0.95 düzeyinde yüksek bir korelasyon elde edilmiştir. Aynı istasyonlarda elde edilen deniz seviyesi değişimi farklarına ait standart sapmalar ise sırasıyla 3.24 cm ve 3.34 cm olarak bulunmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemleri ile mareograf kayıtlarının karşılaştırması

İstasyon Adı	SİNOP	TRABZON
Korelasyon Katsayısı	0.90	0.95
Standart Sapma	3.24 cm	3.34 cm
RMSE	3.12 cm	2.83 cm

GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemleri ile mareograf kayıtları arasında uygulanan doğrusal regresyon sonucunda Sinop ve Trabzon istasyonlarında sırasıyla 0.88 ve 0.84 eğim elde edilmiştir.  $R^2$  belirleyicilik katsayısı ise sırasıyla 0.82 ve 0.90 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemleri ve mareograf kayıtları arasındaki ilişki

#### 4. Sonuçlar

GNSS gözlemleri jeodezik kullanımının yanında meteorolojik tahminlerin güçlendirilmesi ve jeodinamik çalışmalar amacıyla çeşitli araştırmalarda kullanılmaktadır. Son dönemlerde GNSS-IR tekniği ile GNSS istasyonlarının deniz seviyesi değişimlerinin araştırılmasına da önemli katkılar sağladığı görülmektedir. Bu çalışmada ülkemiz Karadeniz kıyılarında bulunan TUDES ortak yerleşkeli Sinop ve Trabzon istasyonları kullanılarak GNSS-IR tekniği ile deniz seviyesi gözlemleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ilgili istasyonların GNSS-IR ile deniz seviyesi belirlenmesine yönelik elverişli veri sağladığı ve GNSS-IR tabanlı deniz seviyesi gözlemlerinin mareograf kayıtları ile yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür.

#### Teşekkür

TUDES verilerini (<https://tudes.harita.gov.tr/>) linki üzerinden sağlayan Harita Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Anderson, K.D., (2000) Determination of water level and tides using interferometric observations of GPS signals. Journal of atmospheric and oceanic technology, 17(8): 1118-1127. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2000\)017<1118:DOWLAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2000)017<1118:DOWLAT>2.0.CO;2)
- Beşel, C , Tanır Kayıkçı, E . (2021) Türkiye denizlerinde GNSS reflektometre tekniği ile deniz seviyesi değişiminin araştırılması . Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi , 8 (1) , 1-17 . DOI: 10.9733/JGG.2021R0001.T
- Martin-Neira, M. (1993) A passive reflectometry and interferometry system (PARIS): Application to ocean altimetry. ESA journal, 17(4), 331-355.
- Larson, K. M., Small, E. E., Gutmann, E., Bilich, A., Axelrad, P., Braun, J. (2008) Using GPS multipath to measure soil moisture fluctuations: initial results. GPS solutions, 12(3), 173-177.
- Larson, K. M., Nievinski, F. G. (2013) GPS snow sensing: results from the EarthScope Plate Boundary Observatory. GPS solutions, 17(1), 41-52.
- Larson, K. M., Löfgren, J. S., Haas, R. (2013a) Coastal sea level measurements using a single geodetic GPS receiver. Advances in Space Research, 51(8), 1301-1310.
- Larson, K. M., Ray, R. D., Nievinski, F. G., Freymueller, J. T. (2013b) The accidental tide gauge: a GPS reflection case study from Kachemak Bay, Alaska. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 10(5), 1200-1204.
- Larson, K.M., Ray, R.D., Williams, S.D.P. (2017) A 10-year comparison of water levels measured with a geodetic GPS receiver versus a conventional tide gauge. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 34: 295-307.
- Nievinski, GF., Hobiger, T., Haas, R. et al.(2020) SNR-based GNSS reflectometry for coastal sea-level altimetry: results from the first IAG inter-comparison campaign. J Geod 94, 70. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01387-3>.
- Vey, S., Güntner, A., Wickert, J., Blume, T., Ramatschi, M. (2016) Long-term soil moisture dynamics derived from GNSS interferometric reflectometry: a case study for Sutherland, South Africa. GPS solutions, 20(4), 641-654.