

MADENCİLİK KAYNAKLI YERYÜZEYİ HAREKETLERİNİN INSAR TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

Çağlar BAYIK^{1,2}, Şenol Hakan KUTOĞLU³, Saygın ABDİKAN⁴, Mahmut ARIKAN⁵,

¹Doç. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 67100, Merkez, Zonguldak, caglarbayik@beun.edu.tr

²Doç. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Afet Uygulama ve Araştırma Merkezi, 67100, Merkez, Zonguldak

³Prof. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 67100, Merkez, Zonguldak, shakan.kutoglu@beun.edu.tr

⁴Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara, sayginabdikan@hacettepe.edu.tr

⁵Yük. Müh., BeeSense, Consultancy and Engineering on Geo-information Technologies, Delft, Hollanda, m.arikan@beesense.nl

ÖZET

13 Şubat 2024 tarihinde Erzincan'ın İliç ilçesinde meydana gelen kaza, maden sahalarında ortaya çıkabilecek tehlikeleri tekrar gündeme getirmiştir. Önemli bir uzaktan algılama tekniği olan İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR) özellikle yeryüzünde meydana gelen yer değiştirmeleri oldukça hassas bir şekilde belirleyebilmektedir. Günümüzde Avrupa Uzay Ajansı tarafından ücretsiz olarak sağlanan ve 6 gün gibi oldukça kısa periyotlara sahip Sentinel-1 SAR uydusu görüntüleri kullanılarak bu hareketler sürekli olarak gözlemlenmektedir. Bu çalışma, kazadan önceki 9 yıllık dönemdeki davranışların Kısa Baz Uzunluğu İnterferometri (Small Baseline Subset - SBAS) tekniği kullanılarak incelenmesini amaçlamaktadır. 2015 ve 2024 yılları arasında bölgede gerçekleşen yer değiştirmeler, açık kaynaklı LiCSBAS zaman serisi analiz paketi (LiCSAR ile Entegre Açık Kaynaklı InSAR Zaman Serisi Analiz Paketi) kullanılarak yapılan işlemlerde açıkça görülmektedir. Çalışmada yatay ve düşey hareketlerin belirlenmesi için çalışma bölgesini kapsayan yükselen ve alçalan yörünge görüntülerinden görüş hattı (LOS) yönündeki yer değiştirmeler üretilmiştir. Sonuçlar, InSAR yönteminin hareketleri tespit etmedeki etkinliğini ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme kabiliyetini ispatlamıştır. Analiz, hareketin 9 yıllık bir süre boyunca devam ettiğini ve hareketin bölgedeki dinamik doğasını ortaya koymuştur. Bu çalışma, benzer riskli alanlarda daha kapsamlı risk değerlendirmelerinin ve önleyici tedbirlerin belirlenmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: afet, deformasyon, InSAR, LiCSBAS, madencilik

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MINING-INDUCED EARTH MOVEMENTS WITH INSAR TECHNIQUE

The accident that occurred in the İliç district of Erzincan on February 13, 2024, has once again highlighted the dangers that may arise in mining areas. Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), a crucial remote sensing technique, can detect displacements on Earth with high precision. Today, these movements can be continuously monitored using Sentinel-1 SAR satellite images, which are provided free of charge by the European Space Agency and have very short intervals of 6 days. This study aims to examine the behavior during the 9-year period before the accident using the Small Baseline Subset (SBAS) technique. The displacements that occurred in the region between 2015 and 2024 are clearly visible in the operations performed using the open-source LiCSBAS time series analysis package (An Open-Source InSAR Time Series Analysis Package Integrated with LiCSAR). In the study, displacements in the Line of Sight (LOS) direction were derived from ascending and descending orbit images covering the study area to determine horizontal and vertical movements. The results demonstrated the effectiveness of the InSAR method in detecting movements and its high-resolution imaging capability. The analysis revealed that the movement continued over a period of 9 years, highlighting the dynamic nature of the region. This study aims to contribute to the development of more comprehensive risk assessments and preventive measures in similar high-risk areas.

Keywords: disaster, deformation, InSAR, LiCSBAS, mining

1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklı kazalar insan yaşamı, altyapı ve çevre için önemli riskler oluşturmaktadır. Bu bölgelerin düzenli olarak takip edilmesi, ortaya çıkan risklerin dinamiğinin belirlenmesi ve azaltılması hayati önem taşımaktadır. GNSS ölçüm etkili ve hassas olmalarına rağmen çeşitli kısıtlar barındırmaktadır. Bunların başında nokta bazlı olmaları ve yersel ölçümlerde kullanılan noktaların zarar görmesidir. Geniş alanların izlenmesinde kullanılan İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR) yöntemi bu açıdan avantaj sağlamaktadır. InSAR yöntemi ani oluşan deprem, heyelan, toprak kayması vb. doğa olaylarından kaynaklanan deformasyonların mm/yıl mertebesinde belirlenmesine olanak sağlar. Yöntemde bir çift veri farkı kullanılarak oluşturulan interferogram görüntüsü ile uydunun bakış doğrultusu boyunca (Line of Sight-LOS) yer değiştirme değerleri elde edilmektedir. Yöntem hem kısa zamanda hem de uzun zamanda meydana gelen deformasyon değerlerini belirlemede büyük ölçüde başarılıdır (Gens ve van Genderen, 1996).

Bir görüntü çiftinden deformasyon bilgisi üretebilmek için görüntü çiftinin uygun geometrik ve zamansal baz değerlerine sahip olması gerekmektedir (Gens ve van Genderen, 1996). Ancak bu optimum koşullar her zaman sağlanamadığı için gelişmiş DInSAR yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler kapsamında iki genel yaklaşım

uygulanır, bunlar Sabit Saçıcı InSAR (Persistent Scatterer Interferometric - PSI) ve SBAS yöntemleridir (Feretti vd., 2001; Berardino vd., 2002; Hooper vd., 2008). PSI yöntemi, DInSAR yöntemin sebep olduğu olumsuz koşulları azaltmak için geliştirilmiştir (Feretti vd., 2001). Bu yöntemde çoklu görüntü seti ($n > 20$, n : görüntü sayısı) kullanılmaktadır. Görüntülerden birisi ana görüntü olarak seçilir ve tüm görüntüler bu görüntü ile eşleştirilerek n adet görüntüden $n-1$ adet interferogram oluşturulur. Bu yöntem ile uzun zaman aralığında meydana gelen küçük yer değiştirme değerleri zaman analizi ile elde edilebilmektedir. Analizde uzun zaman aralığında bir piksel içinde sabit kalan dominant saçıcılar bulunarak zamansal analiz gerçekleştirilir (Feretti vd., 2001; Hooper vd., 2004; Kampes 2004). Diğer bir yöntem olan SBAS yönteminde zamansal ve geometrik baz uzunluklarına getirilen eşik değerler ile bu uzunluklar minimum tutularak deformasyon analizi gerçekleştirilir. Bu yaklaşımda tek bir ana görüntü seçmek yerine tüm görüntülerden çift oluşturulmaya çalışılarak interferogram sayısı artırılır. Böylece sadece korelasyonu yüksek görüntü çiftleri seçilmiş olur. Bu yöntemde de uzun zaman aralığında meydana gelen küçük yer değiştirme değerleri zaman analizi ile elde edilebilmektedir (Berardino vd., 2002; Lanari vd., 2004; Hooper vd., 2008; Hooper vd., 2012).

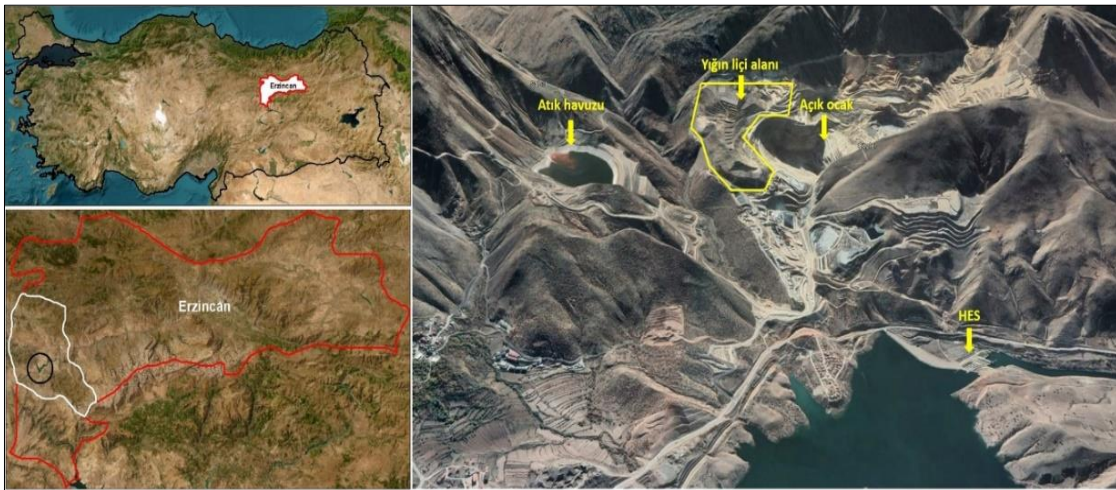
Maden alanlarında yapılan çalışmalarda da kullanılan InSAR yöntemi geniş alanlara ait yüzey hareketlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Abdikan vd. (2014) Zonguldak kömür maden alanında meydana gelen çökmeleri 2017 ve 2010 yıllarını kapsayan ALOS-1 verileri kullanarak tespit etmiştir. Gong vd. (2021) açık ocak maden alanına ait döküm alanında meydana gelen heyelan, yüzey kırıkları ve erozyonları araştırmıştır. SBAS yönteminin uygulandığı çalışmada 2016-2019 yıllarını kapsayan Sentinel-1 verisiyle yaklaşık 20 cm hareket gözlemlenmiştir. Wei vd. (2023) çok zamanlı InSAR analizi ile 2018 ve 2022 yıllarını kapsayan Sentinel-1 verilerini kullanarak Çin'in kuzey bölgesinde yer alan açık maden alanına ait yüzey çökmelerini ve oluşan heyelanları incelemiştir. Eker vd. (2024) PSI ve SBAS yöntemleri ile açık maden alanının tetiklediği heyelanı Sentinel-1 verisi ile belirlemişlerdir. Heyelan öncesi kullanılan verilerle yüzeyde meydana gelen büyük hareketler tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, 13 Şubat 2023 tarihinde Erzincan'ın İliç ilçesi Eski Değirmen mevkiinde bulunan maden sahasında meydana gelen kazanın tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. Bu araştırma, kaza öncesi yer değiştirme miktarlarını analiz ederek, kayma dinamiğinin anlaşılmasına ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında SAR uydularından elde edilen görüntüler kullanılmış ve InSAR yöntemi ile çalışma bölgesine ait hız vektörleri belirlenmiştir. Bölgeye ait hem yatay hem de düşey yönde Sentinel-1 uydusu görüntüleri alınarak analiz edilmiş ve zaman serileri oluşturulmuş. Mekânsal olarak yüzeyde meydana gelen hareketlerin kaza öncesi uzun zaman aralığında oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Çalışma alanı

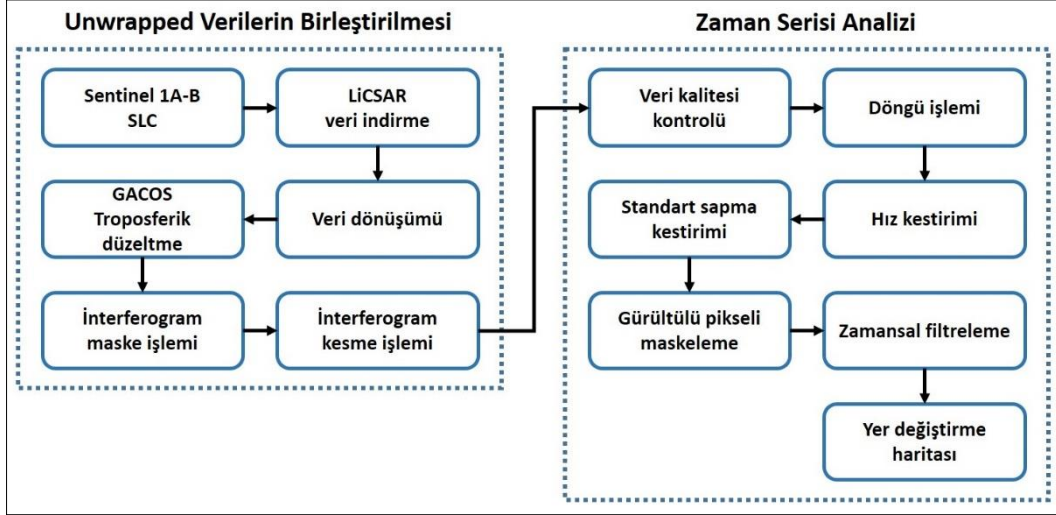
Bu çalışmada ele alınan maden kazası 13 Şubat 2024'te Erzincan'ın İliç ilçesindeki Çöpler altın madeninde meydana gelmiştir (Şekil 1). Altın madeninde siyanür liç işleminden sonra depolanan toprak yığınının zamana bağlı deformasyon etkisiyle heyelana dönüşmesi sonucu meydana gelmiştir. Heyelana dönüşen yığın 200 metrelik bir yamaçtan Sabırlı Deresi'ne doğru kaymıştır. Yığının yaklaşık hacmi yaklaşık 10 milyon m^3 ve yayıldığı alanın 300 dönüm olduğu tahmin edilmektedir (BBC News, 2024).



Şekil 1. Erzincan'ın İliç ilçesindeki Çöpler altın madeni.

2.2 Kullanılan Veriler ve Yöntem

Araştırma kapsamında Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) ücretsiz olarak sağladığı Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel-1 C-banda sahiptir. Sentinel-1A ve Sentinel-1B aynı bölgeden 6 günde bir geçerek zamansal baz uzunluğunu kısaltmakta ve görüntüler arasındaki dekorelasyon oluşma olasılığını minimuma indirmektedir. Bu çalışmada InSAR verilerini işlemek için açık kaynak kodlu LiCSBAS kullanılmıştır. LiCSBAS, LiCSAR ile entegre olmasından dolayı Single Look Complex (SLC) verilerinden interferogramlar üretilmesine gerek kalmaz (Şekil 2). Oluşturulan interferogramlarda olası troposferik etkilerin giderilme için Generic Atmospheric Correction Online Service (GACOS) tarafından sağlanmıştır (Yu vd., 2018).



Şekil 2. LiCSBAS işlem adımları.

Bu platform sayesinde kullanıcılar zaman serisi analizini hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirebilirler (Gül vd., 2024; Rosyidy vd., 2021; Smail vd., 2021). Bu yöntem açık alanlarındaki maden çökmeleri ve toprak kaymalarında (Li vd., 2023; Sangani vd., 2023), ve heyelan gibi yüzey hareketlerinde sıklıkla kullanılmıştır (Barra vd., 2016; Chen vd., 2023; Fu vd., 2024). Çalışmada Morishita vd. (2020) tarafından geliştirilen LiCSAR adlı COMET-Lics (Deprem Volkanları ve Tektonik Gözlem ve Modelleme Merkezi) çevrimiçi portalından indirilen VV polarizasyonlu Sentinel-1A IW SLC görüntülerinin (Tablo 1) işlenmiş verileriyle gerçekleştirilmiş SBAS yöntemi kullanılmıştır. (Gül vd., 2024; Rosyidy vd., 2021; Smail vd., 2021). Yapılan çalışmalarda bu yaklaşımların, geniş alanlarda uzun zaman aralığında meydana gelen deformasyonların hız alanlarını ve deformasyon değerlerini belirleyen etkin bir teknik olduğu gösterilmiştir.

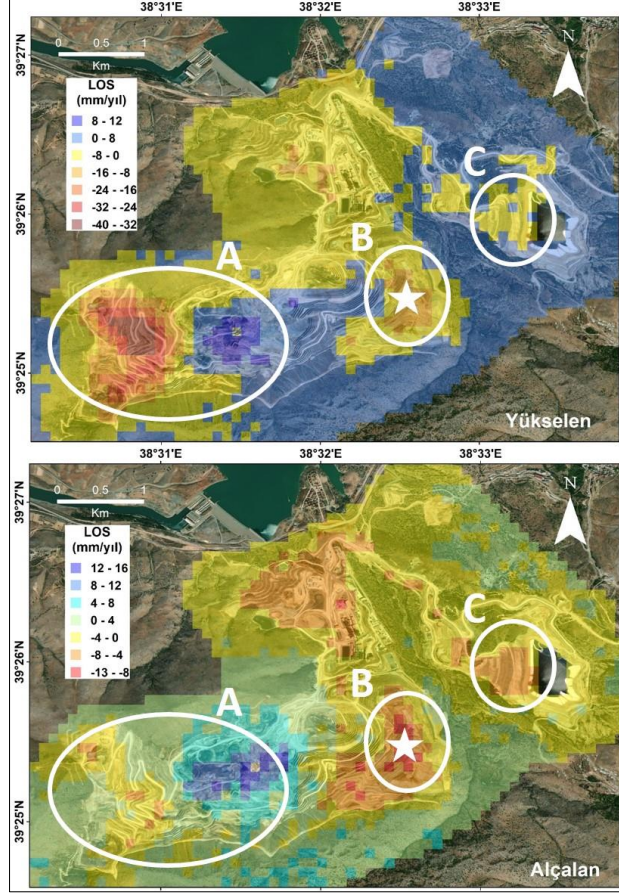
Tablo 1. Sentinel-1 uydu görüntülerinin özellikleri.

Algılayıcı	Sentinel-1	
Yörünge	123	116
Geçiş yörüngesi	Alçalan	Yükselen
Dalga boyu	C-bant: ~5,6 cm	C-bant: ~5,6 cm
Polarizasyon	VV	VV
Periyot	06.01.2015-07.01.2024	05.01.2015-13.12.2023
İnterferogram sayısı	1237	1358

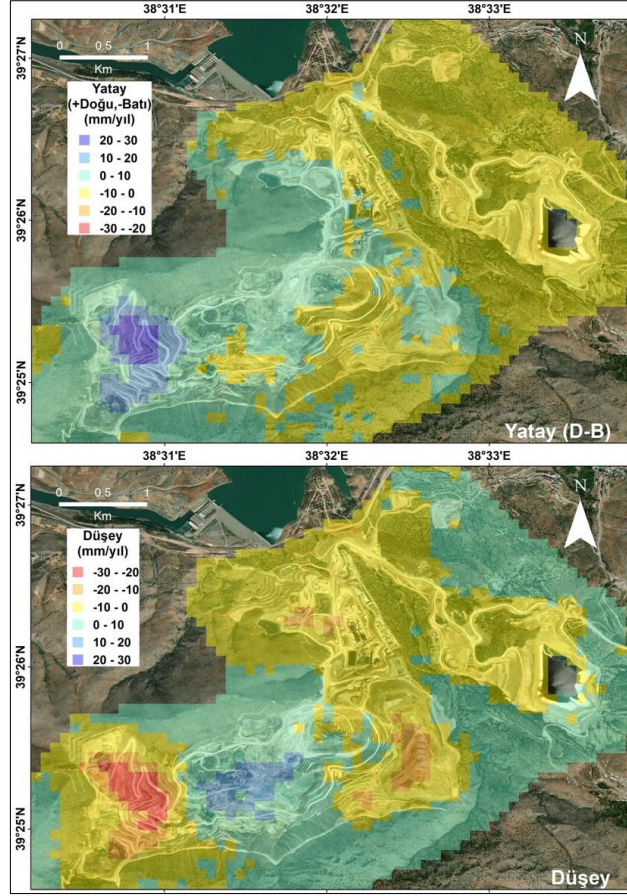
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

SBAS tekniği kullanılarak toprak kayması bölgesinde yaklaşık 9 yıllık süre boyunca meydana gelen deformasyon miktarları belirlenmiştir. Bu çalışmanın odak noktası olan toprak kayması öncesi yer değiştirme miktarları incelenmiştir. Yükselen yörüngede elde edilen sonuçlara göre, kayma bölgesinde 0 - -12 mm/yıl'a kadar yer değişimleri tespit edilmiştir (Şekil 3). Benzer şekilde, alçalan yörüngede de 0 - -11 mm/yıl olan yer değiştirme miktarları belirlenmiştir. Kaymanın daha iyi anlaşılabilmesi için, yükselen ve alçalan yörüngelerin birleştirilmesiyle bölgeye ait yatay (doğu-batı) ve düşey yer değiştirme haritaları üretilmiştir (Şekil 4). Bu sonuçlara göre, toprak kaymasının gerçekleştiği alanda (Şekil 3-B içindeki beyaz yıldız), kaymadan önce yaklaşık 9 yıl boyunca bir çökme

hareketi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Ayrıca, bu bölgede doğu yönüne doğru sürekli bir hareketin olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, gerçekleşen toprak kaymasının, olay öncesinde elde edilen sonuçlara paralel olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Bu uzun dönemli sonuçlar ışığında, benzer alanların düzenli olarak izlenmesi durumunda, meydana gelebilecek yer değişimlerinin belirlenebileceği ve gerekli önlemlerin alınabileceği öngörülmüştür. Ayrıca, InSAR tekniği kullanılarak toprak kayması öncesi yer değiştirme miktarlarının analiz edilerek, kayma dinamiğinin anlaşılması ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunulabileceği bir görüş olarak sunulmuştur.

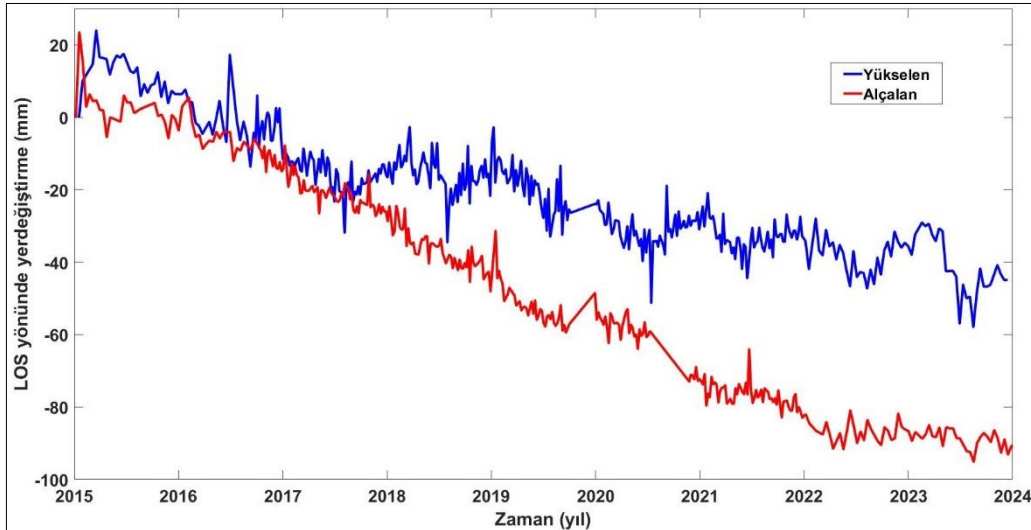


Şekil 3. Sentinel-1 yükselen ve alçalan yörüngelere ait ortalama hız değerleri. Şekilde negatif değerler uydudan olan uzaklaşmayı, pozitif değerler uyduya olan yaklaşmayı ifade etmektedir.



Şekil 4. Sentinel-1 yatay (doğu-batı) ve düşeye ait ortalama hız değerleri.

Araştırma sonuçlarına dikkat çekilmesi gereken bir diğer nokta ise, maden sahasının batı bölümünde (Şekil 3-A) kayma olan alana kıyasla daha fazla yer değiştirmenin olduğudur. Şekil 4'te görüldüğü gibi, bu bölgede yüksek değerlerde yer değiştirmeler tespit edilmiştir. Ayrıca, çökeltme havuzuna ait setlerde de (Şekil 3-C) dikkate değer yer değiştirmelerin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Sentinel-1 yükselen ve alçalan yörüngelere ait zaman serileri (Şekil 3-B içindeki beyaz yıldız).

Bununla birlikte, bu bölgede doğu yönüne doğru sürekli bir hareketin olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, gerçekleşen toprak kaymasının, olay öncesinde elde edilen sonuçlara paralel olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Bu uzun dönemli sonuçlar ışığında, benzer alanların düzenli olarak izlenmesi durumunda, meydana gelebilecek yer değişimlerinin belirlenebileceği ve gerekli önlemlerin alınabileceği öngörülmüştür. Ayrıca, InSAR tekniği kullanılarak toprak kayması öncesi yer değiştirme miktarlarının analiz edilerek, kayma dinamiğinin anlaşılması ve

erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunulabileceği bir görüş olarak sunulmuştur. Araştırma sonuçlarına dikkat çekilmesi gereken bir diğer nokta ise, maden sahasının batı bölümünde (Şekil 3-A) kayma olan alana kıyasla daha fazla yer değiştirmenin olduğudur. Ayrıca, çökeltme havuzuna ait setlerde de (Şekil 3-C) dikkate değer yer değiştirmelerin olduğu gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu uzun vadeli değerlendirme, yalnızca InSAR yönteminin yüksek çözünürlük kapasitesini değil, aynı zamanda bu gibi hassas bölgelerde potansiyel tehlikeleri erken aşamada tespit etmenin önemini de vurgulamaktadır. Böylece, olası kazaların veya altyapı bozulmalarının önlenmesi için zamanında müdahalelere olanak tanınabileceği anlaşılmaktadır. Araştırma, aynı zamanda, uzaktan algılama teknolojileri ile bu tür riskli bölgelerin sürekli izlenmesinin ne kadar gerekli olduğunu savunan literatüre de önemli katkılar sunmaktadır. Bulgular, uzun vadeli yer hareketi verilerinin, zemin dengesizliklerini önceden fark etmede büyük bir rol oynayabileceğini ve bu sayede daha etkili risk değerlendirmeleri ile önleyici tedbirlerin alınabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilir yönetimi açısından büyük önem taşıyan güvenlik önlemlerinin geliştirilmesi ve çevresel risklerin azaltılması konularında değerli bir rehber niteliği taşımaktadır. Özellikle jeolojik açıdan istikrarsız bölgelerde InSAR tabanlı izleme sistemlerinin, uzun vadede afetlerin önlenmesi ve operasyonların güvenliğinin sağlanmasında önemli bir potansiyele sahip olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdikan, S., Arıkan, M., Sanli, F.B. ve Cakır Z.,** 2014. Monitoring of coal mining subsidence in peri-urban area of Zonguldak city (NW Turkey) with persistent scatterer interferometry using ALOS-PALSAR. *Environ Earth Sci* 71, 4081–4089.
- Barra, A, Monserrat, O., Mazzanti, P., Esposito, C., Crosetto M. ve Mugnozza, G.S.,** 2016. First Insights on the Potential of Sentinel-1 for Landslides Detection. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6):1874-1883.
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. ve Sansosti, E.,** 2002. A new Algorithm for Surface Deformation Monitoring based on Small Baseline Differential SAR Interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(11):2375-2383.
- BBC News Türkçe,** 2024. Erzincan'daki altın madeninde 9 işçiyi arama kurtarma çalışmaları devam ediyor: 'Bazı lokasyonlar tespit edildi'. <https://www.bbc.com/turkce/articles/ckveyyg5125o>. [20.09.2024].
- Chen, L., Zhao, C., Chen, H., Kang, Y., Li, B. ve Liu, X.,** 2023. The Detection and Control Factor Analysis of Active Landslides in Guizhou Province, China, Using Sentinel-1 SAR Imagery. *Remote Sensing*, 15(23): 5468.
- Eker, R., Aydın, A. ve Görüm, T.** 2024. Tracking deformation velocity via PSI and SBAS as a sign of landslide failure: an open-pit mine-induced landslide in Himmetoğlu (Bolu, NW Turkey). *Nat Hazards* 120, 7701–7724.
- Ferretti, A., Prati, C. ve Rocca, F.,** 2001. Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(1):8-20.
- Fu, S., de Jong, S. M., Hou, X., de Vries, J., Deijns, A. ve de Haas, T.,** 2024. A landslide dating framework using a combination of Sentinel-1 SAR and-2 optical imagery. *Engineering Geology*, 329:107388.
- Gens, R. ve van Genderen, J.L.,** 1996. SAR Interferometry - Issues, Techniques, Applications. *International Journal of Remote Sensing*, 17:1803-1835.
- Gong, C., Lei, S. ve Bian, Z.,** 2021. Using time series InSAR to assess the deformation activity of open-pit mine dump site in severe cold area. *J Soils Sediments* 21, 3717–3732.
- Gül, Y. ve Poyraz, B.,** 2024. Determination Of Long-Term Deformation Behaviours with InSAR Data at a Dump Site of an Open-Pit Coal Mine in Turkey. *Advances in Space Research*, 73(3):1667-1681.
- Hooper, A., Zebker, H., Segall, P. ve Kampes, B.,** 2004. A New Method for Measuring Deformation on Volcanoes and Other Natural Terrains Using InSAR Persistent Scatterers. *Geophysical Research Letters*, 31:23611.
- Hooper, A.,** 2008. A Multi-Temporal InSAR Method Incorporating Both Persistent Scatterer and Small Baseline Approaches. *Geophysical Research Letters*, 35:L16302.

- Hooper, A., Bekaert, D., Spaans, K. ve Arikan M.**, 2012 Recent Advances in SAR Interferometry Time Series Analysis for Measuring Crustal Deformation. *Tectonophysics*, 514-517:1-13.
- Kampes, B.M.**, 2004. *Radar Interferometry, Persistent Scatterer Technique*. 12. basım Springer, 211 sayfa.
- Lanari, L., Mora, O., Manunta, M., Mallorquí, J.J., Berardino, P. ve Sansosti, E.**, 2004. A Small Baseline Approach for Investigating Deformations on Full Resolution Differential SAR Interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42: 1377-1386.
- Li, B., Zhao, C., Li, J., Chen, H., Gao, Y., Cui, F. ve Wan, J.** 2023. Mechanism of mining-induced landslides in the karst mountains of Southwestern China: a case study of the Baiyan landslide in Guizhou. *Landslides*, 20(7):1481-1495.
- Morishita, Y., Lazecky, M., Wright, T.J., Weiss, J. R., Elliott, 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.
- Rosyidy, M.K., Dimiyati, M., Shidiq, I.P.A., Zulkarnain, F., Rahaningtyas, N.S., Syamsuddin, R.P. ve Zein, F.M.**, 2021. Landslide Surface Deformation Analysis using SBAS-InSAR in the Southern Part of the Sukabumi Area, Indonesia. *Geographia Technica*, 16:138-152.
- Sangani, M.N., Hosseinzadeh, S.R., Duque, J.F.M., Toroghi, M.J. ve Malik, K.K.**, 2023. Open-Cast Mining Deformations Monitoring using Sentinel-1 SAR Data (SBAS Technique). *Journal of Sustainable Mining*, 22(4):268.
- Smail, T., Abed, M., Mebarki, A. ve Lazecky, M.**, 2021. Earthquake-Induced Landslides Monitoring and Survey by Means of InSAR. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 22:1609–1625.
- Yu, C., Li, Z., Penna, N.T. ve Crippa, P.** 2018. Generic Atmospheric Correction Model for Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 123, 9202–9222.
- Wei, L., Wang, F., Tolomei, C., Liu, S., Bignami, C., Li, B., ... Pan, X.** 2023. Displacements of Fushun west opencast coal mine revealed by multi-temporal InSAR technology. *Geo-Spatial Information Science*, 27(3), 585–601.