

Derinkuyu Yeraltı Şehrinin Sabit Saçıcılı İnterferometri Tekniği İle İncelenmesi

Osman OKTAR¹,

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray.

Sorumlu yazar e-posta: osmanoktar@aksaray.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6764-0561>

Geliş Tarihi: 29.11.2022

Kabul Tarihi: 12.09.2023

Özet

Bu çalışmada, Derinkuyu Yeraltı Şehrinin bulunduğu bölgede uydu bakış doğrultusundaki (LOS) hareketlerin belirlenmesi amacıyla Derinkuyu merkezini kapsayacak şekilde PSInSAR analizi gerçekleştirilmiştir. PSInSAR analizinde 11.10.2014 ile 09.12.2022 tarihleri arasında algılanmış 37 adet SAR görüntüsü kullanılmıştır. PSInSAR analizi StaMPS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında 2014-2021 (8 yıl), 2018-2021 (4 yıl) ve 2020-2021 (2 yıl) yıllarını kapsayan SAR görüntüleri analiz edilmiştir. Çalışma bölgesi için elde edilen uydu bakış doğrultusundaki (LOS) hızlar incelendiğinde; bölgede yıllık 6.11 mm'ye kadar alçalma değerleri ve -6.25 mm'ye kadar yükselme değerleri elde edilmiştir. LOS yönünde elde edilen hızlar ve standart sapmaları incelendiğinde; Derinkuyu Yeraltı Şehri'nin bulunduğu bölgede anlamlı bir alçalma ve yükselme değerinin bulunmadığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

PSInSAR; Derinkuyu
Yeraltı Şehri;
Deformasyon; StaMPS

Investigation of Derinkuyu Underground City by Persistent Scatterer Interferometry Technique

Abstract

In this study, PSInSAR analysis was carried out to cover the center of Derinkuyu in order to determine the movements in the line-of-sight (LOS) direction in the region where Derinkuyu Underground City is located. For PSInSAR analysis, 37 SAR images captured between 11.10.2014 and 09.12.2022 are used. In the study area, SAR images covering the years 2014-2021 (8 years), 2018-2021 (4 years) and 2020-2021 (2 years) were analyzed. PSInSAR analysis was performed using the StaMPS. According to the results of the analysis, when the line-of-sight (LOS) velocities obtained for the study area are examined, annual subsidence values of up to 6.11 mm and annual uplift values up to -6.25 mm were obtained in this region. When the velocities and standard deviations obtained in the LOS direction are examined; It has been determined that there is no significant subsidence and uplift values in the region where Derinkuyu Underground City is located.

Keywords

PSInSAR; Derinkuyu
Underground City;
Deformation; StaMPS

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Kapadokya bölgesinde 36 yeraltı şehri bulunmaktadır. Bu yeraltı şehirleri içinde en büyük yeraltı şehri olan Derinkuyu Yeraltı Şehri 1967 yılında turizme açılmış olup, 8 katlıdır. Derinkuyu, kolay kazılabilir ve zayıf dayanıma sahip ignimbirit birimi üzerinde konumlanmıştır. Bu açıdan turistik yeraltı şehrinin yanı sıra, ilçedeki konutların altında farklı boyutlarda ve düzensiz geometriye sahip çok sayıda büyüklükleri farklılık gösteren kaya oyma yapı bulunmaktadır. Ancak, bahsedilen kaya oyma yapıların konumları ve büyüklükleri ile ilgili resmi ve

düzenli bir kayıt sistemi olmadığından dolayı bu yeraltı boşluklarında duraysızlıklar meydana gelmektedir (Dolap, 2019). Bu açıdan bahsedilen duraysızlıkların yüzeydeki etkilerinin hem Derinkuyu Yeraltı Şehrinin bulunduğu bölgede hem de ilçe merkezinde bilimsel bir yöntemle incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Tektonik etki dışındaki asismik yüzey deformasyonları (PSInSAR) yöntemi ile alansal olarak kolaylıkla gözlemlenebilir. PSInSAR tekniği, son yıllarda deformasyonların izlenmesi üzerine

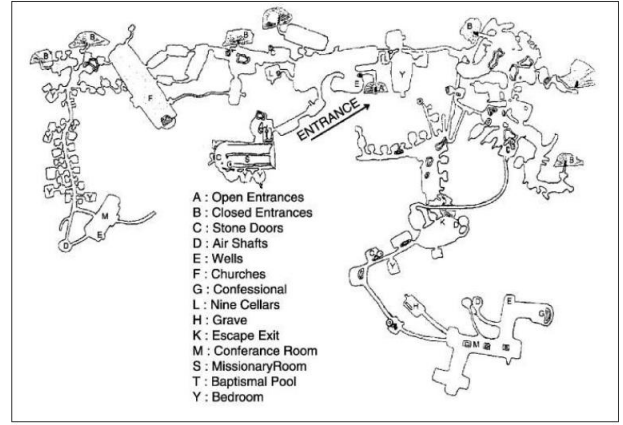
yapılan çalışmalarda oldukça yaygın olarak kullanılan bir jeodezik yöntemdir. PSInSAR tekniği, Batı Anadolu Menderes bölgesindeki tektonik hareketlerin izlenmesi (Arikan vd., 2010; Poyraz ve Hastaoğlu, 2020; Oktar vd., 2021), deprem kaynaklı yüzey hareketlerinin incelenmesi (Yen vd., 2011), heyelanların izlenmesi (Peyret vd., 2008, Hastaoğlu vd., 2014; Bayık vd., 2021), volkanik alanlar (Hooper vd., 2004; Hooper vd., 2007; Gündüz vd., 2023), jeolojik veya kentsel alanlarda (Meisina vd., 2006; Osmanoğlu vd., 2011; Gezgin vd., 2022; Bilgilioğlu, 2022) ve maden alanlarında meydana gelen sübvansiyonlarda (Abdikan vd., 2014) gibi birçok deformasyon izleme çalışmasında kullanılmıştır.

Bu çalışmada Derinkuyu Yeraltı Şehrini içinde bulunduğu Derinkuyu İlçe Merkezini kapsayacak şekilde deformasyonu bölgesel olarak inceleme amacıyla PSInSAR analizi gerçekleştirilerek bölgede meydana gelen uydu bakış doğrultusundaki (LOS) hareketler belirlenmiştir. PSInSAR analizi StaMPS/MTI (Hooper vd., 2018) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metod

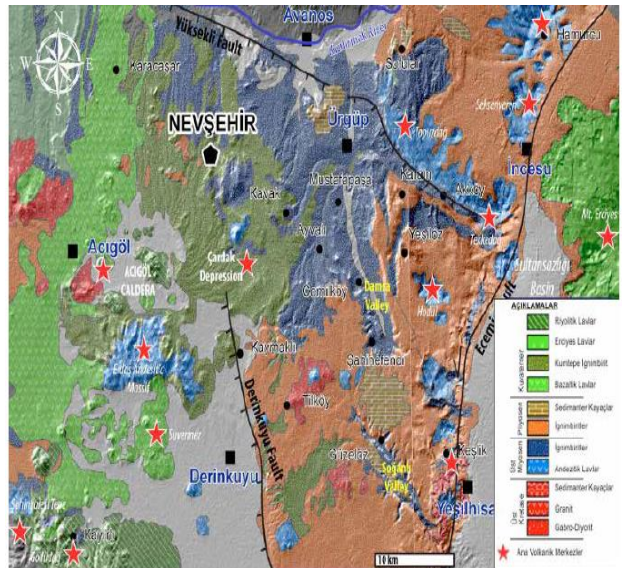
2.1 Derinkuyu Yeraltı Şehri

Derinkuyu, Nevşehir İline bağlı olup, 1930 yılında ilçe olmuştur. İlçenin kuzeyinde Nevşehir, güneyinde Niğde, doğusunda Kayseri, Yeşilhisar, kuzeydoğusunda Ürgüp, kuzeybatısında Acıgöl ve batısında Aksaray ili bulunmaktadır. Derinkuyu İlçesi sınırları içerisinde bulunan Derinkuyu Yeraltı Şehri, Eski Eserler ve Müzeler Genel Müdürlüğüne temizlenerek 1965 yılında turizme açılmıştır. 8 katı temizlenerek turizme açılan yeraltı şehrinin 18-20 kat olduğu düşünülmektedir (Şekil 1). Derinkuyu Yeraltı Şehri 1500m²lik alanı kaplamakta olup 85m derinlikli olarak tanımlanmaktadır (Birant, 1992).



Şekil 1. Derinkuyu Yeraltı Şehri'nin planı (Gülyaz ve Yenipinar, 1996).

Şekil 2'de çalışma alanının jeoloji haritası verilmiştir. Derinkuyu yerleşiminin kolay kazılabilir ve zayıf dayanıma sahip ignimbirit birimi üzerinde yer alması sebebiyle, yeraltı şehrinin yanı sıra, mevcut konutların altında farklı boyutlarda kaya oyma mekân yer almaktadır (Dolap, 2019). Şekil 3'de çalışmada kullanılan Sentinel-1A uydu radar görüntülerinin yaklaşık olarak kapsadığı alan verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Aydar, vd. 2012).

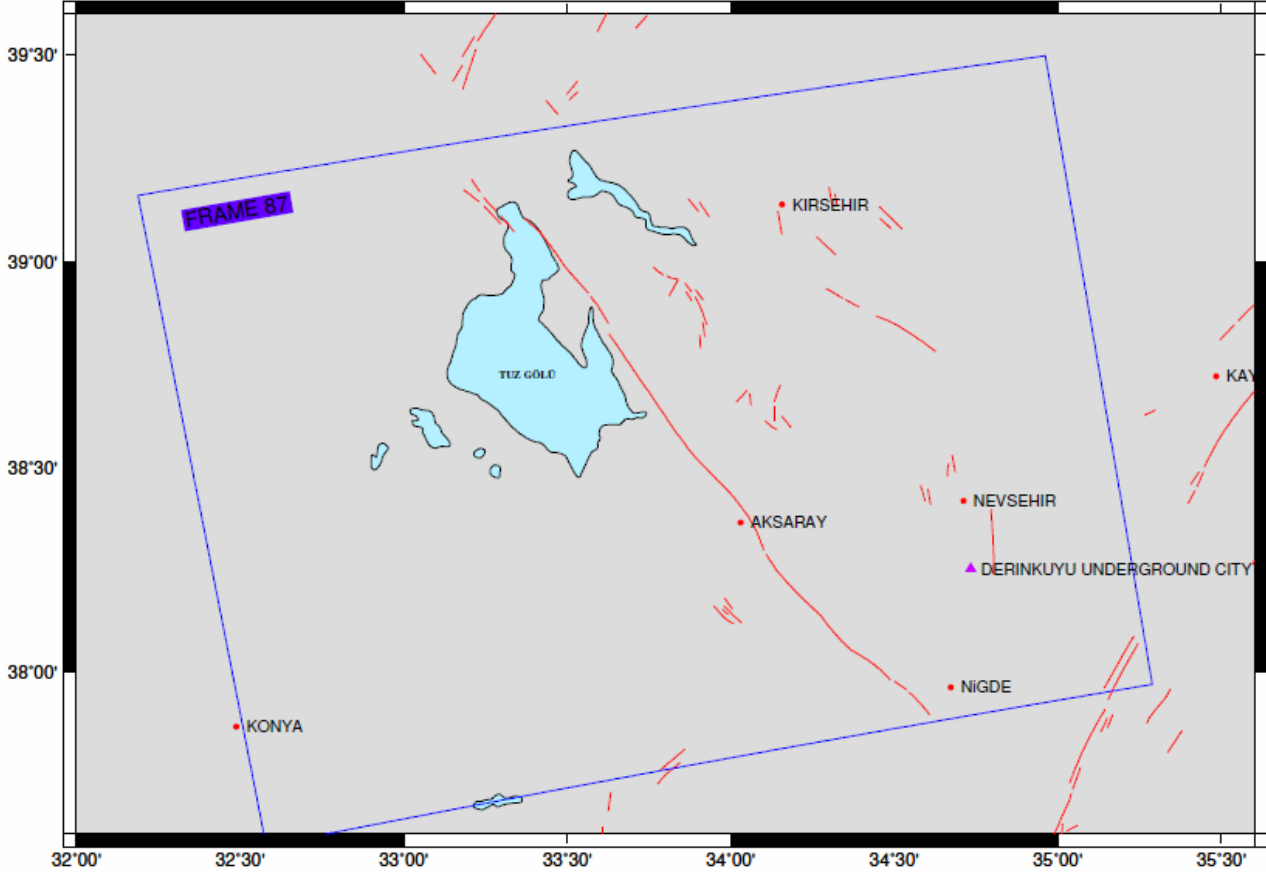
2.2 PSInSAR (Persistent Scatterer Interferometry / Sabit Saçılı Interferometri)

Hooper ve arkadaşları (2007), PSInSAR tekniğini farklı bir yaklaşımla ele almış ve kabuk hareketlerinin deformasyon analizinde Stanford Method for PS (StaMPS) yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntem, binalar gibi bariz nesnelere olsun ya da

olmasın her türlü arazide analiz yapmak için düşük faz değişikliği sergileyen pikselleri bulmak için interferometrik fazın konumsal korelasyonunu kullanır. Sabit hedef noktalarını belirlemek için interferogramların adaptasyon haritaları kullanılır. Korelasyon eşik değerinin belirlenmesi, değerlendirmede en basit yöntem olarak kullanılmaktadır. Bir hedef, ortalama değerden daha fazla uyum değeri sergiliyorsa, bu nokta sabit saçıcı (the permanent scatterer-PS) adayı olarak seçilir.

Bununla birlikte, baz uzunluğu (baseline length) ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) gibi kısıtlamalardan dolayı adaptasyon haritaları (adaptation maps) kullanılmayabilir.

PS noktalarının sayısını arttırmak için SAR görüntülerinin sayısının en az 12 olması tavsiye edilir (Hooper, vd., 2007).



Şekil 3. Çalışma alanı. 87 iz numaralı Sentinel-1A uydu radar görüntülerinin yaklaşık olarak kapsadığı alan mavi çizgilerle oluşturulan kapalı alan ile gösterilmektedir. Kırmızı çizgiler bölgedeki aktif fayları temsil etmektedir (Emre vd., 2013).

Her bir görüntüdeki bir pikselin genlik değerleri zaman serileri oluşturur. Geometrik ve zamansal bir korelasyon bozukluğundan etkilenen ve sabit bir genlik değer dizisine sahip olan pikseller PS noktası olarak seçilirler. PS noktalarında tutarlılık değeri için eşik değer 0.4 seçilmiştir ve eşik değer genellikle 0.40 ile 0.42 aralığındadır (Lu vd., 2020). PSInSAR yönteminde, n adet görüntü kullanılarak n-1 adet interferogram oluşturulur (Colesenti, vd., 2001) ve mm/yıl doğruluğu ile sonuçlar elde edilebilir. Oldukça uyumlu hedefleri (target) belirleme amacıyla çoklu interferogram setleri oluşturulur. Bu amaçla, tek bir ana görüntü (master image)

kullanılarak oluşturulan bir dizi diferansiyel interferogram hazırlanır. SYM, interferogramların oluşturulmasında topografyanın etkisini elimine etmek için kullanılmalıdır. Öncelikle, SNAP yazılımı kullanılarak interferogramlar oluşturulmuştur. Daha sonra, topografyanın interferogramlar üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak için SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verileri kullanılmıştır. Mekânsal olarak ilişkili hataları (atmosfer, yörünge) elimine etmek için StaMPS yazılımında atmosferik filtreleme uygulanmaktadır. İnterferogramlardan STAMPS yazılımı kullanılarak PS noktaları belirlenmiş ve LOS yönündeki hareketler elde edilmiştir.

2.3 PSInSAR Analizinde Kullanılan SAR Görüntüleri

PSInSAR analizinde ESA tarafından uzaya fırlatılan Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çizelge 1’de Sentinel-1A SAR görüntülerinin çekim tarihleri verilmiştir. Çalışmada kullanılan 87 iz numaralı Sentinel-1A uydu radar görüntülerinin yaklaşık olarak kapsadığı alan Şekil 3’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan SAR görüntüleri.

Sentinel-1A		
2014.10.11	2019.02.11	2020.08.04
2015.07.02	2019.04.12	2020.10.03
2016.07.08	2019.06.11	2020.12.02
2017.07.03	2019.08.10	2021.02.12
2018.02.04	2019.10.09	2021.04.01
2018.04.05	2019.12.08	2021.06.12
2018.08.03	2020.02.18	2021.08.11
2018.10.02	2020.04.06	2021.10.10
2018.12.13	2020.06.05	2021.12.09

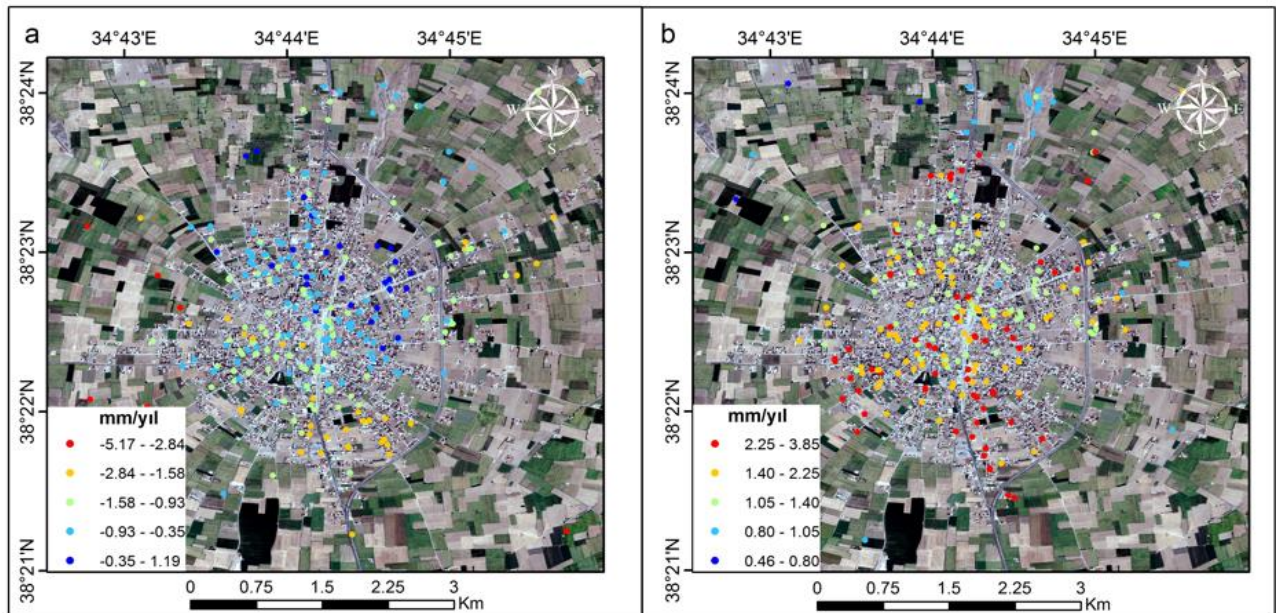
PSInSAR analizinde, düz arazi yüzeylerinde yükselen (Ascending) ve alçalan (Descending) yörüngede benzer sonuçlar elde edilmektedir (Aslan vd., 2019; Bilgilioğlu vd., 2021; Yağmur ve Musaoğlu, 2022). Çalışma alanının topografik yapısı göz önünde bulundurularak sadece yükselen yörüngede görüntüler kullanılmıştır.

Çalışmada, 11.10.2014 ile 09.12.2021 tarihleri arasında algılanmış 37 adet IW (Interferometric Wide) modda ve C band ile algılama yapan 87 iz numaralı yükselen özellikli (Ascending) Sentinel-1A SAR görüntüleri ücretsiz olarak Copernicus’a ait Copernicus Açık Erişim Merkezi’nden (Open Access Hub) (İnt. Kyn. 1) temin edilmiştir.

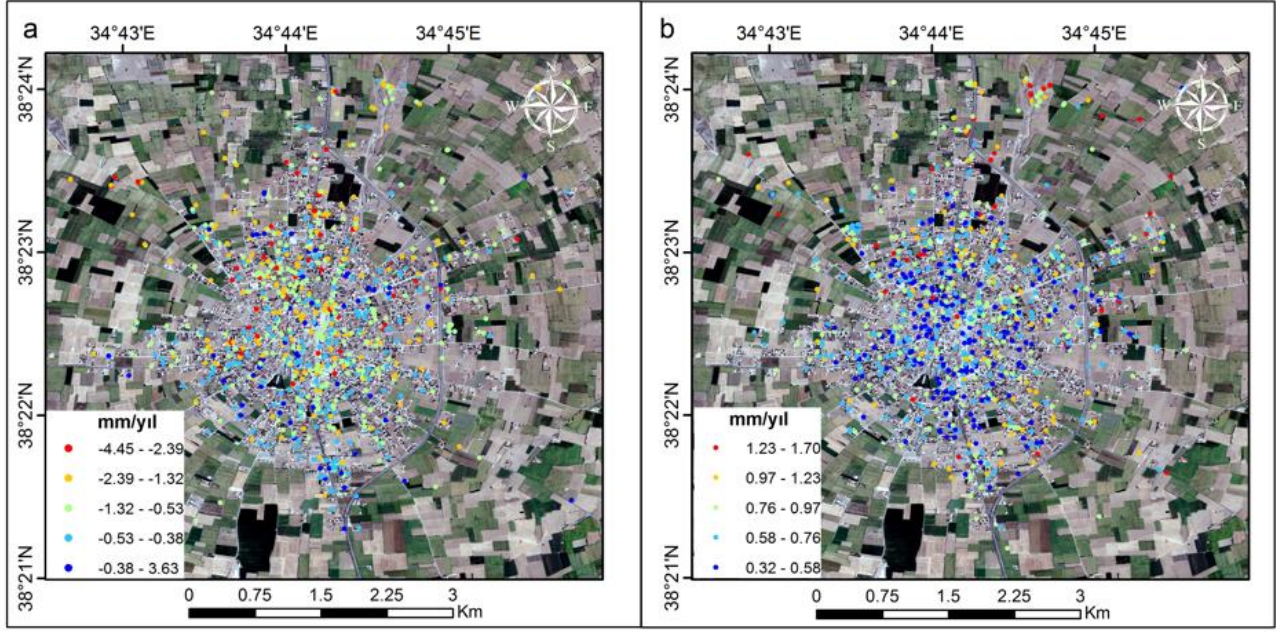
3. Bulgular

Derinkuyu Yeraltı Şehrinin içinde bulunduğu Derinkuyu İlçe Merkezini kapsayacak şekilde belirlenen çalışma alanında deformasyonu bölgesel olarak inceleme amacıyla Çizelge 1’de verilen SAR görüntüleri değerlendirilmiş ve bölgede meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir. Çalışma alanını kapsayacak şekilde PSInSAR analizi gerçekleştirerek bölgede meydana gelen uydu bakış doğrultusundaki (LOS) hareketler elde edilmiştir. PSInSAR analizinde birincil (master) görüntü olarak seçilen görüntü, analizde kullanılan tüm görüntülerin zamansal ve mekânsal olarak ortasında olacak şekilde seçilmiştir. Şekil 3’de verilen çalışma alanı için belirlenmiş görüntüler kendi içinde alt bölümlere ayrılmaktadır. Bu bölümler soldan sağa IW1, IW2 ve IW3 şeklinde oluşmaktadır.

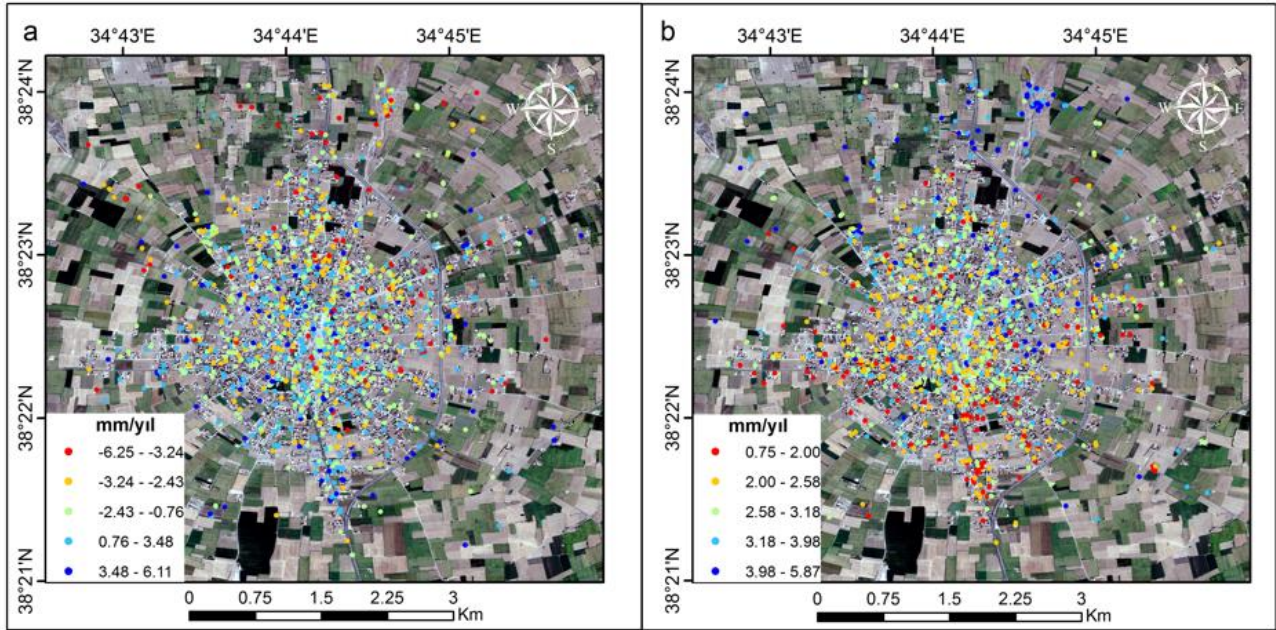
PSInSAR analizinde gerçekleştirilen tüm işlem adımları çalışma alanını kapsayan IW3 bölümü için uygulanmıştır. Çalışmada farklı zaman aralıklarında deformasyon varlığını irdeleme amacıyla 3 farklı zaman aralığı belirlenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Bunlar; 2014-2021 (8 yıl), 2018-2021 (4 yıl) ve 2020-2021 (2 yıl)’dır. Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da PSInSAR sonuçları verilmiş olup sonuçlar Natural Break yöntemiyle 5 sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 4. a 2014-2021 yıllık hızlar (LOS) b 2014-2021 yıllık hızların standart sapmaları (LOS).



Şekil 5. a 2018-2021 yıllık hızlar (LOS) b 2018-2021 yıllık hızların standart sapmaları (LOS).



Şekil 6. a 2020-2021 yıllık hızlar (LOS) b 2020-2021 yıllık hızların standart sapmaları (LOS).

2014-2021 (8 yıl) yıllarını kapsayan SAR görüntülerinin analizinde 287 PS noktası elde edilmiştir. 8 Temmuz 2016 tarihli görüntü master görüntü olarak seçilmiştir. Bölge için elde edilen uydu bakış doğrultusundaki (LOS) yıllık hızlar (a) ve standart sapmaları (b) Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te yatay eksen boylam bilgisini verirken dikey eksen ise enlem bilgisini vermektedir. Ayrıca şekilde verilen renk skalasında mavi renk uydu bakış doğrultusunda yüksekliği artan noktaları gösterirken kırmızı renk ise uydu bakış doğrultusunda yüksekliği

azalan noktaları göstermektedir. Şekil 4 incelendiğinde, çalışma alanında LOS yönünde yıllık hız değerleri -5.17 mm (en düşük) ve 1.19 mm (en yüksek) arasında değişmektedir. Şekil 4 incelendiğinde çalışma alanında LOS yönünde yıllık hızların standart sapma değerlerinin 0.46 mm ile 3.85 mm arasında değiştiği görülmektedir. 2018-2021 (4 yıl) yıllarını kapsayan SAR görüntülerinin analizinde 830 PS noktası elde edilmiştir. 18 Şubat 2020 tarihli görüntü master görüntü olarak seçilmiştir. Bölge için elde edilen

uydu bakış doğrultusundaki (LOS) yıllık hızlar (a) ve standart sapmaları (b) Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde, çalışma alanında LOS yönünde yıllık hız değerleri -4.45 mm (en düşük) ve 3.63 mm (en yüksek) arasında değişmektedir. Şekil 5 incelendiğinde çalışma alanında LOS yönünde yıllık hızların standart sapma değerlerinin 0.58 mm ile 1.70 mm arasında değiştiği görülmektedir.

2020-2021 (2 yıl) yıllarını kapsayan SAR görüntülerinin analizinde 1080 PS noktası elde edilmiştir. 12 Şubat 2021 tarihli görüntü master görüntü olarak seçilmiştir. Bölge için elde edilen uydu bakış doğrultusundaki (LOS) yıllık hızlar (a) ve standart sapmaları (b) Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde, çalışma alanında LOS yönünde yıllık hız değerleri -6.25 mm (en düşük) ve 6.11 mm (en yüksek) arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 6 incelendiğinde çalışma alanında LOS yönünde yıllık hızların standart sapma değerlerinin 0.75 mm ile 5.87 mm arasında değiştiği görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada, Derinkuyu Yeraltı Şehri ve Derinkuyu ilçe merkezini kapsayacak şekilde PSInSAR analizi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. PSInSAR sonuçlarına göre çalışma bölgesinde uydu bakış doğrultusunda (LOS) 6.11 mm ile -6.25 mm arasında değişen hız değerleri ve bu hızların 5.87 mm ve 0.58 mm arasında değişen standart sapma değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Derinkuyu ilçe merkezinde önemli seviyede bir alçalma ve yükselme görülmemiştir.

PSInSAR yöntemiyle bir çalışma bölgesinde meydana gelen yüzey deformasyonları (yükselme-alçalma) belirlenebilmektedir. Bu açıdan Derinkuyu Yeraltı Şehri'nin yüzeydeki konumunun bilinmemesi, yeraltı şehrinin bulunduğu bölgedeki yüzeyin detaylı bir şekilde incelenmesini çalışmanın amacı açısından kısıtlayan bileşenlerdendir. Bu sebeple yeraltı şehri girişinin çevresindeki ps noktalarının hızları incelenmiştir.

PSInSAR analizi sonucu elde edilen ps nokta hızlarının anlamlı olup olmadığı 3 sigma kuralı ile incelenmiştir. Bu amaçla, Şekil 4'te verilen 2014-

2021 (8 yıl), Şekil 5'te verilen 2018-2021 (4 yıl) ve Şekil 6'da verilen 2020-2021 (2 yıl) yılları için gerçekleştirilen PSInSAR analizi sonuçlarından Derinkuyu Yeraltı Şehri girişini çevreleyecek şekilde 5 ps noktasının hız ve standart sapma değerleri belirlenerek sırasıyla Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 2. 2014-2021 PSInSAR tabanlı hız değerlendirme sonuçları.

Hızlar (mm/yıl- LOS)	Standart Sapmalar (mm)	Anlamlı/Anlamsız
-0.7	1.0	Anlamsız
1.6	1.1	Anlamsız
-0.8	1.1	Anlamsız
-1.4	1.1	Anlamsız
-1.3	0.9	Anlamsız

Çizelge 3. 2018-2021 PSInSAR tabanlı hız değerlendirme sonuçları.

Hızlar (mm/yıl- LOS)	Standart Sapmalar (mm)	Anlamlı/Anlamsız
-1.1	0.5	Anlamsız
-2.7	1.0	Anlamsız
-0.5	0.4	Anlamsız
-0.3	0.4	Anlamsız
-1.6	0.7	Anlamsız

Çizelge 4. 2020-2021 PSInSAR tabanlı hız değerlendirme sonuçları.

Hızlar (mm/yıl- LOS)	Standart Sapmalar (mm)	Anlamlı/Anlamsız
-3.2	3.0	Anlamsız
-5.9	3.3	Anlamsız
-5.2	3.4	Anlamsız
-3.8	3.0	Anlamsız
-2.5	2.3	Anlamsız

Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4 incelendiğinde Derinkuyu Yeraltı Şehri'nin bulunduğu bölgede anlamlı bir alçalma ve yükselme değerinin bulunmadığı belirlenmiştir.

Çalışma alanında 2014-2021 (8 yıl), 2018-2021 (4 yıl) ve 2020-2021 (2 yıl) yıllarını kapsayan PSInSAR analizi sonucunda elde edilen PS nokta sayısı

sırasıyla 287, 830 ve 1080'dir. Bu sonuçlara göre analiz edilen SAR görüntülerinin tarihleri bir birine yaklaştıkça PSInSAR analizi gerçekleştirilen çalışma alanında PS nokta sayısının arttığı söylenebilir.

5. Kaynaklar

- Abdikan, S., Arıkan, M. and Şanlı, F.B., 2014. 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**, 4081-4089.
- Arıkan, M., Hooper, A. and Hanssen, R., 2010. Radar time series analysis over West Anatolia. European Space Agency (Special Publication) ESA, SP-677.
- Aslan, G., Cakir, Z., Lasserre, C. and Renard, F., 2019. Investigating subsidence in the Bursa Plain, Turkey, using ascending and descending Sentinel-1 satellite data. *Remote Sensing*, **11**, 1, 85.
- Aydar, E., Schmitt, A. K., Çubukçu, E., Akin, L., Ersoy, O., Sen, E., Duncan, R. and Atici, G., 2012. Correlation of ignimbrites in the central Anatolian volcanic province using zircon and plagioclase ages and zircon compositions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **213-214**, 83–97.
- Bayık, Ç., Abdikan, S., Özdemir, A., Arıkan, M., Şanlı, F. B. and Doğan, U., 2021. Investigation of the landslides in Beylikduzu-Esenyurt Districts of Istanbul from InSAR and GNSS observations. *Natural Hazards*, **109**, 1, 1201-1220.
- Bilgilioğlu, B. B., Erten, E. and Musaoğlu, N., 2021. Analysis of Salt Lake Volume dynamics using Sentinel-1 based SBAS measurements: A case study of Lake Tuz, Turkey. *Remote Sensing*, **13-14**, 2701.
- Bilgilioğlu, B. B., 2022. Yapay açıklıklı radar interferometre teknikleri ile Tuz Gölü dinamiklerinin analizi. Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 145.
- Birant, M.A., 1992. Kapadokya, And Yayınları, İstanbul.
- Colesenti, C., Ferretti, A., Prati, C. and Rocca, F., 2001. Comparing GPS, optical leveling and persistent scatterers. *Proceedings of IGARSS*, 2622–2624.
- Dolap, D., 2019. Derinkuyu (Nevşehir) yerleşimindeki sığ yeraltı kaya oyma yapıların duraylılığının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, NÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 83.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. and Şaroğlu, F., 2013. 1/1.125.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası [1/1.125.000- Scale Turkey Active Fault Map]. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara.
- Gezgin, C., Ekercin, S., Tiryakioğlu, İ. Aktuğ, B., Erdoğan, H., Gürbüz, E., Orhan, O., Bilgilioğlu, S.S., Torun, A.T., Gündüz, H.İ., Oktar, O., Türkmen, C., and Kaya, E., 2022. Determination of recent tectonic deformations along the Tuz Gölü Fault Zone in CentralAnatolia (Turkey) with GNSS observations. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **31**, 1, 20-33.
- Gülyaz, M.E. and Yenipınar, H., 1996. Underground cities of Cappadocia, Dünya Kitap Kırtasiye Tur. Tic., 96.
- Gündüz, H.İ., Yılmaztürk, F. and Orhan, O., 2023. An Investigation of Volcanic Ground Deformation Using InSAR Observations at Tendürek Volcano (Turkey). *Applied Sciences*, **13**, 6787.
- Hastaoğlu, K. Ö., Poyraz, F., Türk, T., Koçbulut, F., Şanlı, U., Yılmaz, I., Şanlı, F. B., Kuçak, R. A., Demirel, M., Gürsoy., Ö. ve Duman, H., 2014. GPS ve PS-InSAR yöntemleri kullanılarak Koyulhisar (Sivas) heyelanlarının izlenmesi: ilk sonuçlar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **4**, 2, 161-175.
- Hooper, A., Zebker, H., Segall, P. and Kampes, B., 2004. A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophysical Research Letters*, **31**, 1-5.
- Hooper, A., Segall, P. and Zebker. H., 2007. Persistent Scatterer InSAR for crustal deformation analysis with application to Volcán Alcedo. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, **112**, B07407.
- Hooper, A., Bekaert, D., Hussain, E. and Spaans, K., 2018. StaMPS/Manual, Version 4.1b, School of Environment, University of Leeds, LS2 9JT Leeds, UK.
- Lu, P., Han, J., Hao, T., Li, R. and Qiao, G., 2020. Seasonal deformation of permafrost in Wudaoliang basin in

Qinghai-Tibet plateau revealed by StaMPS-InSAR. *Marine Geodesy*, **43**, 248–268.

Meisina, C., Zucca, F., Fossati, D., Ceriani, M., Allievi, J., 2006. Ground deformation monitoring by using the permanent scatterers technique: the example of the Oltrepo Pavese (Lombardia, Italy). *Engineering Geology*, **88**, 240–259.

Oktar, O., Erdoğan, H., Poyraz, F. and Tiryakioğlu İ., 2021. Investigation of deformations with the GNSS and PSInSAR methods. *Arabian Journal of Geosciences*, **14**, 2586.

Osmanoğlu, B., Dixon, T. H., Wdowsinski, S., Cabral-Cano, E. and Jiang, Y., 2011. Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **13**, 1, 1-12.

Peyret, M., Rolandone, F., Dominguez, S., Djamour, Y. and Meyer, B., 2008. Source model for the Mw 6.1, 31 March 2006, Chalan–Chulan earthquake (Iran) from InSAR. *Terra Nova*, **20**, 2, 126–133.

Poyraz, F. and Hastaoğlu, K.Ö., 2020. Monitoring of tectonic movements of the Gediz Graben by the PSInSAR method and validation with GNSS results. *Arabian Journal of Geosciences*, **13**, 844.

Yağmur, N. ve Musaoğlu, N., 2022. Havalimanlarında yapısal değişimlerin PSInSAR tekniği ile belirlenmesi: İstanbul Havalimanı örneği. *Harita Dergisi*, **168**, 28-37.

Yen, J.Y., Lu, C.H., Chang, C.P., Hooper, A., Chang, Y.H., Liang, W.T., Chang, T.Y., Lin, M.S. and Chen, K.S., 2011. Investigating active deformation in the northern longitudinal valley and City of Hualien in Eastern Taiwan using persistent scatterer and small-baseline SAR interferometry. *Terrestrial Atmospheric Ocean Sciences*, **22**, 3, 291–304.

İnternet Kaynakları

1-<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> (28.09.2022)