

# TÜRKİYE İÇİN INSAR TABANLI YER HAREKETLERİ İZLEME SERVİSİ TASARIMI

Suat COŞKUN<sup>1</sup>, Saygın ABDİKAN<sup>2</sup>, Füsün BALIK ŞANLI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Harita Yük. Müh. Suat COŞKUN, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Bilecik, Türkiye, suatcoskun@hotmail.com

<sup>2</sup>Doç. Dr. Saygın ABDİKAN Hacettepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara, sayginabdikan@hacettepe.edu.tr

<sup>3</sup>Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, fbalik@yildiz.edu

## ÖZET

Yüzey hareketleri çok sayıda yaşam kayıplarına neden olmakla birlikte ülke ekonomisine büyük zararlar verebilmektedir. Bu nedenle deprem, heyelan, madencilik faaliyetleri, yer altı su seviyesinde meydana gelen azalmalar gibi doğal ve insan kaynaklı yüzey hareketlerini tespit etmek ve izlemek bu hareketlerin oluşturabileceği riskleri ortaya çıkarmak ve gerekli önlemlerin alınması sağlamak önem arz etmektedir. Çeşitli çalışmalarda farklı sebeplerle ortaya çıkan yüzey hareketleri incelenmiştir ancak tüm Türkiye'yi kapsayacak ölçüde bir yer değiştirme hareketini gösteren bir servis bu çalışmalarda yer almamaktadır. Sentinel-1 A/B radar uydu verileri ile oluşturulan ve kullanıcılara açık şekilde ve hazır olarak sunulan LiCSAR sonuç ürünleri ile InSAR yöntemiyle LiCSBAS yazılımı kullanılarak yaklaşık 800m/pix çözünürlüğe sahip Türkiye Deformasyon Haritası oluşturulması amaçlanmıştır. Bu çalışma sırasında çözünürlük farklarının yarattığı sorunların ortaya konması ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilmesi için İstanbul İline ait yaklaşık 100m/pix çözünürlüğe sahip veri seti ayrıca değerlendirilerek Google Earth Engine (GEE) yardımıyla açık erişime sunulmuştur. 2014 yılı ile 2023 yıllarını kapsayan analizlerde çeşitli bölgelerde yüzey hareketleri uyduya bakış doğrultusu boyunca elde edilmiştir. Tüm veriler oluşturulan web servisi üzerinden kullanıcılara ücretsiz olarak erişim sağlamakta olup deformasyonun bulunduğu alana ait zaman serisi oluşturulabilmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** insar, yerdeğiştirme, sbas, deformasyon, sentinel-1

## ABSTRACT

## DESIGN OF INSAR-BASED GROUND DISPLACEMENT MONITORING SERVICE FOR TÜRKİYE

Surface movements can cause many losses of life and can cause great damage to the country's economy. For this reason, it is important to detect and monitor natural and human-induced surface movements such as earthquakes, landslides, mining activities and decreases in groundwater levels in order to reveal the risks that these movements may pose and to ensure that the necessary precautions are taken. Various studies have studied surface displacement that occurs for different reasons, but there is no service showing a displacement that covers the whole of Turkey. This study, which uses LiCSAR result products created with Sentinel-1 A/B radar satellite data and presented to users openly, it is aimed to create a Turkey Displacement Map with a resolution of approximately 800m/pix using the InSAR method and LiCSBAS software. In order to reveal the problems caused by resolution differences and to obtain comparable results during this study, the data set of Istanbul Province with a resolution of approximately 100m/pix was evaluated separately and made available for open access with the help of Google Earth Engine (GEE). In the analyses covering the years 2014 to 2023, surface movements in various regions were obtained along the line of sight direction. All data is provided to users free of charge via the created web service, and time series of the region where the movement is located can be created.

**Keywords:** InSAR, displacement, SBAS, deformation, Sentinel-1

## 1. GİRİŞ

Dünya gözlem uyduları yardımıyla yeryüzündeki değişikliklerin izlenmesi ve ölçülmesi günümüzde pek çok farklı disiplinin başvurduğu bir yöntem haline gelmiştir. Özellikle radar uydularından elde edilen veriler yardımıyla yer hareketlerinin aktif şekilde izlenmesi pek çok alanda yenilikçi yaklaşımların ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur. Diferansiyel Interferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (DInSAR) yöntemi bir çift radar görüntü verilerini kullanarak yüzeyde meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Gelişmiş DInSAR yöntemleri ise çok sayıda SAR görüntü verisini kullanmaktadır (Crosetto vd., 2020). Bu veriler yüzeyde meydana gelen küçük deformasyonların belirlenmesi, geniş alanları kapsayarak konumsal analizlerin gerçekleştirilmesi ve sistematik olarak geniş zaman aralığında toplanan veriler sayesinde zaman serilerinin oluşturulması gibi çeşitli bilgiler sunmaktadır. Hem SAR uydu verilerinin çözünürlüklerinin artmış olması hem de açık veri politikalarında yaşanan olumlu gelişmelere nedeniyle InSAR yönteminin kullanıldığı alanlar gün geçtikçe artmaktadır. Bu duruma özellikle 2014 yılında görüntü alımına başlamış olan Sentinel-1 misyonu önemli bir katkı sağlamaktadır.

Avrupa Uzay Ajansı açık veri politikası ile Sentinel-1 A/B radar uydu verilerini sırasıyla 2014 ve 2016 yıllarından itibaren kullanıcılara sunulmaktadır. İki uydudan oluşan takım uydular geniş alanları kapsayarak kısa sürede sık görüntü alımı sağlayabilmektedir. Ancak Sentinel-1B uydusu yaşanan teknik bir aksaklık nedeniyle 2022 yılından

İtibaren veri sağlayamamaktadır. Buna rağmen söz konusu uydular yardımıyla geniş bir veri arşivi oluşmuş olup pek çok çalışmada kullanılmıştır. Bu veriler ile hem ani gelişen deprem gibi hareketler (Bayık vd., 2022), hem de uzun zaman aralığında meydana gelen heyelan (Coskun vd., 2023; Bayık 2021), volkan (Lazecky vd., 2020) altyapı sorunları (Halicioğlu vd., 2021) ve yüzey çökmeleri (Calo vd., 2017) gibi durumlara ait veriler elde edilmiştir.

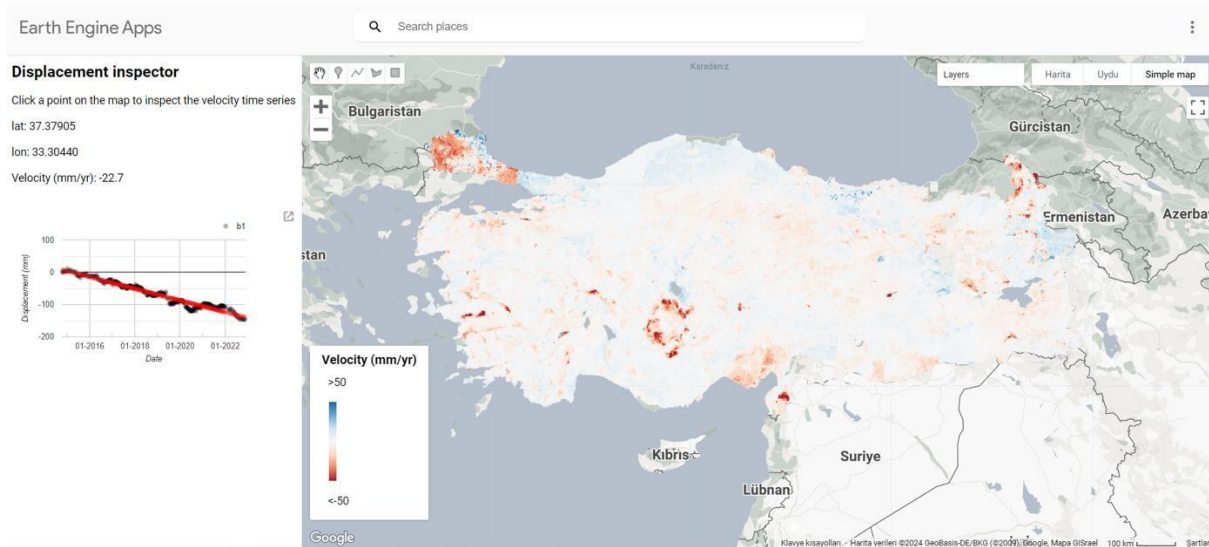
Lokal çalışmaların yanında ülke ölçeğinde çalışmalar da yer almaktadır. Norveç (Dehls vd., 2019), Almanya (Kalia vd., 2017), Hollanda gibi ulusal yer izleme sistemleri ile birlikte kıta ölçeğinde Avrupa Yer Hareket Servisi de açık kaynak olarak sunulmaktadır (Crosetto vd., 2020). Ancak Türkiye için böyle bir servis yer almamaktadır. Bu çalışmanın amacı tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde yer hareketlerinin izlenebileceği ulusal bir servisin tasarlanmasıdır. Bu amaçla bu çalışma Sentinel-1 A/B radar uydu verileri ile oluşturulan ve kullanıcılara açık şekilde ve hazır olarak sunulan LiCSAR sonuç ürünleri kullanılmıştır (Lazecky vd., 2020). Bu interferogramlar farklı InSAR yaklaşımlarından biri olan Kısa Baz Uzunluğu interferometresi (SBAS) yöntemini kullanarak zamansal yer değişimlerini hesaplamaya yarayan LiCSBAS yazılımı yardımıyla işlenmiştir (Morishita vd., 2020).

## 2. YÖNTEM

Çalışmada alçalan yörüngede yer alan ve tüm ülkeyi kapsayan 25 adet çerçeve yaklaşık 800m/pix çözünürlüğünde ve GACOS atmosferik düzeltmesi içerecek şekilde işleme sokulmuştur (Yu vd., 2018). Her bir çerçeve 2014 yılı ile 2023 yılları arasındaki yaklaşık 250 ila 350 adet uydu görüntüsü kullanarak en düşük 300 en yüksek 1500 adet interferogram çiftini içerecek şekilde işleme dahil edilmiştir. Söz konusu görüntü yığınları için referans noktaları çerçeveler içerisinden seçilerek yer değiştirme değerleri mm mertebesinde hesaplanmıştır. Sonuç ürünlerin zaman serisi şeklinde ve tüm ülkeyi kapsayacak biçimde birleştirilip görüntülenebilmesi için açık erişime sahip Google Earth Engine programı kullanılmıştır. Elde edilen verilerin bu programda istenilen formatta dönüştürülebilmesi ve görüntü yığını haline getirilebilmesi için ise özel hazırlanan kodlar ve bazı açık kaynaklı yazılımlar kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri setinin 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri öncesi durumu ait olması göz önünde bulundurularak uygulamaya Türkiye diri fay hatları verisi Emre vd. (2013) ile deprem sonrası oluşan heyelanlara ait bilgiler katmanlar şeklinde eklenerek yer değiştirme verisi ile karşılaştırılması sağlanmıştır (Görüm vd., 2023).

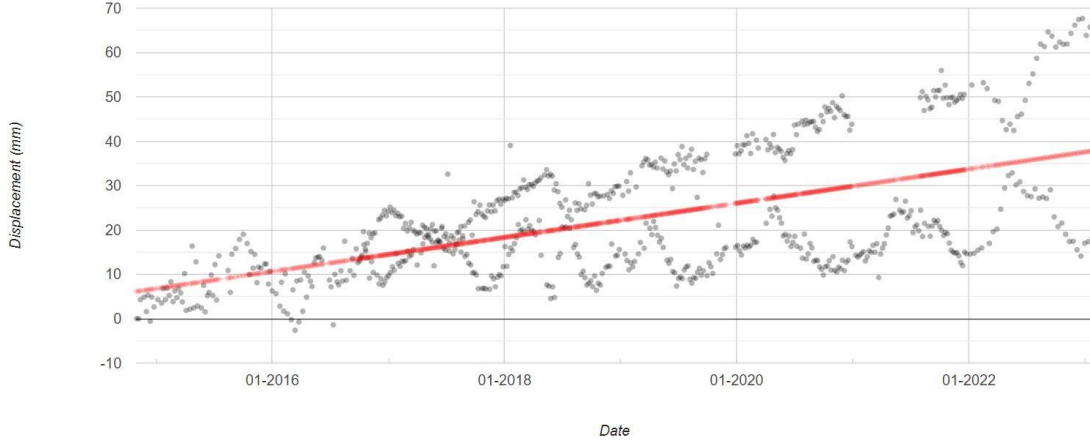
## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tüm Türkiye'yi kapsayan ve Şekil 1'de gösterildiği hali ile yer hareketlerinin zamansal değişimlerinin görselleştirilebildiği açık kaynaklı bir uygulama oluşturulması amaçlanmış ve <https://suatcoskun.users.earthengine.app/view/flts> adresinde erişime açılmıştır. Şekil 1'de gösterilen değerler bakış doğrultusu boyunca hareketi göstermektedir. Kırmızı bölgeler uydudan uzaklaşmayı, mavi bölgeler ise uyduya olan yaklaşmayı ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlar üzerinden seçilen pikseller bölgede meydana gelen hareketin zaman serisini sunmaktadır. Şekil 1'de yer alan zaman serisine göre yer değiştirme miktarı yıllık 22.7 mm olup toplam hareket 150 mm'dir.



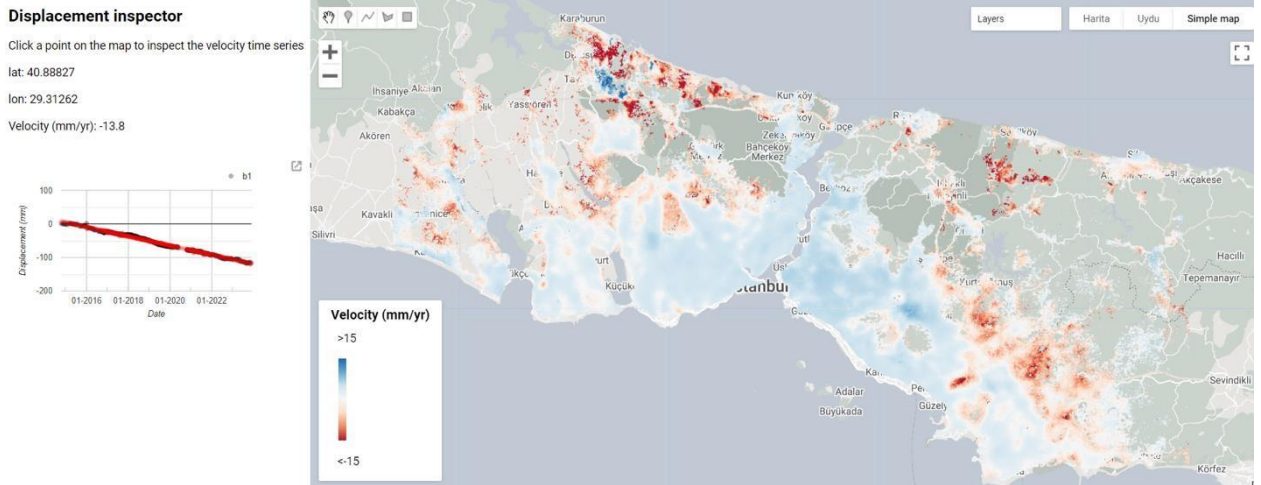
Şekil 1. Türkiye InSAR yer değiştirme haritası

Bu çalışma boyunca farklı çerçevelerde ve farklı sayıda görüntü yığınları ve atmosferik modeller ile çalışıldığından bazı bölgelerde görüntü sayısının az olması, geri saçılma değerlerinin düşük olması, atmosferik modellerin bütün çerçeveyi kapsayamaması gibi nedenlerden ötürü veri kayıpları yaşanmıştır. Veri işleme sırasında yer değiştirme değerlerinin kalibrasyonu için yer kontrol noktaları kullanılmadığından ve çerçevelerin her biri içinde farklı referans noktaları hesaplandığından, birbiri üzerine bindirmeli bazı çerçevelerde aynı nokta için farklı değerlere sahip zaman serisi grafiklerinin oluşmasına neden olmuştur (Şekil 2).



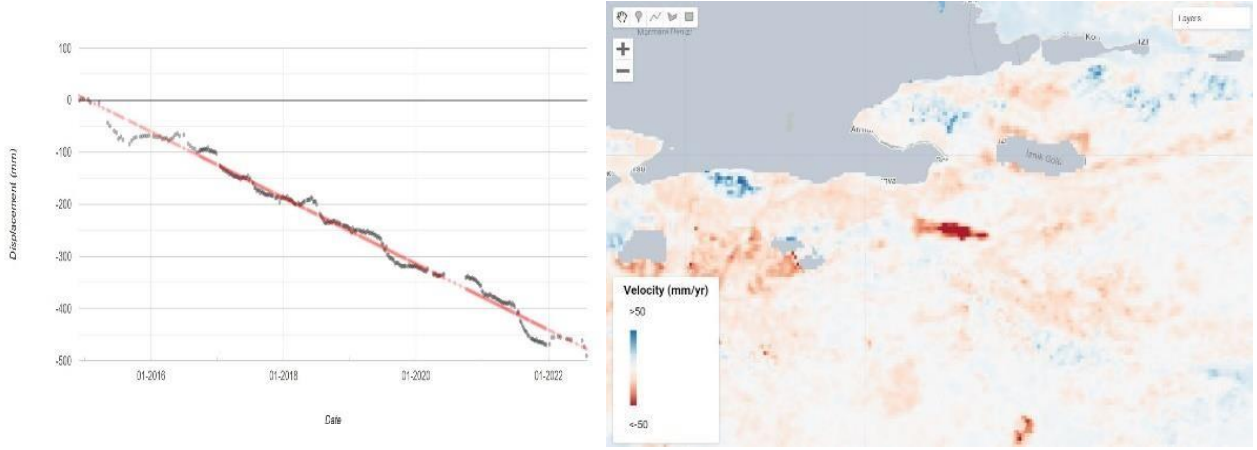
Şekil 2 Farklı çerçevelerde aynı alan için farklı zaman serisi grafiği

Söz konusu uygulama ile ilk bakışta ülkemiz genelinde yer alan ve yoğun tarımsal faaliyetin yapıldığı alanlarda yer altı su kullanımının yarattığı etki, hızlı gelişen ve yüksek yer değiştirme değerlerine sahip heyelanlar, obruk oluşma riskinin yüksek olduğu bölgeler ile bazı fay hatları boyunca oluşan gerilimler nedeniyle meydana gelen yer değiştirmeler tespit edilebilmektedir. Ayrıca söz konusu uygulama ile elde edilen zaman serisi grafikleri farklı formatlar şeklinde indirilebildiğinden araştırmacılar tarafından kendi çalışmalarına entegre edilebilmesi sağlanmaktadır. Çalışılan veri setinin çözünürlüğünün nispeten düşük oluşu (800m/pix) küçük yer değiştirme değerlerine sahip alanların maskelenmesine neden olmakta ve bu alanlardaki deformasyon miktarlarının tespitini zorlaştırmaktadır. Ayrıca düşük çözünürlük nedeniyle olduğu tahmin edilen İstanbul İlinin ve Trakya bölgesinin bulunduğu çerçevelerde veri bozulmalarının olduğu tespit edildiğinden, LiCSBAS yazılımı ile oluşturulabilecek ve İstanbul ili için mümkün olan en yüksek çözünürlük olan yaklaşık 100m/pix değere sahip deformasyon izleme haritası Şekil 3'deki hali ile oluşturulmuş ve <https://suatcoskun.users.earthengine.app/view/istanbulv1> adresinde erişime açılmıştır. Bu çalışma sonucunda yüksek çözünürlüğe sahip interferogramlar kullanılarak oluşturulan zaman serilerinde düşük çözünürlüklü zaman serilerinden farklı olarak veri bozulmalarına rastlanmadığı aksine düşük yansıma değerine sahip piksellerin maskelendiği anlaşılmıştır.



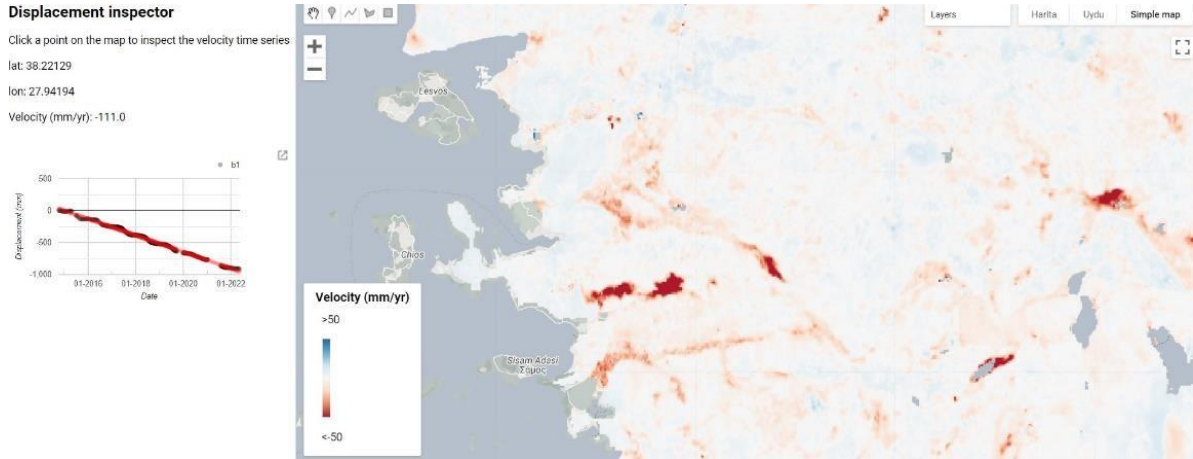
Şekil 3. İstanbul ili InSAR yer değiştirme haritası





Şekil 6. Bursa ovası deformasyon alanı ve zaman serisi

Imamoğlu vd. (2022) Küçük Menderes Grabeninin deformasyon izlerinin incelendiği çalışma ve Ülkemiz genelinde yer alan fay hatlarının gerilimlerinin InSAR ve GNSS verileri ile incelendiği çalışma Weiss vd. (2020) bu haritada yer alan deformasyon alanları ile benzerlikler taşımaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Menderes grabeni deformasyon haritası

#### 4. SONUÇLAR

Doğal ve insan kaynaklı oluşan ani ve yavaş gelişen yüzey hareketleri hayatı büyük ölçüde etkilemektedir. Açık veri ve açık kaynaklı platformlar hem geniş alanları kapsayan verilerin işlenmesi hem de çok zamanlı verilerin analiz edilmesini kolaylaştırmaktadır. Yüzey hareketlerinin tespit edilmesi ve izlenmesi amacıyla sağlanan Sentinel-1 uydusu son on yılda büyük bir veri arşivi sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında Türkiye özelinde bir yüzey yer değiştirme servisi oluşturulmuş ve ilk sonuçlar paylaşılmıştır. Ancak çeşitli bölgelerde veri kümesinin az olması süreklilik açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Ele alınan yöntemin sağladığı çözünürlük detaylı çalışmalar için kısıtlayıcı olabilir. Bu durumlarda uyduların sağladığı ve tam çözünürlüğün kullanılabilmesi alternatif yazılımlar kullanılabilir. Ayrıca sadece tek bir yöreğe yönünde analiz gerçekleştirilmiş olup diğer yönde alınacak uydu görüntülerinden oluşturulacak yer değiştirme bilgileri ile bakış doğrultusunda elde edilen verilerin yatay ve düşey harekete dönüştürülmesi planlanmıştır.

Ülkemiz için de tasarlanabileceği düşünülen bu tür bir çalışmanın açık kaynaklı yazılımlar kullanılarak doğru iş birlikleri ile çok kısa zamanda ve düşük bütçelerle oluşturulabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle ülkemizin gelişmekte olan konumu, jeolojik yapısı, mevcut altyapı ve üstyapı yatırımları ile bu alandaki ihtiyacının fazlalığı, yeraltı kaynaklarındaki çeşitlilik ve bunların denetimi ile çevresel açıdan sürdürülebilirliği, sulanabilir tarımsal havzaların yönetimi, yeni heyelan alanları ile fay hatlarının tespiti, enerji yatırımlarının izlenmesi gibi pek çok başka alanda da yenilikçi çözümler sunabilecek böyle bir çalışmaya ivedilikle ihtiyacımız olduğunu düşündürmektedir.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada katkılarından dolayı Kırşehir Üniversitesi Ar. Gör. Emrah GÜRLEK, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Öğr. Gör. Uygur AYDİN ve Leeds Üniversitesinden Dr. Scott WATSON'a teşekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKLAR

**Abdikan, S., Coşkun, S., Narin, O. G., Bayık, Ç., Pepe, A., ve Balık Şanlı, F.** 2023. Prediction of Long-Term Sentinel-1 InSAR Time Series Analysis. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLVIII-M-1-2023, 3–8.

**Aslan, G., Cakir, Z., Lasserre, S., ve Renard, F.** 2019. Investigating subsidence in the Bursa Plain, Turkey, using ascending and descending Sentinel-1 satellite data. *Remote Sensing*, 11, 85, 2-17.

**Bayık, C., Abdikan, S., Ozdemir, A., Arıkan, M., Balık Şanlı, F. ve Dogan, U.** 2021. Investigation of the landslides in Beylikdüzü-Esenyurt districts of İstanbul from InSAR and GNSS observations. *Natural Hazards*, 109, 1201-1220.

**Bayık, C., Gurbuz, G., Abdikan, S., vd.** 2022. Investigation of Source Parameters of the 2020 Elazığ-Sivrice Earthquake (Mw 6.8) in the East Anatolian Fault Zone. *Pure Appl. Geophys.* 179, 587–598.

**BGR.** 2024. BodenBewegungsdienst Deutschland. <https://bodenbewegungsdienst.bgr.de/> [23.06.2024].

**Bilgiliöğlü, S. S. ve Bilgiliöğlü, H.** 2023. Aksaray İli Obruk Duyarlılık Haritasının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemleri İle Oluşturulması. *Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12/2, 612-625.

**Calo, F., Notti, D., Abdikan, S., Görüm, T., Pepe, A. ve Balık Şanlı, F.** 2017. DInSAR-based detection of land subsidence and correlation with groundwater depletion in Konya Plain, Turkey. *Remote Sensing*, 9, 83, 1-25.

**Coskun, S., Bayık, C., Abdikan, S., Gorum, T. ve Balık Şanlı, F.** 2023. Monitoring The Slowly Developing Landslide With The InSAR Technique In Samsun Province, Northern Turkey. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-M-1-2023, 497–502.

**Copernicus EU.** 2024. European Ground Motion Services. <https://egms.land.copernicus.eu/> [23.06.2024].

**Crosetto, M., Solari, L., Mróz, M., Balasis-Levinsen, J., Casagli, N., Frei, M., Oyen, A., Moldestad, D. A., Bateson, L., Guerrieri, L., et al.** 2020. The Evolution of Wide-Area DInSAR: From Regional and National Services to the European Ground Motion Service. *Remote Sensing*, 12(12), 2043.

**Dehls, J. F., Larsen, Y., Marinkovic, P., Lauknes, T. R., Stødle, D., ve Moldestad, D. A.** 2019. IN SAR.No: A National InSAR Deformation Mapping/Monitoring Service In Norway--From Concept To Operations. *IGARSS 2019–2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 28 July–2 August 2019, Yokohama, Japan; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 5461–5464.

**Emre, Ö., Duman, T. Y., Ozalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F.** 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000.

**Görüm, T., Tanyas, H., Karabacak, F., Yılmaz, A., Girgin, S., Allstadt, K. E., Süzen, M. L. ve Burgi, P.** 2023. Preliminary Documentation of Coseismic Ground Failure Triggered by The February 6, 2023 Türkiye Earthquake Sequence. *Engineering Geology*, 327.

**Halıcıoğlu, K., Erten, E. ve Rossi, C.** 2021. Monitoring deformations of İstanbul metro line stations through Sentinel-1 and levelling observations. *Environmental Earth Sciences*, 80(9), 1–10.

**Imamoglu, M., Balık Şanlı, F., Cakir, Z. ve Kahraman, F.** 2022. Rapid Ground Subsidence in the Küçük Menderes Graben (W. Turkey) Captured by Sentinel-1 SAR Data. *Environmental Earth Sciences*, 81(221).

**Kalia, A. C., Frei, M. ve Lege, T.** 2017. A Copernicus downstream-service for the nationwide monitoring of surface displacements in Germany. *Remote Sensing of Environment*, 202, 234–249.

**Lazecky, M., Spaans, K., Gonzalez, P. J., Maghsoudi, Y., Morishita, Y., Albino, F., Elliot, J., Greenall, N., Hatton, E., Hooper, A., Juncu, D., McDougall, A., Walters, J. R., Watson, S. C., Weiss, J. R. ve Wright, T. J.** 2020. LiCSAR: An Automatic InSAR Tool for Measuring and Monitoring Tectonic and Volcanic Activity. *Remote Sensing*, 12(15).

**Morishita, Y., Lazecky, M., Wright, T. J., Weiss, J. R., Elliot, J. R. ve Hooper, A.** 2020. LiCSBAS: An Open-Source InSAR Time Series Analysis Package Integrated with the LiCSAR Automated Sentinel-1 InSAR Processor. *Remote Sensing*, 12(3), 424.

**Orhan, O., Oliver-Cabrera, T., Wdowinski, S., Yalvac, S. ve Yakar, M.** 2021. Land Subsidence and Its Relations with Sinkhole Activity in Karapınar Region, Turkey: A Multi-Sensor InSAR Time Series Study. *Sensors*, 21, 774.

**Yagmur, N., Erten, E., Musaoglu, N. ve Safak, E.** 2022. Assessing spatio-temporal dynamics of large airport's surface stability. *Geocarto International*, 37(26), 13734-13747.

**Yu, C., Li, Z., Penna, N. T. ve Crippa, P.** 2018. Generic Atmospheric Correction Model for Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(10), 9202-9222.

**Weiss, J. R., Walters, R. J., Morishita, Y., Wright, T. J., Lazecky, M., Wang, H., Hussain, E., Hooper, A. J., Elliott, J. R., Rollins, C., Yu, C., Gonzalez, P. J., Spaans, K., Li, Z. ve Parsons, B.** 2020. High-Resolution Surface Velocities and Strain for Anatolia from Sentinel-1 InSAR and GNSS Data. *Geophysical Research Letters*, 47(17).