



## Konya İli Zemin Çökmelerinin PS-InSAR Yöntemi ile Değerlendirilmesi ve Litolojik Özelliklerle İlişkisi

Cemil Gezgin <sup>1</sup>, Halil İbrahim Gündüz <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Türkiye, cemilgezgin@aksaray.edu.tr

<sup>2</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Türkiye, halilibrahimgunduz@aksaray.edu.tr

Kaynak Göster: Gezgin, C., & Gündüz, H.İ. (2024). Konya İli Zemin Çökmelerinin PS-InSAR Yöntemi ile Değerlendirilmesi ve Litolojik Özelliklerle İlişkisi. Geomatik, 10 (3), 304-315.

DOI:10.29128/geomatik.1638738

### Anahtar Kelimeler

Konya  
Deformasyon  
InSAR  
Litoloji

### Araştırma Makalesi

Geliş:12.02.2025  
Revize:28.02.2025  
Kabul:04.03.2025  
Yayınlanma:01.12.2025



### Öz

Konya Kapalı Havzası'nın en geniş alanını kaplayan ve 2 milyondan fazla insana ev sahipliği yapan Konya ili, verimli topraklarıyla önemli bir tarım bölgesidir. Ancak son yıllarda iklim değişikliğine bağlı kuraklık, içme suyu ve tarımsal sulama ihtiyacının artması, bu ihtiyacın büyük ölçüde yeraltı sularından karşılanması nedeniyle su kaynakları hızla azalmaktadır. Bu durum, çevresel sorunlarla birlikte zemin çökmelerini de tetiklemektedir. Özellikle kontrolsüz yeraltı suyu kullanımı akiferlerde basınç kaybına neden olurken, bölgedeki ince taneli sediman toprak yapısı ve kolay çözünebilen karstik formasyonlar zemin çökme süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu durum, Konya ili için ciddi sosyo-ekonomik riskler doğurmaktadır. Bu nedenle gerçekleştirilen çalışmada Konya il sınırları içinde meydana gelen zemin çökmelerinin mekânsal ve zamansal değişimi, 2018-2023 yıllarını kapsayacak şekilde Sentinel-1/A SAR uydu verileri kullanılarak incelenmiştir. Yükselen uydu yörüngelerinden elde edilen veriler PS-InSAR tekniği ile işlenmiş, deformasyon haritaları ve noktalara ait zaman serileri oluşturulmuştur. Deformasyon değerleri bölgenin litolojik yapısıyla ve bölgede bulunan GNSS istasyonuna ait verilerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yüksek nüfuslu bölgelerde çökme değerlerinin en yüksek seviyeye ulaştığını ve bu alanlarda zemin çökmelerinin ciddi bir risk oluşturduğunu göstermektedir.

## Assessment of Land Subsidence in Konya Province Using the PS-InSAR Method and Its Relation with Lithological Characteristics

### Keywords

Konya  
Deformation  
InSAR  
Lithology

### Research Article

Received: 12.02.2025  
Revised: 28.02.2025  
Accepted: 04.03.2025  
Published: 01.12.2025

### Abstract

Konya Province, which encompasses the largest portion of the Konya Closed Basin and is home to over 2 million people, is a critical agricultural region due to its fertile soils. However, climate change-induced drought, coupled with escalating demands for drinking water and agricultural irrigation—largely met by groundwater extraction—has led to rapid depletion of water resources. This depletion has triggered environmental degradation and exacerbated land subsidence. Unregulated groundwater extraction has caused aquifer pressure loss, while the region's fine-grained sedimentary soil structure and highly soluble karstic formations have accelerated subsidence processes. These dynamics pose significant socio-economic risks to Konya Province. To address this issue, our study investigates the spatiotemporal patterns of land subsidence within Konya's provincial boundaries using Sentinel-1/A SAR satellite data spanning 2018–2023. Data from ascending satellite orbits were processed using the Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) technique to generate deformation maps and time-series analyses for PS-points. Subsidence rates were cross-analyzed with the region's lithological framework and GNSS station within the area. The results indicate that subsidence values reach their highest levels in densely populated areas, posing a significant risk of ground collapse in these regions.

## 1. Giriş

Son yıllarda kırsal alanlardan şehirlere göçle hızlanan kentleşme, tarımsal faaliyetlerin genişlemesi ve kontrolsüz yapılaşma, doğal kaynakların aşırı kullanımı ve iklim değişikliği gibi faktörlerle birleşerek çevresel ve fiziksel süreçler üzerinde ciddi bir baskı yaratarak dünya genelinde doğal afetlerin sayısında önemli bir artışa yol açmıştır (Sekkeravani ve ark., 2022). Bu çevresel baskılar, özellikle şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde su kaynaklarının tükenmesi, toprak kaybı, hava kirliliği ve arazi çökmesi gibi sorunları beraberinde getirmiştir. Ayrıca, kontrolsüz gelişim ve plansız kentleşme, doğal afetlere karşı direnci azaltarak, hem şehirlerde hem de kırsal alanlarda yaşayan toplumları daha savunmasız hale getirmiştir (Assennato ve ark., 2022). Bu çevresel sorunlardan biri olan arazi çökmesi, çevremizdeki alanın değişmesine neden olan ve hem sosyal hem de ekonomik açıdan olumsuz etkiler yaratan doğal bir tehlike fenomenidir (Arabameri ve ark., 2021). Arazi çökmesi, yeraltındaki boşluk üzerinde bulunan zemin örtüsünün dikey hareketi olarak tanımlanır ve zamanla geniş alanlara yayılan yavaş bir şekilde veya ani bir çökme olarak gerçekleşebilir (Galloway ve ark., 1999; Azarakhsh ve ark., 2022; Tzampoglou ve ark., 2023). Yavaş çökmeler, geniş alanları etkileyerek uzun vadeli hasarlara neden olurken, ani çökme olayları ise genellikle daha dar bir alanda yollar, köprüler, su ve enerji iletim hatları gibi kritik altyapıların ciddi ve ani zararlar zarar görmesine neden olmaktadır. Özellikle tarım ve sanayi gibi ekonomik faaliyetlerde üretim kayıplarına ve yüksek maliyetli onarım süreçlerine neden olarak bölgesel ve ulusal düzeyde ekonomik istikrarı sarsmaktadır (Marfai ve King, 2007; Boni ve ark., 2015; Shrestha ve ark., 2017). Arazi çökmesinin bu çok boyutlu etkileri, zemin çökmesini küresel ölçekte araştırmacılar tarafından nedenleri, süreçleri ve sonuçları detaylı bir şekilde incelenen bir çevresel sorun haline getirmiştir. Araştırmacılar, zemin çökmesini antropojenik (insan kaynaklı) ve doğal nedenler olmak üzere iki ana kategori altında ele almaktadır. İnsan kaynaklı çökme, madencilik faaliyetleri, yer altı suyu, petrol ve gaz çıkarımı gibi faaliyetlerden kaynaklanırken; doğal çökme, depremler, volkanik patlamalar ve karstik yapılar gibi süreçlerden meydana gelmektedir. Her iki tür çökme de altyapılar üzerinde ciddi hasarlar yaratmakta, çevresel sistemler ve insan yaşamı üzerinde geri dönüşü zor etkiler bırakmaktadır (Du ve ark., 2016; Machowski ve ark., 2016). Bu nedenle, zemin çökmesi gibi karmaşık süreçleri önlemek ve/veya etkilerini en aza indirmek için riskli alanların düzenli ve kapsamlı olarak izlenmesi gerekmektedir.

Zemin çökmesinin düzenli olarak izlenmesi ve bu alanlarda meydana gelen yüzey deformasyonlarının zamansal ve mekânsal modellerinin tespit edilebilmesi için çeşitli yersel (tesviye, ekstansometreler, inklinometreler vb.) ve uzaysal (Global Navigation Satellite Systems-GNSS, Interferometric Synthetic Aperture Radar-InSAR) teknikler kullanılmaktadır. Yersel teknikler, yüksek ölçüm doğruluğu sunmalarına rağmen, geniş alanların izlenmesinde iş gücü, zaman ve maliyet açısından önemli sınırlamalara sahiptir. Uzaysal tekniklerden biri olan GNSS, yüksek konum hassasiyeti,

zaman tasarrufu ve maliyet avantajlarıyla arazi çökmelerinin ve bu süreçlere bağlı yüzey deformasyonlarının tespit edilmesinde son yıllarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yu ve Wang, 2016; Tao ve ark., 2019; Susilo ve ark., 2023). Ancak, GNSS tekniği, sağladığı hassas verilere rağmen, mekânsal çözünürlük açısından sınırlıdır ve geniş alanların izlenmesinde yalnızca noktasal veri sağlaması nedeniyle yetersiz kalabilmektedir (Zhong ve ark., 2022). Buna karşılık, InSAR tekniği, düşük maliyet, geniş alanları görüntüleyebilme kapasitesi, verilere kolay erişim ve yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlük gibi avantajları sayesinde, zemin çökmesi ve yüzey deformasyonlarının izlenmesinde günümüzde sıklıkla tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir (Hu ve ark., 2014; Akgül, 2018; Aslan ve ark., 2018; Poyraz ve Hastaoglu, 2020; Bayik ve Abdikan, 2021; Bilgilioğlu ve ark., 2021; Erdogan ve ark., 2021; Oktar ve ark., 2021; Li ve ark., 2025; Sefercik ve ark., 2025). Ancak milimetre seviyesinde yüzey deformasyonlarını tespit edebilmesine rağmen, InSAR'ın kullanımı; atmosferik etkilerden kaynaklanan sinyal gecikmeleri, mekânsal ve zamansal uyumsuzluk, topoğrafik hatalar ve yörünge sapmaları gibi sınırlamalar nedeniyle kısıtlı kalmaktadır. Bu nedenle söz konusu sınırlamaların üstesinden gelmek için araştırmacılar, zaman serisi analizlerini yani çok zamanlı InSAR (Multi-Temporal InSAR-MTI) tekniklerini geliştirmişlerdir (Berardino ve ark., 2002; Ferretti ve ark., 2000; Hooper ve ark., 2007; Zhang ve ark., 2015). Bu tekniklerden biri olan ve ilk olarak Ferretti ve ark. (2000) tarafından önerilen kalıcı saçıcı interferometrisi (Persistent Scatterer Interferometry-PSI), saçıcıları zaman içerisinde kararlı saçılma özelliklerine sahip noktalar olarak belirlemekte ve bu yöntem kentsel olmayan doğal arazilerde düşük kalıcı saçıcı yoğunluğu nedeniyle sınırlı kalmaktadır (Zhang ve ark., 2022; Goel ve Adam, 2012). Diğer PSI yaklaşımlarından farklı olarak Kalıcı Saçıcılar için Stanford Yöntemi (Stanford Method for Persistent Scatterers-StaMPS) ise interferometrik fazın mekânsal korelasyonunu kullanarak faz kararlılığı yüksek pikselleri tespit edebilmekte ve bu süreçte bir zamansal deformasyon modeline olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır. Bu avantajları sayesinde StaMPS, diğer PSI yaklaşımlarının sınırlı başarı gösterdiği yapay yapıların bulunmadığı doğal alanlarda dahi güvenilir sonuçlar sunabilmekte ve arazi çökmesi gibi geniş kapsamlı yüzey deformasyonlarının uzun süreli izlenmesinde sıklıkla tercih edilmektedir (Hooper ve ark., 2007; Tiwari ve ark., 2016; Gündüz, 2024). Önceki çalışmalarda, StaMPS, İtalya (Delgado Blasco ve ark., 2019), Endonezya (Hakim ve ark., 2020), Irak (Alkhazraji ve Dash, 2025), Amerika Birleşik Devletleri (Haley ve ark., 2022) ve Çin (Zhang ve ark., 2024) dahil olmak üzere birçok ülkede arazi çökmesinin neden olduğu yüzey deformasyonlarının izlenmesinde başarıyla uygulanmıştır.

Türkiye ise zemin deformasyonlarının izlenmesi ve analizinde InSAR yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı bir bölge olup, bu konuda en kapsamlı çalışma Weiss ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak Türkiye'deki yüzey deformasyonları üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmı, arazi çökmesinin 2000'li yılların başından itibaren hızla ve kademeli olarak

meydana geldiği Konya Kapalı Havzası'na odaklanmıştır (Gezgin, 2022). Üstün ve ark. (2010), Konya bölgesinde yer altı suyu seviyesindeki değişimleri ve GNSS verilerini kullanarak kuyularda yıllık 0,77 m su seviyesi azalması ve GNSS noktalarında yıllık -5 cm'ye kadar yer değiştirme tespit etmiştir. Üstün ve ark. (2015), 2002-2009 yılları arasında Diferansiyel InSAR (DInSAR) tekniği ile Konya'da yıllık -3,4 cm'lik deformasyon rapor etmiş, Canaslan-Çomut ve ark. (2016) ise kalıcı saçıcı InSAR (PS-InSAR) tekniği ile Konya şehir merkezinde yıllık -4 ila -6 cm arasında yer değiştirme belirlemiştir. Calò ve ark. (2017), 2002-2010 yılları arasında Küçük Temel Alt Kümesi (Small Baseline Subset - SBAS) tekniğini kullanarak Konya Ovası'nda yıllık 1.5 cm'lik deformasyon tespit etmiştir. Şireci ve ark. (2021) ise Envisat, ALOS ve Sentinel-1 uydu görüntülerini kullanarak 2014-2019 yılları arasında yıllık 11 cm'ye ulaşan arazi çökmesi değerlerini rapor etmiştir. Son olarak, Kızıllırmak ve Çakır, (2024), Konya'dan geçen yüksek hızlı tren hattı boyunca meydana gelen yüzey deformasyonlarını Sentinel-1 ve Cosmo-SkyMed (CSK) SAR verilerini kullanarak Kalıcı Saçıcı İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (Persistent Scatter Synthetic Aperture Radar Interferometry PS-InSAR) tekniği ile analiz etmiş ve alüvyal çökeller boyunca yıllık 40 mm'ye kadar arazi çökmesi tespit etmiştir. Bu çalışmalar önemli bulgular ortaya koymuş olmakla birlikte farklı dönemlerde ve tekniklerle yapılan bu çalışmalarda elde edilen deformasyon değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Buna ek olarak, bu bulguların birçoğu, geçmiş dönemlere ait verilerle sınırlı kalmış ve Konya ili genelindeki deformasyon dinamiklerini güncel verilerle kapsamlı bir şekilde ele almamıştır. Çalışmaların çoğunda KKH ya da Karapınar bölgesi ele alınmış fakat Konya il sınırlarını kapsayan birçok ilçe ve bölge çalışmalara dahil edilmemiştir. Son yıllarda artan tarımsal faaliyetler ve yer altı suyu kullanımının etkileri, özellikle Konya ili gibi yoğun tarım alanlarına sahip ilin tamamında zemin deformasyonlarının hızını ve şiddetini artırmıştır. Ancak bu süreçlerin ilin tamamında irdelenmesine ilişkin detaylı değerlendirmeler yetersiz kalmıştır. Literatürde genellikle Karapınar ve çevresi için yapılan araştırmalar öne çıkmakta, tüm ilçelerde meydana gelen çökmeler yeterince incelenmemiştir. Bu çalışma, Konya ilinin hem kırsal hem de kentsel alanlardaki zemin deformasyonlarını kapsayan bir analiz sunarak literatürdeki bu eksikliği gidermeyi hedeflemektedir. Buna ek olarak, yapılan çalışmada zemin çökmeleri ile litolojik yapı arasındaki ilişki gerçekleştirilen analizlerle detaylandırılmıştır. Kayaç türleri ve deformasyon süreçleri arasındaki mekanizmalar incelenerek, özellikle alüvyal birimlerin ve yumuşak kayaçların zemin çökmelerine daha yatkın olduğu ortaya konmuştur.

Bu çalışmada tüm Konya ilini kapsayacak şekilde 2018-2023 yılları arasında güncel Sentinel-1 SAR verileri ve StaMPS yöntemi kullanılarak yüzey deformasyonlarının ayrıntılı bir şekilde tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma, tüm il ve ilçeleri içerecek şekilde bölgedeki deformasyonların mekânsal ve zamansal değişimlerini yüksek doğrulukla belirleyerek, literatürdeki boşluğu doldurmayı ve bölgenin

sürdürülebilir arazi kullanımı ile altyapı planlaması süreçlerine katkı sunmayı hedeflemektedir.

## 2. Materyal ve Metot

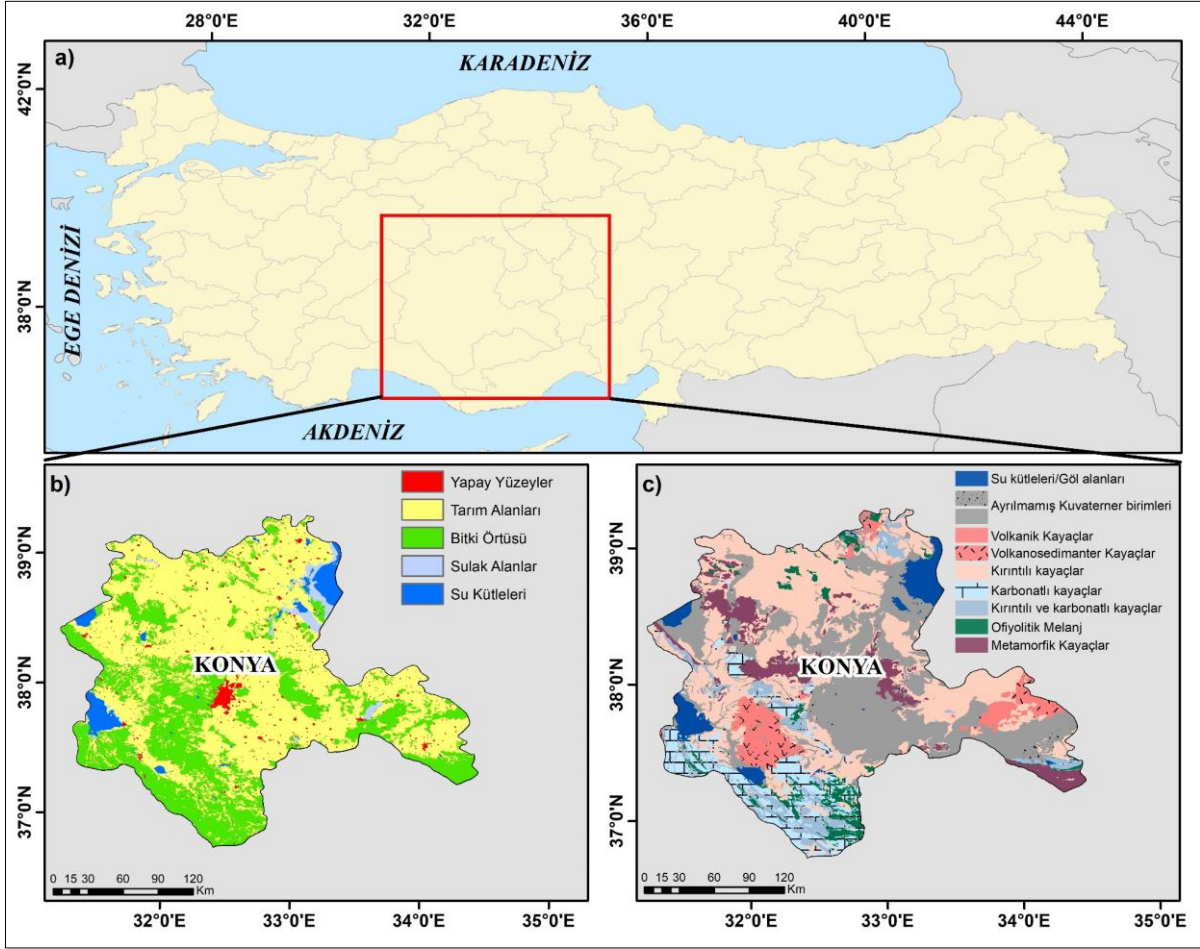
### 2.1. Çalışma Alanı

Birçok alt havzadan oluşan ve İç Anadolu Bölgesinde yer alan Konya Kapalı Havzası'nın, kuzey ve doğusunda Ekecek ile Melendiz ve Hasan dağları, güneyinde Bolkar dağı ve batısında Cihanbeyli platosu bulunmaktadır. Çevresi dağ ve tepeciklerle çevrili olan KKH'nin ortalarına doğru ise Konya ovası, Aksaray ovası ve obruk platosu yer alır. Sahip olduğu doğal topografya nedeniyle yüzey sularını denize boşaltamayan KKH, kapalı havza karakteri taşımaktadır (Üstün ve ark., 2010; KÇDR, 2023). Anadolu "ova" bölgesinin en geniş kapalı havzası olan Konya Kapalı Havzası'nın (KKH) 56%'sını kaplayan ve havzanın kuzey-batı sınırını oluşturan Konya ili önemli bir tarım ve sanayi kaynağı olmasına ek olarak eşsiz jeomorfolojik ve hidrojeolojik nitelikleri sebebiyle yer bilimciler için değerli bir doğal laboratuvardır (Şengör, 1980; Üstün ve ark., 2015; Canaslan-Çomut ve ark., 2015; Ahmed ve ark., 2020). Orta Anadolu Bölgesi'nin güneyinde konumlanan ve 30'dan fazla ilçeye sahip olan Konya ili yaklaşık 2,5 milyon insana ev sahipliği yaparak Türkiye'nin hem nüfus olarak hem de 40 bin km<sup>2</sup>'yi aşan yüzölçümü ile ülkenin en kalabalık ve yüksek yüzölçümüne sahip olan ili konumundadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 940 m ile 2400 m arasında değişen ilin ortalama rakımı yaklaşık 1000 m'dir ve geniş yüzölçümü sebebiyle kuzeyde Ankara ve Eskişehir, batıda Afyonkarahisar ve Isparta, doğuda Aksaray ve Niğde, güneyde ise Karaman, Mersin ve Antalya illeri ile sınır komşusudur (Şekil 1).

Kurak ve yarı-kurak iklimle sahip olan Konya ovası ve çevresinde kış ayları soğuk ve yağışlı, yaz ayları kurak ve sıcak geçmektedir. Ortalama sıcaklık yaklaşık 11 °C civarındayken, en yüksek sıcaklık 40.9 °C en düşük sıcaklık ise -28.2 °C olarak gözlenmiştir. 1929-2023 yılları arasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre il bazında aylık toplam yağış miktarı ortalaması ise yaklaşık 330 mm'dir. Uzun dönemli yıllık ortalama yağış seviyesi 250 ile güneyde bulunan dağlık alanlarda 1000 mm arasında değişen Konya'da yıllık buharlaşma oranı yaklaşık 550-600 mm'dir ve ilgili bu veriler il ve çevresinin ülkenin en az yağış alan bölgesi olduğunu göstermektedir (Calò ve ark., 2017; Sarış ve Gedik, 2021). Konya ilinde sanayinin büyük bir kısmı ve ana geçim kaynağı tarıma elverişli geniş bir arazi bulunması nedeniyle çoğunlukla tarım ve hayvancılık üzerinedir. Konya ili arazi kullanımı incelendiğinde, toplam yüzölçümünün %60'ını tarım alanları, yaklaşık %35'lik bir kısmı orman ve doğal alanlar, sadece %5'lik kısım ise sulak alan ve su kütlelerinden oluşmaktadır ve bölgenin sahip olduğu kapalı havza özelliğinden dolayı içme suyu ve tarımsal sulama ihtiyacının büyük bir bölümü yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır (Yılmaz, 2010; Yağmur ve ark., 2020; KÇDR, 2023). 2000'li yıllardan önce genellikle kuru tarımın baskın olduğu bölgede ilerleyen yıllarda özellikle Çumra, Altınekin, Karapınar ve Hotamış ovalarında sulu tarım yaygınlaşmaya başlamıştır (KTİ, 2023). Yaklaşık 30 milyon dekarlık

tarım alanı ile ülkenin ilk sırasında yer alan Konya'da Şekerpancarı, mısır, buğday çavdar vb. ürünler ülkenin ihtiyacını karşılarsa da bu ürünlerin yüksek su ihtiyacının sadece yağışla karşılanamamasına ek olarak iklim

değişikliği ve kuraklık nedeniyle KKH'de ve özellikle Konya'da arazi çökmesi gibi önemli çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır (Özdemir, 2015; Üstün ve ark., 2015; Calò ve ark., 2017).



Şekil 1. a) Türkiye haritası üzerinde çalışma alanının konumu, b) Konya ili için arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritası, c) Bölgedeki litolojik birimler.

Düz kuvaterner alüvyon üzerinde yer alan Konya ilinin de içerisinde yer aldığı havzada jeolojik olarak geniş ölçekte Obruk platosu, Konya-Karapınar ovası, Volkanik kompleks ve Hotamış ve İnsuyu formasyonları bulunmaktadır. Geç miyosen'den Kuvaterner'e kadar süre gelen formasyonlarla karakterize olan Konya-Karapınar ovası çoğunlukla konsolide olmamış kil, silt ve kumtaşı malzemeleri ve alüvyonel yelpaze birikintilerinden oluşmaktadır (Erol 1971; Kuzucuoglu ve ark., 1998; Doğan ve Yılmaz, 2011; Şireci ve ark., 2021). Çalışma alanı ve çevresinde bulunan diğer jeolojik yapılarda da benzer şekilde tüf, kireçtaşı, evaporit ve jipsler ile karbonatlar ve metamorfik kayalara rastlanılmaktadır (Ulu, 2009). Tarım alanlarının yoğun olduğu ve Kuvaterner yaşlı sedimanların biriktiği Konya ovası ile ince taneli sediman toprak yapısının hakim olduğu Hotamış formasyonu da olmak üzere çalışma alanının geçmişten günümüze şekillenen jeomorfolojik yapısı ve karbonik asit ile birleştiğinde kolaylıkla çözünebilir dirençsiz karstik yapılar bölgedeki arazi çökmeleri için uygun koşullara sebep olmaktadır (Özdemir, 2016; Calò ve ark., 2017). Buna ek olarak bölgedeki kuyu sayısının dramatik artışı sonucunda yeraltı sularının orantısız kullanımı ve bu oranın sadece

yağışlarla beslenememesi sonucunda zemin çökmeleri bölgede yaygın olarak görülmektedir.

## 2.2. SAR Uydu Verileri

Bu çalışmada, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ve Avrupa Komisyonu'nun ortaklaşa yürüttüğü Copernicus Programı kapsamında geliştirilen ve C bandında (~5,6 cm dalga boyu) çalışan Sentinel-1 radar uydu sistemi kullanılmıştır (Tablo 1). Sentinel-1A ve Sentinel-1B'den oluşan bu uydu sistemi, 2014 yılında Sentinel-1A'nın, 2016 yılında ise Sentinel-1B'nin fırlatılmasıyla dünyanın her yerinden düzenli olarak radar görüntüleri sağlamaktadır. Ancak, Aralık 2021'de Sentinel-1B'nin hasar görmesi nedeniyle bu tarihten itibaren yalnızca Sentinel-1A verileri kullanılmaktadır (Mahdavifard ve ark., 2023; Nhangumbe ve ark., 2023; Şimşek, 2023). Çalışma kapsamında, Sentinel-1 verileri ESA'nın açık erişim portalından ücretsiz olarak temin edilmiştir. İlgili veriler, Interferometric Wide (IW) modunda, VV polarizasyonunda ve Single Look Complex (SLC) formatında elde edilmiştir. Kullanılan veri seti, Nisan 2018 ile Ağustos 2023 arasındaki dönemi kapsamakta olup, toplamda üç farklı çerçevede (frame) yükselen



yörünge (ascending) modunda toplam 298 görüntü içermektedir. Sentinel-1'in sağladığı kısa tekrar ziyaret süresi, geniş alanları kapsama kapasitesi ve gece-gündüz her türlü hava koşulunda veri sağlayabilmesi, arazi çökmesi gibi çevresel sorunların analizi için ideal bir çözüm sunmaktadır.

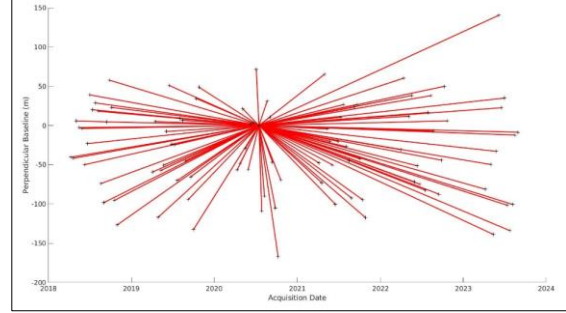
**Tablo 1.** Sentinel-1 verilerinin teknik özellikleri (Torres ve ark., 2012).

Sentinel-1	
Gözlem modu	IW
Yörünge	Güneş eş zamanlı
Yörünge yüksekliği	698 km
Mekânsal çözünürlük	5×20m (azimut×menzil)
Zamansal çözünürlük	12 gün
Bant	C
Frekans	5,3 GHz
Polarizasyon	HH +HV, VV, VH
Dalga boyu (cm)	~5,6
Tarama genişliği	250 x 250 km
Bakış açısı	29,1 - 46
Kritik baz mesafesi	4500 km

### 2.3. StaMPS

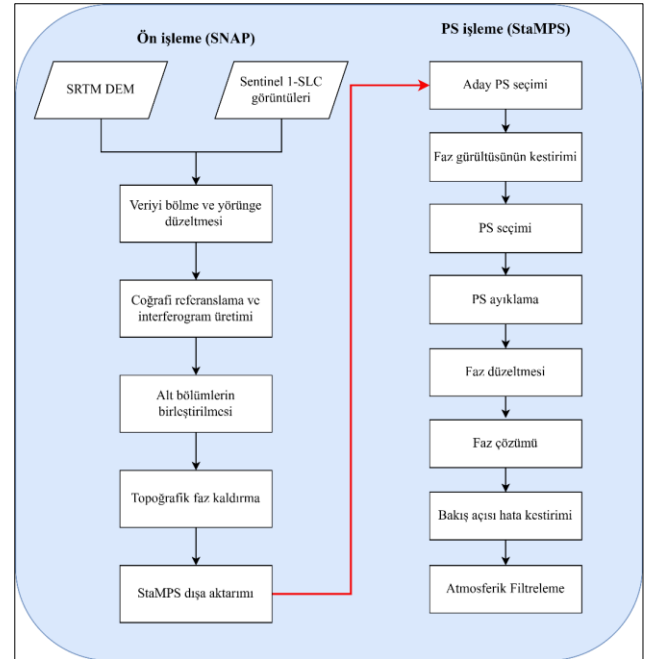
Bu çalışmada, Sentinel-1 SAR verileri, StaMPS yöntemi kullanılarak işlenmiş ve Konya ilinde meydana gelen yüzey deformasyonlarının zamansal ve mekânsal analizleri gerçekleştirilmiştir. StaMPS, geleneksel PSI (Persistent Scatterer Interferometry) yöntemlerinden geliştirilmiş olup, interferogram fazlarının uzamsal korelasyonunu kullanarak tüm arazi tiplerinde, yapılar gibi belirgin yapay nesnelere olsun ya da olmasın, düşük faz değişimine sahip pikselleri tespit edebilmektedir. Bu yöntem, yüzey deformasyonlarının tespit edilebilmesi için dört ana adımdan oluşmaktadır: interferogramların üretilmesi, faz kararlılığının tahmin edilmesi, PS noktalarının seçimi ve atmosferik etkilerin filtrelenmesi. İlk adımda, Sentinel-1 SAR verileri SNAP yazılımı ve snap2stamps araçları kullanılarak işlenmiştir. SAR veri setinde uygun alt bölümler ve patlamalar seçilmiş, kesin yörünge dosyaları uygulanmaktadır. Ardından, ana görüntü (master) seçimi, zamansal ve geometrik baz mesafesi, modellenmiş tutarlılık, yükseklik belirsizliği ve Doppler frekans değerleri dikkate alınarak seçilmektedir. Ana görüntünün seçilmesinden ardından geri kalan tüm bağımlı görüntüler (slave) SNAP'in Back Geocoding operatörü kullanılarak eşleştirilmiş ve interferogramlar oluşturulmuştur. Bu süreçte, topoğrafik faz bileşeni Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) dijital yükseklik modeli (1 arc-saniye çözünürlük) kullanılarak çıkarılmıştır. İkinci adımda, StaMPS yazılımı ile interferogram yığınındaki PS adayları genlik dağılım indeksi (DA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DA, her bir pikselin genlik değerlerinin standart sapmasının, ortalama genlik değerine oranı olarak tanımlanır ve bu hesaplama, genlik kararlılığı düşük piksellerin elenmesini sağlar. Üçüncü adımda, faz analizleriyle her bir pikselin faz kararlılığı değerlendirilmiş ve faz gürültüsünden arındırılarak PS noktaları tespit edilmiştir. Son adımda, seçilen PS noktaları üzerinden faz çözme işlemi gerçekleştirilmiş ve bu işlem sırasında, mekânsal olarak ilişkisiz bakış açısı hataları, atmosferik etkiler ve diğer faz hataları giderilmiştir. Giderilen bu

hataların ardından, çözülmüş faz değerleri kullanılarak Line of Sight (LOS) yönündeki yer değiştirme hızları yüksek doğrulukla hesaplanmıştır (Hooper ve ark., 2004; Tiwari ve ark., 2016; Lu ve ark., 2020; Gündüz, 2024).



**Şekil 2.** Dik baz mesafeleri.

Bu çalışmada, Mayıs 2018 ile Ağustos 2023 tarihleri arasında elde edilen toplam 298 Sentinel-1A SAR görüntüsü ESA'dan temin edilerek Konya ilindeki yüzey deformasyonlarının tespit edilmesi için kullanılmıştır. SAR veri setindeki ana görüntü (master) seçimi, zamansal (<1000 gün) ve dikey baz mesafeleri (<200 m) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil-2). Ayrıca, interferogramlardan topoğrafik fazı çıkarmak için bir arc-saniyelik çözünürlüğe sahip Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) dijital yükseklik modeli (~30 m x 30 m) kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan metodolojinin adımları ve süreçleri Şekil 3'te özetlenerek sunulmuştur.



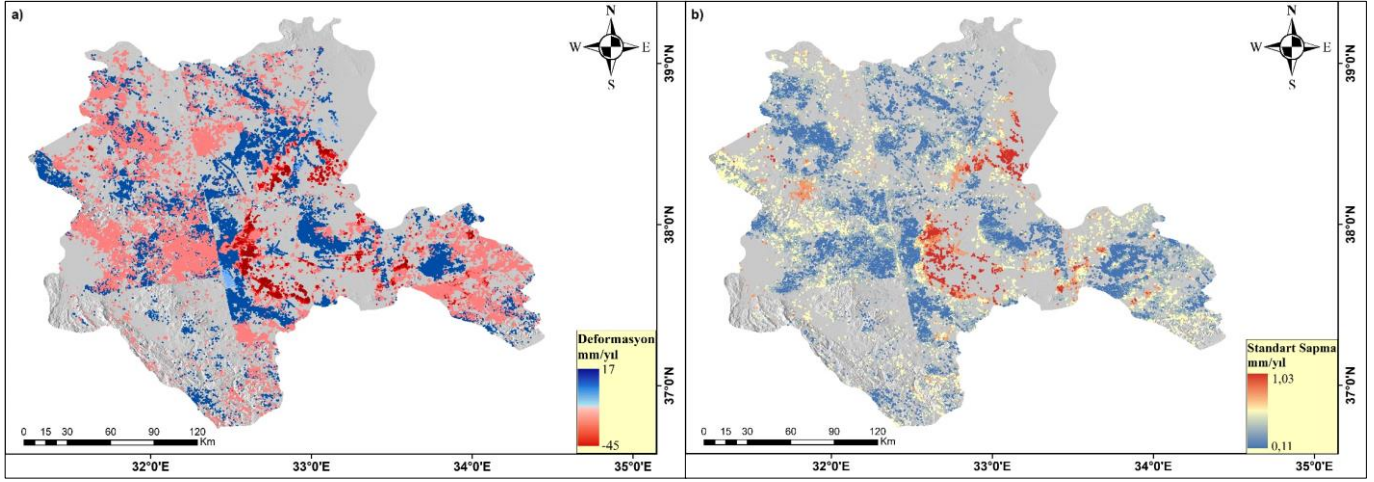
**Şekil 3.** SNAP ve StaMPS yazılımlarıyla uygulanan işlem adımları (Gündüz, 2024).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Konya il sınırlarını çevreleyen çalışma alanındaki yaklaşık 1900 günlük uzun dönem zemin çökmelerine ait deformasyon hız haritalarını elde etmek amacıyla 2018-2023 tarihleri arasında yükselen yörüngelerde algılanmış toplam 298 Sentinel-1A SAR görüntüsü PS-

InSAR yöntemiyle analiz edilmiştir. Toplam 1 milyon 450 bin PS noktasının üretildiği çalışma alanına ait LOS deformasyon hızları ve bu hızlara ait standart sapma haritaları Şekil 4'te verilmiştir. Çalışma bölgesine ait

üretilen deformasyon haritalarında kırmızı renk ile temsil edilen noktalar uydudan uzaklaşılan alanları, yeşil renkte olan noktalar sabit alanları ve mavi renkli noktalarsa uyduya yaklaşıl原因 alanları ifade etmektedir.



Şekil 4. a) Çalışma alanının LOS yönündeki PS-InSAR analiz sonucu b) LOS yönündeki hızların standart sapma haritası.

Çalışma sahasında elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde, tarım alanlarında 5 yıl süresince meydana gelen önemli değişimler nedeniyle zamansal korelasyonun azalması sebebiyle daha çok sabit saçıcı bulunan yerleşim merkezleri ve çevresinde ve bitki örtüsü olmayan dağlık alanlarda bu bölgelere göre daha fazla PS noktası üretildiği görülmektedir. PS noktalarının yoğunluğu bakımından tüm çalışma alanı incelendiğinde 40 bin km<sup>2</sup>'yi alan bölgenin büyük çoğunlukla temsil edildiği ve yorumlanabilir olduğuna ek olarak noktaların homojen olarak tüm çalışma alanına dağıldığı görülmektedir bu sebeple SAR görüntüleri arasındaki uyumun yüksek olduğu görüşüne varılmaktadır.

Tüm Konya ilini kapsayan çalışma alanına ait deformasyon haritaları incelendiğinde (Şekil 4a) LOS doğrultusunda yıllık hız değerlerinin -45 mm/yıl ile 17 mm/yıl arasında değiştiği görülmektedir. Bölgede üretilen tüm PS noktalarının yaklaşık %40'ı negatif (çökme) değerlerden oluşmaktadır bu da oldukça geniş yüz ölçümüne sahip ilin büyük bir kısmında zemin çökme sorunu yaşandığına işaret etmektedir. Çalışma alanını güney-batıdan sınırlayan Toros Dağlarının yer aldığı bölge ile Ahırılı ve Bozkır ilçelerinin bulunduğu alanda 0-10 mm/yıl arasında değişen yükselme değerlerine rastlanmaktadır. Güney-batı bölümünde konumlanan Hadim, Taşkent, Seydişehir ilçelerinde ve Güneysınır ilçesiyle bu bölgenin batısında kalan alanlarda ise -15 mm/yıl'a varan çökme değerleri elde edilmiştir. Çalışma alanının batı kısmını oluşturan ve Beyşehir gölüyle sınırlanan alanda Meram, Beyşehir ve Hüyük ilçelerinin çevresini kaplayan bölgede bulunan ve Konya şehir merkezinin batısında yükselen Aladağ, Takkeli Dağ, Kızılören Dağı ve güneye doğru uzanan Erenler Dağlarında çoğunlukla 0-10 mm/yıl yükselme değerleri görülmektedir. Bu bölgede konumlanan Loras Dağında ise yükselme değerleri 10-17 mm/yıl arasında değişmektedir. Meram, Beyşehir, Derbent ve Hüyük ilçelerinde dağlık alanlar dışında kalan topografyanın düzleştiği bölgelerde Beyşehir gölü dışında nokta

yoğunluğu oldukça yüksektir ve deformasyon değerleri -15mm/yıl'a ulaşmaktadır.

Çalışma alanını kuzey-batıdan sınırlayan Sultandağlarına komşu olan Akşehir ilçesinde düz ve açık bölgelerde düşey yönde değişimler negatif yönde 15mm/yıl olarak gözükmemektedir. Benzer durum Ilgın, Tuzlukçu, Yunak ve Çeltik ilçelerinde de görülmektedir. Özellikle Tuzlukçu ve Yunak ilçeleri arasında bulunan ve yükseklikleri yaklaşık 1500 m civarında olan Dede Dağı ve çevresinde 10 mm/yıl'a varan yükselmeler gözükürken, bu ilçelerdeki düz ve açık bölgeler de düşey deformasyonlar -15 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Ayrıca Tuzlukçu ilçe merkezinde ise zemin çökme değerleri -30 mm/yıl'a varmaktadır. Çalışma bölgesinin kuzey kısmında yer alan Selçuklu ilçesini batısından, Kadınhanı ve Sarayönü ilçelerini de güneyinden sınırlayan Bozdağlar ve Takkeli Dağ'da 10 mm/yıl yükselme değerleri görülürken, Kadınhanı ve Sarayönü ilçelerinin kuzey kısımlarındaki düz alanlarda -15 mm/yıl'a varan düşey yönlü değişimler yoğun şekilde görülmektedir. Buna ek olarak Konya'nın merkez ilçelerinden biri olan Selçuklu ilçesinin dağlık olan batı kesimleri dışında kalan bölümünde zemin çökme değerlerinin -30 mm/yıl'a kadar ulaşması yüksek nüfuslu ilçelerden biri olan Selçuklu için dikkat çekicidir. Bölgenin kuzey-batısında yer alan Altınekin, Cihanbeyli ve Kulu ilçelerinde maksimum ve minimum yükselme-çökme değerleri görülmektedir. Cihanbeyli ilçesinde Tersakan gölü ve çevresinde 17mm/yıl'a varan yükselme değerleri olup ilçenin güneyine inildikçe düşey deformasyon değerleri -30 mm/yıl'a ulaşmaktadır. Altınekin ilçesinde kuzey-güney uzanımlı devam eden ve yaklaşık 1500 m yüksekliğe sahip Harami tepesiyle sonlanan dağ ve tepelerde yükselme değerleri görülmektedir. İlçeyi doğu ve batı olarak ikiye ayıran topografyanın iki ayrı bölümünde kalan ova bölgelerinde ise zemin çökme değerleri maksimum olan -45 mm/yıl'a kadar uzanmaktadır.

Çalışma bölgesini doğudan sınırlayan Emirgazi, Ereğli ve Halkapınar ilçelerinde hız değerleri çoğunlukla +10

mm/yıl ile -15 mm/yıl değerleri arasında değişse de Ereğli ilçesinin kuzeyinde bulunan bölgede -30 mm/yıllık çökme değerleri görülmektedir. Konya il şehir merkezi, Karatay ilçesi, Karapınar ve Çumra bölgelerinde çalışma kapsamında elde edilen en yüksek düşey deformasyon değerleri görülmektedir. -45 mm/yıl'a varan düşey zemin hareketleri bu bölgelerde yoğunlukla görülmektedir ve zemin çökmesi tüm ilçeler dikkate alınarak değerlendirildiğinde zemin çökmesi problemine en fazla maruz kalan alanların bu bölgelerde olduğu görülmektedir. Özellikle bu bölgelerin ayrılmamış kuvaterner birimlerde bulunması da bölgedeki çökme değerlerinin litolojik birimlerle olan güçlü ilişkisini göstermektedir (Tablo 2). Buna ek olarak Şekil 4a'da verilen ortalama deformasyon hız haritalarına ait standart sapma değerleri ise 0,1 mm/yıl ile 1 mm/yıl aralığında değişmekte olduğu ve standart sapma değerlerinin yaklaşık %40'unun 0,7 mm/yıl üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4b).

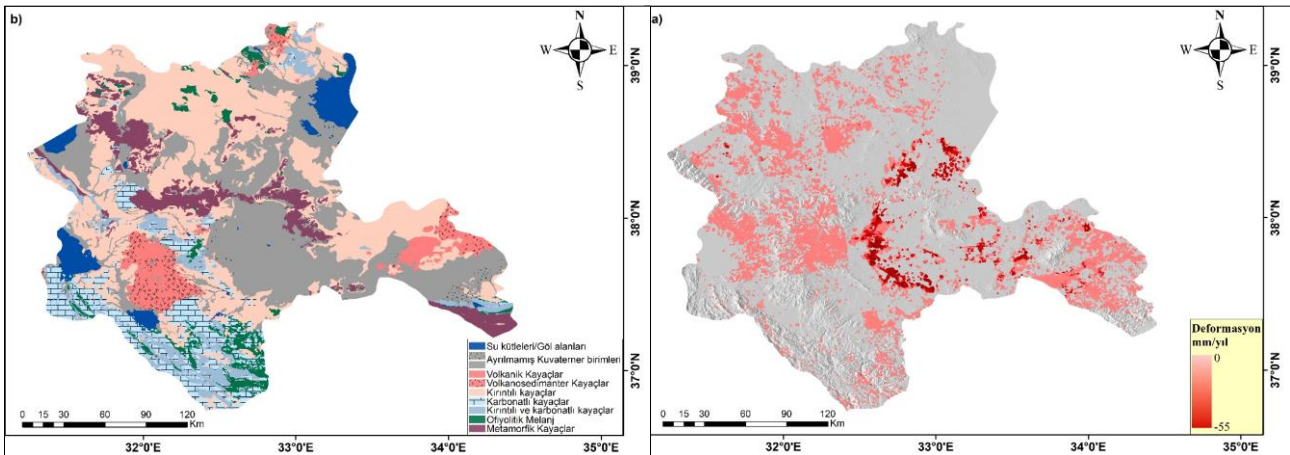
**Tablo 2.** Litolojik birimlere göre elde edilen LOS değerleri.

Litolojik Birimler	Min (mm)	Maks (mm)
Ayrılmamış kuvaterner	-45	15
Volkanik kayalar	-30	5
Kırıntılı kayalar	-28	16
Karbonatlı kayalar	-20	17
Kırıntılı ve karbonatlı kayalar	-20	17
Ofiyolitik Melanj	-7	7
Metamorfik kayalar	-7	10

Elde edilen sonuçlar bölgede SAR teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında farklı SAR teknikleri, zaman periyotları içerse de bu çalışmadan elde edilen bulgular ile Üstün ve ark. (2015), Canaslan-Çomut, (2016) ve Calò ve ark. (2017)'den elde edilen sonuçlar deformasyonların yoğunlaştığı bölgeler ve elde edilen deformasyon değerleri açısından uyum göstermektedir. Weiss ve ark. (2020) tarafından tüm Türkiye ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmada maksimum deformasyon hızı -20 mm/yıl olarak elde edilmiştir. İki çalışma arasında elde edilen hızlar arasında farklılıklar

bulunsa da iki çalışmada da benzer olarak deformasyonun yoğunlukla gerçekleştiği bölgeler Konya il merkezi, Karapınar, Çumra ve Altınkin çevresinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışma kapsamında da incelenen ve Konya şehir merkezini konu alan Şireci ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlar ve şehir merkezinde deformasyonun en yüksek görüldüğü alanlar, bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir. Kızıllırmak ve Çakır (2024), tarafından gerçekleştirilen ve bu çalışmanın oldukça küçük bir alanını kapsayan Konya şehir merkezinin kuzey-batısındaki bir alanın incelendiği çalışmadan elde edilen hız değerleri -40 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. İki çalışmadan elde edilen hız değerleri ve deformasyon deseninin Konya şehir merkezinden kuzey-batı yönünde ilerleyişi göz önünde bulundurulduğunda iki çalışmadan elde edilen bulgular birbiriykle oldukça uyumludur.

Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü (2021), tarafından hazırlanan rapora göre Konya ilinin 4 milyon hektarı aşan yüzölçümünün yaklaşık yarısını tarım alanları %25'ine yakınına ise mera alanları oluşturmaktadır. Tarım alanlarının yaklaşık %80'ini oluşturan tarla ürünlerinde Arpa, Buğday gibi ürünlerin yanı sıra mısır, şeker pancarı, ayçiçeği ve yonca gibi yüksek su gereksinimi olan tarım ürünleri de bulunmaktadır ve bu ürünlerden en yüksek üretim 2023 yılı itibarıyla yaklaşık 8 ton ile şekerpancarına aittir (Dursun, 2022; KTİ, 2023). Bu çalışma sonucunda elde edilen zemin çökme değerlerinin yüksek olduğu bölgeler incelendiğinde bu bölgelerin yoğunlukla ekilebilir tarım arazilerinde yoğunluk gösterdiği belirlenmiştir ve bu durumda yoğun tarımsal sulamanın etkisi olduğu düşünülmektedir. Önceki çalışmalarda (Calò et al., 2017; Weiss et al., 2020; Şireci et al., 2021), incelenen çalışma alanında ve çevresinde meydana gelen arazi çökmesinde düşey bileşenin baskın olduğu belirtilmiştir. Buna ek olarak, tek boyutlu olan LOS değerlerinin GNSS gibi üç boyutlu sistemlerle karşılaştırılabilmesi için bu değerlerin düşey yer değişimlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, çalışma bölgesi için yatay etkinin ihmal edilebilir olduğu varsayımıyla, LOS doğrultusundaki yer değişimi düşey yer değişimine dönüştürülmüş ve litolojik birimlerle ilişkisi irdelenmiştir (Şekil 5 a,b).



**Şekil 5.** a) Düşey yönlü deformasyon haritası b) Bölgedeki litolojik birimler.



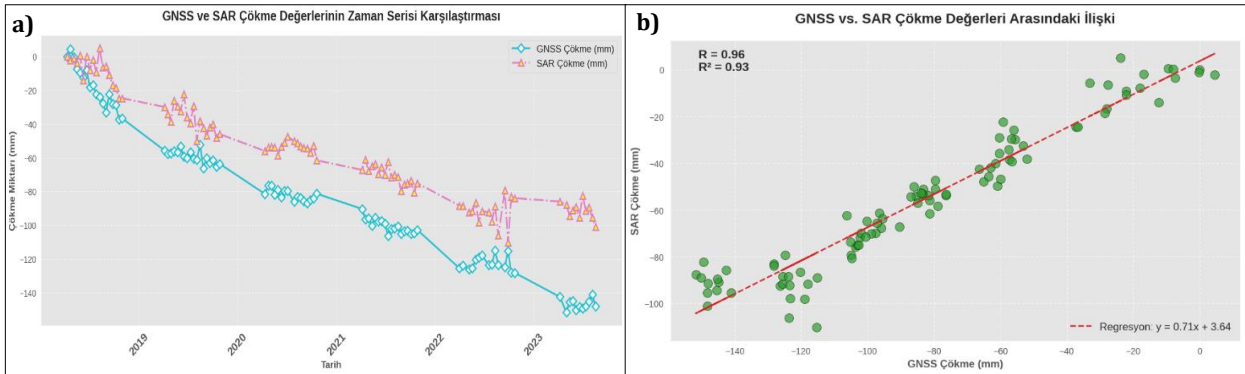
Çalışma alanının litolojik birimlerinin dağılımı incelendiğinde, kırıntılı kayalıklara bölgede yoğun olarak gözlemlenmektedir. Güney kesimlerde ise bu birimler, yoğunlukla karbonatlı kayalar ve ofiyolitik melanj ile sınırlanmaktadır. Bölgenin doğu ve batı sınırlarına yakın kesimlerinde volkanik kayalar belirgin bir şekilde yer almakta, buna karşın ayrılmamış kuvaterner birimler ve alüvyonal yelpazeler ise geniş alanlara yayılmaktadır (Şekil 5b). Çalışma alanında bulunan metamorfik, karbonatlı, kırıntılı karbonatlı kayalar ile ofiyolitik melanj birimlerinde çökmeler diğer birimlere göre nadiren görülmekte ve en yüksek 25mm/yıllık değerlere rastlanılmaktadır. Bölgenin doğu ve batısında bulunan volkanik ve volkanosedimanter kayaların özellikle doğu bölümünde bulunan birimlerde çökme değerlerinin yoğunlaştığı ve 50mm/yıl'a varan değerler görülmektedir. Çökme değerlerinin kırıntılı kayaların bulunduğu bölgelerden özellikle Kadınhanı ve Sarayönü'nün kuzeyi ile Hüyük ve Emirgazi ilçelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Çalışma alanının geniş bir kısmına yayılan kırıntılı kayalarda görülen en yüksek çökme değeri ise Tuzlukçu ilçesinin bulunduğu bölgede 40mm/yıllık olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgulara göre zemin çökme değerlerinin en yüksek olduğu bölgeler Konya merkez ilçeleri (Selçuklu, Meram, Karatay), Karapınar, Çumra, Altınekin ve Tuzlukçu'dur. Bu bölgelerde zemin çökme değerleri çoğunlukla -30mm/yıl ile -55mm/yıl arasında değişmektedir.

Zemin çökmelerinin en şiddetli yaşandığı bölgelerin litolojik birimleri incelendiğinde ise çökme değerlerinin Kuvaterner alüvyon fan ve depozitleri boyunca dağıldığı gözlemlenmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda, yüksek zemin çökme değerlerinin (-30mm/yıl ile

-55mm/yıl) gözlemlendiği bölgelerde ayrılmamış kuvaterner birimlerin belirleyici bir rol oynadığı görülmektedir. Bu alanlarda, özellikle kuvaterner alüvyon fan ve depozitlerinin ince taneli, gevşek yapıda ve mekanik dayanımın düşük olması, yük altında daha kolay sıkışmaya sebep olmaktadır. Yer altı suyu seviyelerindeki değişimlerin ve doğal sıkışma süreçlerinin etkisiyle, bu sedimanter birimlerde çökme oranları artmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular ayrılmamış kuvaterner alanların varlığının, yüksek zemin çökme değerleriyle doğrudan ilişkilendirilebilecek önemli bir etken olduğuna işaret etmektedir.

### 3.1. PS-InSAR sonuçlarının GNSS verileriyle karşılaştırılması

SAR ve GNSS tekniklerinden elde edilen sonuçları nokta bazında karşılaştırmak amacıyla, çalışma alanı içinde bulunan Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) istasyonlarından yararlanılmıştır (URL-1). Bu amaçla öncelikle, KNY1 istasyonunun GNSS zaman serileri ve çevresindeki PS noktalarının zaman serisi oluşturulmuştur. SAR görüntülerinden yorumlanan deformasyon verilerinin LOS boyunca tek boyutlu olmasından dolayı, bu değerleri GNSS veri seti ile karşılaştırabilmek adına Pepe ve ark. (2016) ve Floris ve ark. (2019)'da verilen denklemler kullanılarak LOS değerleri dikey yer değiştirmelere dönüştürülmüştür. LOS değerlerinin dönüştürülmesinden sonra, her bir SAR görüntüsüne karşılık gelen toplam 96 günlük GNSS yer değiştirme değerleri karşılaştırılmış ve Şekil 6'a da verilmiştir.



Şekil 6. (a) GNSS ve SAR çökme değerlerinin zaman serisi karşılaştırması, (b) GNSS ve SAR çökme değerleri arasındaki doğrusal ilişki.

2018 ile 2023 yılları arasındaki zaman diliminde, GNSS çökme değerleri toplamda 14 cm'e varan bir çökme gösterirken, karşılaştırmada kullanılan ilgili PS pikseli için hesaplanan değerler 9-11 cm arasında değişmektedir. GNSS verilerinden elde edilen değerler daha yüksek olsa da iki veri grubunun benzer çökme desenleri izlediği görülmektedir. Çökme değerlerine ait zaman serileri incelendiğinde her iki veri setinde de doğrusal bir azalma gözlemlenmektedir; ayrıca, beş yıllık süre boyunca iki seri arasındaki korelasyon katsayısının 1'e oldukça yakın olması, her iki veri seti arasında oldukça iyi bir uyum olduğuna işaret etmektedir (Şekil 6b). Bu yüksek uyum ilgili GNSS istasyonunun

çökmelerin en yüksek değerde izlendiği kısımda bulunmasından ötürü kaynaklandığı ve farklı istasyonlar kullanılması durumunda iki veri seti arasında farklı korelasyon değerleri elde edilebileceği düşünülmektedir.

## 4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, PS-InSAR tabanlı bir yaklaşım kullanılarak tüm Konya il sınırlarını içerisine alan yaklaşık 40 bin km<sup>2</sup>'lik bir bölge içerisinde meydana gelen yüzey deformasyonları analiz edilmiştir. 2018-2023 yılları arasında Sentinel-1A SAR verileri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen



bulgular Konya'nın çoğu bölgesinin zemin çökmesinden etkilendiğini ve ilin belirli kesimlerinde yıllık 5 cm'ye varan zemin çökmelerinin yaşandığını ortaya koymuştur. Zemin çökmelerinin mekânsal dağılımı, bölgenin günümüzdeki halini almasını sağlayan jeolojik evrim ve litolojik birimler ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu göstermektedir. Çökme değerlerine yüksek oranda Kuvaterner dönemine ait alüvyal birikintiler içinde rastlanırken çalışma alanının kuzey ve güney batısında bulunan yükseltilerde deformasyon gözlenmemektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular yüksek düşey deformasyon değerlerinin alüvyal sediman tabakaların oluşturduğu bölgelerde yoğunlaştığına işaret etse de mevcut jeolojik yapının şiddetli zemin çökmesinde tek etken olmadığı ve antropojenik etkilerin de bu duruma katkıda bulunduğu belirtilmelidir. Küresel ölçekte yaşanan iklim değişikliğine bağlı olarak göl ile sulak alanların kuruması ve gelişen kuraklık sorununa ek olarak bölgede yürütülen tarım politikası ve nüfus artışının da zemin çökmelerinde önemli bir etken olarak öne çıktığı düşünülmektedir. Son yıllarda bölgede kentsel ve ekilebilir alanlarda yaşanan büyüme sonucunda artan su ihtiyacına ek olarak yetiştirilen tarım ürünlerinin yoğunlukla bölgenin hidrolojik ve iklimsel özelliklerine uymayan sulu tarım ürünleri (Mısır, şekerpancarı, ayçiçeği, yonca) olması da yeraltı sularının kontrolsüz ve aşırı kullanımına sebep olmaktadır.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre deformasyon değerlerinin zamansal değişimi geçmiş yıllarda bölgede gerçekleştirilen çalışmalar ile karşılaştırıldığında bölgedeki zemin çökmelerinin yaklaşık 20 yıllık bir periyotta artarak devam ettiğini göstermektedir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, Konya şehir merkezi, Karapınar, Çumra ve Altınekin başta olmak üzere zemin çökmelerinin geçmiş yıllara orana çok daha fazla genişleyerek tüm ilçelere etki ettiği görülmektedir. Bu çalışmada, Konya şehir merkezi ve 30'dan fazla ilçe ile ilgili detaylı zemin çökme bilgileri ve bunların bölgenin litolojik özellikleri ile ilişkisine ait bulgular sunulmaktadır ve büyük çevre ve ekonomik sorunlara yol açarak sürdürülebilirliğe zarar veren bu fenomenin önüne geçmek amacıyla karar vericiler için bir veri seti sunmak amaçlanmaktadır. Elde edilen sonuçların, Konya ilindeki zemin deformasyonu risklerini anlamada ve etkili çözümler geliştirmede önemli bir kaynak oluşturması beklenmektedir. Konya ili açısından, kentin su yönetim stratejilerinin gözden geçirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, tarım alanlarının ve yetiştirilen ürünlerin bölgenin jeolojik koşulları ve yarı-kurak iklim özellikleri göz önünde bulundurularak planlanması, sosyo-ekonomik zararların artmasını önlemek için kritik bir gerekliliktir.

#### Araştırmacıların katkı oranı

**Cemil Gezgin:** Literatür taraması, Makale yazımı, Analiz Düzenleme, Kontrol ve Yorum; **Halil İbrahim Gündüz:** Literatür taraması, Makale yazımı, Analiz, Düzenleme.

#### Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Kaynakça

- Ahmed, A. W., Kalkan, E., Guzy, A., Alacali, M., & Malinowska, A. (2020). Modeling of land subsidence caused by groundwater withdrawal in Konya Closed Basin, Turkey. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 382, 397-401.
- Akgül, M. A. (2018). Sentetik açıklıklı radar verilerinin taşkın çalışmalarında kullanılması: Berdan Ovası Taşkını. *Geomatik*, 3(2), 154-162.
- Alkhazraji, A., & Dash, J. (2025). Unveiling subsidence patterns: Time series analysis for land deformation investigation in the west-Qurna oil field, Iraq. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 37, 101411.
- Arabameri, A., Pal, S. C., Rezaie, F., Chakraborty, R., Chowdhuri, I., Blaschke, T., & Ngo, P. T. T. (2021). Comparison of multi-criteria and artificial intelligence models for land-subsidence susceptibility zonation. *Journal of Environmental Management*, 284, 112067.
- Aslan, G., Cakır, Z., Ergintav, S., Lasserre, C., & Renard, F. (2018). Analysis of secular ground motions in Istanbul from a long-term InSAR time-series (1992–2017). *Remote sensing*, 10(3), 408.
- Assennato, F., Smiraglia, D., Cavalli, A., Congedo, L., Giuliani, C., Riitano, N., Strollo, A., & Munafò, M. (2022). The impact of urbanization on land: A biophysical-based assessment of ecosystem services loss supported by remote sensed indicators. *Land*, 11(2), 236.
- Azarakhsh, Z., Azadbakht, M., & Matkan, A. (2022). Estimation, modeling, and prediction of land subsidence using Sentinel-1 time series in Tehran-Shahriar plain: A machine learning-based investigation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100691.
- Bayık, 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.
- Bilgilioğlu, B. B., Erten, E., & 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.
- Bonì, R., Herrera, G., Meisina, C., Notti, D., Béjar-Pizarro, M., Zucca, F., Gonzalez, P. J., Palano, M., Tomas, R., Fernandez, J., Fernandez-Merodo, J. A., Mulas, J., Aragon, R., Albert, C. G., & Mora, O. (2015). Twenty-year advanced DInSAR analysis of severe land subsidence: The Alto Guadalentín Basin (Spain) case study. *Engineering Geology*, 198, 40-52.
- Calò, F., Notti, D., Galve, J. P., Abdikan, S., Görüm, T., Pepe, A., & Balik Şanlı, F. (2017). Dinsar-Based detection of land subsidence and correlation with groundwater depletion in Konya Plain, Turkey. *Remote Sensing*, 9(1), 83.

- Canaslan Çomut, F., Lazecky, M., Ustun, A., and Yalvack, S.: Land Subsidence Detection in Agricultural Areas of Konya Closed Basin by PS-InSAR and GNSS Observations, FRINGE Workshop, Frascati, Italy, 23–27 March 2015.
- Canaslan-Çomut, F., 2016. Farklı yeryüzü özelliklerinde ileri InSAR teknikleri kullanılarak yüzey deformasyonlarının belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Canaslan-Çomut, F., Ustun, A., Lazecky, M., & Perissin, D. (2016). Capability of detecting rapid subsidence with Cosmo SkyMed and Sentinel-1 dataset over Konya city. In *Living planet symposium* (Vol. 740, p. 295).
- Delgado Blasco, J. M., Fomelis, M., Stewart, C., & Hooper, A. (2019). Measuring urban subsidence in the Rome metropolitan area (Italy) with Sentinel-1 SNAP-StaMPS persistent scatterer interferometry. *Remote Sensing*, 11(2), 129.
- Doğan, U., & Yilmaz, M. (2011). Natural and induced sinkholes of the obruk plateau and karapınar-hotamış plain, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40(2), 496-508.
- Du, Z., Ge, L., Li, X., & Ng, A. H. M. (2016). Subsidence monitoring over the Southern Coalfield, Australia using both L-Band and C-Band SAR time series analysis. *Remote Sensing*, 8(7), 543.
- Dursun, A. E. (2022). Risk analysis of natural sinkholes hazards in Karapınar basin (Konya, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 15(3), 279.
- Erdogan, H., Oktar, O., Gezgin, C., Poyraz, F., Arslan, N., & Yilmaztürk, F. (2021). Investigating the effects of groundwater level changes on GNSS observations in the Konya Closed Basin. *Earth Sciences Research Journal*, 25(4), 405-414.
- Erol, O. (1971). Geomorphological evidence of the recessional phases of the pluvial lakes in the Konya, Tuzgölü and Burdur basins in Anatolia. *Ankara University Annals of the Geographical Research Institute*, 3, 13-52.
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(5), 2202-2212.
- Floris, M., Fontana, A., Tessari, G., & Mulè, M. (2019). Subsidence zonation through satellite interferometry in coastal plain environments of NE Italy: a possible tool for geological and geomorphological mapping in urban areas. *Remote Sensing*, 11(2), 165.
- Galloway, D. L., Jones, D. R., & Ingebritsen, S. E. (Eds.). (1999). *Land subsidence in the United States* (Vol. 1182). Geological Survey (USGS).
- Gezgin, C. (2022). The influence of groundwater levels on land subsidence in Karaman (Turkey) using the PS-InSAR technique. *Advances in Space Research*, 70(11), 3568-3581.
- Goel, K., & Adam, N. (2012). An advanced algorithm for deformation estimation in non-urban areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 73, 100-110.
- Gündüz, H. İ. (2024). Türkiye'deki aktif volkanlarda meydana gelen yüzey deformasyonlarının jeodezik tekniklerle izlenmesi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı (yayımlanmamış) Doktora Tezi.
- Hakim, W. L., Achmad, A. R., & Lee, C. W. (2020). Land subsidence susceptibility mapping in jakarta using functional and meta-ensemble machine learning algorithm based on time-series InSAR data. *Remote Sensing*, 12(21), 3627.
- Haley, M., Ahmed, M., Gebremichael, E., Murgulet, D., & Starek, M. (2022). Land subsidence in the texas coastal bend: Locations, rates, triggers, and consequences. *Remote Sensing*, 14(1), 192.
- 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: Solid Earth*, 112(B7).
- 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).
- Hu, J., Li, Z. W., Ding, X. L., Zhu, J. J., Zhang, L., & Sun, Q. (2014). Resolving three-dimensional surface displacements from InSAR measurements: A review. *Earth-Science Reviews*, 133, 1-17.
- Kızılırmak, G., & Çakır, Z. (2024). Application of PS-InSAR and Diagnostic Train Measurement Techniques for Monitoring Subsidence in High-Speed Railway in Konya, Türkiye. *Infrastructures*, 9(9), 152.
- Konya Çevre Durum Raporu, KÇDR (2023). Konya İli 2023 Yılı Çevre Durum Raporu, Konya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Konya.
- Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü (2021). Konya Tarımı 2021, Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Koordinasyon ve Tarımsal Veriler Şube Müdürlüğü Enformasyon Birimi, 1-93.
- Konya Tarım İstatistikleri, KTİ (2023). Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Konya, Türkiye, 1-104.
- Kuzucuoglu, C., Parish, R., & Karabiyikoglu, M. (1998). The Dune Systems of the Konya Plain (Turkey): Their Relation to Environmental Changes in Central Anatolia during the Late Pleistocene and Holocene. *Geomorphology*, 23, 257–271.
- Li, C., Wang, Y., Yu, J., Gong, H., Li, X., Yang, X., ... & Shao, K. (2025). Estimation of inelastic skeletal storativity based on SAR-derived land subsidence and groundwater variation in Beijing Plain, China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 57, 102161.
- Lu, P., Han, J., Hao, T., Li, R., & Qiao, G. (2020). Seasonal deformation of permafrost in Wudaoliang basin in Qinghai-Tibet plateau revealed by StaMPS-InSAR. *Marine Geodesy*, 43(3), 248-268.
- Machowski, R., Rzetala, M. A., Rzetala, M., & Solarski, M. (2016). Geomorphological and hydrological effects of subsidence and land use change in industrial and urban areas. *Land Degradation & Development*, 27(7), 1740-1752.
- Mahdavidard, M., Ahangar, S. K., Feizizadeh, B., Kamran, K. V., & Karimzadeh, S. (2023). Spatio-Temporal monitoring of Qeshm mangrove forests through machine learning classification of SAR and optical images on Google Earth Engine. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(3), 239-250.

- Marfai, M. A., & King, L. (2007). Monitoring land subsidence in Semarang, Indonesia. *Environmental Geology*, 53, 651-659.
- Nhangumbe, M., Nascetti, A., & Ban, Y. (2023). Multi-temporal Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 MSI data for flood mapping and damage assessment in Mozambique. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(2), 53.
- Oktar, O., Erdoğan, H., Poyraz, F., & Tiryakioğlu, İ. (2021). Investigation of deformations with the GNSS and PSInSAR methods. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-16.
- Özdemir, A. (2016). Sinkhole susceptibility mapping using logistic regression in Karapınar (Konya, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2016, 75, 681-707.
- Özdemir, A. (2015). Investigation of sinkholes spatial distribution using the weights of evidence method and GIS in the vicinity of Karapınar (Konya, Turkey). *Geomorphology*, 245, 40-50.
- Pepe, A., Bonano, M., Zhao, Q., Yang, T., & Wang, H. (2016). The use of C-/X-band time-gapped SAR data and geotechnical models for the study of Shanghai's ocean-reclaimed lands through the SBAS-DInSAR technique. *Remote Sensing*, 8(11), 911.
- Poyraz, F., & 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, 1-11.
- Sarış, F., & Gedik, F. (2021). Konya Kapalı Havzası'nda meteorolojik kuraklık analizi. *Coğrafya Dergisi*, (42), 295-308.
- Sefercik, U. G., Nazar, M., & Görken, M. (2025). DInSAR ve MT-DInSAR Teknolojileri ile Afet Erken Uyarı, Tespit, İzleme ve Yönetimi. *Geomatik*, 10(2), 251-273.
- Sekkeravani, M. A., Bazrafshan, O., Pourghasemi, H. R., & Holisaz, A. (2022). Spatial modeling of land subsidence using machine learning models and statistical methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(19), 28866-28883.
- Shrestha, P. K., Shakya, N. M., Pandey, V. P., Birkinshaw, S. J., & Shrestha, S. (2017). Model-based estimation of land subsidence in Kathmandu Valley, Nepal. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 974-996.
- Susilo, S., Salman, R., Hermawan, W., Widyaningrum, R., Wibowo, S. T., Lumban-Gaol, Y. A., Meilano, I., & Yun, S. H. (2023). GNSS land subsidence observations along the northern coastline of Java, Indonesia. *Scientific Data*, 10(1), 421.
- Şengör A. M. C. (1980). Principles of neotectonics of Turkey. In: *Geological Society of Turkey Conference Series 2*, pp. 40, Ankara.
- Şimşek, F. F. (2023). Optik ve radar görüntüleri ile aşırı gradyan artırma algoritması kullanılarak tarımsal ürün desen tespiti. *Geomatik*, 9(1), 54-68.
- Şireci, N., Aslan, G., & Çakır, Z. (2021). Long-term spatiotemporal evolution of land subsidence in Konya metropolitan area (Turkey) based on multisensor SAR data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(5), 681-697.
- Tao, T., Liu, J., Qu, X., & Gao, F. (2019). Real-time monitoring rapid ground subsidence using GNSS and Vondrak filter. *Acta Geophysica*, 67, 133-140.
- Tiwari, A., Dwivedi, R., Dikshit, O., & Singh, A. K. (2016). A study on measuring surface deformation of the L'Aquila region using the StaMPS technique. *International Journal of Remote Sensing*, 37(4), 819-830.
- Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., Potin, P., Rommen, B., Floury, N., Brown, M., & Rostan, F. (2012). GMES Sentinel-1 mission. *Remote Sensing of Environment*, 120, 9-24.
- Tzampoglou, P., Iliä, I., Karalis, K., Tsangaratos, P., Zhao, X., & Chen, W. (2023). Selected worldwide cases of land subsidence due to groundwater withdrawal. *Water*, 15(6), 1094.
- Ulu, Ü. (2009). Geological Maps of Turkey Karaman-M30 Sheet. In *General Directorate of Mineral Research and Exploration; General Directorate of Mineral Research and Exploration: Ankara, Turkey.*
- URL-1: <https://www.harita.gov.tr/public/sunum/>  
Accessed date: 11 Ocak 2025
- Üstün, 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.
- Üstün, A., Tuşat, E., Yalvac, S., Özkan, İ., Eren, Y., Özdemir, A., Bildirici, İ. Ö., Üstüntaş, T., Kırtıoğlu, O. S., Mesutoğlu, M., Doğanalp, S., Canaslan, F., Abbak, R. A., Aşar, N. B., & Şimşek, F. F. (2015). Land subsidence in Konya Closed Basin and its spatio-temporal detection by GPS and DInSAR. *Environmental Earth Sciences*, 73, 6691-6703.
- Weiss, J. R., Walters, R. J., Morishita, Y., Wright, T. J., Lazecky, M., Wang, H., Hussain, E., Hooper, A. J., Elliot, J. R., Rollins, C., & Parsons, B. (2020). High-resolution surface velocities and strain for Anatolia from Sentinel-1 InSAR and GNSS data. *Geophysical Research Letters*, 47(17), e2020GL087376.
- Yağmur, N., Tanık, A., Tuzcu, A., Musaoğlu, N., Erten, E., & Bilgilioglu, B. (2020). Opportunities provided by remote sensing data for watershed management: example of Konya Closed Basin. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(3), 120-129.
- Yılmaz, M. (2010). Karapınar çevresinde yeraltı suyu seviye değişimlerinin yaratmış olduğu çevre sorunları. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(2), 145-163.
- Yu, J., & Wang, G. (2016). GPS-derived ground deformation (2005-2014) within the Gulf of Mexico region referred to a stable Gulf of Mexico reference frame. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(7), 1583-1602.
- Zhang, H., Dang, X., Zhao, J., & Lu, M. (2024). Analysis and prediction of ground deformation in Yinxi Industrial Park based on time-series InSAR technology. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(4), 359.
- Zhang, L., Ding, X., & Lu, Z. (2015). Ground deformation mapping by fusion of multi-temporal interferometric synthetic aperture radar images: A review. *International journal of image and data fusion*, 6(4), 289-313.
- Zhang, P., Guo, Z., Guo, S., & Xia, J. (2022). Land subsidence monitoring method in regions of variable

radar reflection characteristics by integrating PS-InSAR and SBAS-InSAR techniques. *Remote Sensing*, 14(14), 3265.

Zhong, W., Chu, T., Tissot, P., Wu, Z., Chen, J., & Zhang, H. (2022). Integrated coastal subsidence analysis using InSAR, LiDAR, and land cover data. *Remote Sensing of Environment*, 282, 113297.



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>