

# Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi

## Journal of Geomorphological Researches

© Jeomorfoloji Derneği

www.dergipark.gov.tr/jader

E - ISSN: 2667 - 4238




### Araştırma Makalesi / Research Article

## İNSAR ZAMAN SERİLERİ İLE DÜŞEY YÜZEY DEFORMASYONLARININ BELİRLENMESİ: BOLLUK VE TERSAKAN GÖLLERİ ÇEVRESİ (KONYA KAPALI HAVZASI)

### Determination of vertical surface deformations using InSAR time series: Bolluk and Tersakan Lakes region (Konya Closed Basin)

Ömer Faruk ATİZ<sup>a</sup> & Süleyman Savaş DURDURAN<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Sorumlu Yazar / Corresponding Author

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Konya, TÜRKİYE  
oatiz@erbakan.edu.tr  <https://orcid.org/0000-0001-6180-7121>

<sup>b</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Konya, TÜRKİYE  
durduran2001@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-0509-4037>

#### Makale Tarihçesi

Geliş 11 Mayıs 2026

Kabul 15 Haziran 2026

#### Article History

Received 11 May 2026

Accepted 15 June 2026

#### Anahtar Kelimeler

InSAR, Sentinel-1, Deformasyon, Bolluk Gölü, Tersakan Gölü, Zemin Çökmesi

#### Keywords

InSAR, Sentinel-1, Deformation, Bolluk Lake, Tersakan Lake, Land Subsidence

#### Atıf Bilgisi / Citation Info

Atiz, Ö. F. & Durduran, S. S. (2026) InSAR Zaman Serileri ile Düşey Yüze Deformasyonlarının Belirlenmesi: Bolluk ve Tersakan Gölleri Çevresi (Konya Kapalı Havzası) / Determination of Vertical Surface Deformations Using InSAR Time Series: Bolluk and Tersakan Lakes Region (Konya Closed Basin), Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches, 2026 (17): 3

doi: 10.46453/jader.1948451

#### ÖZET

Yüze de formasyonlarının izlenmesinde Interferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR) tekniği son yıllarda birçok çalışmada kullanılmaktadır. Zamansal-mekânsal kapsam ve maliyet bakımından oldukça etkin olan InSAR tekniği zemin çökmelerinin tespitinde başarıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmada Ekim 2014 ve Mayıs 2023 tarihleri arasında yaklaşık 9,5 yıllık Sentinel-1 InSAR zaman serisi kullanılarak Konya Kapalı Havzası'nın Bolluk ve Tersakan Gölleri çevresindeki düşey de formasyonların büyüklüğü ve mekânsal dağılımı araştırılmıştır. Yükselen yörengeden 1542 ve alçalan yörengeden 1099 LiCSAR interferogram ürünü, LiCSBAS yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Uydu bakış açısı doğrudusunda (line-of-sight: LOS) elde edilen hız bileşenleri, ayrıştırma işlemi yapılarak düşey bileşene dönüştürülmüştür. Ayrıca düşey hızlar, Cihanbeyli ilçe merkezinde bulunan CIHA GNSS (Global Navigation Satellite System) istasyonunun hız değerleri esas alınarak kalibre edilmiştir. Düşey de formasyonlar çalışma alanının önemli bir bölümü için zemin çökmesi şeklinde görülmüştür. InSAR analizi sonuçlarına göre -114 mm/yıl'a varan düşey de formasyon hızları tespit edilmiştir. Bolluk Gölü'nün kuzeydoğusundaki traverten konileri ve dolinlerin olduğu kısımlarda -40 ila -50 mm/yıl arasında de ğişen zemin çökme hızları bulunmuştur. Günyüzü ve Taşpınar mahalle sınırlarında kalan İnsuyu Formasyonu üzerindeki tarım arazilerinde ise ortalama -60 mm/yıl düşey de formasyon hızları gözlemlenmiştir. Tersakan Gölü'nün güneydoğusundaki tuz bataklığı alanlarında zemin çökme hızının -60 ila -80 mm/yıl arasında de ğiştiği görülmüştür. Tespit edilen de formasyon de ğerlerinin mekânsal deseninin sulu tarım ve yer altı suyu kullanımıyla ilişkili olabilecek karstik süreçler, tuz bataklığı alanındaki kompaksiyon gibi farklı antropojenik ve jeomorfolojik süreçlerle uyumlu olabileceği de ğerlendirilmiştir. Sentinel-1 tabanlı InSAR analizlerinin düşey yönlü yüze hareketlerinin izlenmesi ve veriye dayalı sürdürülebilir arazi yönetimi ve arazi kullanım politikalarının geliştirilmesine önemli katkılar sağlayabileceği düşünölmektedir.

#### ABSTRACT

In recent years, the Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) method has been widely used in many studies to monitor surface deformation. InSAR has been successfully applied in detecting land subsidence due to its high spatial and temporal coverage and cost-effectiveness. In this study, a Sentinel-1 time series covering approximately 9.5 years from October 2014 to May 2023 was used to investigate the magnitude and spatial distribution of vertical deformations in the Bolluk and Tersakan Lakes region within the Konya Closed Basin. A total of 1542 ascending and 1099 descending LiCSAR interferogram products were processed using LiCSBAS software. The velocities estimated along the satellite line-of-sight (LOS) directions were decomposed into vertical components. In addition, the vertical velocities were referenced based on velocity estimates from the CIHA GNSS (Global Navigation Satellite System) station located in the Cihanbeyli district center. The InSAR analysis results indicate that the maximum vertical deformation rate reached -114 mm/year. Subsidence rates around dolines and travertine cones in the northeastern part of Bolluk Lake ranged from -40 to -50 mm/year. In agricultural

fields within the Günyüzü and Taşpınar neighborhoods, located on the İnsuyu Formation, vertical deformation rates were approximately -60 mm/year on average. In the salt marshes located southeast of Tersakan Lake, vertical deformation velocities ranged from -60 to -80 mm/year. The spatial pattern of the detected deformation is consistent with karstic processes that may be associated with irrigated agriculture and groundwater use, as well as compaction in salt marsh areas and other anthropogenic and geomorphological processes. Sentinel-1-based InSAR analyses can contribute to monitoring vertical surface movements and developing data-driven sustainable land management and land-use policies.

© 2026 Jeomorfoloji Derneği / Turkish Society for Geomorphology  
Tüm hakları saklıdır / All rights reserved.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Land subsidence and sinkhole formation are increasingly reported worldwide and are often associated with human activities, particularly excessive groundwater extraction in karstic regions (Bagheri-Gavkosh et al., 2021; Khorrani et al., 2021; Öztürk et al., 2025; Gökkaya et al., 2026). In Türkiye, significant declines in groundwater levels have been observed in semi-arid regions with intensive agricultural activity, such as the Konya Closed Basin, resulting in deterioration of groundwater quality (Süzer, 2024). Since the timing of sinkhole formation cannot be precisely predicted, continuous monitoring is required in risk-prone areas (Bilgilioğlu et al., 2025).

Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) provides satellite-based, pixel-wise, and spatially continuous deformation measurements over large areas. In recent years, the Small Baseline Subset (SBAS) technique has been widely used for the continuous monitoring of risk-prone regions (Yagmur et al., 2022; Öztürk et al., 2025; Poyraz et al., 2025; Arıkan İspir & Makineci, 2026).

Bolluk-Tersakan Lakes region is an important area under anthropogenic pressure, since it hosts numerous geomorphosite features, including karstic landforms like travertine cones, tufa deposits, micromounds, dolines, as well as salt pans around lakes used for mineral extraction (Polat & Ege, 2018; Pınar & Tuncer, 2019; Uzun & Garipağaoğlu, 2026). In this study, the magnitude, rate, and spatial distribution of vertical surface deformations in and around the Bolluk-Tersakan Lakes region were determined using approximately 9.5 years of Sentinel-1 InSAR time series from 2014 to 2023. For this purpose, line-of-sight (LOS) deformation velocities derived from ascending and descending orbits were decomposed into

the vertical component using data from ascending and descending orbits. The resulting vertical velocities were referenced using a continuous GNSS station and compared with land use, lithology, and karstic landforms.

### Material and Method

The study area is located southwest of Tuz Lake, within the boundaries of the Konya Closed Basin. It covers Bolluk Lake, Tersakan Lake, and their surroundings in Cihanbeyli, Konya. A substantial part of the study area consists of agricultural lands (Figure 1). Konya Closed Basin contains more than 100,000 registered and unregistered wells, many used for irrigation (Arık & Dülger, 2023).

Lithology plays an important role in the investigation of surface deformations in the study area (Figure 2). The Bolluk-Tersakan Lakes region is mainly characterized by four principal units namely, alluvial deposits, the Tuzgölü Formation, the İnsuyu Formation, and the Cihanbeyli Formation (Bilgilioğlu et al., 2025). The Quaternary Tuzgölü Formation, which covers approximately 75% of the study area, mainly consists of gravel, sand, silt, carbonate deposits, and locally gypsum-bearing units. The Neogene Cihanbeyli Formation consists of terrestrial clastic deposits such as conglomerate, sandstone, and clay, and includes carbonate units in its upper levels (Ulu et al., 1994; Arık et al., 2022). The Upper Miocene-Lower Pliocene İnsuyu Formation is mainly composed of carbonate deposits such as limestone, marl, and sandy limestone, together with heterogeneous clastic units.

In addition, sinkholes observed in the study area indicate the presence of active geomorphological processes, while travertine cones in the northern part of Bolluk Lake are defined as fossil topography (Polat, 2011; Pınar

et al., 2018; Polat & Ege, 2018; Uzun & Garipağaoğlu, 2026). In evaporitic basins, minerals such as salt and gypsum, as well as clay and alluvial deposits exist in response to evaporation conditions (Öztürk et al., 2025). In these regions, surface deformations can be affected by dissolution, sediment compaction and groundwater decline.

LiCSAR unwrapped interferogram and coherence products at  $0.001^\circ$  (~100 m) resolution were used for the period between 1 October 2014 and 3 May 2023 (Lazecıký et al., 2020). Details of the InSAR data processing workflow are presented in Figure 3. Using Equation 2, the vertical deformation velocity ( $V_D$ ) was calculated from the LOS deformation velocities. Vertical velocities were referenced to CIHA GNSS station.

### Findings

The LOS velocities estimated from the ascending and descending orbit observations are presented in Figures 4 and 5. LOS velocities ranged from -75.4 to 36.2 mm/year for the ascending orbit and from -112.0 to 34.0 mm/year for the descending orbit, with mean velocities of -3.77 and -3.70 mm/year, respectively. Five sites were selected for detailed evaluation (S1, S2, S3, S4, and Günyüzü Sinkhole).

The vertical deformation velocities referenced to the GNSS station are presented in Figure 6. Vertical velocities ranged from -114.1 to 20.8 mm/year, with a mean of -14.8 mm/year. Major subsidence zones were detected north of Bolluk Lake (-40 to -50 mm/year), southwest of Karadağ, where rates reached 114 mm/year in magnitude, and southeast of the study area (-60 to -80 mm/year). The cumulative displacement time series in the LOS direction from the ascending and descending orbits for the selected investigation sites (S1, S2, S3, S4, and Günyüzü Sinkhole) are presented in Figure 7.

### Discussion

Field observations on 23 April 2026 supported the interpretation of the InSAR results. At S1, a previously reported subsidence doline showed about -25 cm cumulative LOS displacement between 2014 and 2023, supporting ongoing deformation. The travertine cones were

spatially consistent with the vertical deformation zones.

At S3, sprinkler irrigation systems and abundant carbonate rock fragments were observed in agricultural fields over the İnsuyu Formation. Seasonal variations in the time series may be associated with wet winter periods, groundwater-level changes, and karstification processes. The combination of sinkhole-prone lithology and intensive groundwater extraction increases hazard potential.

At S4, whitish-gray soil and dense thorny vegetation were observed over the marsh units of the Tuzgölü Formation. Given the higher solubility of lacustrine salts compared to carbonate units, the deformation in this low human activity area may be hydrogeological in origin.

The Kırkışla sinkhole formed in 2024, after the analysis period, in an area with a pre-existing subsidence trend, suggesting measurable deformation before collapse (Anadolu Ajansı, 2024). The mean subsidence rate of ~15 mm/year is generally consistent with previous InSAR/GNSS studies in the Konya Closed Basin (Üstün et al., 2015; Caló et al., 2017; Orhan et al., 2024; Gezgin & Gündüz, 2025).

### Result and Conclusions

Deformation was mainly concentrated in agricultural lands, natural grasslands north of Bolluk Lake, and salt-marsh areas southeast of Tersakan Lake. These patterns suggest different controlling mechanisms such as groundwater use and irrigation-induced karstification in agricultural areas over the İnsuyu Formation, anthropogenic and natural geomorphological processes near dolines and travertine cones, and evaporitic compaction in salt-marsh areas.

Future studies should integrate GNSS, InSAR, multispectral imagery, satellite gravimetry, and meteorological data to improve deformation monitoring and process interpretation. Continuous monitoring systems based on satellite and ground observations are strategically important for semi-arid agricultural basins such as the Konya Closed Basin and can support data-driven land and basin management policies.

## 1. GİRİŐ

Son yıllarda dnyanın farklı bölgelerinde zemin çökmeleri ve obruk oluşumları giderek daha sık grlmektedir (Khorrami vd., 2021; Öztürk vd., 2025; Gökkaya vd., 2026). Düşey deformasyonlar genellikle karbonatlı birimlerin çözünmesine bağlı olarak ortaya çıkan boŐlukların üzerindeki örtü yükünü taŐıyamaması sonucu geliŐen çökmeler veya gevŐek çökellerdeki kompaksiyon sonucu oturmalar Şeklinde meydana gelmektedir. INSPIRE (Avrupa Coğrafi Veri Altyapısı) direktiflerine göre her iki süreç de jeolojik ve hidrolojik doğal afetler kategorisinde sınıflandırılmaktadır (INSPIRE, 2015). Nitekim, lkemizde de doğal afet bölgelerinin belirlenmesine ilişkin doğal risk alanlarının mekânsal ve öznitelik veri standartları Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) çalışmaları kapsamında ortaya konmuştur (TUCBS, 2020). Düşey yönlü yüzey deformasyonları TUCBS kapsamında doğal tehlikeler kategorisinde oturma ve çökme olarak ifade edilen sınıfta değerlendirilmektedir. Zemin çökmelerine neden olan süreçler çoğunlukla insan aktiviteleriyle ilişkili olmakta ve özellikle yer altı sularının aşırı kullanımı karstik bölgelerde ciddi bir risk oluŐurmaktadır (Bagheri-Gavkosh vd., 2021). Zemin çökmeleri hem insan hayatını tehdit etmekte hem de farklı sosyoekonomik sorunları beraberinde getirmektedir.

Ülkemizde Konya Kapalı Havzası gibi yarı kurak iklime sahip ve yoğun tarımsal faaliyetlerin yrtldğu alanlarda yer altı suyu kullanımı giderek artmakta, belgeli ve belgesiz kuyuların sayısının ise 100.000'in üzerine çıktığı tahmin edilmektedir (Bozyiğit & Tapur, 2009; Dursun, 2022; Arık & Dülger 2023). Yer altı suyu seviyelerinde ciddi düŐüŐler yaŐanmakta ve buna bağlı olarak su kalitesi de azalmaktadır (Szer, 2024). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Konya İl Müdürlüğü tarafından obruk duyarlılık haritasının hazırlanmasına ilişkin tamamlanan proje kapsamında Konya Kapalı Havzası'nın önemli bir bölümünün yüksek ve çk yüksek riskli olduğu ortaya konmuştur (Arık vd., 2023). Riskli bölgeler çk disiplinli mühendislik yaklaŐımlarıyla belirlenebilmekte ancak obruk oluŐumunun zamanı kesin olarak tahmin edilememektedir (Bilgilioğlu vd., 2025).

Dolayısıyla riskli bölgelerde sürekli izleme çalıŐmalarının yapılması gerekmektedir. Ancak geniş ölçekli alanlarda bu çalıŐmaların yürütülmesi genellikle teknik ve ekonomik nedenlerle sınırlı kalmaktadır.

Sentetik açıklıklı radar (SAR) gözlemleri, yeryüzünün uydu radar sensörleri ile gece ve gündüz, hava koŐullarından bağımsız olarak izlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Geleneksel deformasyon ölçmeleri nivo ve total station (elektronik doğrultu ve mesafe ölçer) gibi aletler kullanılarak yersel tekniklere dayanırken, uzay teknolojilerindeki geliŐmelerle birlikte GNSS (Global Navigation Satellite System) gözlemleri deformasyon izleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya baŐlanmıŐtır. GNSS alıcılarıyla yeryüzünde istenen noktalarda sabit istasyonlar kurularak veya kampanya ölçüleri yapılarak, yüksek duyarlıklılı konum belirleme ve deformasyon ölçmeleri gerçekteŐtirilebilmektedir. GNSS gözlemleri ile tektonik hareketlerin belirlenmesi (Kurt vd., 2023; Duman vd., 2026), mühendislik lçmeleri (Kaloop vd., 2020; Ogutcu vd., 2023) ve zemin çökmelerinin izlenmesi (stn vd., 2015; Gezgin & Gündüz, 2025) gibi farklı alanlarda milimetre-santimetre mertebesinde deformasyon ölçmeleri yapılabilmektedir. Ancak yersel veya GNSS teknikleriyle deformasyon analizi genellikle belirli sabit noktalar için yapılmakta, nokta sayısının artırılması ise doğrudan arazi çalıŐmalarının iş yükünü ve maliyetini yükseltmektedir. Buna karŐın interferometrik SAR (InSAR) tekniği kullanıcılara geniş alanlar için uydu tabanlı, piksel bazlı ve mekânsal sürekliliğe sahip deformasyon gözlemleri sağlayabilmektedir. InSAR ile yeryüzündeki düşey yönlü deformasyonların belirlenmesi için farklı yöntemler geliŐtirilmiŐtir. Ancak riskli bölgelerin sürekli izlenmesi amacıyla InSAR zaman serilerinin iŐlenmesine dayanan SBAS (Small BAseline Subset) tekniği son yıllarda sıklıkla tercih edilmektedir (Yagmur vd., 2022; Öztürk vd., 2025; Poyraz vd., 2025; Arikan Ispir & Makineci, 2026).

Konya Kapalı Havzası sınırlarında bulunan Bolluk ve Tersakan Gölleri çevresi Bilgilioğlu vd. (2025) tarafından hazırlanan Konya ili obruk

duyarlılık haritasına göre, riskli ve yüksek riskli olarak sınıflandırılmaktadır. Bolluk-Tersakan Gölleri çevresi, karstik şekillerden traverten konileri, tufa çökelleri, mikro tümsekler, obruklar ve göl çevrelerindeki mineral çıkarım amaçlı tuzla alanları gibi çok sayıda ilgi çeken jeomorfofit niteliği taşıyan varlıklara sahip olup antropojenik baskılar altında olan önemli bir bölgedir (Polat & Ege, 2018; Pınar & Tuncer, 2019; Uzun & Garipağaoğlu, 2026). Son yıllarda Konya Kapalı Havzasının farklı bölgelerinde özellikle tarımsal sulamada yer altı sularının aşırı kullanımıyla ilişkili olarak çökme ve oturma niteliğindeki yüzey deformasyonları giderek artan sıklıkta raporlanmaktadır (Gezgin & Gündüz, 2025; Orhan vd., 2024). Konya Kapalı Havzası'nda farklı araştırmacılar tarafından GNSS ve InSAR tabanlı deformasyon analizleri gerçekleştirilmiş ve önemli zemin çökmeleri belirlenmiştir (Üstün vd., 2015; Caló vd., 2017; Orhan vd., 2024; Gezgin & Gündüz, 2025; Öztürk vd., 2025). Ancak Bolluk-Tersakan Gölleri çevresi özelinde InSAR zaman serileri kullanılarak düşey deformasyon hızlarının tespit edilmesi ve bu deformasyonların mekânsal deseninin arazi kullanımı, litoloji, obruklar ve traverten konileri gibi karstik şekillerle ilişkisinin ayrıntılı biçimde araştırılması gerekmektedir.

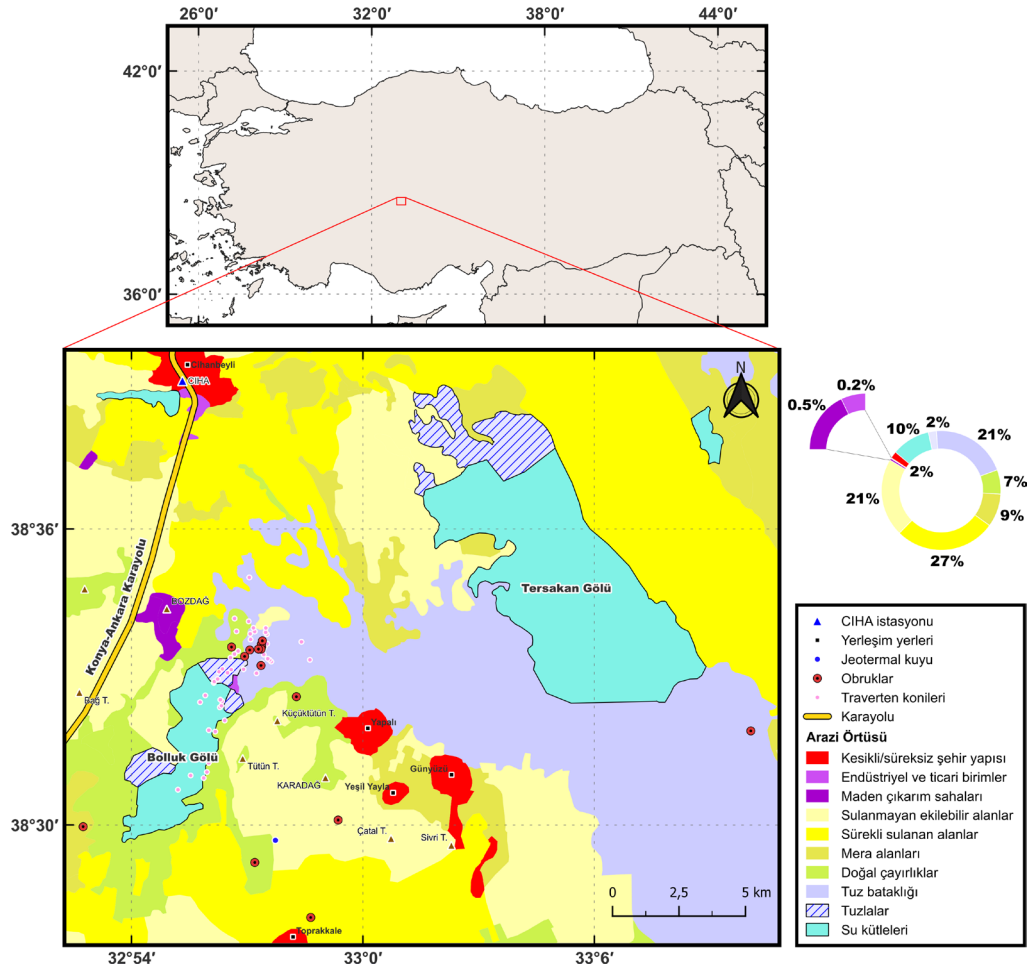
Bu çalışmada, 2014-2023 dönemine ait yaklaşık 9,5 yıllık Sentinel-1 InSAR zaman serileri kullanılarak Bolluk-Tersakan Gölleri ve çevresindeki düşey yönlü yüzey deformasyonlarının büyüklüğü, hızı ve mekânsal dağılımı tespit edilmiştir. Bu amaçla, yükselen ve alçalan yörüngelerden elde edilen uydu bakış açısı doğrultusundaki (line-of-sight: LOS) deformasyon hızları düşey bileşene dönüştürülmüş ve elde edilen hızlar çalışma alanı sınırlarındaki sabit GNSS istasyonu verilerine göre kalibre edilmiştir. Böylece kestirilen görelî deformasyon hızları uluslararası datuma referanslandırılmış olup, arazi kullanımı, litolojik birimler ve karstik

şekillerle olan mekânsal ilişkileri bakımından incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Tuz Gölü'nün güneybatısında olup Konya Kapalı Havzası sınırlarındadır. İdari olarak Konya ili Cihanbeyli ilçesi sınırlarında yer alan bölge, Bolluk Gölü ve Tersakan Gölü alanları ile çevresini kapsamaktadır. CORINE (Coordination of Information on the Environment) 2018 haritasının yüksek çözünürlüklü Google Earth uydu görüntüleri yardımıyla kısmen güncellenmesiyle oluşturulan arazi örtüsü/arazi kullanımı (AÖAK) haritası ve çalışma alanının konumu Şekil 1'de verilmiştir. Tuz Gölü'nün paleo kıyı sınırlarında bulunan çalışma alanının iklim tipi Köppen-Geiger sınıflamasına göre yarı-kurak (BSk) olarak nitelendirilmektedir (Polat & Ege, 2018; Taşoğlu vd., 2024). Çalışma alanının önemli bir kısmı bitki örtüsünden oluşmakta ve sürekli sulanan alanlar %27, sulanmayan ekilebilir alanlar %21, mera alanları %9, doğal çayırliklar %7 oranında yer kaplamaktadır. Su kütleleri ise yaklaşık %10'luk bir alanda görülmektedir. Bitki örtüsünden sonra en baskın sınıf Tersakan Gölü'nün güney kesimleriyle Bolluk Gölü arasında kalan tuz bataklığı alanları ve tuzlalardır. Görece düşük olan AÖAK sınıfları ise kesikli/süresiz şehir yapısı, maden çıkarım sahaları ile endüstriyel ve ticari birimlerden oluşmaktadır. Çalışma alanındaki başlıca endüstriyel alanlar, Cihanbeyli ilçe merkezindeki sanayi bölgesi ile Bolluk Gölü'nün kuzeyine kurulan sodyum sülfat üretim tesisidir. Sodyum sülfat üretim faaliyetleri Bolluk Gölü'nün bazı kısımlarının tuzlaya dönüşmesine neden olmuştur (Pınar vd., 2018). Bolluk ve Tersakan göllerinde yapılan uzaktan algılama tabanlı araştırmalar, su yüzey alanlarının son 40 yılda %70 civarında azaldığını ve bu düşüşün başlıca sebeplerinin artan hava sıcaklıkları ile antropojenik baskıların olduğu ifade etmektedir (Uzun, 2024).



**Şekil 1: Çalışma alanı konumu ve arazi örtüsü/arazi kullanımı haritası/ Figure 1: Location and land use/land cover map of the study area.**

Bölgede bulunan önemli jeomorfolojik şekillerden traverten konilerine ilişkin ilk araştırmalar Erinç (1960) ve Erol (1968) tarafından yapılmıştır. Polat & Ege (2018)'e göre Bolluk Gölü çevresinde jeomorfosit olarak tanımlanan 71 adet traverten konisi olduğu tespit edilmiş ve bunların bir kısmının çeşitli antropojenik nedenlerle tahrip olduğu belirtilmiştir. Özellikle Bolluk Gölü'nün kuzey tarafında bulunan traverten konilerinin yakınlarında obruk ve yüzey yarıklarının olduğu belirtilmiştir (Nazik & Poyraz, 2017; Polat & Ege, 2018). Pınar vd. (2018), yaptıkları saha çalışmalarını neticesinde Bolluk Gölü etrafında ilginç karstik şekillerden olan 55 adet traverten konisi ve bunlarla iç içe yaklaşık 20 dolin tespit etmiştir. Uzun & Garipaşaoğlu (2026) ise bölgede 64 adet traverten konisi tespit etmiş ve bunların bir kısmının doğal veya antropojenik nedenlerle tahrip olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada sunulan traverten konilerinin coğrafî konumları Pınar vd. (2018)'den yararlanılarak verilmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından çalışma alanında eski

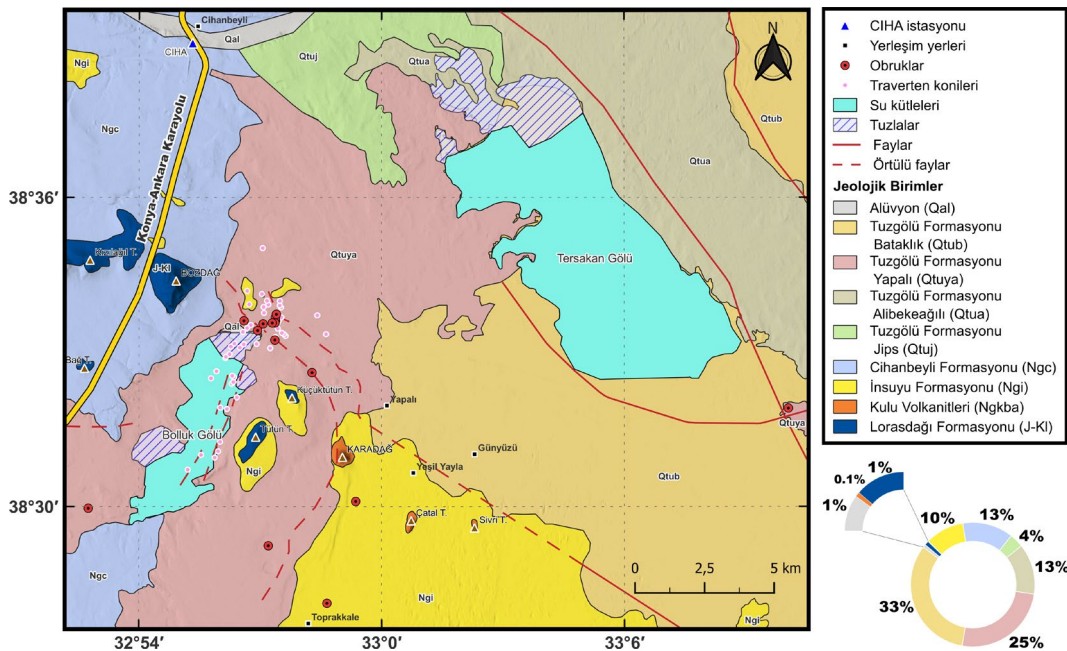
ve yeni tarihli olmak üzere çok sayıda obruk tespit edilmiştir. Konya Kapalı Havzası'nda belgeli ve belgesiz 100.000'in üzerinde kuyu olduğu ve birçoğunun tarımsal sulama amaçlı kullanıldığı belirtilmektedir (Arık & Dülger, 2023). Çalışma alanının yaklaşık yarısının tarım arazilerinden olduğu dikkate alındığında çok sayıda yer altı suyu kuyusunun tarımsal faaliyetlerde kullanıldığı ve su tablası üzerinde mevsimsel baskıların bulunduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca bölgede seracılık faaliyetinde kullanılan bir adet jeotermal kuyu bulunmaktadır.

Yüzey deformasyonlarının incelenmesinde çalışma alanının litolojisi önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1/25000 ve 1/100000 ölçekli jeoloji haritaları, önceki araştırmalar ve saha gözlemlerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanının litoloji haritası sadeleştirilerek Şekil 2'de gösterilmiştir. Bolluk ve Tersakan Gölleri çevresi başlıca alüvyon çökeller, Tuzgölü Formasyonu, İnsuyu Formasyonu ve Cihanbeyli

Formasyonu olmak üzere dört ana birim ile karakterize edilmektedir (Bilgilioğlu vd., 2025). İnceleme sahasının yaklaşık %75'ini oluşturan Kuvaterner yaşlı Tuzgölu Formasyonu çoğunlukla çakıl, kum, silt, karbonatlı çökeller ve yer yer jips içeren birimlerden oluşmaktadır. Tuzgölu Formasyonu, Arık vd. (2022) tarafından Bataklik (Qtub), Yapalı (Qtuya), Alibekealı (Qtua) ve Jips (Qtuj) üyelerine ayrılmıştır. Bunlardan çalışma alanında oransal olarak en geniş olan Bataklik üyesi kil ve silt tabakalanması ile karakterize edilirken, Yapalı üyesi kil-silt ve karbonatlı çökellerden oluşmaktadır. Alibekealı üyesi kum, silt ve karbonat ardalanmasından meydana gelirken, Jips üyesinde jips birimleri ile fosilli karbonatlı seviyeler gözlemlenmektedir (Arık vd., 2022). Holosen yaşlı alüvyon çökeller ise Bolluk Gölü'nün kuzeyinde ve Cihanbeyli ilçe merkezi çevresinde yüzeylenmektedir. Neojen yaşlı Cihanbeyli Formasyonu çakıltaşı, kumtaşı ve kil gibi karasal kırıntılılardan oluşmakta ve üst seviyelerinde karbonatlı birimler içermektedir (Ulu vd., 1994; Arık vd., 2022). Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı İnsuyu Formasyonu ise başlıca kireçtaşı, marn ve kumlu kireçtaşı gibi karbonatlı çökeller ile heterojen kırıntılı birimlerden oluşmaktadır. Ayrıca çalışma alanında Jura-Kretase yaşlı Lorasdağı Formasyonuna ait kristalin kireçtaşları ile Neojen yaşlı Kulu Volkanitlerini temsil eden

bazalt ve andezit gibi volkanik kayalar yüzeylenmektedir (Arık vd., 2022).

Bölgede özellikle İnsuyu Formasyonu ve Tuzgölu Formasyonu'nun karbonatlı birimler içeren üyeleri (Qtuya, Qtua, Qtuj) karstik süreçlere oldukça duyarlıdır (Bilgilioğlu & Bilgilioğlu, 2023). Karbonatlı birimlerde meydana gelen çözünme süreçleri obruk oluşumu ve zemin çökmeleri gibi yüzey deformasyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Yüzey deformasyon süreçlerinde litolojik özelliklerle birlikte gözeneklilik ve geçirgenlik koşulları da etkili olmaktadır. Killi ve siltli birimler düşük geçirgenlikleri ve kompaksiyona duyarlı yapılarıyla, kum ve çakıl gibi yüksek geçirimli birimler ise yer altı suyu seviyesi değişimlerine duyarlılıklarıyla deformasyon süreçlerine etki etmektedir (Huggett, 2017). Ayrıca çalışma sahasında görülen karstik şekillerden obruklar aktif jeomorfolojik süreçlerin varlığını gösterirken, Bolluk Gölü'nün iç ve kuzey kesimlerindeki traverten konileri oluşum süreçlerini tamamlaması nedeniyle fosil topografya olarak nitelendirilmektedir (Polat, 2011; Pınar vd., 2018; Polat & Ege, 2018; Uzun & Garipağaoğlu, 2026). Değişen hidrojeolojik koşullar altında çökeltme süreçleri duran traverten konilerinin çeşitli nedenlerle tahrip olma dönemine girdiği belirtilmektedir (Polat & Ege, 2018).



şekil 2: Çalışma alanının litoloji haritası (Arık vd., 2022'den değiştirilerek) / Figure 2: Lithology map of the study area (Modified after Arık et al., 2022).

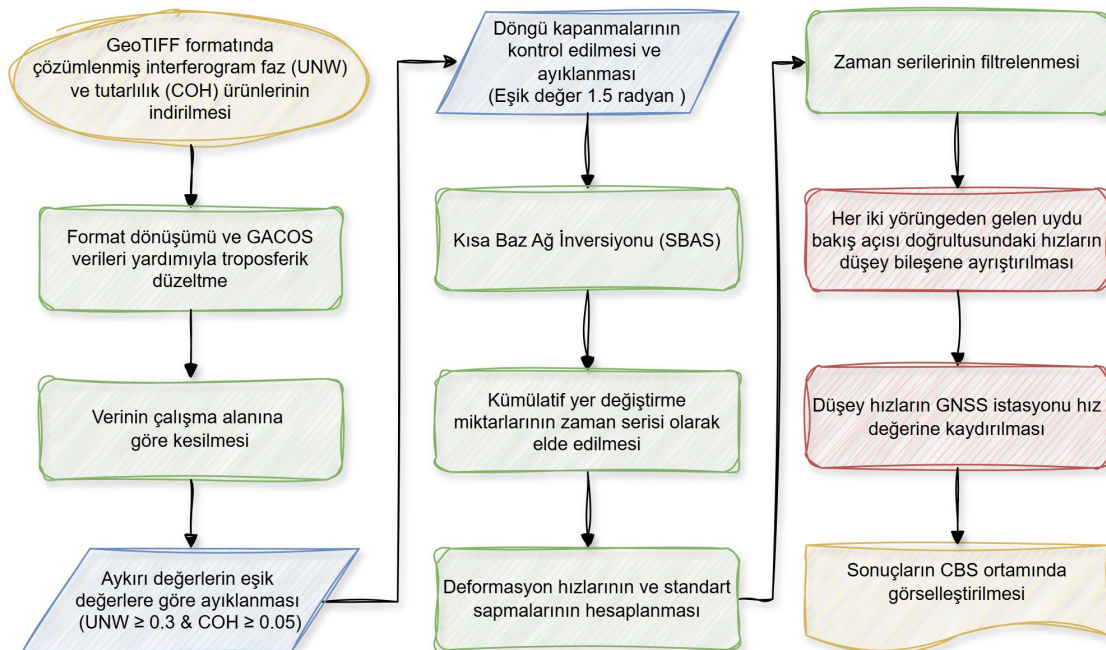
Çalışma alanında normal faylarla birlikte görülen örtülü faylar yüzey deformasyonlarına sebep olabilecek başka bir jeolojik etmendir. Jeolojik formasyon sınırlarının genel itibariyle faylarla uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca tektonik hareketler karstlaşma süreçlerine katkı vererek zemin çökmelerine sebep olabilmektedir (Arık vd., 2023). Şekil 2'de karstik şekillerin mekânsal dağılımı incelendiğinde fay hatları çevresinde yoğunlaştıkları dikkat çekmektedir.

Karstlaşma süreçleri karbonatlı birimlerin yanı sıra evaporit ortamlarda da gelişebilmekte olup özellikle jips gibi çözünürlüğü yüksek minerallerin yüzey deformasyonlarına etkisi dikkate alınmalıdır (Huggett, 2017). Bolluk-Tersakan Gölleri çevresi gibi evaporitik havzalarda buharlaşmayla ilişkili olarak tuz ve jips gibi evaporit mineraller ile kil ve alüvyal çökeller yaygın olarak görülebilmektedir (Öztürk vd., 2025). Bu bölgelerde çözünme, sediman kompaksiyonu ve yer altı suyu seviyesindeki azalma gibi süreçler düşey yüzey deformasyonlarının oluşumlarında etkili olabilmektedir. Bu nedenle tuz bataklığı alanlarındaki yüzey deformasyonları, jeomorfolojik ve hidrojeolojik koşullarla birlikte değerlendirilmelidir.

## 2.2. Veri ve Yöntem

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından işletilen Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydularına ait SAR

gözlemleri kullanıcılara ücretsiz olarak sunulmaktadır. Yaklaşık 6-12 günlük tekrarlama aralığına sahip SAR gözlemleri her türlü hava koşulunda veri sağlayabildiğinden yüzey deformasyonlarının analizinde sıklıkla kullanılmaktadır (Tavus vd., 2024; Abdikan vd., 2025; Nergizci vd., 2025; Yağmur Aydın vd., 2026). InSAR tekniğinde aynı alana ait en az iki farklı zamanda elde edilen SAR gözlemlerinin faz farkının incelenmesiyle yüzey deformasyonları belirlenebilmektedir. Bu çalışmada 1 Ekim 2014 ile 3 Mayıs 2023 tarihleri arasında COMET (Centre for the Observation and Modelling of Earthquakes, Volcanoes and Tectonics) tarafından yürütülen LiCSAR (Looking Into Continents from Space with Synthetic Aperture Radar) projesinin düzenli olarak ürettiği  $0.001^\circ$  (~100 metre) mekânsal çözünürlüklü çözümlenmiş (unwrapped) interferogram ve tutarlılık (coherence) verileri kullanılmıştır (Lazecký vd., 2020). Yükselen yörüngeden 1542 (çerçeve id: 087A\_05101) ve alçalan yörüngeden 1099 (çerçeve id: 164D\_05077) interferogram ürünü, açık kaynak kodlu LiCSBAS yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir (Morishita vd., 2020). InSAR veri işleme sürecine ilişkin detaylar Şekil 3'te verilmiştir. Troposferik gecikme hatalarının düzeltilmesi için GACOS (Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR) verileri kullanılmıştır (Yu vd., 2018).



Şekil 3: Veri işleme süreci iş akış şeması/ Figure 3: Data processing workflow.

Çözömlenmiř interferogram faz ve tutarlılık verilerindeki aykırı değerler sırasıyla 0.3 ve 0.05 eřik değerleri kullanılarak temizlenmiştir. Ayrıca faz döngü kapanmalarındaki karesel ortalama hatalar hesaplanarak 1.5 radyanın üzerindeki veriler analizden çıkarılmıştır. SBAS yöntemiyle kümülatif yer değiştirme zaman serileri oluşturulmuştur (López-Quiroz vd., 2009). Daha sonra hız bileşenleri ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Elde edilen zaman serilerindeki boşluklar zamansal enterpolasyon ile doldurulmuş ve kalan gürültü pikseller mekânsal filtreler ile düzeltilmiştir (Öztürk vd., 2025). Sonuç olarak yükselen ve alçalan yörüngelerden uydu bakış açısı doğrultusundaki kümülatif yer değiştirme miktarları ve hızları elde edilmiştir. Bu hız bileşenlerinin fiziksel karşılıklarını daha iyi yorumlayabilmek ve farklı çalışmalarla karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek için yükselen ve alçalan yörüngelerden hesaplanan hızların yatay ve düşey bileşenlere dönüştürölmesi gerekmektedir. Bununla birlikte Sentinel-1 uyduları yörünge geometrisi nedeniyle kuzey-güney yönlü deformasyonlara duyarlı değildir (Motagh vd., 2017). Dolayısıyla LOS doğrultusundaki deformasyonlar yatay ve düşey bileşenlere ayrıştırılırken yatayda kuzey-güney bileşeni ihmal edilmiştir. Buna göre LOS doğrultusundaki deformasyon hızları aşağıda Eřitlik 1'deki gibi yazılabilir (Motagh vd., 2017):

$$V_{LOS} = V_D \cos \theta - V_Y \cos \alpha \sin \theta \quad (1)$$

Burada,  $V_D$  ve  $V_Y$  sırasıyla düşey yönlü ve yatay yönlü (doğu-batı) deformasyon hızlarını göstermekte;  $\alpha$  uydu azimut açısını ve  $\theta$  geliş açısını göstermektedir. Bilinmeyen  $V_D$  ve  $V_Y$  bileşenlerinin çözülebilmesi için en az iki bağımsız gözleme ihtiyaç vardır. Yükselen yörüngeden ve alçalan yörüngeden kestirilen LOS doğrultusundaki hızlar kullanılarak Eşitlik 2 aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{pmatrix} V_{LOS}^{yük} \\ V_{LOS}^{alç} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\cos \alpha^{yük} \sin \theta^{yük} & \cos \theta^{yük} \\ -\cos \alpha^{alç} \sin \theta^{alç} & \cos \theta^{alç} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_D \\ V_Y \end{pmatrix} \quad (2)$$

Burada üst indis *yük* ve *alç*; yükselen yörünge ve alçalan yörüngeleri ifade etmektedir. Bu çalışmada Eşitlik 2 kullanılarak LOS doğrultusundaki deformasyon hızlarından düşey deformasyon hızı ( $V_D$ ) hesaplanmıştır. Bu şekilde hesaplanan  $V_D$  hızları çalışma alanı içinde seçilen stabil bir referans noktasına göre

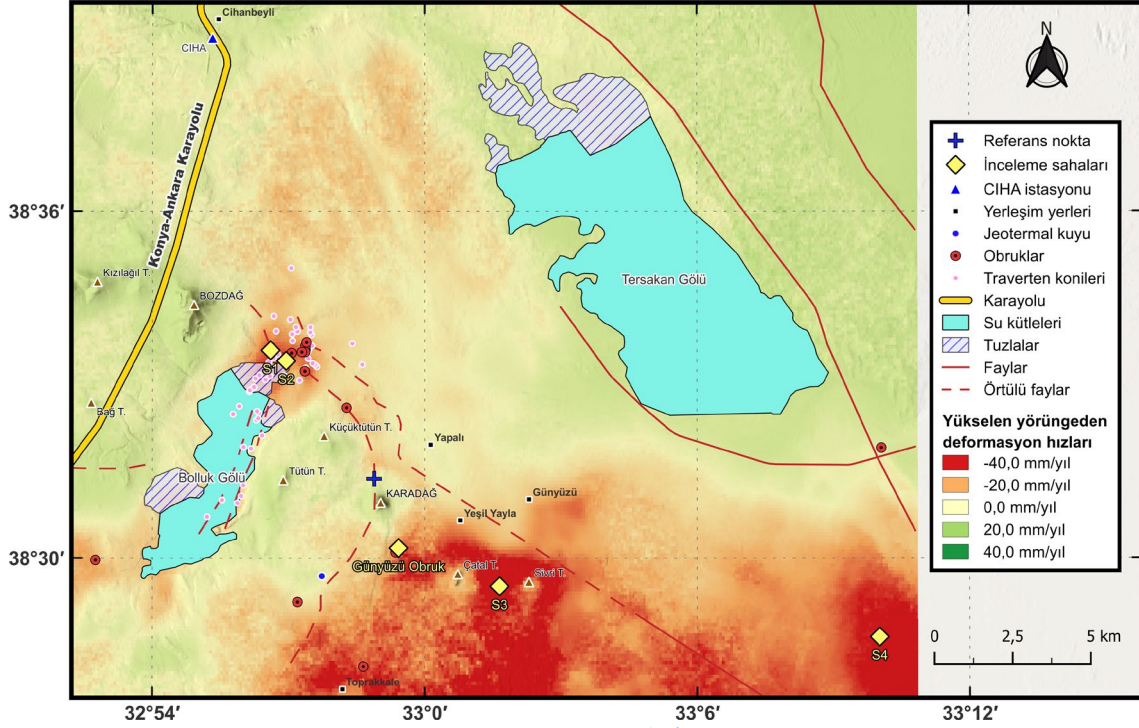
rölatif olarak tanımlanmaktadır. InSAR ile elde edilen  $V_D$  hızları, çalışma alanı sınırlarında bulunan Cihanbeyli TUSAGA-Aktif GNSS istasyonunun (CIHA) Harita Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan güncel düşey hız değeri (-2.61 mm/yıl) baz alınarak CIHA istasyonuna referanslandırılmıştır

(<https://www.harita.gov.tr/public/sunum/>, Erişim tarihi 2.06.2026). Sonuçta elde edilen düşey deformasyon hızları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında görselleştirilmiştir.

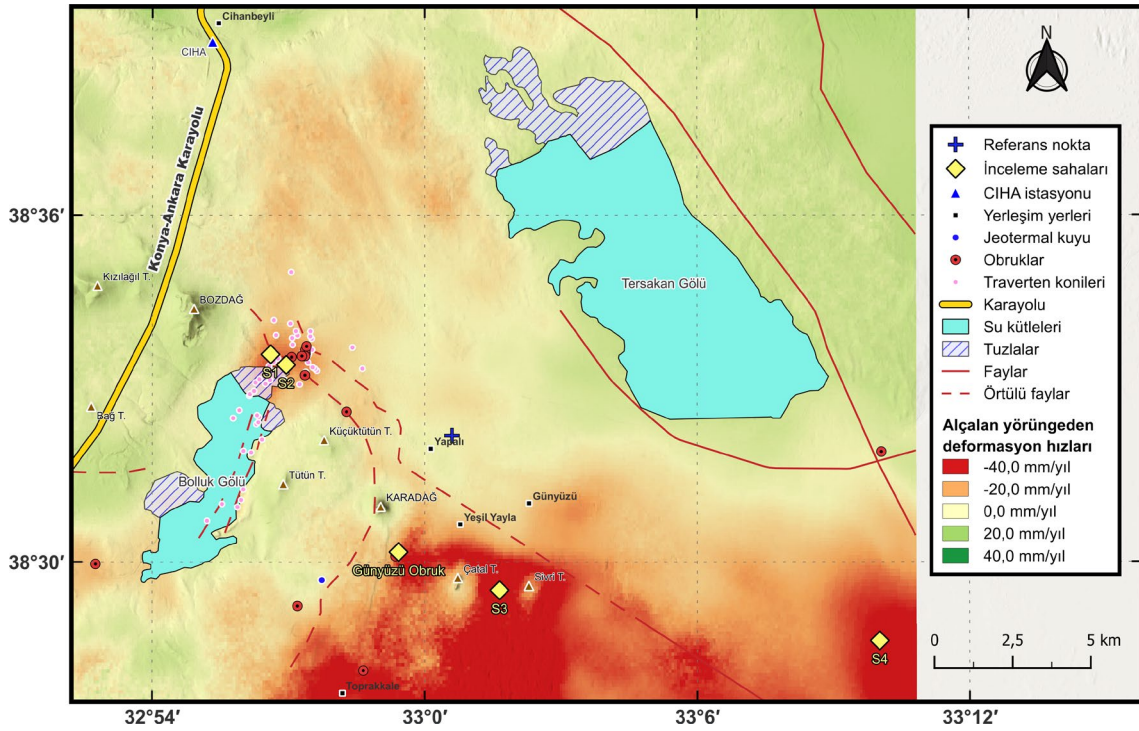
### 3. BULGULAR

1 Ekim 2014 ile 3 Mayıs 2023 tarihleri arasındaki LiCSAR ürünleri kullanılarak gerçekteştirilen InSAR zaman serisi analizleri yaklaşık 9,5 yıllık süreç boyunca yüzey deformasyon miktarlarının tespit edilmesine ve deformasyon hızlarının kestirilmesine olanak sağlamıştır. Yükselen ve alçalan yörüngelere ait gözlemlerden kestirilen LOS doğrultusundaki hızlar şekil 4-5'te sunulmuştur.

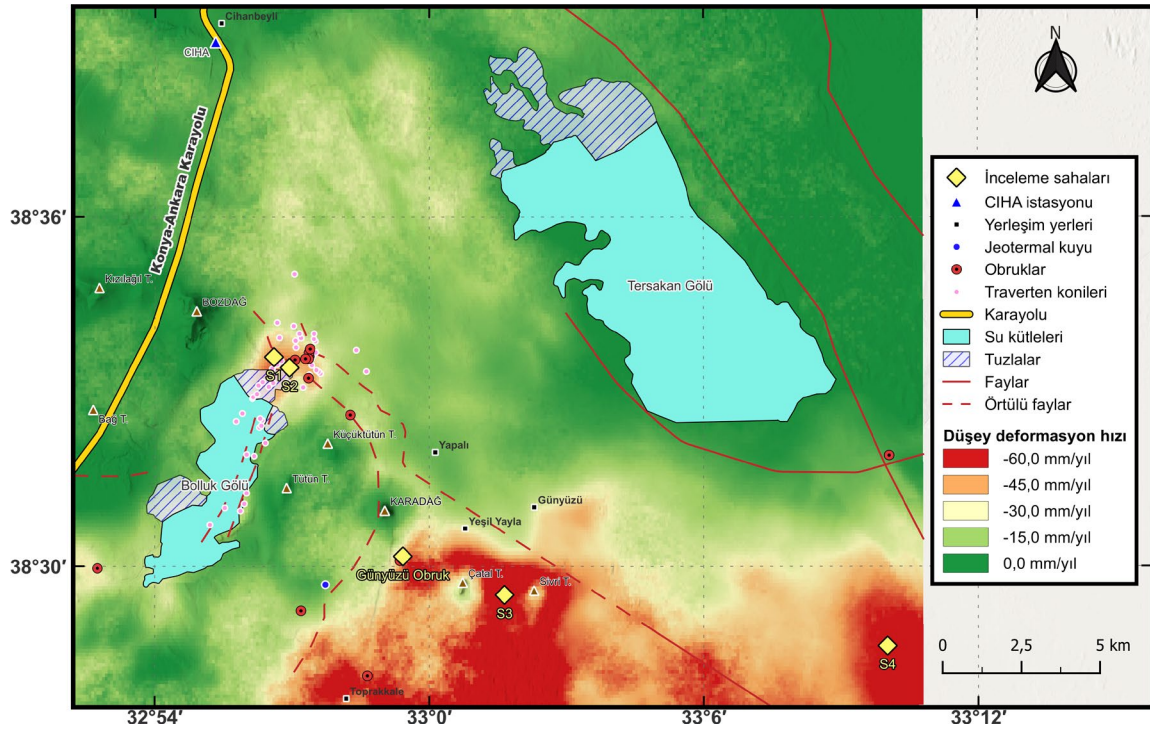
Yazılım tarafından otomatik olarak seçilen referans noktalarının Karadağ ve Yapalı yerleşim yeri civarında bulunduğu görölmüştür. Referans noktalarının stabil konumları temsil ettiği değerlendirilmektedir. şekil 4'te verilen yükselen yörünge sonuçlarına göre, LOS doğrultusundaki deformasyon hızlarının -75.4 mm/yıl ile 36.2 mm/yıl arasında değiştiği, çalışma alanı ortalama hızının -3.77 mm/yıl olduğu görölmüştür. şekil 5'te verilen alçalan yörünge sonuçlarına göre, LOS doğrultusundaki deformasyon hızlarının -112.0 mm/yıl ile 34.0 mm/yıl arasında değiştiği ve çalışma alanı ortalama hızının -3.70 mm/yıl olduğu belirlenmiştir. şekil 4 ve şekil 5 birlikte değerlendirildiğinde, her iki yörüngeden elde edilen LOS hızlarının mekânsal desenlerinin tutarlı olduğu görölmektedir. Belirlenen odak alanlarındaki deformasyon karakteristiğini anlamak amacıyla beş bölge detaylı değerlendirmek üzere inceleme sahası olarak belirlenmiştir (S1, S2, S3, S4 ve Günyüzü Obruk). Eşitlik 2 kullanılarak yükselen ve alçalan yörüngelerden kestirilen LOS hızları düşey bileşene dönüştürölmüştür. CIHA GNSS istasyonu referans alınarak hesaplanan çalışma alanına ait düşey deformasyon hızları şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 4: Yükselen yörüngeden kestirilen deformasyon hızları / Figure 4: Deformation velocities estimated from ascending orbit.



Şekil 5: Alçalan yörüngeden kestirilen deformasyon hızları / Figure 5: Deformation velocities estimated from descending orbit.



**Şekil 6:** Düşey yüzey deformasyon hızları / **Figure 6:** Vertical surface deformation velocities.

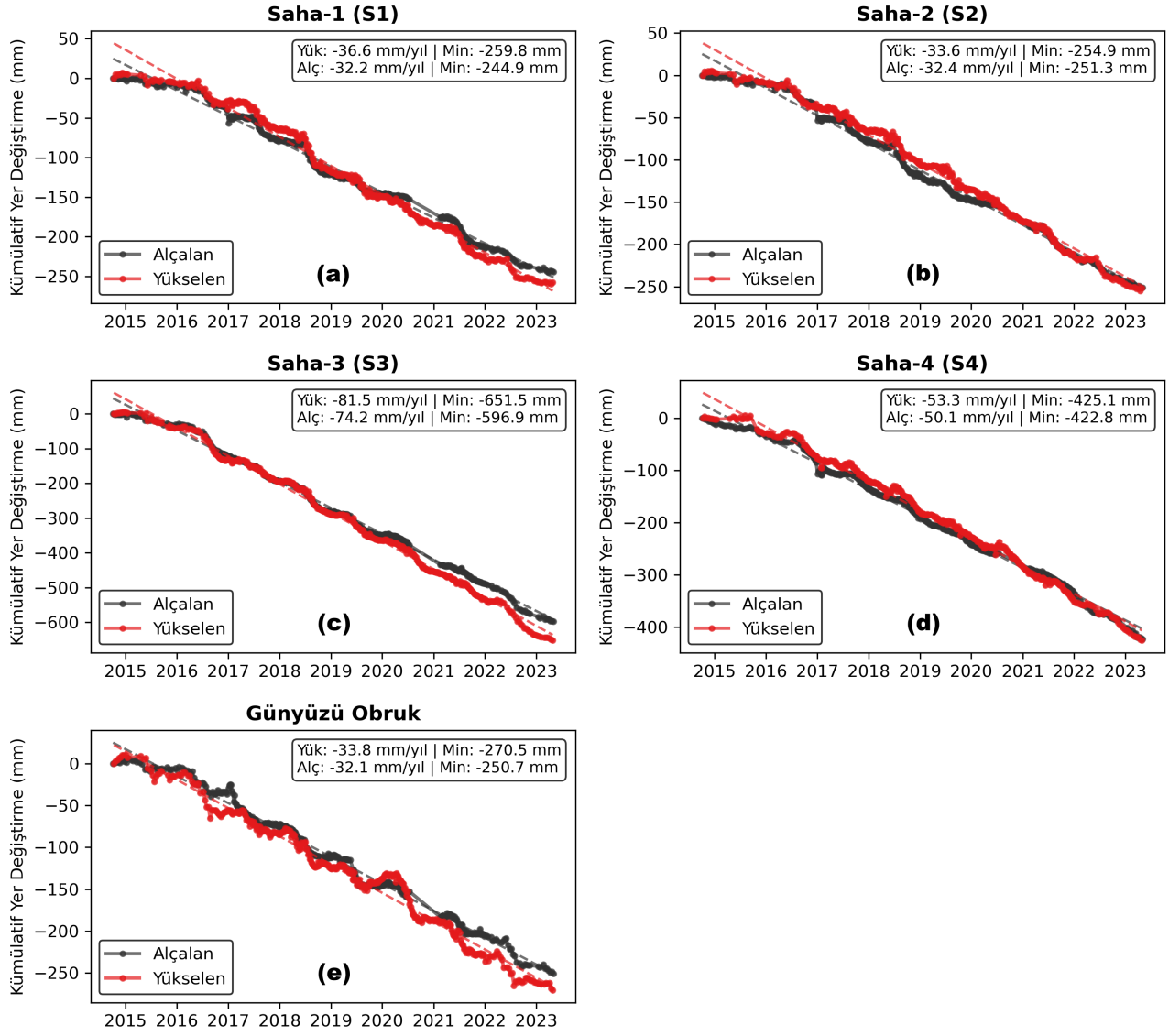
Buna göre çalışma alanındaki ortalama düşey deformasyon hızı  $-14.8$  mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca düşey deformasyon hızlarının  $-114.1$  mm/yıl ile  $20.8$  mm/yıl arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Deformasyonların mekânsal dağılımı incelendiğinde, Bolluk Gölü'nün kuzey kesimlerinde  $-40$  mm/yıl ile  $-50$  mm/yıl arasında değişen zemin çökme hızları belirlenmiştir. Karadağ'ın güneydoğu kesimlerinde yoğun bir deformasyon bölgesi tespit edilmiş ve zemin çökme hızlarının büyüklüğünün genel olarak  $50$  mm/yıl'ın üzerinde olduğu ve bazı yerlerde  $114$  mm/yıl'a ulaştığı görülmüştür. Çalışma alanının güneydoğusundaki deformasyon bölgesinde ise düşey hızların  $-60$  mm/yıl ile  $-80$  mm/yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir.

İnceleme sahası olarak belirlenen S1, S2, S3, S4 ve Günyüzü Obruk bölgelerine ait yükselen ve alçalan yörünge LOS doğrultusundaki kümülatif yer değiştirme miktarı zaman serileri Şekil 7'de verilmiştir. Yükselen yörünge LOS doğrultusundaki deformasyon hızları, Bolluk Gölü'nün kuzeyindeki Saha-1 (S1)'de  $-36.6$  mm/yıl ve Saha-2 (S2)'de  $-33.6$  mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Kümülatif yer değiştirme miktarı ise S1'de  $-260$  mm ve S2'de  $-255$  mm

olarak tespit edilmiştir. Karadağ'ın güneydoğu kesimlerindeki Saha-3 (S3)'te yükselen yörüngeden elde edilen deformasyon hızı  $-81.5$  mm/yıl ve kümülatif yer değiştirme miktarı  $-652$  mm olarak bulunmuştur. Çalışma alanının güneydoğusundaki tuz bataklığı alanındaki deformasyon bölgesini temsil eden Saha-4 (S4)'te yükselen yörüngeden elde edilen hız  $-53.3$  mm/yıl olarak hesaplanırken kümülatif yer değiştirme miktarı  $-425$  mm olarak hesaplanmıştır.

İnceleme alanı olarak seçilen Günyüzü Obruk 4 Haziran 2021 tarihinde meydana gelmiş olup, bu sahada yükselen yörüngeden elde edilen LOS hızı  $-33.8$  mm/yıl ve kümülatif yer değiştirme miktarı  $-271$  mm olarak hesaplanmıştır. Obruk oluşum anı doğrudan zaman serilerinde ayırt edilememiş ancak oluşum öncesinde özellikle 2020-2021 yıllarında deformasyon miktarında artış görülmüştür.

Alçalan ve yükselen yörünge zaman serilerinin genel olarak uyumlu olduğu ancak alçalan yörünge interferogramlarında bulunan veri boşluklarından kaynaklandığı düşünülen bazı farklılıkların bulunduğu görülmüştür.



**Şekil 7:** İnceleme sahalarındaki kümülatif yer değiştirme zaman serileri / **Figure 7:** Cumulative displacement time series in the investigation sites.

#### 4. TARTIşMA

InSAR zaman serilerinin analizi sonucu elde edilen bulgular Bolluk ve Tersakan Gölleri çevresindeki düşey yüzey deformasyonlarının büyüklüğünün ve hızlarının başarılı bir şekilde tespit edildiğini göstermektedir. Şekil 6'da gösterilen inceleme sahalarında 23 Nisan 2026 tarihinde arazi çalışması yapılmış ve sahadaki durum gözlemlenerek InSAR zaman serisi sonuçları tartışılmıştır. S1, S2, S3 ve S4 bölgelerinin arazi çalışmaları çekilen fotoğrafları Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

S1 ve S2 noktalarının bulunduğu bölge litolojik birimler haritasına göre Tuzgölü Formasyonu Yapalı üyesi (Qtuya) üzerinde yer almakta, AÖAK haritasında ise doğal çayırıklar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu bölgede farklı

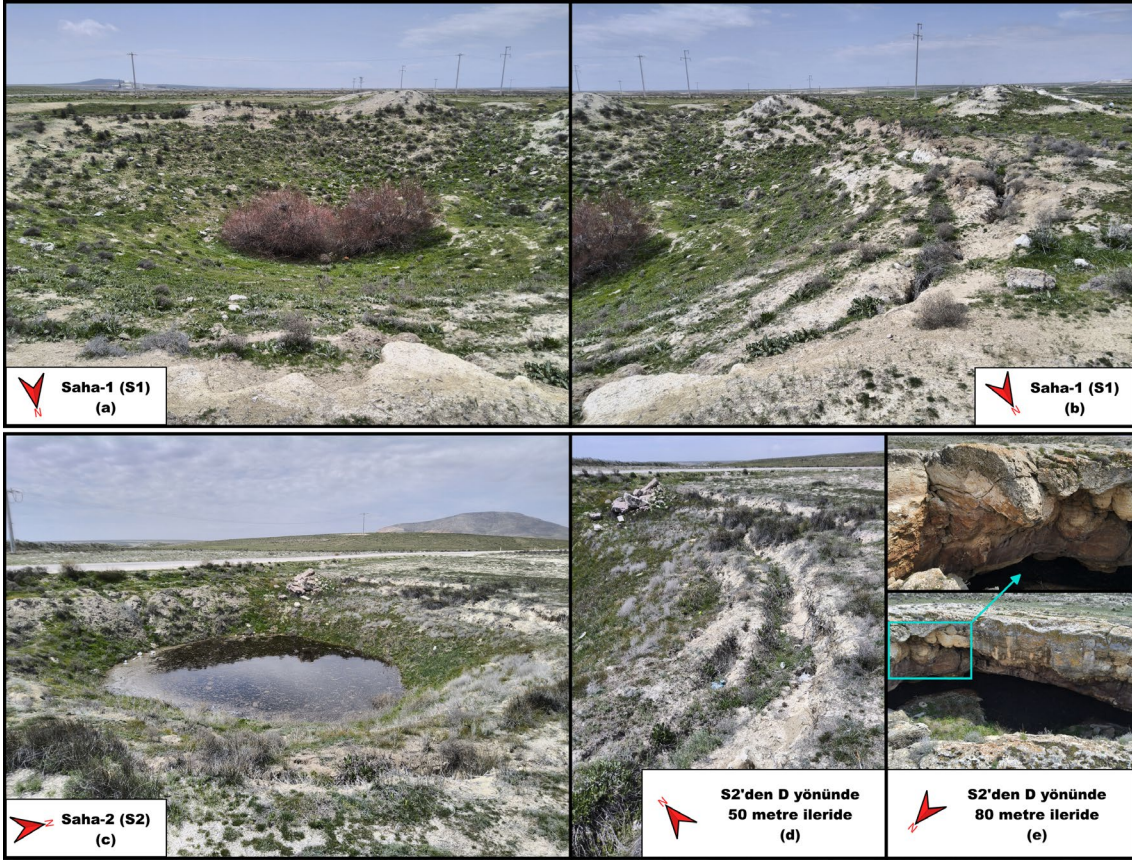
araştırmacılar tarafından çok sayıda dolin ve traverten konisi tespit edilmiş, bunlardan bazılarının ise antropojenik ve coğrafi etkilere maruz kalarak tahrip olduğu belirtilmiştir (Erinç, 1960; Erol, 1968; Pınar vd., 2018; Polat & Ege, 2018; Uzun & Garipağaoğlu, 2026). Şekil 8a ve Şekil 8b'de görülen yer Pınar vd. (2018) tarafından sübsidans dolini olarak tanımlanmış ve çökme hareketinin devam ettiği belirtilmiştir. Şekil 7a'da verilen zaman serisine göre 10 Ekim 2014 ile 3 Mayıs 2023 tarihleri arasında LOS doğrultusundaki kümülatif yer değiştirme miktarının -25 cm civarında bulunması, S1'de görünen yüzey deformasyonunun devam ettiğini doğrulamaktadır. Ayrıca traverten konilerinin mekânsal dağılımlarının Şekil 6'da gösterilen düşey deformasyon bölgeleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 8c'de ise başka bir sübsidans dolini ve doğu yönünde yaklaşık 50 metre

ileride yer yarıkları gözlemlenmiştir. Şekil 8e’de bu yer yarıklarının yaklaşık 30 metre ilerisinde ise traverten konisi bulunduğu görülmüştür. Önceki çalışmalarda Bolluk Gölü’nün kuzeyinde yoğunlaşan birçok traverten konisinin iç kesimlerinde çökmeler, çatlaklar ve yakın çevrelerinde obruk oluşumları bulunduğu belirtilmiştir (Erol, 1968; Pınar vd., 2018; Polat & Ege, 2018; Uzun & Garipağaoğlu, 2026). Polat & Ege, (2018) Bolluk traverten konilerinin hidrojeolojik şartlar nedeniyle çökme süreçlerinin durduğunu, yer altı suyu seviyesindeki düşüşlerin koniler ve çevresinde çökmeler oluşmasına neden olduğunu, bu koşulların traverten konilerinin morfolojik özelliklerini tehdit ettiğini belirtmektedir. Bu bulgular, söz konusu morfolojik birimlerdeki deformasyonların bu çalışmada elde edilen InSAR sonuçları ve saha gözlemleriyle tutarlı olduğunu göstermektedir. InSAR zaman serisi analizi ile S2 bölgesinde düşey deformasyon hızının yaklaşık -3 cm/yıl olarak bulunması ve LOS doğrultusundaki kümülatif yer değiştirme miktarının -25 cm civarında hesaplanması saha gözlemleriyle uyumludur. InSAR tekniği ile elde edilen sonuçlara göre S1-S2 bölgesinde zemin çökmelerinin gelecek yıllarda da devam edeceği öngörülebilir.

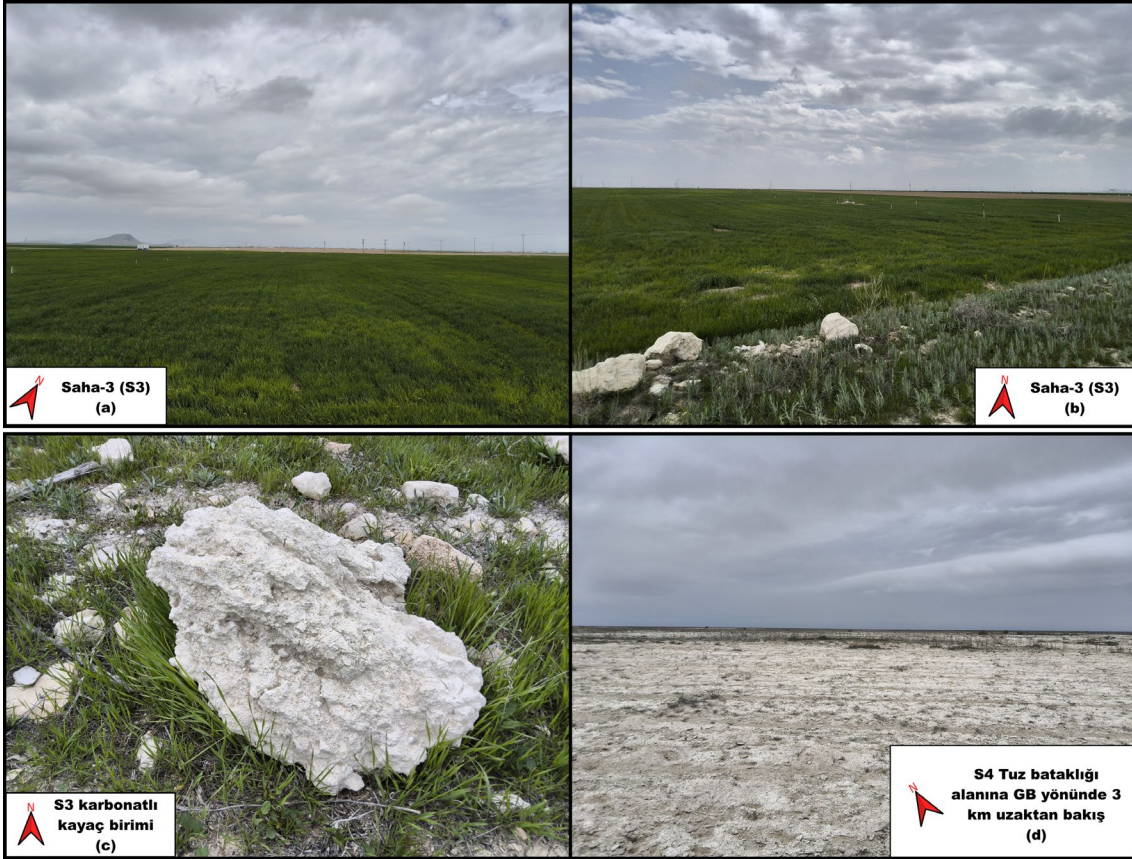
S3 inceleme alanı, Günyüzü Obruk ile birlikte İnsuyu Formasyonu üzerinde yer almakta ve AÖAK haritasına göre sulanmayan ekilebilir alanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak 4 Haziran 2021 tarihinde meydana gelen 20 metre çapında ve oldukça derin olduğu raporlanan Günyüzü Obruk, pancar tarlasında bulunmuştur (TRT Haber, 2021). Yapılan arazi çalışmalarında ve S3 bölgesinin Şekil 9b’de verilen 23 Nisan 2026 tarihli fotoğrafında da görüldüğü üzere bölgede yağmurlama sulama sistemleri gözlemlenmiştir. Dolayısıyla Şekil 6’da düşey deformasyon hızlarının oldukça yüksek olduğu İnsuyu Formasyonunu temsilen seçilen S3 bölgesinin sürekli sulanan bir alan olması muhtemeldir. Saha çalışmalarında bölgede Günyüzü Obruk dışında dikkat çeken yeni tarihli herhangi bir çökme, obruk veya yüzey yarığı gözlemlenmemiştir. Bölgedeki tarım arazileri özel mülkiyete konu olduğundan saha gözlemleri mevcut tarla yolları ve

çevresiyle sınırlı kalmıştır. Ancak Şekil 9b ve Şekil 9c’de ekili alanlarda çok sayıda karbonatlı kayaç parçası gözlemlenmiştir. Bu gözlem, sahada yüzeye yakın konumda bulunan karbonatlı litolojilerle uyumludur. Özellikle İnsuyu Formasyonu içerisindeki kumlu kireçtaşı gibi karbonatlı seviyeler, tarımsal arazi işleme faaliyetleri sonucu yüzeyde daha belirgin hale gelebilmektedir. Bu kayaç parçalarının çiftçiler tarafından tarımsal faaliyetleri kolaylaştırmak amacıyla tarlalardan toplandığı değerlendirilmektedir. Bu durum, karbonatlı litolojiler ve yoğun yer altı suyu kullanımı dikkate alınırsa obruk oluşumu ve çökme süreçleriyle uyumlu bir saha gözlemi olarak değerlendirilebilir.

InSAR analizleri sonucunda Günyüzü Obruk’un oluşum tarihi olan 4 Haziran 2021 tarihi itibarıyla kümülatif yer değiştirme zaman serisinde (Şekil 7e) ani bir kırılma görünmemiştir. Bu durum çalışmada kullanılan LiCSAR ürünlerinin yaklaşık 100 metre mekânsal çözünürlüğünün, çapı 20 m olan bu obruğun oluşum anını doğrudan tespit etmekte yeterli olmamasıyla açıklanabilir. LiCSAR ürünlerinin bu çözünürlük kısıtı, traverten konilerinde meydana gelen çökmelerin ayrıntılı olarak izlenmesini de sınırlandırmaktadır. Bununla birlikte önceki yıllarda mevsimsel olarak görünen yükselme hareketinin obruk oluşum döneminde görülmediği dikkat çekmektedir. Zaman serilerinde gözlemlenen mevsimsel artışların yağışlı geçen kış mevsimi ve ardından gelen düşüşlerin azalan yer altı suyu kullanımına bağlı karstlaşma süreçleriyle ilgili olduğu düşünülmektedir. Ancak yer altı suyu seviyesi düşüşlerinin ardından mevsimsel olarak tekrar yükselmesi akiferlerdeki su tabakasının hareketliliğini artırdığından karstlaşma süreçlerine de katkı sağlamaktadır. Nitekim bölgedeki yer altı su seviyesi gözlemlerinde mevsimsel farkların 50 metreye kadar ulaştığı, suların karbonat bakımından doygun olmadığı ve tuzluluk oranlarının giderek arttığı bilinmektedir (Arık vd., 2023). Obruk oluşumu açısından oldukça riskli olan İnsuyu Formasyonu yoğun yer altı suyu çekimi yapılan tarımsal arazilerle birlikte afet tehlikesini artırmaktadır (Bilgilioğlu vd., 2025).



Şekil 8: S1 ve S2 bölgelerinin 23.04.2026 tarihli fotoğrafları / Figure 8: Photographs of S1 and S2 sites on 23.04.2026.



Şekil 9: S3 ve S4 bölgelerinin 23.04.2026 tarihli fotoğrafları / Figure 9: Photographs of S3 and S4 sites on 23.04.2026.

Jeolojik olarak Kuvaterner yaşlı Tuzgölu Formasyonu Bataklik üyesi (Qtub) üzerinde yer alan ve AÖAK haritasında tuz bataklığı olarak sınıflandırılan S4 bölgesinde yapılan saha çalışmaları Şekil 9'de görüldüğü üzere beyaz-gri toprak üzerinde yoğun bir dikenli bitki örtüsü olduğu gözlemlenmiştir. Ancak oldukça geniş bir alana yayılan bölgede S4 hedefinin yaklaşık üç kilometre güneybatısında, Şekil 6'daki düşey yönlü deformasyon deseniyle uyumlu bir alanda gözlem yapılabilmektedir. Tuz bataklığı olarak nitelendirilen alanın, Taşpınar mahallesini Eskil-Cihanbeyli yoluna bağlayan yol tarafında yapılan incelemelerde Şekil 9'dekine benzer karakteristikte beyaz-gri renkli toprak ve dikenli bitki örtüsü gözlemlenmiştir. Şekil 7'd'e göre S4 bölgesinde 10 Ekim 2014 ile 3 Mayıs 2023 tarihleri arasında LOS doğrultusundaki kümülatif yer değiştirme miktarının -43 cm mertebesinde olduğu tespit edilmiştir. Görsel çökellerden tuzların, karbonatlı birimlerden daha fazla olan çözünürlüğü bölgesel düşey deformasyonlara neden olabilmektedir (Arık vd., 2023). Bu çalışmada insan aktivitelerinin oldukça düşük olduğu Tuzgölu Formasyonu bataklık birimlerini temsil eden S4 sahasındaki deformasyonların nedeninin hidrojeolojik kökenli olabileceği düşünölmüştür.

Bolluk Gölü'nün güneybatı kısmındaki Kırkışla mahallesi mera sınırlarında 19 Aralık 2024 tarihinde yaklaşık 15 m çapında ve 13 m derinliğinde güncel bir obruk meydana gelmiştir (Anadolu Ajansı, 2024). Jeolojik olarak Tuzgölu Formasyonu Yapalı üyesi (Qtuya) ile temsil edilen bölgede bu çalışmanın inceleme periyodu bitişi olan 3 Mayıs 2023 tarihine kadar olan zaman serisi incelendiğinde kümülatif yer değiştirme miktarının yaklaşık 200 mm ve zemin çökme hızının yaklaşık -20 mm/yıl olduğu görölmüştür. Bu çalışmanın zaman serisi analiz periyodundan yaklaşık 1.5 yıl sonra meydana gelen bu obruğun oluşum öncesi çökme hareketiyle sinyal verdiği söylenebilir. Nitekim Tuzgölu Formasyonunda Yapalı üyesi (Qtuya) içerdiği karbonatlı birimler nedeniyle karstik süreçlere karşı duyarlı olduğundan obruk oluşumları da özellikle bu bölgelerde gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen InSAR zaman serisi analizleri sonucunda Bolluk ve Tersakan

Gölleri çevresinde ortalama düşey yüzey deformasyon hızı -14.8 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Konya Kapalı Havzası ve çeşitli alt bölgelerinde birçok araştırmacı tarafından düşey yönlü yüzey deformasyonları raporlanmıştır. Gezgin & Gündüz (2025) 2018-2023 yılları arasında Sentinel-1 SAR gözlemlerine dayalı yaptıkları analizde Konya ilinde 55 mm/yıl'a varan zemin çökmeleri belirlemişlerdir. Orhan vd. (2024) 2014-2022 yılları arasında Sentinel-1 verilerini kullanarak Konya Kapalı Havzası'nda InSAR yöntemiyle LOS doğrultusunda 90 mm/yıl'a varan yüzey deformasyonları tespit etmiştir. Çalışma, Tuz Gölü paleo kıyı sınırı ile Bolluk ve Tersakan Gölleri çevresini de kapsamaktadır (Orhan vd., 2024). Bu çalışmada elde edilen LOS doğrultusunda -80 mm/yıl'a varan deformasyon hızlarının, Orhan vd. (2024) tarafından belirtilen hızlarla uyumlu olduğu ve deformasyon bölgelerinin mekânsal dağılımının ise benzer karakteristikte olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu çalışmada Orhan vd. (2024)'e göre yaklaşık 1 yıl daha uzun dönemde LiCSAR verileri dikkate alınmış ve LOS doğrultusundaki hız bileşenlerine ilaveten düşey yönlü deformasyon hızları hesaplanmıştır. Öztürk vd. (2025) ise Konya Kapalı Havzası'nın Akgöl sulak alanı bölgesindeki 2014-2023 yılları arası yüzey deformasyonlarını LiCSAR verileriyle incelemiştir. Yıllık ortalama düşey deformasyon hızlarının 15 mm/yıl ile 30 mm/yıl arasında değiştiğini, kümülatif yer değiştirme miktarının ise 230 mm'ye ulaştığını ortaya koymuşlardır. Maksimum deformasyon hızlarının ise eski göl tabanı üzerindeki karbonatlı birimler etrafında yoğunlaştığı ortaya konmuştur (Öztürk vd., 2025). Bolluk-Tersakan Gölleri ve çevresinin de benzer şekilde Tuz Gölü paleo göl tabanı sınırlarında yer aldığı dikkate alınırsa bu çalışmada elde edilen deformasyon desenleri ve litolojik ilişkilerin Akgöl sulak alanı sonuçlarıyla benzer nitelikte olduğu söylenebilir.

Caló vd. (2017) ise 2002-2010 yılları arasındaki ENVISAT SAR verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri InSAR analizlerinde Konya Karapınar bölgesinde 100 mm'ye varan düşey deformasyonlar bulmuşlardır. Üstün vd. (2015) ise Konya Kapalı Havzası'ndaki zemin çökmelerini GNSS ve InSAR tekniklerine dayalı olarak araştırmış ve 40 mm/yıl'a varan

deformasyon hızları elde etmişlerdir. Bu çalışmada ise Bolluk-Tersakan Gölleri çevresinde maksimum düşey deformasyonlar Karadağ'ın güneybatı kesimindeki İnsuyu Formasyonu üzerinde gözlemlenmiş, yaklaşık 5500 ha alan üzerinde ortalama -50 mm/yıl düşey deformasyon hızı tespit edilmiştir. Bolluk Gölü'nün kuzeyindeki yaklaşık 55 ha alana sahip alüvyon bölgesinde ortalama düşey deformasyon -45 mm/yıl olarak bulunmuştur. Tuzgölü Formasyonu üyelerinden Bataklık (Qtub) bölgesinde ortalama -16 mm/yıl, Yapalı (Qtuya) üyesinde ortalama -15 mm/yıl, Jips üyesinde (Qtuj) ise -13 mm/yıl düşey deformasyon belirlenmiştir. Bu çalışmada 2014-2023 yılları arasında Bolluk-Tersakan Gölleri çevresi için yaklaşık 15 mm/yıl olarak kestirilen ortalama zemin çökme hızının literatürdeki çalışmalarla genel itibarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 10 Ekim 2014 ile 3 Mayıs 2023 tarihleri arasındaki Sentinel-1 SAR gözlemleri kullanarak Bolluk-Tersakan Gölleri çevresindeki düşey yönlü yüzey deformasyonları InSAR SBAS tekniği ile incelenmiştir. Çalışma alanında yükselen ve alçalan yörünge verilerinden düşey bileşene dönüştürülerek elde edilen ortalama zemin çökme hızı yaklaşık 15 mm/yıl olarak kestirilmiştir. Son yıllarda Konya Kapalı Havzası genelindeki iklim değişikliği, aşırı yer altı suyu kullanımı ve karstlaşma süreçleriyle ilişkili olarak zemin çökmeleri ve obruk oluşumları görülmektedir. Bu çalışmanın konusu olan Bolluk-Tersakan Gölleri çevresinde de jeolojik olarak karstlaşma süreçlerine duyarlı bölgelerde 114 mm/yıl'a varan zemin çökme hızları tespit edilmiştir. Bulgular AÖAK verileriyle birlikte değerlendirildiğinde deformasyon bölgelerinin başlıca tarım arazilerinde, Bolluk Gölü'nün kuzeyindeki doğal çayırılık alanlarda ve Tersakan Gölü'nün güneydoğu kesimindeki tuz bataklığı alanlarında yoğunlaştığı görülmüştür. Tarım arazilerindeki deformasyonların, Konya Kapalı Havzası'nda obruk riskinin yüksek olduğu İnsuyu Formasyonu üzerinde yoğunlaşması nedeniyle yer altı suyu kullanımı ve sulamaya bağlı karstlaşma süreçleriyle ilişkili olabileceği

değerlendirilmiştir. Bolluk Gölü'nün kuzeyindeki deformasyonların dolinler ve traverten konileri çevresinde yoğunlaşması, bu hareketlerin doğrudan ve dolaylı antropojenik etkenlerle ilişkili olduğunu göstermektedir. Tuz bataklığı bölgesinde görülen deformasyonların ise evaporitik süreçlerle oluşan kompaksiyon ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada InSAR gözlemleriyle geniş bir alanın uydu bakış açısı doğrultusundaki deformasyonları tespit edilerek düşey bileşene dönüştürülmüştür. Ancak Sentinel-1 uydu yörünge geometrisinin yaklaşık kuzey-güney yönlü olması sebebiyle yatay yönlü deformasyonların kestiriminde özellikle kuzey-güney bileşeni kestirilememektedir. Gelecek çalışmalarda yatay deformasyonların da belirlenebilmesi için GNSS zaman serilerinin InSAR gözlemleriyle birlikte kullanılmasının hem mekânsal hem de zamansal doğruluğu artıracığı düşünülmektedir. Ayrıca multispektral uydu görüntüleri, uydu gravimetrisi, sentetik açıklıklı radar gözlemleri ve meteorolojik veriler birlikte değerlendirilerek bütünlük yaklaşımlar ortaya konulabilir. Böylece zorlu olan saha çalışmaları için odak noktaları tespit edilebilir ve jeomorfolojik değişimlerin kaynakları daha detaylı irdelenebilir.

Konya Kapalı Havzası gibi yarı-kurak iklime ve geniş tarım arazilerine sahip havzalar için uydu ve yer gözlemlerine dayalı sürekli izleme sistemlerinin kurulması jeomorfolojik değişimlerin sürekli olarak takip edilmesine olanak sağlayacağından stratejik bir öneme sahiptir. Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknolojilerinin etkin kullanımıyla karar vericiler için oldukça değerli olan veriler sistematik olarak toplanarak veriye dayalı sürdürülebilir arazi ve havza yönetimi politikalarının geliştirilmesine önemli katkılar sağlanacaktır.

## KATKI BELİRTME / TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan LiCSBAS yazılımı için Yu Morishita'ya, kullanılan LiCSAR ürünleri ve yazılımının geliştirilmesine sağladıkları katkılardan dolayı The UK Centre for Observation and Modelling of Earthquakes Volcanoes and Tectonics (COMET) ekibine, veri analizi sürecindeki teknik desteklerinden dolayı

Doç. Dr. Hüseyin Duman'a teşekkür ederiz. Bu araştırmada yer alan tüm/kısmi nümerik hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi'nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma Jeomorfoloji Perspektifinde Akarsu Havzası Yönetimi Çalıştayında (8-9 Mayıs 2026, Kastamonu) sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

## KAYNAKÇA

Abdikan, S., Coskun, S., Narin, O. G., Ozdemir, E. G., Bayik, C., & Sanli, F. B. (2025). Deep-learning-based interferometric synthetic aperture radar time-series analysis for the monitoring and prediction of dam safety. *Structural Health Monitoring*, 14759217251381157. <https://doi.org/10.1177/14759217251381157>

Anadolu Ajansı (AA). (2024). Konya'da 13 metre derinliğinde, 15 metre çapında obruk oluştu. <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/konyada-13-metre-derinliginde-15-metre-capinda-obruk-olustu/3428926>

Arık, F., & Dülger, A. (2023). *Obruk Temel Kılavuz* (Y. Tosun, F. Çoruk, Ş. Arslan, Y. Akkaya, E. Gökkaya, & E. Gökkaya, Ed.). Paradigma Akademi.

Arık, F., Bilgilioğlu, S. S., İban, M. C., Delikan, A., Göçmez, G., Döğen, A., Kansun, G., Gezgin, C., Bilgilioğlu, H., & Dülger, A. (2023). *Obruk Teknik Kılavuz* (Y. Tosun, F. Çoruk, Ş. Arslan, Y. Akkaya, E. Gökkaya, & E. Gökkaya, Ed.). Paradigma Akademi.

Arık, F., Delikan, A., Göçmez, G., Kansun, G., Döyen, A., Coşkun, B., & Dülger, A. (2022). Konya çevresinde obruk alanlarının tespit edilmesi projesi kapsamında "Selçuklu, Kadınhanı, Sarayönü, Yunak, Çeltik, Ilgın, Altınekin, Cihanbeyli ve Kulu" bölgesi jeolojik çalışmalar projesi (No: 2020K14-138637-3). T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Konya İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü.

Arikan Ispir, D., & Makineci, H. B. (2026). Determination of slow surface movements around the 1915 Çanakkale Bridge during the 2022–2024 period with Sentinel-1 time series. *Remote Sensing*, 18(6), 858. <https://doi.org/10.3390/rs18060858>

Bagheri-Gavkosh, M., Hosseini, S. M., Ataie-Ashtiani, B., Sohani, Y., Ebrahimian, H., Morovat, F., & Ashrafi, S. (2021). Land subsidence: A global challenge. *Science of The*

*Total Environment*, 778, 146193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146193>

Bozyiğit, R., & Tapur, T. (2009). Konya ovası ve çevresinde yeraltı sularının obruk oluşumlarına etkisi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (21), 137-155. <https://izlik.org/JA87AA53WT>

Bilgilioğlu, S. S., & Bilgilioğlu, H. (2023). Aksaray ili obruk duyarlılık haritasının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemleri ile oluşturulması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 612-625. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1222497>

Bilgilioğlu, S. S., Gezgin, C., İban, M. C., Bilgilioğlu, H., Gündüz, H. İ., & Arslan, Ş. (2025). Explainable sinkhole susceptibility mapping using Machine-Learning-Based SHAP: quantifying and comparing the effects of contributing factors in Konya, Türkiye. *Applied Sciences*, 15(6), 3139. <https://doi.org/10.3390/app15063139>

Caló, F., Notti, D., Galve, J. P., Abdikan, S., Görüm, T., Pepe, A., & Balık Şanlı, F. (2017). DInSAR-Based detection of land subsidence and correlation with groundwater depletion in Konya Plain, Turkey. *Remote Sensing*, 9(1), 83. <https://doi.org/10.3390/rs9010083>

Dursun, A. E. (2022). Risk analysis of natural sinkholes hazards in Karapınar basin (Konya, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 15(3), 279. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09564-8>

Duman, H., Oğutcu, S., Alcay, S., Ozdemir, B. N., Atiz, O. F., & Bulbul, S. (2026). Towards geodetic-level accuracy in low-cost GNSS: Tectonic velocity determination capabilities of the u-blox ZED-F9P over a year multi-GNSS PPP-AR time series. *Advances in Space Research*, 77(2), 1423–1438. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2025.10.025>

Erinç, S. (1960). Konya Bölümünde ve İç Toros sıralarında karst şekilleri üzerine müşahedeler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 20, 83-106. <https://izlik.org/JA37NF85SB>

Erol, O. (1968). Cihanbeyli güneyinde, Boluk Gölü çevresindeki traverten konileri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (24-25), 64-98. <https://izlik.org/JA43DC68SA>

Gezgin, C., & Gündüz, H. İ. (2025). Konya ili zemin çökmelerinin PS-InSAR yöntemi ile

- değerlendirilmesi ve litolojik özelliklerle ilişkisi. *Geomatik*, 10(3), 304-315. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1638738>
- Gökkaya, E., Gutiérrez, F., & Tunçel, E. (2026). Spatial-temporal patterns of sinkhole development in the Konya Basin, Türkiye. Implications for susceptibility and time-variant hazard assessment. *Engineering Geology*, 108480. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2025.108480>
- Huggett, R. (2017). *Fundamentals of Geomorphology* (Fourth edition). Routledge.
- INSPIRE. (2015, 18 Ağustos). Subsidence and collapse. INSPIRE Registry. <http://inspire.ec.europa.eu/codelist/NaturalHazardCategoryValue/subsidenceAndCollapse>
- Kaloop, M. R., Yigit, C. O., El-Mowafy, A., Bezcioglu, M., Dindar, A. A., & Hu, J. W. (2020). Evaluation of multi-GNSS high-rate relative positioning for monitoring dynamic structural movements in the urban environment. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 2239–2262. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1836040>
- Khorrani, B., Arik, F., & Gunduz, O. (2021). Land deformation and sinkhole occurrence in response to the fluctuations of groundwater storage: an integrated assessment of GRACE gravity measurements, ICESat/ICESat-2 altimetry data, and hydrologic models. *GIScience & Remote Sensing*, 58(8), 1518-1542. <https://doi.org/10.1080/15481603.2021.2000349>
- Kurt, A. İ., Özbakır, A. D., Cingöz, A., Ergintav, S., Doğan, U., & Özarpacı, S. (2023). Contemporary velocity field for Turkey inferred from combination of a dense network of long term GNSS observations. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(3), 275-293. <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1844>
- Lazecký, M., Spaans, K., González, P. J., Maghsoudi, Y., Morishita, Y., Albino, F., ... & Wright, T. J. (2020). LiCSAR: An automatic InSAR tool for measuring and monitoring tectonic and volcanic activity. *Remote Sensing*, 12(15), 2430. <https://doi.org/10.3390/rs12152430>
- López-Quiroz, P., Doin, M. P., Tupin, F., Briole, P., & Nicolas, J. M. (2009). Time series analysis of Mexico City subsidence constrained by radar interferometry. *Journal of Applied Geophysics*, 69(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2009.02.006>
- Morishita, Y., Lazecky, M., Wright, T. J., Weiss, J. R., Elliott, J. R., & Hooper, A. (2020). LiCSBAS: An open-source InSAR time series analysis package integrated with the LiCSAR automated Sentinel-1 InSAR processor. *Remote Sensing*, 12(3), 424. <https://doi.org/10.3390/rs12030424>
- Nazik, L., & Poyraz, M. (2017). Türkiye karst jeomorfolojisi genelini karakterize eden bir bölge: Orta Anadolu Platoları karst kuşağı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 68, 43-56. <https://doi.org/10.17211/tcd.300414>
- Nergizci, M., Lazecky, M., Wright, T. J., Hooper, A., Ou, Q., Magnard, C., & Çakir, Z. (2025). Refining 3D displacement fields and coseismic slip models of the 2023 Kahramanmaraş earthquakes using subswath and burst overlap interferometry (SBOI). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 130(11), e2025JB031421. <https://doi.org/10.1029/2025JB031421>
- Oğutcu, S., Alçay, S., Duman, H., Ozdemir, B. N., & Konukseven, C. (2023). Static and kinematic PPP-AR performance of low-cost GNSS receiver in monitoring displacements. *Advances in Space Research*, 72(11), 4795-4808. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.09.025>
- Orhan, O., Haghshenas Haghighi, M., Demir, V., Gökkaya, E., Gutiérrez, F., & Al-Halbouni, D. (2024). Spatial and temporal patterns of land subsidence and sinkhole occurrence in the Konya Endorheic Basin, Turkey. *Geosciences*, 14(1), 5. <https://doi.org/10.3390/geosciences14010005>
- Öztürk, M. Z., Poyraz, M., Duman, H., & Taşoğlu, E. (2025). A geospatial approach to understanding sinkhole formation in Akgöl Wetland, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 84(8), 209. <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12225-0>
- Pınar, A., Buldur, A. D., & Tuncer, T. (2018). Bolluk Gölü traverten konilerinin geçişten günümüze değişimi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 37, 233-252. <https://doi.org/10.14781/mcd.386373>
- Pınar, A., & Tuncer, T. (2019). Coğrafya eğitiminde potansiyel bir açık hava laboratuvarı: Bolluk Gölü ve çevresi. *Gelecek Vizyonlar Dergisi*, 3(3), 24-40. <https://doi.org/10.29345/futvis.72>

- Polat, S. (2011). Türkiye'de traverten oluşumu, yayılış alanı ve korunması. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 389-428. <https://izlik.org/JA88TP36FW>
- Polat, S., & Ege, İ. (2018). Bolluk Traverten Konileri. *Kriter Basım Yayın Dağıtım*.
- Poyraz, B., Duman, H., Gül, Y., Poyraz, F., & Hastaoğlu, K. Ö. (2025). InSAR time-series results of the 2025 Santorini unrest, using Sentinel-1A data. *Annals of Geophysics*, 68(6), G691. <https://doi.org/10.4401/ag-9393>
- Süzer, C. (2024). Altınekin (Konya) Havzası yeraltı sularının hidrojeokimyasal incelemesi, Konya (Yayın No. 850868) [Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Taşoğlu, E., Öztürk, M. Z., & Yazıcı, Ö. (2024). High resolution Köppen-Geiger climate zones of Türkiye. *International Journal of Climatology*, 44(14), 5248-5265. <https://doi.org/10.1002/joc.8635>
- Tavus, B., Kocaman, S., Nefeslioglu, H. A., & Gokceoglu, C. (2024). Analysing slope dynamics of Kaleköy (Türkiye) dam reservoir with Sentinel-1 SAR time series and Sentinel-2 spectral indices. *Environmental Earth Sciences*, 83(17), 510. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11807-8>
- TRT Haber. (2021). Konya'nın Cihanbey ilçesinde bir mahallede ikinci kez obruk oluştu. 20 metre genişliğindeki obruk tedirginliğe neden oldu. <https://www.trthaber.com/foto-galeri/ayni-mahallede-bir-obruk-daha-goruldu/36031/sayfa-1.html>
- TUCBS. (2020, 9 Nisan). Türkiye ulusal coğrafi bilgi sistemi: Doğal risk bölgeleri teması veri tanımlama dokümanı (Sürüm 1.0). Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. [https://tucbs.gov.tr/wp-content/uploads/2025/05/TUCBS\\_DR.pdf](https://tucbs.gov.tr/wp-content/uploads/2025/05/TUCBS_DR.pdf)
- Ulu, Ü., Bulduk, A.K., Ekmekçi, E., Karakaş, M., Öcal, H., Abbas, A., Saçlı, L., Taşkiran, M.A., Adır, M., Sözeri, Ş., Karabıyıköğlü, M., 1994. İnce-Akkise ve Cihanbeyli-Karapınar alanının jeolojisi: M.T.A. Derleme Rapor No: 9720, Ankara.
- Uzun, M., & Garipağaoğlu, N. (2026). Bolluk Gölü çevresinin jeomiras ve jeomorfoturizm Potansiyeli (Cihanbeyli-Konya İç Anadolu) / Geoheritage and geomorphotourism potential of the surroundings of Lake Bolluk (Cihanbeyli-Konya Central Anadolu). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 69(4), 131-158. <https://doi.org/10.25288/tjb.1784847>
- Üstün, A., Tuşat, E., Yalvaç, S., Özkan, İ., Eren, Y., Özdemir, A., ... & Şimşek, F. F. (2015). Land subsidence in Konya Closed Basin and its spatio-temporal detection by GPS and DInSAR. *Environmental Earth Sciences*, 73(10), 6691-6703. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3890-5>
- Uzun, M. (2024). Tersakan ve Bolluk Göllerindeki (Konya) yıllık ve aylık su yüzeyi değişimlerinin uydu görüntüleri ile analizi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 33(2), 219-243. <https://doi.org/10.51800/ecd.1536680>
- Yagmur, N., Erten, E., Musaoglu, N., & Safak, E. (2022). Assessing spatio-temporal dynamics of large airport's surface stability. *Geocarto International*, 37(26), 13734-13747. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2082554>
- Yagmur Aydin, N., Erol, S., Acar, S., & Erol, B. (2026). PSI-based monitoring of structural deformations in Istanbul lagoon regions. *Structural Health Monitoring*, 14759217261435631. <https://doi.org/10.1177/14759217261435631>
- Yu, C., Li, Z., Penna, N. T., & Crippa, P. (2018). Generic atmospheric correction model for interferometric synthetic aperture radar observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 9202-9222. <https://doi.org/10.1029/2017JB015305>