



Sentinel-1 Uydusu ile Konya Karapınar İlçesi Bölgesel Çökme Analizi

Regional Collapse Analysis of Konya Karapınar District with Sentinel-1 Satellite

Asena Karşoğlu^{1*}, Mehmet Hanifi Alkayış², Kaan Kalkan³, Mehmet İnanç Onur⁴

¹Sorumlu yazar; Eskişehir Teknik Üniversitesi; asenakarşlioglu@eskisehir.edu.tr; <https://orcid.org/0000-0001-5178-4069>

²Süleyman Demirel Üniversitesi; mehmethanifialkayis@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0177-043X>

³TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü; kaan.kalkan@tubitak.gov.tr; <https://orcid.org/0000-0002-2732-5425>

⁴Eskişehir Teknik Üniversitesi; mionur@eskisehir.edu.tr; <https://orcid.org/0000-0002-2421-4471>

Özet

Bölgesel çökme, yatay hareketle veya hiç hareket olmadan zemin yüzeyinin ani çökmesi veya kademeli olarak aşağıya doğru yerleşmesi olarak tanımlanmaktadır. Zeminlerde çökme dünya çapında görülen bir problemdir. Bölgesel çökmeye Türkiye İç Anadolu Bölgesi'nde sıkça rastlanmaktadır. Günümüzde bölgesel çökmenin belirlenmesinde, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin yanında uydu teknolojileri de kullanılmaktadır. Sentinel-1 uydusunun C-band Sentetik Açıklık Radarı (SAR) tarafından sağlanan görüntüler, yüzeyde oluşan çökmeleri ve yapısal hasarı izlemenin en iyi yoludur. Bu çalışmada, Konya ilinin 06/05/2019 ile 24/05/2020 tarihleri arasındaki diferansiyel sentetik açıklık radar interferometrisi (DInSAR) verileri kullanılarak çökme analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda Konya ili Karapınar ilçesinde çökme potansiyelinin olduğu ve bölgesel çökmenin çoğunlukla 5-10 cm/yıl olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bölgesel çökme, Sentinel-1, DInSAR, SAR, Uzaktan algılama.

Abstract

Land subsidence is defined as sudden collapse of the ground surface or gradual downward placement with or without horizontal movement. It is a global problem and frequently seen in Turkey, especially in the Central Anatolia Region. Today, in the determination of regional collapse, satellite technology is used in addition to remote sensing and geographical information systems. The images provided by the Sentinel-1 satellite C-band synthetic aperture radar (SAR) are the best way to monitor land subsidence and structural damage. In this study, subsidence analysis of SNAP (Sentinel Application Platform) software was performed by using Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) data of Konya city between 06/05/2019 and 24/05/2020. It was determined that there is a potential for collapse in the district of Karapınar and regional collapse is mostly seen as 5-10 cm/year.

Keywords: Land subsidence, Sentinel-1, DInSAR, SAR, Remote sensing.

1. Giriş

Bölgesel çökme, çoğunlukla, yeryüzünün yüzey altı hareketinin bir sonucu olarak toprak yüzeyinin kademeli olarak çökmesi veya hızla batması anlamına gelen çevresel, jeolojik bir olgudur (Du vd. 2018). Zemin çökmesi, doğal süreçlerden (çeşitli karst olayları, deprem, kaldera çökmesi vb.) veya insan faaliyetlerinden (madencilik, petrol, doğal gaz veya yeraltı suyunun çıkarılması vb.) kaynaklanabilmektedir. Bölgesel çökme ile ilgili literatürden örnek bir görsel Şekil 1'de verilmiştir.

Aşınma karşı dirençsiz, kolay eriyebilen kayalardan oluşan karstik araziler, Türkiye’de hemen her bölgede olmakla birlikte en çok Akdeniz bölgesi ve İç Anadolu’nun güneyinde bulunmaktadır. Konya civarında yaygın olan bu araziler su ile oldukça kolay çözünebilen bir yapıya sahip olduğundan özellikle yer altı sularının karbondioksit ile birleşmesiyle oluşan karbonik asit bu kayaçları çözündürerek yer altında büyük mağaralar meydana getirmektedir. Zamanla bu mağaraların üzerindeki toprak çökerek zemin çökmesini (obrukları) meydana getirmektedir.

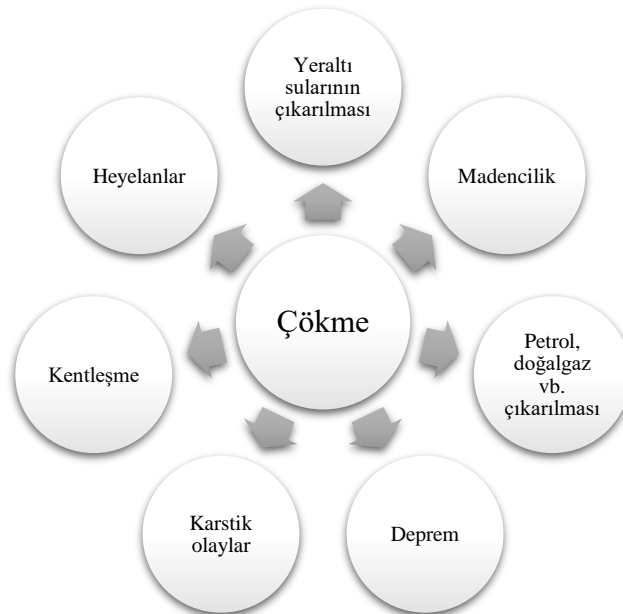
Doğal gaz çıkarılmaya başladığında alandaki ilk basınç yıllar içinde düşmektedir. Bu basınç, alanın üstündeki toprak katmanlarını desteklemeye yardımcı olduğundan doğal gaz çıkarıldığında, aşırı yük basıncı tortusu sıkışıp yer seviyesinde çökmeye neden olabilmektedir. Arazi çökmesi, bir deprem sırasında çeşitli şekillerde de ortaya çıkabilmektedir. Büyük toprak alanları, fay hatları boyunca kayma nedeniyle bir deprem sırasında büyük ölçüde düşebilir. Bölgesel çökme, konsolide olmayan tabakanın deprem sarsıntısından dolayı yerleşmesi ve sıkıştırılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkabilmektedir.

Yeterli pompalama düzenlemesi ve uygulaması olmayan şehirler ve nüfus arttıkça, su kullanımının dünya çapında büyüyen bir sorun olduğu öngörülmektedir. Su ihtiyacının giderilmesi için yeraltı suları bilinçsiz bir şekilde temin edilmeye çalışılmaktadır. Bundan dolayı günümüzde yeraltı suyu çıkarılmasından kaynaklanan arazi çökmesi oldukça fazla gözükmektedir. Ciddi arazi çöküşü sorunlarının % 80’i yeraltı suyunun aşırı çekimi ile bağdaştırılmaktadır (Galloway, 2000).



Şekil 1. İç Moğolistan bölgesel çökme (SMHRIC, 2002)

Xue vd, (2005) Çin'deki arazi çökmesini inceleyerek, çökmenin dağılımı, gelişimi ve özelliklerinin temel olarak yeraltı suyunun çekilmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ye vd. (2016) yeraltı suyunun aşırı kullanılmasının dünyanın birçok bölgesinde arazi çökmesinin başlıca nedeni olduğunu açıklamışlardır. Suganthi vd. (2017) kapalı akiferlerden yeraltı suyunun aşırı pompalanmasının arazi çökmesine neden olabileceğini bildirmişlerdir.



Şekil 2. Çökme nedenleri

Hsieh vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada 1995 ve 2000 yılları arasında Tayvan'ın güneyindeki Pingtung Ovası'ndaki toprak çöküşünü tespit etmek için DInSAR ve PSInSAR uygulanmıştır. Çökmenin kurak mevsimden yağışlı mevsime göre önemli derecede yüksek olduğu bulunmuştur. Kurak mevsimde yıllık azami yağış oranı, kritik bölgede 11.51 cm/yıl kadardır. Yaş ve kurak mevsimlerde ortalama çökme oranları sırasıyla 0,31 ve 3,37 cm/yıl'dır.

Üstün vd. (2015) Global Konumlandırma Sistemi (GPS) ve InSAR gibi jeodezik teknikler Konya ovasında 1-4 cm/yıl oranında sonuçlanan önemli bir arazi çöküntüsü ve bunun sebebinin yeraltı suyunun aşırı derecede tüketilmesinden kaynaklı olabileceğini ortaya koymuştur. Zhou vd. (2017) 11 Nisan 2015 - 29 Nisan 2016 tarihleri arasında SBAS InSAR tekniği ile elde edilen Sentinel-1A TOPS SAR görüntüsü kullanılarak Wuhan'daki geniş alan yüzey çökmesini incelemişlerdir. Çökmedeki mevsimsel varyasyonlar su seviyesindeki değişiklikler ve yağış ile bağdaştırılmıştır.

Du vd. (2018) tarafından yapılan çalışma, Eylül 2014 ile Temmuz 2017 arasında çekilen Sentinel-1 ve ALOS-2 veri seti ile sırasıyla yerel ve yamalı ölçeklerdeki çöküntü olayına odaklanmıştır. Birden fazla ölçek üzerinde yapılan analizler, yeraltı suyunun endüstriyel kullanımının her zaman toprak çökmesine neden olan baskın faktör olmadığını ve gerçekten de her zaman büyük arazi çöküntüleri yaratmadığını göstermektedir. Çökmeye maruz kalan bölgeler, örneğin konut, sanayi veya tarımsal faaliyetler gibi bir dizi faktörün birleşik etkisinden kaynaklanmaktadır.

Zhou vd. (2018) Sentinel-1 verilerinin, zemin yüzeyindeki çöküntüyü izlemek için kullanılabilirliği ve verilerin doğrusal bir özellik boyunca kalıcı saçılma noktalarının belirlenmesinde özellikle etkili olduğu kanıtlamıştır. Mart 2015 - Şubat 2017 arasındaki dönemde Çin'deki Cangzhou'un temel çöküntü durumunu, gelişmiş sentetik açıklık radar interferometrisi (InSAR) zaman serisi tekniği ile izlemiş ve zaman serisi çöküş oranları elde edilmiştir. Yapılan analiz sonucun maksimum çöküşün Dongguang İlçesinde gerçekleştiği, çöküşün çalışma süresi boyunca yaklaşık 80.0 mm'ye ulaştığını ve çökme eğilimi ile kent gelişiminin ana yönü arasında yakın bir ilişki olduğunu tespit edilmiştir.

Edalat vd. (2019) Aliabad ovasındaki zemin çökmesini DInSAR kullanılarak incelemiştir. Bu amaç için kullanılan veriler 24/03/2015 ila 08/09/2016 tarihleri arasında elde edilen Sentinel-1 görüntüleridir. Sonuçlar, çökmenin çalışma alanında devamlı olan bir olay olduğunu ortaya koymuştur. İncelenen dönemde düşey yer değiştirme oranının 178 mm/yıl olduğu tahmin edilmiştir. Ayrıca ovanın batı kesimindeki çöküntü oranının diğer bölümlerden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Pekin, 1935'ten bu yana yoğun yeraltı suyu tahliyesi nedeniyle toprak çökmesinden etkilenmiştir. Hu vd. (2019) Pekin'deki çöküşü (2015-2017) araştırmak için, Aşamalı Taramalarla Arazi Gözlemi (TOPS) modu SAR verisi ile 22 Sentinel-1 Arazi Gözlemi ile zaman serisi interferometrik sentetik açıklık radar (TS-InSAR) analizi yapılmıştır. Sonuçlar, Pekin'in doğusundaki geniş alanların GPS verisi ile tutarlı olarak azami 14 cm/yıl oranında çöktüğünü göstermektedir. Bu çalışmada Pekin'deki toprak çöküşünün temel olarak yeraltı suyunun aşırı çekilmesinden kaynaklandığı, mekânsal yapısının jeolojik hatalarla kontrol edildiği ileri sürülmektedir.

Zeminin çöküşü geoteknik mühendisleri, şehir plancıları ve halk için tüm dünyada endişe kaynağıdır. Bu sebepten arazi çökme konusu can ve mal kaybını önlemek amacıyla oldukça ilgi çekmektedir. Yapılan çalışmalarda da görüldüğü üzere arazi çökmesi dünya çapında bir sorun olmasıyla birlikte Türkiye'de de oldukça fazla görülmektedir. Ancak, Türkiye'de bu konu hakkında fazla çalışma bulunmamaktadır. Arazi çökmesi, ülkemizde Akdeniz bölgesi ve Güney İç Anadolu Bölgesinde önemli bir sorun arz etmektedir. Bu probleme çözüm üretilebilmesi için küçük bölgeler seçilerek çökme potansiyelleri belirlenmeli ve yıllık olarak değişim sürekli gözlenmelidir. Bu çalışmada Konya ili Karapınar ilçesi bölgesel çökme potansiyeli DInSAR yöntemi ile analiz edilmiştir. Konya ilinde görülen arazi çökmelerinin ve dev obrukların (Şekil 3 ve Şekil 4) civar illere yaklaşması ve bu illerin de tehlike altında olması sebebiyle Karapınar ilçesi araştırma bölgesi olarak seçilmiştir.

Çalışmanın 2.bölümünde çalışma alanı, Sentinel-1 uydusu ve kullanılacak modlar ile birlikte DInSAR verileri tanıtılmıştır. 3.bölümde çökme analizinin nasıl yapıldığıyla ilgili yöntem anlatılmıştır. Son bölümde ise analiz sonuçlarından ve ileride yapılabilir çalışmalardan bahsedilmiştir.



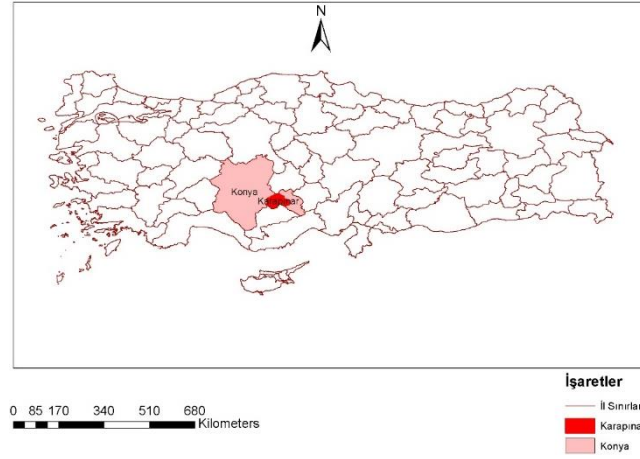
Şekil 3. İnoba obruğu (Yılmaz 2010)

Şekil 4. Yarimoğlu obruğu (Yılmaz 2010)

2. Çalışma Alanı ve Veri

2.1 Çalışma Alanı

Çalışmada İç Anadolu Bölgesinde bulunan Konya ilinin 06/05/2019 ile 24/05/2020 tarihlerine ait iki görüntü için 250 km tarama alanı ve 5 m x 20 m mekânsal çözünürlükle kaydedildiği İnterferometrik Geniş Alan modu (IW) SLC formatı ve VV polarize C-band verileri kullanılmıştır. Çalışma alanı 8631,41 km²'dir.



Şekil 5. Çalışma Alanı

2.2 Sentinel-1

Sentinel-1, 5.405 GHz merkez frekansında çalışan tek bir C-band sentetik açıklıklı radar cihazı taşımaktadır. C-SAR cihazı, bir iletim zinciri ve iki paralel alma zinciri aracılığıyla uygulanan H ve V polarizasyonu için çift polarizasyonda çalışmayı desteklemektedir. Çift polarizasyon verileri, arazi örtüsü sınıflandırması ve deniz buzu uygulamaları için kullanışlıdır. Sentinel-1 verilerine ücretsiz ve kolay erişim olmasından dolayı, veriler birçok uygulamalarda kullanılmaktadır. Sentinel-1, 4 özel modda çalışmaktadır (ESA 2015).

- ❖ *Stripmap modu (SM)*, sadece küçük adalar için ve acil durum yönetimi gibi olağanüstü olaylar için istek üzerine kullanılmaktadır. Bu mod, 80 km'lik dar bir bant genişliği boyunca 5 m ile 5 m çözünürlükle kapsama sağlar.
- ❖ *İnterferometrik Geniş Alan modunun (IW)* bir faal durum mod olması, mevcut servis gereksinimlerinin çoğunu karşılar, uyumsuzlukları önler ve görev planlamasını basitleştirir. Bu mod, büyük bir tarama alan genişliğinin (250 km) orta bir geometrik çözünürlükle (5 m x 20 m) birleştirilmesini sağlamakla birlikte arazi üzerinde kullanılan birincil moddur.
- ❖ *Ekstra Geniş Alan modu (EW)* öncelikle gemi trafiği, petrol sızıntısı ve deniz buzu izleme dâhil olmak üzere geniş alandaki sahil izleme için kullanılır. Bu mod, üç yerine beş alt alan kullanan bir TOPSAR tekniğini kullanan İnterferometrik Geniş Alan moduna benzer şekilde çalışır, daha düşük bir çözünürlükle sonuçlanır (20 m x 40 m).
- ❖ *Dalga modu (WV)* küresel okyanus dalgası modelleriyle birlikte, açık okyanuslardaki dalgaların yönünü, dalga boyunu ve yüksekliklerini belirlemeye yardımcı olabilir. Dalga modu kazanımları, dönüşümlü olarak iki farklı açıda elde edilen 20 km'ye 20 km'lik stripmap görüntülerinden oluşur. Dalga görüntüleri, her 100 km'de bir, aynı insidans açısında 200 km ile ayrılmış görüntüler elde edilir (ESA 2015).

2.3 DİnSAR verileri

Radar uzaktan algılama iki kategoriye ayrılabilir; gerçek açıklıklı radarlar (RAR) ve sentetik açıklıklı radarlar (SAR). Gerçek diyafram radarları sabit uzunlukta bir antenle mikrodalga sinyalleri iletir ve alır. Çok uzun bir anteni taşımak zor olduğu için, çoğu uzaktan algılama uygulaması için yeterince ince çözünürlük üretme yetenekleri sınırlıdır. Bu sorunun çözümünü bulmak için, SAR geliştirilmiştir. SAR'lar, çok uzun antenleri simüle eden veya sentezleyen fiziksel

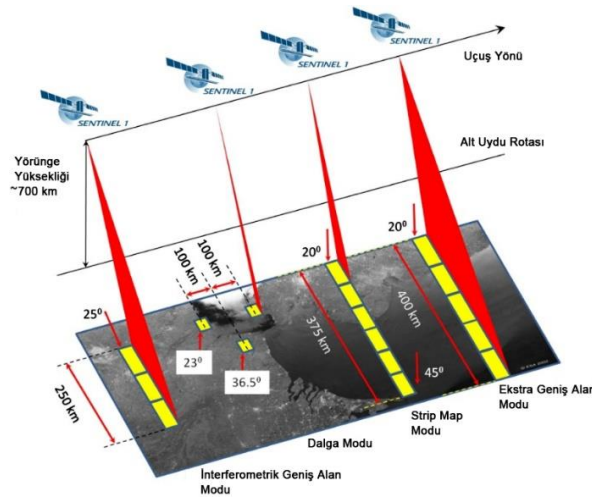
olarak daha kısa antenlere sahiptir. Bu, değiştirilmiş veri kaydı ve sinyal işleme teknikleriyle gerçekleştirilir. İşleme için, karmaşık sinyalin her iki bileşeninin de depolanması gereklidir, çünkü bileşenler SAR işleme yetenekleri için gereklidir. SAR'lar, gerçek diyafram radarlarına kıyasla azimut çözünürlüğünü arttırmıştır (Gharechelou 2015).

Her mod için SAR Level-0, Level-1 SLC, Level-1 GRD ve Level-2 OCN'de veriler üretmek mümkün olmaktadır. Seviye-1 verileri çoğu veri kullanıcılarına yönelik genel olarak mevcut ürünlerdir. Seviye-1 ürünler Single Look Complex (SLC) ve Ground Range Detected (GRD) olarak üretilmektedir. Seviye-1 SLC ürünleri, uydudan gelen yörünge ve tutum verilerinden yararlanarak coğrafi referanslı ve sıfır Doppler eğimli menzil geometrisinde sağlanan odaklanmış SAR verilerinden oluşur. Ürünler, tam aktarım sinyali bant genişliğini kullanan her boyutta tek bir görünüm içerir ve faz bilgisini koruyan karmaşık örneklerden oluşur (ESA 2015).

InSAR, Dünya yüzeyindeki yer değiştirmeleri birkaç santimetre veya daha düşük bir hassasiyetle ölçmek için kullanılır. InSAR verileri, büyük ölçüde depremler, volkanik patlamalar, buzul hareketleri, toprak kaymaları ve çöküntülerin neden olduğu deformasyonları incelemek için kullanılır. Diğer uygulamaların yanı sıra atmosferdeki su buharı dağılımını incelemek için de kullanılabilirler (EARTHDATA 2016).

DInSAR, geniş mekânsal kapsama alanı ve sağladığı yüksek hassasiyet nedeniyle arazi sıkıntısını izlemek için etkili ve uygun maliyetli bir teknik olarak kabul edilebilir (Sowter 2016).

InSAR çoğunlukla Sayısal Yükseklik Modelini (SYM) üretimi için kullanılır, bu nedenle iki görüntü arasındaki faz farklarını göreceli yüksekliğe dönüştürmek için kullanılır. Mutlak yükseklik elde etmek için referans SYM gereklidir. DInSAR belirli bir zamanda iki görüntü arasındaki faz değişikliklerini gözlemlemek için kullanılır. Çökme/yükselme veya yanal deformasyonu izlemek için kullanılır. Topoğrafyadan bağımsız olması için, topografik faz bir referans SYM kullanılarak simüle edilir ve daha sonra interferogramdan çıkarılır.



Şekil 6. Sentinel-1 modları (ESA 2015)

3. Yöntem

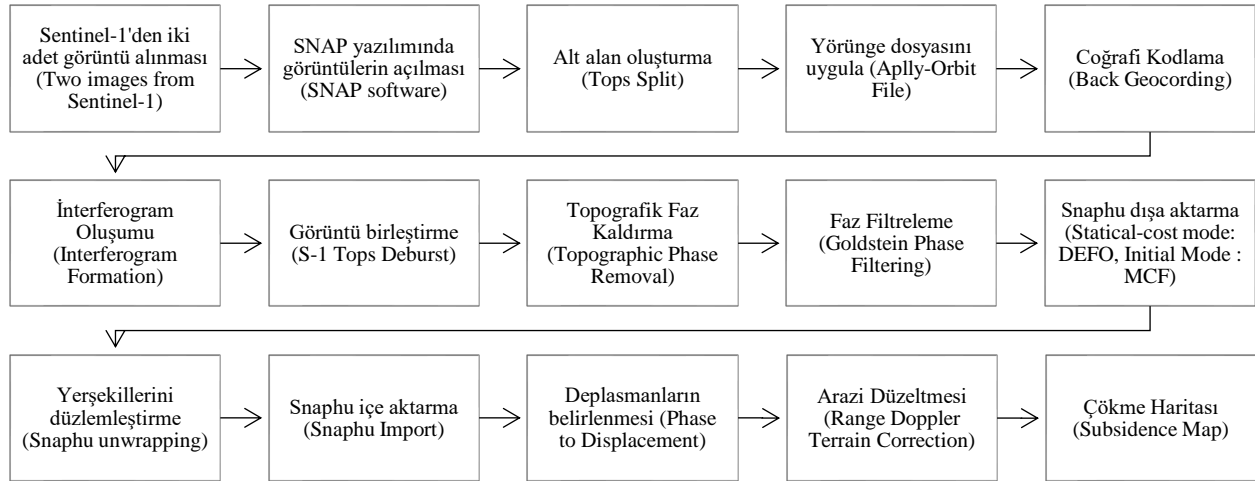
Çalışmanın amacı Mayıs, 2019 ile Mayıs, 2020 tarihleri arasındaki yıllık değişimi gözleyip, DInSAR verileri kullanılarak Konya ilinin çökme analizini yapmaktır. Çalışmada izlenen adımlar, akış diyagramı şeklinde Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Öncelikle, iki farklı zamanda elde edilen aynı alan üzerinde iki adet SLC görüntüleri Sentinel-1'den indirilmiştir ve Sentinel Uygulama Platform (SNAP) yazılımı kullanılarak düzeltilmiştir.

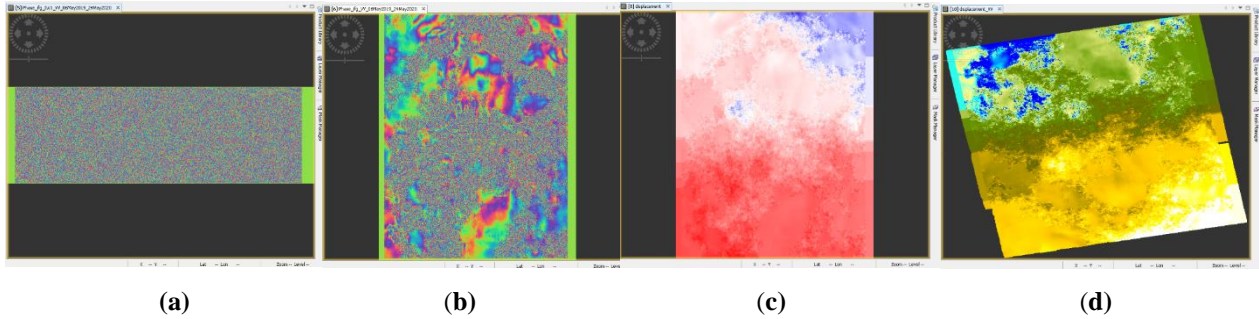
Alt alan oluşturma (Tops split) işlemi ile Konya ili için alt alan oluşturulmuştur. Coğrafi kodlama (Back Geocoding) operatöründe kullanılacak SYM varsayılan, SRTM 3 Sec SYM olarak seçilmiştir. Düz dünya fazı, referans yüzeyinin eğriliği nedeniyle interferometrik sinyalde mevcut olan faz, İnterferogram oluşumu (Interferogram Formation) adımı sırasında otomatik olarak yapılmıştır. Bir kümedeki tüm patlamaları tek bir görüntüde sorunsuz bir şekilde birleştirmek için, Görüntü birleştirme (TOPS Deburst) operatörü kullanılmıştır.

Topografik faz kaldırma (Topographic Phase Removal) operatörü, referans SYM'ye dayalı bir interferogram simüle etmektedir ve işlenen görüntüyü interferogramdan çıkarmaktadır (Şekil 7.a). Daha sonra, en gelişmiş filtreleme yaklaşımı olan Faz filtreleme (Goldstein Phase Filtering) operatörü kullanarak bir faz filtreleme adımı yapılmıştır ve interferometrik faz önemli ölçüde iyileştirilmiştir (Şekil 7.b).

Snaphu dışı aktarma (Snaphu export) operatöründe Statical-cost mode: DEFO, Initial Mode: MCF seçilerek deformasyonlar belirlenmiştir. İnterferometrik faz görüntüsünün bir SYM destekli coğrafi kodlama basamağı kullanarak bir coğrafi koordinat sistemine yansıtılması gerektiği için Arazi düzeltmesi (Range Doppler Terrain Correction) operatörü kullanılmıştır (Şekil 7.d) (EARTHDATA 2016).



Çizelge 1. İş akış diyagramı



Şekil 7. Analiz aşamaları; a) Topografik Faz Kaldırma, b) Goldenstein Faz Filtreleme, c) Deplasmanların belirlenmesi, d) Arazi düzeltmesi

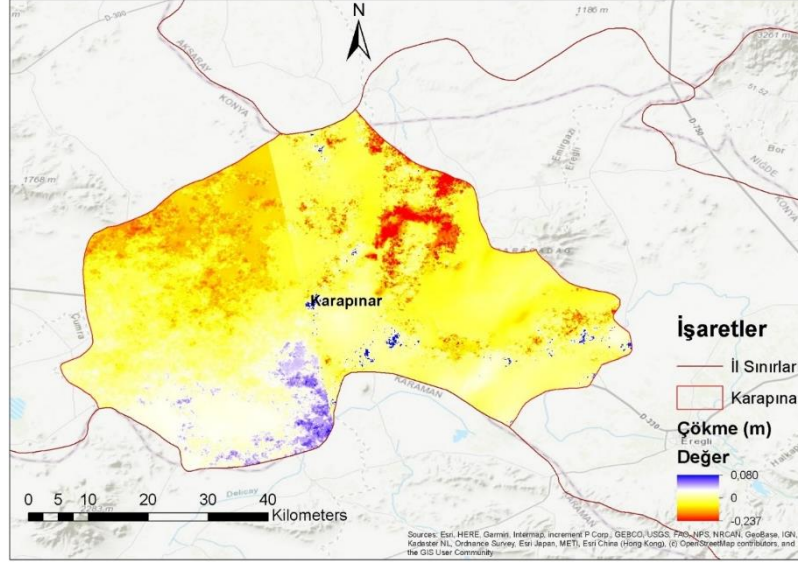
4. Sonuçlar ve Tartışma

Bölgesel çökme, yıllardır üzerinde çalışılan ve ülkemizin çeşitli bölgelerinde sıkça görülen jeolojik bir problemdir. Arazi çökmesi özellikle Konya ilinde önemli bir sorundur. Konya'nın Karapınar ilçesinde tarım arazilerinde görülen çökmelerin her sene mal kaybına neden olduğu gözlenmiştir (Milliyet 2016).

Aynı ilçede oluşan, 70 metre çapında 80 metre derinliğinde, dev obruklar sonucunda Türkiye Çevre Koruma ve Yeşillendirme Kurumu (TÜRÇEK), Türk Coğrafya Kurumu (TCK) ve İç Anadolu Doğa Koruma Federasyonu'nun açıklama yapmıştır. Oluşan arazi çökmelerinin sessiz bir felaket olduğunu ve Tuz Gölü'nün güneyindeki 4000 km²'lik alanın zarara uğrama tehlikesi içinde olduğunu belirterek, önlem alınması gerektiğini söylemişlerdir (Hürriyet 2009).

Bu çalışmada Konya ilinin 06/05/2019 ile 24/05/2020 tarihleri arasında Sentinel-1'den elde edilen S1A_IW_SLC__1SDV_20190506T154213_20190506T154240_027109_030E25_FDF3 ve S1A_IW_SLC__1SDV_20200524T154220_20200524T154247_032709_03C9EB_A1F1 görüntüleri ile birlikte SNAP yazılımından oluşturulan DInSAR verileri de kullanılarak çökme analiz sonuçları haritalandırılmıştır.

Şekil 8’de görülen analiz sonucunda kuzeye gidildikçe çökme miktarının arttığı görülmektedir. Konya ili Karapınar ilçesinde bölgesel çökmenin çoğunlukla 5-10 cm/yıl oranına varan ciddi bir çökme olduğu, maksimum çökme değerinin ise 23.7 cm/yıl olduğu belirlenmiştir. Genellikle fazla miktarda arazi çökmesine faylar ve deprem neden olur, ancak yeraltı suyunun kullanımı, madencilik gibi başka koşullar da çökme oluşumunda rol oynamaktadır. Literatüre bakıldığında, bu çalışma Karapınar ilçesinde oluşabilecek bölgesel çökmenin hasar ve yayılma potansiyelinin gösterilmesi açısından son derece önemlidir. Çalışma alanındaki çökmenin sebebinin kesin olarak belirlenebilmesi için yerinde araştırma yapılıp, numuneler alınarak incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 8. Çökme haritası

Karapınar ilçesinde çökmenin en fazla görüldüğü yerlerin tarım arazileri olmasından dolayı bu alanlarda yeraltı suyunun dikkatli bir şekilde kullanılması önerilmektedir. Çökme sebebiyle oluşan arazi çatlakları ve obruklar tarım arazilerinin büyük ölçüde kaybına sebebiyet vermektedir. Geçmişte düşük nüfus yoğunluğu, sınırlı tarım ve sanayi alanları gibi nedenlerden dolayı bir tehdit olarak algılanmayan obruklar, günümüzde bu faktörlerin daha geniş alanlara yayılmasına bağlı olarak, insan yaşamı açısından tehlike yaratabilecek konuma gelmiştir (MTA 2020). Çökmenin yaşanmasının ve zararlarının önlenmesi için arazi kullanılmadan önce bir uzman görüşüne başvurulması gerekmektedir. Araştırmacılar tarafından gözlenmesi gereken hedef bölgeler özellikle, yeraltı suyunun fazla kullanıldığı tarım alanları, karstik araziler ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerlerdir. İleride yapılacak çalışmalarla birlikte bir arazide yüzey çökmesi problemi ile karşılaşılıp karşılaşılmayacağı araştırma konusu olabilir. Bu sayede bölgesel çökme durumu en az seviyeye indirilerek, yaşanabilecek olumsuz durumlar önlenmiş olacaktır.

Referanslar

- Du, Z., Ge, L., & Ng, A. H. M. (2018, July). Investigation on the Correlation Between the Subsidence Pattern and Land Use in Bandung, Indonesia with Both Sentinel-1/2 and ALOS-2 Satellite Images. In IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 4467-4470). IEEE.
- EARTHDATA, <https://www.asf.alaska.edu/sar-data-sets/insar/> [Erişim tarihi: 2016]
- Edalat, A., Khodaparast, M., & Rajabi, A. M. (2019). Detecting Land Subsidence Due to Groundwater Withdrawal in Aliabad Plain, Iran, Using ESA Sentinel-1 Satellite Data. *Natural Resources Research*, 1-16.
- ESA, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload> [Erişim tarihi: 2015]
- Galloway, D. L., Jones, D. R., & Ingebritsen, S. E. (1999). Land subsidence in the United States (Vol. 1182). US Geological Survey.
- GHARECHELOU, S. (2015). Soil moisture retrieval using synthetic aperture radar (SAR) data (Doctoral dissertation, 千葉大学).
- Hsieh, C. S., Shih, T. Y., Hu, J. C., Tung, H., Huang, M. H., & Angelier, J. (2011). Using differential SAR interferometry to map land subsidence: a case study in the Pingtung Plain of SW Taiwan. *Natural hazards*, 58(3), 1311-1332.
- Hu, L., Dai, K., Xing, C., Li, Z., Tomás, R., Clark, B., ... & Lu, Y. (2019). Land subsidence in Beijing and its relationship with geological faults revealed by Sentinel-1 InSAR observations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 82, 101886.
- Hürriyet, <http://www.hurriyet.com.tr/gundem/konyada-30-yer-coktu-10967526> [Erişim tarihi: 2009]
- Milliyet, <http://www.milliyet.com.tr/gundem/konyada-tarla-coktu-yeni-dev-obruk-olustu-2299858> [Erişim tarihi: 2016]
- Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü, MTA, <https://www.mta.gov.tr/> [Erişim tarihi: 2020]
- Sowter, A., Amat, M. B. C., Cigna, F., Marsh, S., Athab, A., & Alshammari, L. (2016). Mexico City land subsidence in 2014–2015 with Sentinel-1 IW TOPS: Results using the Intermittent SBAS (ISBAS) technique. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 52, 230-242.
- Southern Mongolian Human Rights Information Center, https://www.smhric.org/news_455.htm [Erişim tarihi: 2002]
- Suganthi, S., Elango, L., & Subramanian, S. K. (2017). Microwave D-InSAR technique for assessment of land subsidence in Kolkata city, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(21), 458.
- Üstün, A., Tuşat, E., Yalvaç, S., Özkan, İ., Eren, Y., Özdemir, A., ... & Doğanalp, S. (2015). Land subsidence in Konya Closed Basin and its spatio-temporal detection by GPS and DInSAR. *Environmental earth sciences*, 73(10), 6691-6703.
- Xue, Y. Q., Zhang, Y., Ye, S. J., Wu, J. C., & Li, Q. F. (2005). Land subsidence in China. *Environmental geology*, 48(6), 713-720.
- Ye, S., Xue, Y., Wu, J., Yan, X., & Yu, J. (2016). Progression and mitigation of land subsidence in China. *Hydrogeology Journal*, 24(3), 685-693.
- Yılmaz, M. (2010). Karapınar Çevresinde Yeraltı Suyu Seviye Değişimlerinin Yaratmış Olduğu Çevre Sorunları.
- Zhou, H., Wang, Y., Yan, S., Li, Y., Liu, X., & Zhang, F. (2018). Monitoring of recent ground surface subsidence in the Cangzhou region by the use of the InSAR time-series technique with multi-orbit Sentinel-1 TOPS imagery. *International journal of remote sensing*, 39(22), 8113-8128.
- Zhou, L., Guo, J., Hu, J., Li, J., Xu, Y., Pan, Y., & Shi, M. (2017). Wuhan surface subsidence analysis in 2015–2016 based on sentinel-1a data by SBAS-inSAR. *Remote Sensing*, 9(10), 982.