

Turkish Journal of Remote Sensing

<https://dergipark.org.tr/en/pub/tuzal>

e-ISSN 2687-4997



Mühendislik Yapılarında Meydana Gelen Deformasyonların Daimi Yansıtıcı Interferometre Tekniği ile İzlenmesi: Samsun 19 Mayıs Stadyumu Örneği

Sefa Yalvaç*¹

¹Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Daimi Yansıtıcı
interferometre
Deformasyon analizi
Samsun 19 Mayıs
Stadyumu
Yapay Açıklıklı Radar

ÖZ

Mühendislik yapılarındaki olası deformasyonların izlenmesi, yapısal bütünlük, güvenlik ve maddi kaynakların korunumu için önemli etkileri olabilecek kritik bir konudur. Bu deformasyonların zamanında, doğru ve etkili bir jeodezik yöntemle izlenmesi can ve mal kayıplarının önüne geçilmesinde hayati önem taşımaktadır. Bu kapsamda daimi yansıtıcı interferometre (PSI) tekniği geniş alansal izleme kabiliyeti, yüksek çözünürlükte santimetre altı doğruluk sunması, kısa geçiş süresi ile mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesinde güçlü bir jeodezik teknik olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, Samsun 19 Mayıs stadyumu ve yakın çevresinde meydana gelen deformasyonları araştırılmıştır. Bu amaçla, Sentinel 1 uydu misyonuna ait 2021 ile 2023 yılları arasında kapsayan 25 SAR görüntüsü elde edilerek daimi yansıtıcı interferometre (PSI) tekniğiyle analiz edilmiştir. Analizlerde, interferogramların üretilmesi aşaması için SNAP (Sentinel Application Platform) yazılımı, daimi yansıtıcı noktaların üretilerek zaman serilerinin oluşturulmasında ise açık kaynak kodlu StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) yazılımına başvurulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, stadyum alanı üzerinde yıllık hızı 5-10 mm arasında değişkenlik gösteren çökme ve yükselme yönlü deformasyonlar tespit edilirken, stadyum yapısı dışında herhangi bir deformasyon tespit edilememiştir.

Monitoring of Deformation in Engineering Structures with PSI (Persistent Scatter Interferometry) Technique: The Example of Samsun 19 Mayıs Stadium

Keywords:

Persistent Scatter
Interferometry
Deformation analyse
Samsun 19 Mayıs Stadium
Synthetic Aperture Radar

ABSTRACT

Monitoring possible deformations in engineering structures is a critical issue that can have significant implications for structural integrity, safety, and conservation of material resources. Timely, accurate, and effective monitoring of these deformations with a geodetic method is of vital importance in preventing loss of life and property. In this context, the Persistent Scatter Interferometry (PSI) technique stands out as a powerful geodetic technique for the monitoring deformations in engineering structures, offering wide-area coverage, high spatial resolution, and frequent revisits in sub-cm accuracy. In this study, the deformations of Samsun 19 Mayıs stadium and its nearest vicinity were investigated. To accomplish this, 25 SAR images of the Sentinel 1 satellite mission, covering the years 2021 to 2023 were obtained and analyzed through the Persistent Scatter Interferometry (PSI) technique. In the analysis, SNAP (Sentinel Application Platform) software was used for the creation of the interferograms, and the open source software StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) was used to generate the time series by producing the Persistent Scatter (PS) points. According to the results of the analysis, different directional deformations with annual velocity ranging between 5-10 mm were detected inside the stadium area, but no deformation was detected outside the stadium structure.

Makale Bilgileri/Article Info

Geliş /Received: 23/05/2023
Kabul/Accepted: 09/06/2023
Yayınlanma/Published: 30/06/2023

Alıntı/Citation:

Yalvaç, S. (2023). Mühendislik Yapılarında Meydana Gelen Deformasyonların Daimi Yansıtıcı Interferometre Tekniği ile İzlenmesi: Samsun 19 Mayıs Stadyumu Örneği. Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 5 (1), 27-32.

1. GİRİŞ

Mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi, insan eliyle tesisi yapılmış büyük mühendislik yapılarının güvenliğini ve stabilitesini sağlamak açısından yer bilimleri için oldukça önemli bir konudur. Mühendislik ölçmeleri ile yer kabuğunda ve mühendislik yapılarında zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin yapılacak olan ölçümlerle belirlenip yorumlanması, ortaya çıkabilecek ciddi zararların önlenmesinde de etkin bir role sahip olacaktır. Bu amaçla, yıllar içinde teknolojinin imkan verdiği farklı noktasal ve alansal bazlı izleme tekniklerine başvurulmuştur.

Söz konusu teknikleri klasik yersel yöntemler ve uzay bazlı yöntemler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Deformasyon ölçmeleri çalışmaları 1990'lı yıllara kadar doğrultu-kenar ağları ve nivelman gibi klasik yersel yöntemlerle yürütülmüştür (Poland, 1984). Daha sonraki yıllarda, uydu jeodezisinin etkin bir biçimde kullanılmasıyla birlikte, görece düşük hassasiyetli ve zaman, maliyet açısından oldukça büyük yükler getiren klasik yöntemler yerini her türlü hava koşulunda, 3-boyutlu ve yüksek hassasiyette nokta konum doğruluğu sunan GNSS (Global navigation Satellite Systems) yöntemine bırakmıştır (Feigl ve ark., 1993, Abidin ve ark., 2008, Ustun ve ark., 2010). GNSS yönteminin noktasal bazlı izleme kabiliyeti ve arazi çalışmaları sebebiyle, ekstra maliyet ve zaman gereksinimi kısıtlayıcı birer etki olarak görüldüğünden araştırmacıları LIDAR, InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) gibi uzaktan algılama yöntemlerini kullanmaya yöneltmiştir (Baer ve ark., 2002, Schmidt ve Bürgmann, 2003). Bu yöntemlerden InSAR yöntemi ücretsiz veri erişimi, arazi çalışması gerektirmemesi, geçmişe dönük zengin arşiv verisi ile cm altı seviyelerde alansal izleme kabiliyetine sahip olması sebepleriyle son yıllarda deformasyon ölçmelerinde sıklıkla tercih edilen bir jeodezik izleme tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır (Yalvac, 2020).

Geleneksel InSAR tekniği, iki SAR imajı arasındaki faz farklarından yararlanarak, geniş alanlarda deformasyonların belirlenmesine imkan tanıyan bir uzaktan algılama tekniğidir. Ancak, bu teknikte doğruluk ve deformasyonların izlenebilirliği geometrik ve zamansal uyumsuzluklar ve atmosferik etkilere bağlı olarak değişkendir (Bürgmann vd., 2000). Dahası, uzun zamansal süreçlere yayılan deformasyonların bu teknikte sağlıklı olarak izlenmesi de mümkün olmamaktadır. Bu kısıtlamaların ortadan kaldırılması için SBAS (en kısa baz interferometresi) ve PSI (daimi yansıtıcı interferometre) gibi ileri seviye SAR analiz tekniklerine başvurulur (Ferretti vd., 2001;

Berardino vd., 2002; Hooper vd., 2004). Bu teknikler sayesinde yüzey deformasyonlarının izlenmesinde doğruluk birkaç mm seviyelerine kadar düşmekte ve uzun zamansal süreçlere yayılan deformasyonların davranışı zaman serileri ile belirlenebilmektedir.

PSI tekniği, mühendislik yapılarının doğal bir reflektör ve daimi yansıtıcı nokta (PS noktaları) özelliği göstermesinden dolayı, özellikle mühendislik yapılarındaki deformasyonların belirlenmesinde sıklıkla tercih edildiği görülmektedir. Literatür incelendiğinde, Ezquerro vd., (2020) tarafından zemin deformasyonu görülen bölgelerdeki yapılarda deformasyon analizlerinin PSI tekniği ile ortaya konulduğu, Bayık ve Abdikan (2021) tarafından Ordu-Giresun havaalanındaki deformasyonların yine PSI tekniği ile kestirildiği ve cm altı seviyelerdeki deformasyonların varlığının tespit edildiği ve Othman vd., (2019) tarafından Musul baraj kretindeki deformasyonların yine PSI tekniği ile başarıyla izlenebildiği görülmektedir.

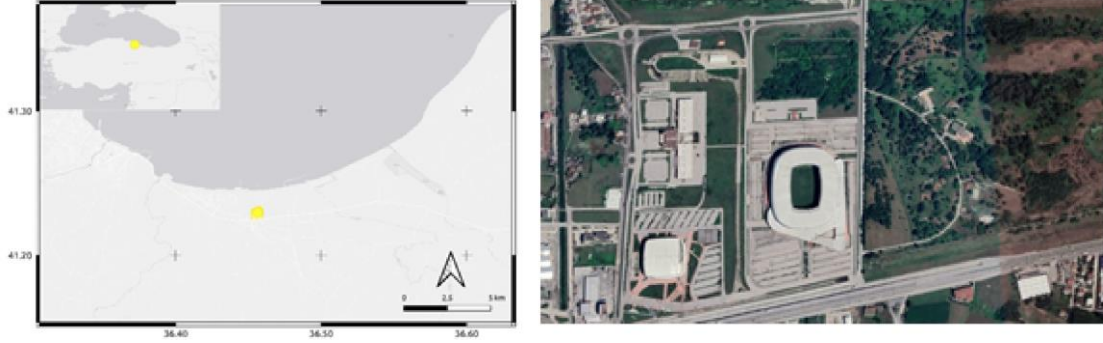
Bu çalışmada, son günlerde yerel medyada Samsun 19 Mayıs stadı yapısında oluşan deformasyonlara ilişkin haberler üzerine söz konusu yapıdaki deformasyonların araştırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır (URL-1). Bu kapsamda, izleme bölgesinin Avrupa Uzay Ajansına (ESA) ait Sentinel 1 uydu misyonunu verileri, Ocak 2021 ile Ocak 2023 yılları aralığında her ay için SAR görüntüsü (toplam 25 adet) elde edilerek PSI tekniğiyle analiz edilmiş ve yapıdaki deformasyonların varlığı araştırılmıştır.

2. YÖNTEM

Bu bölümde, çalışma bölgesi olan Samsun 19 Mayıs Stadyumu ve bölgenin izlenmesinde kullanılacak olan veri seti ve PSI yöntemiyle yapılacak analizler hakkında detaylı bilgi verilecektir.

2.1. Çalışma Bölgesi

Çalışma alanı olarak seçilen, Samsun 19 Mayıs stadyumu Samsun ilinin Tekkeköy ilçesine konumlanmaktadır. 2017 yılında Toplu Konut İdaresi tarafından yaptırılan stadyum, 137.700 m² alan üzerinde kurulu olup, 50.000 m²'lik kısmı tribünleri oluşturmakta ve geri kalan kısmı otopark, yeşil alan ve alışveriş merkezlerinden oluşmaktadır (URL-2). Stadyumun bulunduğu alanı gösteren harita ve Google Earth yazılımından elde edilen uydu görüntüsü Şekil 1'de sunulmuştur. Yerel gazetelerde yayınlanan, yapı içerisinde oluşan çeşitli çatlak ve açılmaları gösteren fotoğraflar ise Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Çalışma bölgesi ve uydu görüntüsü

2.2. Veri Seti ve Daimi Yansıtıcı İnterferometre (PSI) Analizleri

Söz konusu alandaki olası deformasyonların incelenmesi için yapılan görüntü arşivi çalışmalarında, ücretsiz olması, kısa tekrarlılık

süresi ve cm altı hassasiyette izleme yeteneğine sahip, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yürütülen Sentinel 1 uydu misyonuna ait görüntülerden yararlanılmıştır. Sentinel uydu misyonunun görüntülerine ilişkin özellikler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Yerel gazetede yayınlanan, Samsun 19 Mayıs stadyumu yapısında oluşan çatlaklar ve açılmaları gösteren fotoğraflar (URL-1)

Tablo 1. İzleme çalışmasında kullanılacak Sentinel-1 uydu görüntülerine ait bilgiler

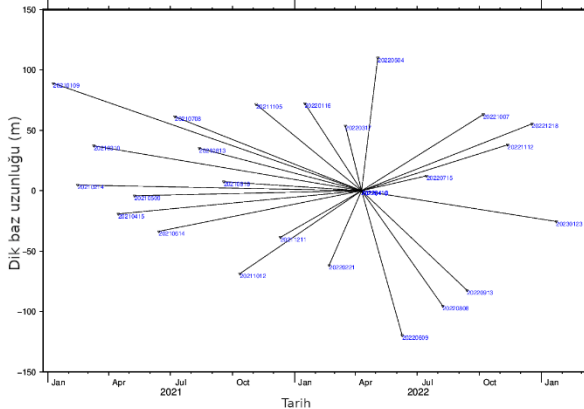
Özellik	Değer
Gözlem modu	IW
Yörünge yüksekliği	698 km
Tekrar geçiş süresi	12 gün
Frekans	5.3 GHz
Bant	C
Dalga boyu	5.7
Polarizasyon	HH+HV, VV, VH
Bakış açısı	20°-45°
Tarama genişliği	250 km x 250 km
Çözünürlük	5 m x 20 m

Çalışma bölgesini izlemek amacıyla, Ocak 2021 ile Ocak 2023 tarihleri arasında (2 yıl) birer ay aralıklarla seçilen 25 SAR imajı Sentinel SciHub'dan elde edilmiştir (URL-3). Bu görüntüler, SLC (Single Look Complex) modunda, alçalan modda ve 116 numaralı rölatif uydu yörüngesine aittir. Bilgisayar donanımından ve zamandan tasarruf etmek amacıyla, görüntüler çalışma alanı olan stadyum ve yakın çevresini kapsayacak şekilde kırılmıştır. Bu kapsamda 116 numaralı çerçevenin, VV polarizasyonlu IW2 alt çerçevesine ait 5 ve 6 numaralı yanal şeritler (burst) analizlerde kullanılmıştır. 116 yörünge numaralı çerçevenin kapsama alanı ve analizlerin gerçekleştirileceği kırılma alanı Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Çalışma bölgesini kapsayan ana çerçeve (1) ve çalışma çerçevesi (2)

Daimi yansıtıcı interferometre analizleri iki temel aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalardan ilki master imaj seçimi sonrası, SNAP (The Sentinel Application Platform) yazılımı yardımıyla interferogramların üretilmesidir. Bu aşamada, yapılan zamansal ve bazsal uzunluk parametreleri göz önünde bulundurularak 10.04.2022 tarihinde algılanan görüntü birincil (master) olarak seçilmiştir. Diğer 24 görüntü ise ikincil (slave) görüntü olarak kabul edilerek SNAP yazılımında interferogramların üretilmesi sağlanmıştır. İkincil görüntülerin, birincil görüntüye göre zamansal ve bazsal uzunluğu olarak dağılımı Şekil 4’de gösterilmektedir.

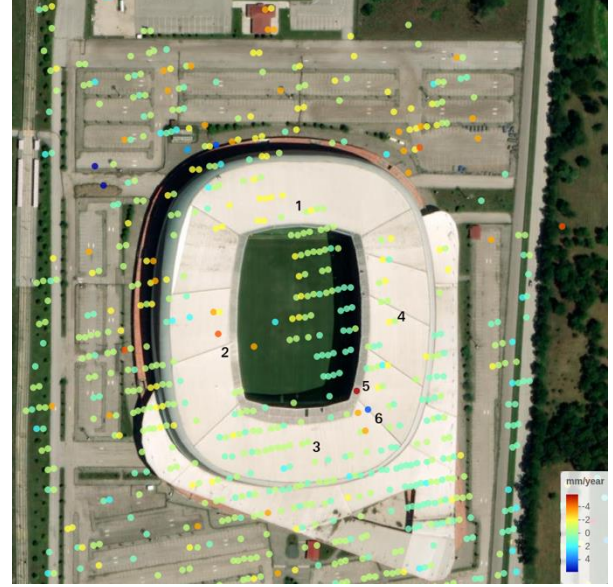


Şekil 4. Yardımcı görüntülerin, master görüntüye göre zamansal ve bazsal durumunu gösteren grafik

İkinci aşamada ise, SNAP yazılımında üretilen interferogramlar StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) yazılımı için dışa aktarılmış ve açık kaynak kodlu StaMPS V4.1b1 yazılımı yardımıyla analiz edilmiştir. Analizlerde DEM (Digital Elevation Model) hataları düzeltilerek unwrap işlemi gerçekleştirilmiştir. PS noktaları ve her PS noktasına ait uydunun bakış doğrultusundaki uzunluk değişimleri esas alınarak, noktalarına ait her görüntü tarihi için deformasyon zaman serileri üretilmiştir.

3. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

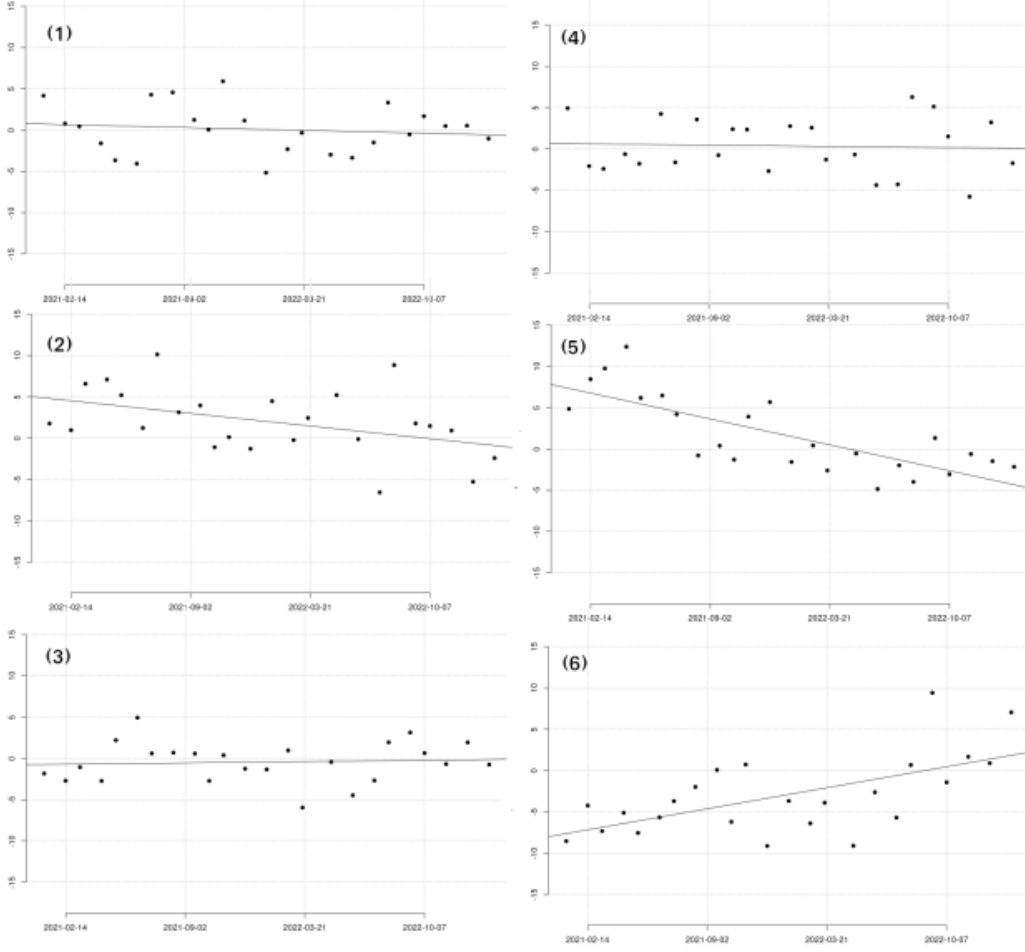
Daimi yansıtıcı interferometre analizleri kapsamında çalışma alanı olan Samsun 19 Mayıs stadyumu yapısı ve yakın çevresinde çok sayıda PS noktası (daimi yansıtıcı noktalar) üretilmiştir. PSI tekniğinin doğasına uygun olarak söz konusu noktalar insan yapımı yansıtıcılığı yüksek objeler üzerinde konumlanmış olup, stadyumun doğu bölgesindeki ağaçlık alanda PS noktası üretilmemiştir. PS noktalarının çalışma bölgesi ve yakın çevresine dağılımı Şekil 5’de gösterilmektedir.



Şekil 5. PS noktalarının çalışma bölgesine dağılımı ve zaman serisi üretilen PS noktaları (1-6)

Şekil 5’de verilen deformasyon hız ölçeğinden, bölgedeki deformasyonların yıllık hızının -5 mm/yıl ile +5 mm/yıl arasında değişiklik gösterdiği anlaşılmaktadır. PS noktalarındaki deformasyon değerlerine ait standart sapmalar, StaMPS yazılımından elde edilmiş ve 0.35 mm ile 1 mm arasında değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Yapı üzerindeki deformasyonlar detaylı incelendiğinde, stadyum alanı dışında herhangi bir deformasyon olmadığı görülmektedir. Stadyum üzerindeki noktalar incelendiğinde, yapının Kuzey, Güney ve Doğu bölümünde (1, 3 ve 4 numaralı PS noktaları) yaklaşık olarak sabit olduğu görülmektedir. Stadyumun Batı bölümünde (2 numaralı PS noktası) ise -3 ila -5 mm/yıl seviyelerinde çökme hareketi olduğu görülmüştür. Son olarak yapının Güneydoğu bölgesinde (5 ve 6 numaralı PS noktaları) ise yıllık hızı 5 mm’ye varan yükselme ve çökme hareketleri birlikte görülmektedir. Söz konusu bölgelerdeki radarın bakış doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamanla değişimini incelemek üzere, izleme zamanı boyunca zaman serileri üretilmiş ve Şekil 6’da sunulmuştur.



Şekil 6. Şekil 5’de gösterilen 1-6 numaralı bölgelerde yer alan PS noktalarına ait zaman serileri

Şekil 6 incelendiğinde, 1, 3 ve 4 numaralı PS noktalarında doğrusal eğilim olmadığı ve uydunun bakış doğrultusundaki değişimlerin yaklaşık sıfır mm etrafına rastgele saçıldığı görülmektedir. Diğer taraftan, 2, 5 ve 6 numaralı PS noktalarında izleme süresi boyunca negatif ya da pozitif yönlü eğilim olduğu, yani deformasyona maruz kaldığı görülmektedir. Ayrıca, söz konusu deformasyonların izleme süresi boyunca doğrusal olarak olduğu, ani olarak gelişmediği anlaşılmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Samsun 19 Mayıs stadyumu yapısı üzerinde oluşan deformasyonlar ilk defa daimi yansıtıcı interferometre tekniğiyle izlenmiş ve çalışma bölgesinin farklı noktalarında deformasyon zaman serileri üretilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, stadyum yapısı dışında yer alan yapılarda deformasyon tespit edilmezken, stadyum yapısı üzerinde yıllık hızı -5 mm ile +5 mm seviyelerinde değişen deformasyonlar olduğu görülmüştür. Söz konusu deformasyonlara ait standart sapmaların 0.35 mm ile 1 mm arasında olduğu göz önünde bulundurulduğunda anlamlı yer değiştirmeler

olduğu düşünülmektedir. Deformasyon gözlenen noktalardaki zaman serilerinden anlaşılacağı üzere deformasyonların gelişimi, izleme süresine yayılmış bir biçimde kademeli olarak gelişmiştir. Bu kapsamda, deformasyonların söz konusu bölgedeki, zemin özelliklerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Mühendislik yapıları üzerinde böylesi düzensiz yer değiştirmeler yapı ömrünü kısaltmakla birlikte, zamana bağlı olarak yapının zarar görmesine neden olabilmektedir. Bu kapsamda, stadyum yapısı üzerinde özellikle Güneydoğu bölgesinde tespit edilen düzensiz yönlü deformasyonlar uzun zamansal ölçekte yapının zarar görmesiyle sonuçlanabilir. Bu nedenle, çalışma bölgesinin ilerleyen zamanlarda da yüzey deformasyonlarının gelişimine karşı, daha fazla sayıda uydu görüntüsü ve yersel yöntemlerle de desteklenerek daha detaylı olarak izlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Araştırmacıların katkı oranı beyan özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamıştır.

Çıkar çatışması beyanı

Makale ile ilgili olarak, herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve yayın etiği beyanı

Yapılan çalışmada yazar, araştırma ve yayın etiğine aykırı bir durum olmadığını ve çalışmanın etik kurul izni gerektirmediğini beyan etmektedir.

KAYNAKÇA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Djaja, R., Darmawan, D., & Gamal, M. (2008). Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys. *Gps Solutions*, 12, 23-32.
- Baer, G., Schattner, U., Wachs, D., Sandwell, D., Wdowinski, S., & Frydman, S. (2002). The lowest place on Earth is subsiding—An InSAR (interferometric synthetic aperture radar) perspective. *Geological Society of America Bulletin*, 114(1), 12-23.
- Bayik, C., & Abdikan, S. (2021). Monitoring of small-scale deformation at sea-filled Ordu-Giresun Airport, Turkey from multi-temporal SAR data. *Engineering Failure Analysis*, 130, 105738.
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & 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.
- Bürgmann, R., Rosen, P. A., & Fielding, E. J. (2000). Synthetic aperture radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation. *Annual review of earth and planetary sciences*, 28(1), 169-209.
- Ezquerro, P., Del Soldato, M., Solari, L., Tomás, R., Raspini, F., Ceccatelli, M., ... & Herrera, G. (2020). Vulnerability assessment of buildings due to land subsidence using InSAR data in the ancient historical city of Pistoia (Italy). *Sensors*, 20(10), 2749.
- Feigl, K. L., Agnew, D. C., Bock, Y., Dong, D., Donnellan, A., Hager, B. H., ... & Webb, F. H. (1993). Space geodetic measurement of crustal deformation in central and southern California, 1984–1992. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 98(B12), 21677-21712.
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 39(1), 8-20.
- Hooper, A., Zebker, H., Segall, P., & Kampes, B. (2004). A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophysical research letters*, 31(23).
- Othman, A. A., Al-Maamar, A. F., Al-Manmi, D. A. M., Liesenberg, V., Hasan, S. E., Al-Saady, Y. I., ... & Khwedim, K. (2019). Application of DInSAR-PSI technology for deformation monitoring of the Mosul dam, Iraq. *Remote Sensing*, 11(22), 2632.
- Poland, J. F. (1984). Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal.
- Schmidt, D. A., & Bürgmann, R. (2003). Time-dependent land uplift and subsidence in the Santa Clara valley, California, from a large interferometric synthetic aperture radar data set. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B9).
- Ustun, A., Tusat, E., & Yalvac, S. (2010). Preliminary results of land subsidence monitoring project in Konya Closed Basin between 2006–2009 by means of GNSS observations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(6), 1151-1157.
- Yalvac, S. (2020). Validating InSAR-SBAS results by means of different GNSS analysis techniques in medium-and high-grade deformation areas. *Environmental monitoring and assessment*, 192(2), 120.

URL-1:

<https://www.gazeteduvar.com.tr/samsun-19-mayis-stadyumundaki-catlaklar-sosyal-medyada-gudem-oldu-galeri-1604690>
[Erişim Tarihi: 10.05.2023]

URL-2:

https://tr.wikipedia.org/wiki/Samsun_19_May%C4%B1s_Stadyumu
[Erişim Tarihi: 10.05.2023]

URL-3:

<https://scihub.copernicus.eu/>
[Erişim Tarihi: 01.04.2023]



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>