



# PREMIUM E-JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES

Yıl / Year	: 2022	Makale Geliş / Received	: 05.11.2022
Cilt / Volume	: 6	Yayınlama / Published	: 31.12.2022
Sayı / Issue	: 25	Article Type/Makale Türü	: Araştırma Makalesi / Research Article
ss / pp	: 512-519		<a href="http://dx.doi.org/10.37242/pejoss.4267">http://dx.doi.org/10.37242/pejoss.4267</a>

**Hüseyin YAŞAR**

<https://orcid.org/0000-0003-4081-6736>

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Sistemleri Bölümü, İzmir / TÜRKİYE

**Dr. Öğr. Üyesi. A. Hüsnü ERONAT**

<https://orcid.org/0000-0002-8595-9514>

Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Deniz Teknolojisi Bölümü, İzmir / TÜRKİYE

**Dr. İsmail ÖZBAKIR**

<https://orcid.org/0000-0003-1521-1161>

Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir / TÜRKİYE

## BATIKENT METRO ZEMİN DEFORMASYONUNUN SAR GÖRÜNTÜLERİYLE TESPİT EDİLMESİ

### DETECTION OF BATIKENT METRO GROUND DEFORMATION BY SAR IMAGES

#### ÖZET

Bu çalışmada radar görüntülerinin artması ve geliştirilen interferometri yöntemleri ile zemin deformasyonlarının hızlı ve düşük bir maliyetle ölçülebilme imkânı sunduğunu göstermek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yöntem olarak sürekli saçılım interferometri (PSI) kullanılmıştır. Pilot bölge olarak Ankara MESA (Batıkent) seçilmiştir. Çalışma Sentinel-1 görüntüleri, hem yükselen hem de alçalan yönelimde olmak üzere iki tip görüntü kullanılmıştır. Ayrıca Ankara raylı sistemler ağının gelişim süreci göz önüne alınarak 2015-2016 ve 2016-2022 olarak iki farklı periyotta interferometri çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Deformasyon tespit edilen alanlarda in-situ çalışması yapılmıştır. Edinilen bulgulara göre sürekli saçılım interferometri çalışması zemin deformasyonunun tespit edilmesinde önemli bir yöntem olduğu sonucu çıkarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ankara, Batıkent, metro, deformasyon, uzaktan algılama.

#### ABSTRACT

It was aimed to show that ground deformations can be measured quickly and at a low cost with the increase of radar images and the developed interferometry methods. For this purpose, the Persistent scattering interferometry method (PSI) was used. Ankara MESA (Batıkent) was chosen as the pilot region. Working Sentinel-1 images were used. Two types of images were used, both in ascending and descending orientation. In addition, considering the development process of the Ankara rail systems network, interferometry studies were carried out in two different periods, 2015-2016 and 2016-2022. The results were compared with each other. In-situ studies were carried out in areas where deformation was detected. According to the obtained findings, it was concluded that continuous scattering interferometry study is an important method in determining ground deformation.

**Keywords:** Ankara, Batıkent, subway, displacement, remote sensing.

#### 1. GİRİŞ

Şehir merkezlerinde zemin deformasyonları PSI çalışmasıyla tespit edilebilmektedir. Bu yaklaşım yüzey hareketini izlemek için faz farklarından yararlanılarak kalıcı saçılımların tespit edilmesine dayanmaktadır. Bu faz farkları gerçek sürekli saçılımlardan elde edilebildiği takdirde milimetrik hassasiyette bulguların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sebeple, çalışmada çoklu yapay açıklıklı radar (SAR) grubundan olan Sentinel-1 görüntüleri kullanıldı. Bu görüntüler gece-gündüz veya hava koşullarından (bulutlu-bulutsuz) etkilenmemektedir. Bu sayede geniş alanlara ilişkin zemin deformasyonu çalışmalarında hassas sonuçlar vermektedir. Kalıcı saçılım interferometrisi (PSI) çoklu görüntülerin faz farklarından elde edilen bulgulara dayanır. Analiz edilecek bir alan için görüntü ne kadar fazla ise kararlı saçıcıları tespit etmek dolayısıyla doğru sonuçlara ulaşma ihtimali o kadar fazla olur. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından ücretsiz sunulan açık kaynak kodlu

programlar böylesi zemin deformasyonu çalışmalarının yapılmasına olanak sağlamaktadır. Günümüzde gelişen haritacılık teknikleriyle binalar, köprüler, tüneller çok hassas şekilde izlenip analiz edilebilmektedir Ketelaar (2010). *Satellite Radar Interferometry: Subsidence Monitoring Techniques (Remote Sensing and Digital Image Processing)*. Fakat bu ölçümler, yapılar ve küçük alanlar ile sınırlıdır. Geniş alan çalışmaları veya çoklu yapı çalışmaları için yüksek iş gücü ve maliyete gereksinim vardır. Burada oldukça düşük maliyetle zemin analizlerinin ücretsiz sunulan Sentinel-1 görüntüleriyle yapılabileceğini ve yersel gözlemler ile sonuçların, gerçek değerler ile örtüşebildiğini ispat etmiş olacağız.

Sentinel-1 görüntülemeyi oluşturan uydu kümesi kutupsal bir yörüngededir ve iki ayrı platformdan oluşur. Gündüz olduğu kadar gece de C-bandında sentetik diyagram görüntüleri verebilmekte ve bunu hava durumundan bağımsız olarak yapabilmektedir. Anten, uçuş yönüne göre bir açıyla ve yere göre bir açıyla bakacak şekilde tasarlanmıştır (Sumantyo vd, 2016). Bu, temelde iki ayrı yer arasındaki zaman farkının, aralarında ayırım yapmak için kullanılmasını sağlar (Gama, Mura, Paradella & de Oliveira, 2020). Sentinel Uygulama Platformu (SNAP), Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen açık kaynaklı bir platformdur. Sentinel-1 SAR verileri, bir araç seti olan SITbx'in odak noktasıdır. Program Java'da oluşturulmuştur ve diğer Java programları tarafından da kütüphane (Gama vd, 2020) olarak erişilebilir. Stanford Method of Persistent Scatterer (StaMPS) yazılım paketi, SNAP platformuyla bütünleşmiş çalışma zaman serilerini elde etmek için kullanılan bir dizi kod sunmakta ve bu sistem Linux üzerine de kullanılabilir (Hooper, Segall & Zebker, 2007). Hatta sorunların kolayca aşılabilmesi için çok aktif bir komitesi bulunmaktadır. Mexico City üzerinde, Sentinel-1 TOPS interferometrik zaman serisi analizi için SNAP-StaMPS birleşik işlemi başarıyla gösterildi. Aşırı yeraltı suyu tüketiminin neden olduğu yer çökmeleri bu şehirde zaman içinde deformasyona neden olduğu sonucuna varıldı (Costantini vd., 2014). PSI metodolojileri belirli bir referans görüntüyü temel alır ve referans görüntüler, zaman serileri üzerinden faz farklılıklarını hesaplamak için görüntü yığını ile eşleştirilir. Göreceli yer değiştirme alanının mutlak bir referans çerçevesine dönüştürülmesi gerektiğinde, saçıcıların yerden yansıyarak sensöre ulaşma süresine yani sinyalin yankı hızına ihtiyaç duyulur (Hansen R., 2001).

Son yıllarda, yapay açıklıklı radar (SAR) verileri faz farkından yola çıkarak zemin deformasyonun belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Hatta bu yöntem birçok geleneksel haritacılık ölçümlerini geride bırakacak hassasiyette sonuçlar üretmiştir (Chen vd, 2015). İnsar tekniği, tektonik deformasyonları (Hu vd, 2012), yer altı gaz kullanımı su kullanımı gibi durumların oluşturduğu deformasyonları (Chen vd, 2016) ve kapalı sistem madencilik ocaklarındaki oluşan deformasyonları tespit etmekte önemli sonuçlar vermiştir (Abdikan, Arıkan, Sanli & Cakir, 2013). İnterferometri yöntemi şehirleşme yoğun olduğu kompleks alanlarda metro gibi büyük alt yapı sistemlerinin izlenmesinde hızlı ve etkili yöntem olarak kullanılmaktadır (Crosetto, 2019).

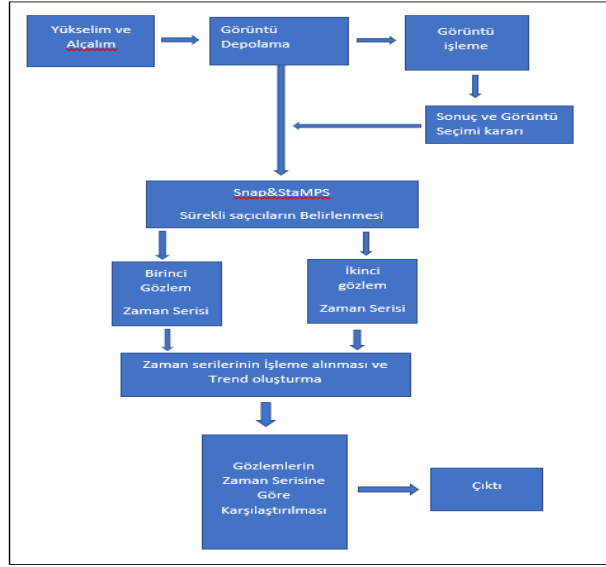
## 2. MATERYAL ve METOT

Çalışmada Ankara'nın metro sistemlerinin gelişimi göz önüne alınarak iki farklı periyotta gözlem sağlandı. Bu gözlemler, Sentinel-1 görüntülerinden elde edilen zaman serilerine dayanmaktadır. Kullanılan bu görüntülere ilişkin detaylı bilgileri Şekil-1'de görebiliriz.

<i>Orbit</i>	<i>Track</i>	<i>Number of S1 Image</i>	<i>Start/Stop Periot</i>	<i>Number of Bursts</i>	<i>Sub-Swath</i>	<i>Master data</i>
<i>Ascending</i>	87	68	2017.06.27/2022.01.15	4-5	IW1	2019.08.16
<i>Descending</i>	65	68	2017.06.16/2022.01.16	1-2	IW2	2019.06.04
<i>Observation1</i>	87	20	2015.01.12/2016.05.19	4-5	IW1	2015.08.19
<i>Observation2</i>	87	63	2016.07.08/2022.08.30	4-5	IW1	2018.08.27

Şekil 1. Sentinel 1 Görüntülerinin Verileri

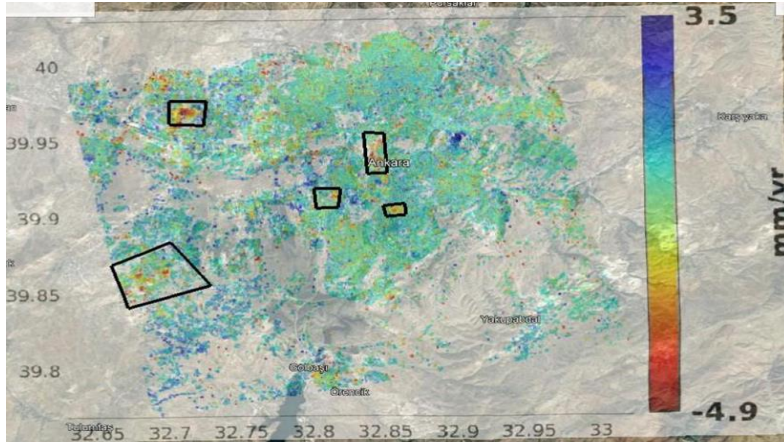
Verinin birinci sırasında yer alan ascending yükselim yönündeki görüntülerdir. Descending ise alçalım yönündeki görüntülerdir. Observation 1 ve observation 2 yükselim yönündeki görüntülerin işlenmesinde uygulanan zaman aralığıdır. Track uydunun kayıtlı yörüngesi, burst ve IW görüntü çerçevelerindeki alt kümelerdir. Toplam kullanılacak görüntülerin boyutları yüzlerce gigabayt olduğundan bilgisayar zamanından tasarruf etmek için alt görüntülerin kullanılması önem arz etmektedir.



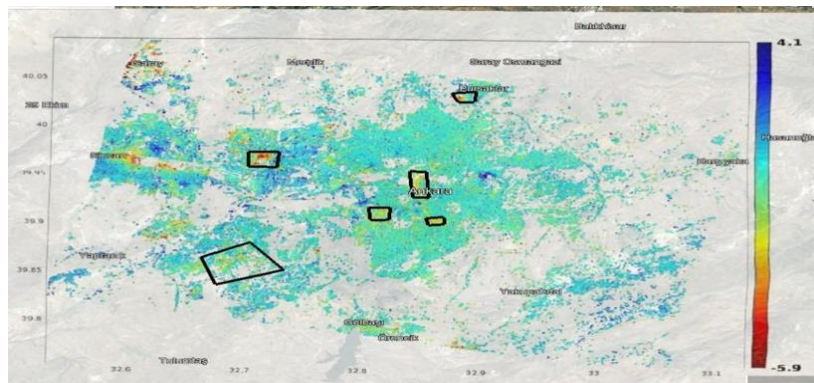
**Şekil 2.** Çalışmanın Modeli

Çalışma sonuçların elde edilmesinde Şekil 2’deki model izlenmiştir. Toplam 219 tane gözlem verisi kullanılmıştır. Bu görüntülerde 68 yükselen, 68 alçalın yönelimli olanlardır. Öncelikle bu toplam 136 tane görüntüden, hangi yönelimin daha doğru seçim olduğu tespit edildi. Bu sonuca göre yükselen yönelimli görüntülerin tercih edilmesi uygun görüldü.

Bu genel interferometri çalışmalarında hem artan hem de azalan görüntülerde eşik değeri 0,37 olarak belirlendi. Daha düşük bir eşik değeri ile özellikle kırsal alanlarda analiz için yetersiz PS kalıcı saçılım elde edilmiştir. Daha yüksek bir eşik değerinde, gereğinden fazla PS değeri elde edilmiştir. Aşırı PS noktaları, bilgisayar zamanını ve trend eğrilerini olumsuz etkilediğinden optimal değer seçilmesi bu anlamda önemlidir. Aşağıda Şekil 3 ve Şekil 4’te bu görüntülere ilişkin sonuçlar görülebilir.

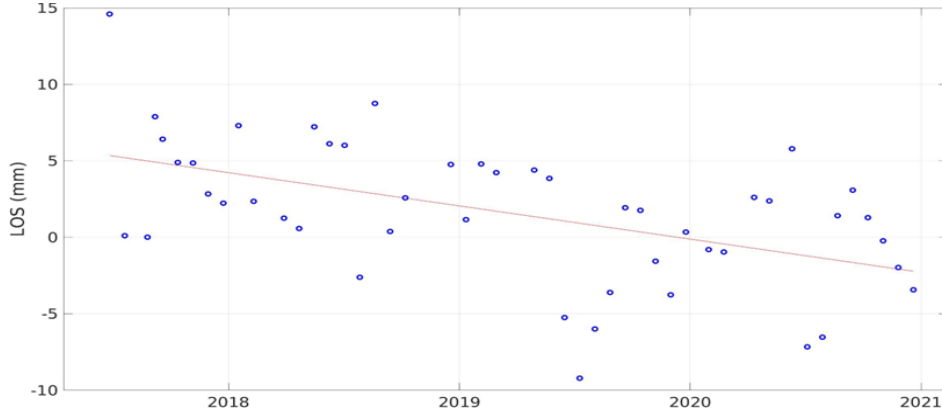


**Şekil 3.** Ankara'nın Genel Yapısı Hakkında Sentinel-1 Artan Yönelimli Verileriyle Elde Edilmiş Sonuçlar  
Şekil 3’te sürekli saçılım karakteri gösteren 5 farklı alan belirlenmiştir.



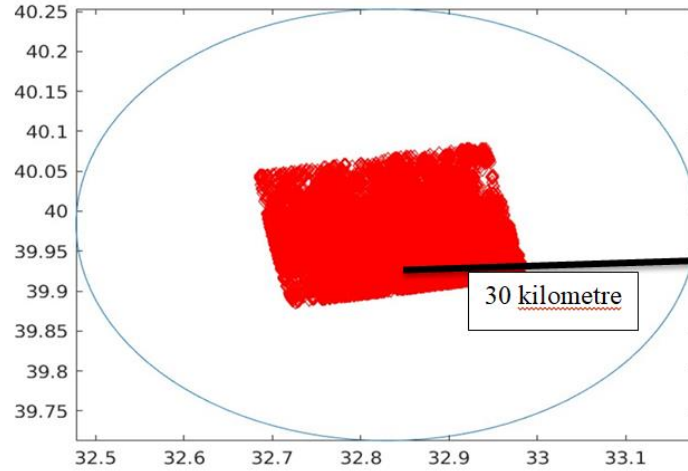
**Şekil 4.** Ankara'nın Genel Yapısı Hakkında Sentinel-1 Alçalın Yönelimli Verileriyle Elde Edilmiş Sonuçlar

Artan ve azalan yönler farklı olduğu için ortaya çıkan görüntülerin çerçeve kenarlarında farklılıklar olabilir. Resimlerde yeşilden kırmızıya kadar olan yerler çökmeyi temsil eder. Yeşilden maviye kadar olan alanlar yüksekliği temsil eder. Araştırmada, çökmeler doğrudan deformasyon olarak kabul edilirken, yükseklikler için durum böyle değildir. Yerinde araştırmalara kesinlikle ihtiyaç olduğu görülmüştür. Şekil 4 incelendiğinde 6 farklı alan göze çarpmaktadır. Bu farkın nedeni farklı tarama alanlarının kapsadığı alan daha fazla olduğundan dolayıdır. Her iki görüntü kendi arasında kıyaslandığında yükselen yönelimdeki görüntülerle çalışılan sonuçlar daha keskin sonuçlar vermektedir. Bu sebeple sonuç bölümünde yükselen yönelimdeki verilere zaman serisi sonuçlarını yorumlayacağız. Zaman serisinde çıkarılması görüntüler arasında zamanla faz farkının olmasından kaynaklanmaktadır. Bu, Şekil 5'te olduğu gibi Line Of Sight (LOS) grafiği ile sağlanabilir.



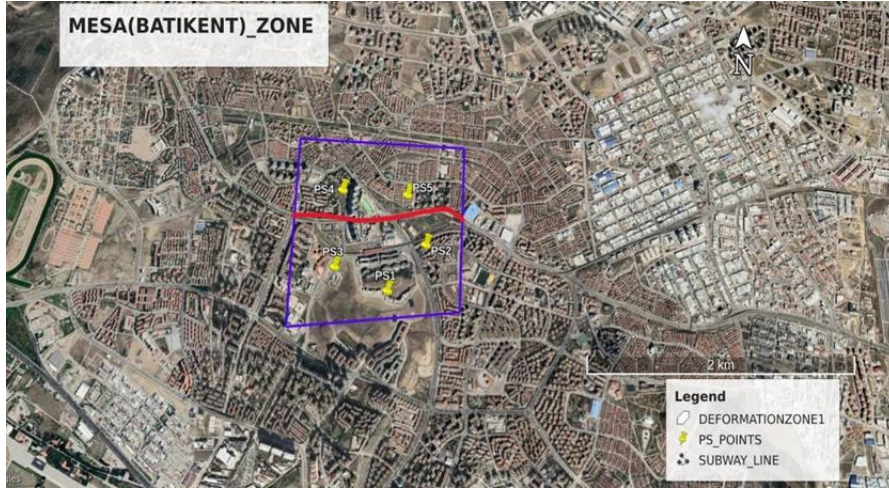
**Şekil 5.** MESA Bölgesinin Zamana Göre LOS Değerleri

Matlab ortamında StaMPS PSI tekniği ile elde edilen PS aday konumları kümesinin koordinatları bilindiğinden, bunları Google-Earth ortamına aktarılabilir. Şekil 6'da sürekli saçılma veren noktaların konumlarını MATLAB ortamında görülebilir.



**Şekil 6.** Yükselen Yönelimdeki Verilerden Elde Edilmiş Sürekli Saçılım Değerleri

Ankara geneline ait tüm PS noktalarının konumları Şekil 6'da görülebilir. Bu noktaların her biri bulunduğu düzlemin zaman değişimlerini içeren bilgiler barındırmaktadır. Gözlem yapılacak konumlara ilişkin bilgiler Şekil 7'de görülebilir.



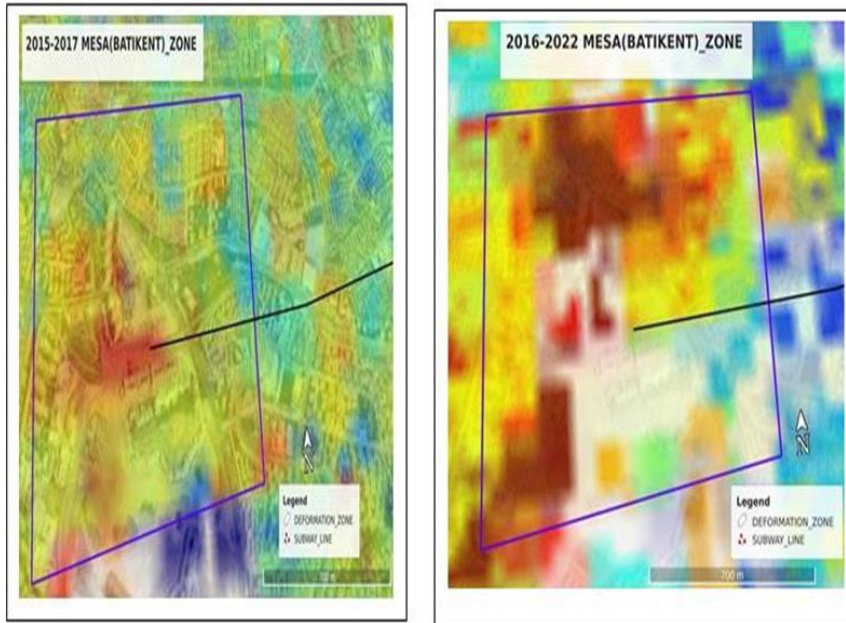
Şekil 7. MESA Bölgesine İlişkin Gözlem Konumları

Şekil 7’deki her bir PS4 noktası zaman serisi çıkarılacak alanı göstermektedir.

### 3. SONUÇLAR

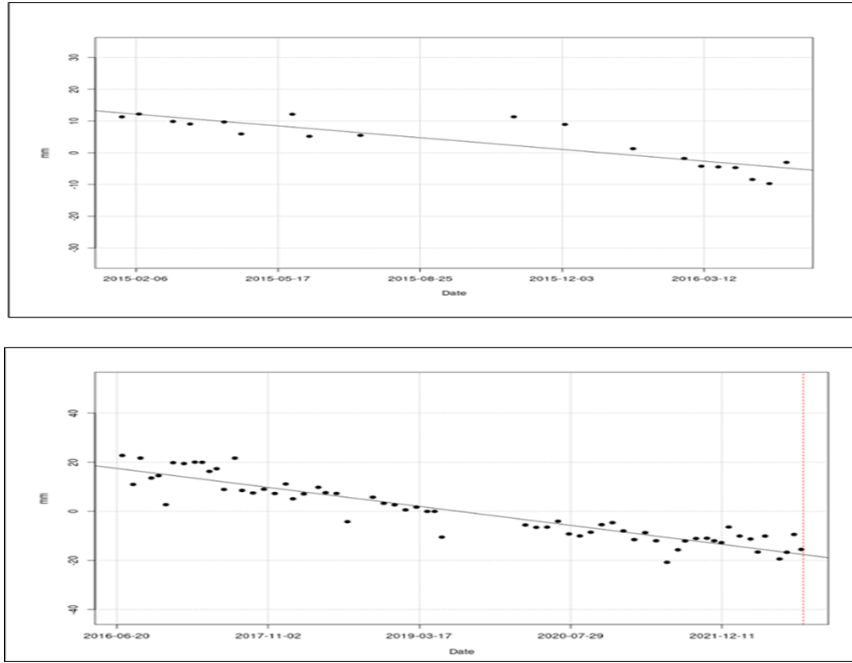
Bu çalışmada Kalıcı Saçılım İnterferometrisi (PSI) tekniğinin, zaman serilerinde geniş alanlarda zemin deformasyonları hakkında hassas bilgiler sağlayabileceğinden hareketle, zemin deformasyonlarının bir incelemesi yapılmıştır. Bu deformasyon kontrolü, Ankara İli, Batıkent Mesa Metro istasyonunun incelenmesi için kullanılmıştır. Bu metro hattının genişletilmesi planlanmaktadır. Çünkü artık Ankara trafiği nüfus artışı sebebiyle yoğunlaşmaktadır. Bu yoğunluğun azaltılması için toplu taşıma araçlarından metro istasyonunun kullanılması bu talebi haklı göstermektedir. Çalışmada, Stanford Method of Persistent Scatterer (StaMPS) kod kütüphanesi, SNAP platformuyla entegre çalışma zaman serilerini elde etmek için kullanılmıştır. Sonra için gerçek PSI noktaları StaMPS ile Matlab aktarılmıştır. Böylelikle toplam deformasyon alanlarına dair 5 nokta belirlenmiştir. Beş noktaya ilişkin her deformasyon noktası ayrı ayrı ele alınarak sunulmuştur.

Şekil 7’de görüldüğü gibi Mesa zonu Ankara’nın güney-batı kesiminde yer almaktadır. Törekent-Kızılay metrosu bulunduğu yerden geçmektedir. Yoğunlukla yerleşim olan bu yerde hem birinci hem de ikinci gözlemlerde ciddi deformasyonlar gözlenmiştir. Bu deformasyonlara dayalı olarak beş referans PS noktası seçilmiştir. Bu PS noktalarına göre bölgenin hassas bir zaman serisi analizi yapılmıştır. Bu zaman serilerine göre PS4 noktası bu çalışmada en uygun referans noktası olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. (Sol) Birinci Gözlem (sağ) İkinci Gözlem

Şekil 8’de birinci ve ikinci veri grubuyla yapılmış interferometri çalışmasının sonuçları görülmektedir. Soldaki veri grubuyla yapılan çalışmada deformasyonun yeni başladığı, yayılma yönünde olduğu görülmektedir. Sağdaki veri grubuyla yapılan interferometri çalışmasında ise deformasyonun yayılımının ve şiddetinin arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8. PS4 için Birinci (üst) ve İkinci (alt) Gözlem Verilerine Göre Zaman Serisi

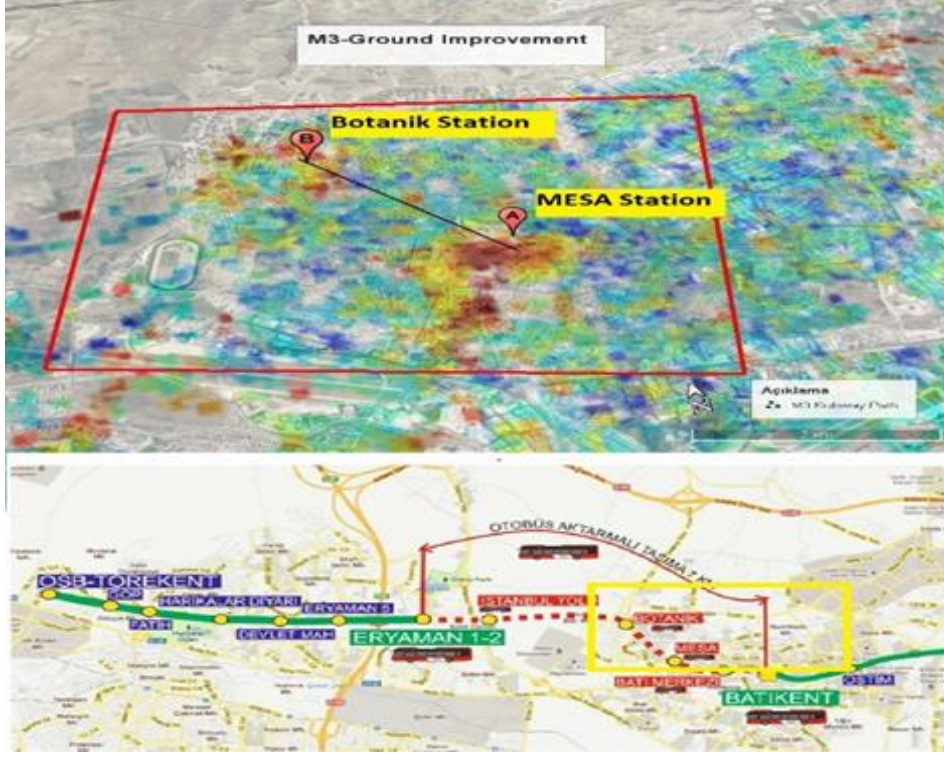
Şekil 9 gözlem verileri incelendiğinde, 20 görüntüden biri master görüntü olacak şekilde, kalan 19 görüntüye ait faz farkındaki değişimi görebiliriz. Altta ise 62 görüntünün faz farkını ikinci gözlem olarak görebiliriz. Her iki gözlem zamanına göre seçilen bu nokta sürekli çökme göstermiştir.

#### 4. ÇIKARIMLAR

Yapılan literatür çalışmasına göre yakın zamanda (Ağustos, 2022) Mesa Bölgesi Zemin iyileştirmesinin gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

*“Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yapılan Kızılay-Batıkent Metrosunun devamı olan tamamlanan hattın Ankara Büyükşehir Belediyesine bağlı Elektrik Gaz Otobüs Genel Müdürlüğü tarafından yapılan inceleme ve etüt sonucunda seyahat hızı ve konforunu düşüren ancak yolcu güvenliğini arttıran tedbirlerin uygulanmasına neden olmuştur. Hattın yapımı sırasında uygun malzeme seçimi yapılmadığı tespit edilmiş olup, yolcu güvenliği ve emniyetli çalışma için tren hız limiti 5 km/s'e düşürülmüştür. yeni yapılacak hattın zemin iyileştirmeye ihtiyacı olduğu duyurusu böylece kabul edilmiştir.” (EGO Genel Müdürlüğü, 2022. Zemin Düzeltme Çalışması).*

Bu duyuru, bu makale kapsamında incelenen bölgedeki deformasyonun tespiti ile uyumlu görünmektedir.



Şekil 9. EGO Zemin Düzeltme Çalışma Alanı (alt) ile PSI Çalışması Karşılaştırması (üst)

Şekil 10'da Altta sarı çerçevede zemin düzeltmesi için metro hizmetinin durdurulduğu Botanik ve MESA durakları arası güzergah yer almaktadır. Üstte kırmızı çerçevede ise bu durakların buldukları lokasyonlardaki deformasyonlar gösterilmektedir. Bu eşleşme bize SAR görüntüleriyle yapılan zemin analizi ile yersel analizlerin uyum içinde olduğunu göstermektedir. Çalışmanın sonucunda SAR görüntüleriyle geniş alanlarda zemin derformasyonunun hızlı ve etkili bir yöntem olduğunu ispatlamaktadır. Ayrıca ücretsiz sunulan Sentinel-1 görüntüleri ve açık kaynak kodlar sayesinde, geniş alan çalışmalarında yüksek işçilik ve ölçüm maliyetlerinden tasarruf edilebileceğini göstermektedir.

## 5. BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü BAP koordinasyon birimi tarafından, 2021.KB.FEN.037 proje koduyla desteklenmiştir.

### KAYNAKÇA

- Abdikan, S., Arıkan, M., Sanlı, F. B. & Cakir, Z. (2013). Monitoring of coal mining subsidence in peri-urban area of Zonguldak city (NW Turkey) with persistent scatterer interferometry using ALOS-PALSAR. *Environmental Earth Sciences*, 71(9), 4081–4089.
- Chen, M., Tomás, R., Li, Z., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J. & Gong, X. (2016). Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry. *Remote Sensing*, 8(6), 445-468.
- Costantini, M., Falco, S., Malvarosa, F., Minati, F., Trillo, F. & Vecchioli, F. (2014). Persistent Scatterer Pair Interferometry: Approach and Application to COSMO-SkyMed SAR Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(7), 2869-2879.
- Crosetto, M., Monserrat, O. & Budillon, A. (2019). *Urban Deformation Monitoring using Persistent Scatterer Interferometry and SAR tomography*. Mdpi AG.
- EGO Genel Müdürlüğü (t.y.). Zemin Düzeltme Çalışması <https://www.ego.gov.tr/tr/haber/5902/zemin-duzeltme-calismasi>. Erişim: 10.08.2022
- Gama, F., Mura, J. C., Paradella, R. W. & de Oliveira, C. G. (2020). Deformations Prior to the Brumadinho Dam Collapse Revealed by Sentinel-1 InSAR Data Using SBAS and PSI Techniques. *Remote Sensing*, 12(21), 3650-3664.
- Hanssen, R.F. (2001). Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. *Persistent Scatterer Interferometry Based on Geodetic Estimation Theory*.

- Hooper, A., Segall, P., & Zebker, H. (2007). Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to Volcán Alcedo, Galápagos. *Journal of Geophysical Research*, *112*(B7). <https://doi.org/10.1029/2006jb00476>
- Hu, J., Li, Z. W., Ding, X. L., Zhu, J. J., Zhang, L. & Sun, Q. (2012). 3D coseismic Displacement of 2010 Darfield, New Zealand earthquake estimated from multi-aperture InSAR and D-InSAR measurements. *Journal of Geodesy*, *86*(11), 1029–1041.
- Ketelaar, V. B. H. (2010). *Satellite Radar Interferometry: Subsidence Monitoring Techniques (Remote Sensing and Digital Image Processing, 14)* (Softcover reprint of hardcover 1st ed. 2009). Springer.
- Sumantyo, J. T. S., Setiadi, B., Perissin, D., Shimada, M., Mathieu, P. P., Urai, M., & Abidin, H. Z. (2016). Analysis of Coastal Sedimentation Impact to Jakarta Giant Sea Wall Using PSI ALOS PALSAR. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *13*(10), 1472–1476.