



Araştırma Makalesi / Research Article

SENTİNEL GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK HEYELANLARIN MODELLENMESİ: 2020 GJERDRUM (NORVEÇ) HEYELAN ÖRNEğİ

Modeling of Landslides Using Sentinel Images: The Case of Gjerdrum Landslide (Norway) in 2020

Deniz BiTEK^a, R. Cüneyt ERENOğLU^b, Oya ERENOğLU^c

^a Edirne İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Planlama ve Risk Azaltma Şubesi, Edirne

denizbitek@hotmail.com [id https://orcid.org/0000-0002-9830-6897](https://orcid.org/0000-0002-9830-6897)

^b Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Çanakkale

ceren@comu.edu.tr [id https://orcid.org/0000-0002-8212-8379](https://orcid.org/0000-0002-8212-8379)

^c Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi ABD, Çanakkale

o_turkdonmez@comu.edu.tr [id https://orcid.org/0000-0003-1235-3009](https://orcid.org/0000-0003-1235-3009)

Makale Tariğesi

Geliş 13 Kasım 2022

Kabul 16 Aralık 2022

Article History

Received 13 November 2022

Accepted 16 December 2022

Anahtar Kelimeler

Heyelan, Uydü Görüntüsü, Gjerdrum, Sentinel-1, InSAR

Keywords

Landslide, Satellite Image, Gjerdrum, Sentinel-1, InSAR

Atıf Bilgisi / Citation Info

Bitek, D., Erenoğlu, R.C., Erenoğlu, O.

(2023) Sentinel Görüntüleri

Kullanılarak Heyelanların

Modellenmesi: 2020 Gjerdrum

(Norveç) Heyelan Örneği / Modeling of

Landslides Using Sentinel Images: The

Case of Gjerdrum Landslide (Norway)

in 2020, Jeomorfolojik Araştırmalar

Dergisi / Journal of Geomorphological

Researches, 2023 (10): 67-77

doi: 10.46453/jader.1203455

ÖZET

Bu çalışmada, 30.12.2020 tarihinde Norveç'in Gjerdrum kentinin Ask kasabasında meydana gelen heyelan sonucunda bölgede yüzey çökmesi biçiminde oluşan jeomorfolojik etkiyi modellemenin yanı sıra toprak kitlesindeki değişim analiz edilmiştir. Bu amaçla, Avrupa Birliği Copernicus programının Açık Erişim Merkezi Sentinel-1 uydü görüntüleri kullanılmıştır. Heyelanın meydana geldiği tarihten önce 18.12.2020, 24.12.2020 tarihli uydü görüntüleri ve sonrasında 30.12.2020 tarihli uydü görüntüleri üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir. Farklı tarihte elde edilen aynı alan üzerindeki aynı geometriye sahip ve sensör modü IW olan uydü görüntüleri Copernicus Açık Erişim Merkezi'nden indirilmiş ve Sentinel Uygulama Platformu (SNAP) yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Yazılımdan oluşturulan DInSAR verileri de kullanılarak çökme analiz sonuçları elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, özellikle bölgede önceki yıllarda yer alan akarsu yataklarında değişimler ve bu özelliklere bağlı olarak değişen morfolojik özellikler ile bölgede 2000li yıllardan bu yana yaşanan eğim değişiklikleri heyelanı oluşturan sebepler olarak öne çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlar meydana gelen toprak kayması miktarının örtüştüğünü göstermektedir. İnterferometrik Geniş Alan (IW) modunun kullanılabilirliği ile Sentinel-1 interferometrik sentetik açıklıklı radar (InSAR) tekniklerinin yüzey çökmesini izleme yeteneğine sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır.

ABSTRACT

In this study, besides modeling the geomorphological effect in the form of surface collapse in the region as a result of the landslide that occurred in the Ask town of Gjerdrum, Norway on 30.12.2020, the change in the soil mass was analyzed. For this purpose, the Open Access Center Sentinel-1 satellite images of the Copernicus program of the European Union were used. The study was carried out on satellite images dates 18.12.2020, 24.12.2020 before the landslide occurred and after on the satellite images dated 30.12.202. Satellite images with the same geometry and sensor mode IW on the same area obtained on different dates were downloaded from Copernicus Open Access Center and evaluated using the Sentinel Application Platform (SNAP) software. Slump analysis results were obtained by using DInSAR data generated from the software. As a result of the study, especially the changes in the river beds in the region in the previous years and the morphological features that have changed depending on these features, as well as the slope changes experienced in the region since the 2000s come to the fore as the causes of the landslide. The results show that the amount of landslides that occurred overlap. With the availability of the interferometric Wide Field (IW) mode the Sentinel-1 is interferometric synthetic aperture radar (InSAR) techniques have been found to be capable of monitoring surface subsidence.

Heyelan Varnes tarafından “her türlü zemin, dolgu malzemeleri veya bunların bileşiminden oluşan materyallerin yamaç aşağı ve yanlara doğru hareketi” olarak tanımlanmıştır (Varnes, 1958). Bir başka tanımlamaya göre ise heyelan veya zemin çökmesi bir yamacı oluşturan kaya, toprak kayması veya zemin kütlelerinin kayan malzemenin özellikleri, boyutu ve kayma hızına göre farklı ölçek, model ve morfolojide gelişen bir doğa olayıdır. Heyelanlar, ciddi maddi kayıplara, can kayıplarına ve yerleşim yerlerine zarar veren en yaygın doğal afet türlerinden biridir (Zhu vd., 2021).

Heyelanlar birbirinden farklı mekanizmalarda gerçekeşebilir. Heyelanların aktivite yayılımları genel olarak; düşme, devrilme, akma, yanal yayılma, kayma şeklinde olmaktadır. Bu aktiviteler yüksek eğimli noktalar, eski heyelan kütlelerinin bulunduğu alanlar, ana drenaj ağları, kil oranı yüksek formasyonların bulunduğu vb. noktalarda meydana gelebilir (AFAD, 2015).

Hızlı kil (Quick Clay), son buzul çağının sonunda deniz seviyesinin altında kalan ve birikim gösteren yapıyı ifade eder (Solberg vd., 2016). Kil, Buz Devri'nden beri yavaş yavaş yer altı suyundan yıkanmış tuz içerir. Yüzey akışı nedeniyle deniz birikintilerinden aşağı doğru veya artezyen basınçları nedeniyle yukarı doğru süzölen tatlı su, tuz iyonlarını uzaklaştırır ve kil minerallerinden oluşan karasız bir yapı oluşturur (L'heureux, 2012). Bu yapı doğal ve beşeri etkilere maruz kalırsa yapısal özelliği bozulur ve sıvı çamurumsu bir görünüme erişir.

Hızlı killi heyelanlar Norveç'te sıklıkla meydana gelir. Killi toprak kaymalarının çoğu kent yerleşiminin bulunduğu nehir kenarında meydana gelmektedir. Bu nedenle bu killi toprak kaymaları her yıl maddi ve manevi kayıplara sebebiyet vermektedir (Erener ve Lacasse, 2007). Bu heyelanlar, çok düşük eğim açılarında meydana gelebilir ve genellikle geri yönlü harekete sahiptirler, yani bir nehirde veya denizde başlayarak yukarı doğru ilerler (Sauvin vd., 2013). Bu heyelanlar çok hızlı meydana gelirler ve geniş alanda etkili olurlar.

Sentinel-1 uyduları yer yüzeyinden 693 km. yükseklikte, 98,18°lik yörünge açısına sahiptir (URL-1, 2022). Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından Nisan 2014 ve 2016'da Sentinel-1

aktif sensörlü uydu çiftini (Sentinel-1A ve Sentinel-1B) dünya yörüngesine göndermesi ile uzaktan algılama tekniklerinin heyelan tehlikesi ve risk araştırmalarında daha yoğun bir biçimde kullanıldığı görölmektedir (Schlögl vd., 2022). Sentinel-1 uyduları önceden programlanmış çalışma modunda, küresel kara kütlelerini, kıyı bölgelerini, deniz-buzu, kutup bölgelerini ve nakliye rotalarını yüksek çözünürlükte görüntölemek üzere tasarlanmıştır. İki uydulu sistem 6 günlük bir yörünge terkar süresine sahiptir (Torres vd., 2012).

Sentinel-1 uyduları Sentetik Açıklıklı Radar (SAR, Synthetic Aperture Radar) cihazı taşımaktadır. SAR bilgilerinin kullanımı, geniş bölge kapsamı, gündüz-gece ve tüm hava koşullarında kullanılabilir yetenekleri nedeniyle kullanımı oldukça etkindir (Chaturvedi vd., 2020). SAR görüntülerinin radar faz farklarında bulunan bilgilerden yararlanılarak (InSAR), yüzey deformasyonları milimetrik doğrulukla türetilebilir (Crosetto vd., 2016; Necula vd., 2017). InSAR uygulama alanları arasında yer değiştirme zaman serileri oluşturularak gelişmiş çoklu interferogram analizlerinin yapılması (Intrieri vd., 2018), heyelanların tespiti ve izlenmesi (Dai vd., 2017; Carla vd., 2019), farklı InSAR teknikleri kullanılarak yer değiştirme hızlarının tespiti ile heyelan aktivitesinin izlenmesi (Czikhartd vd., 2017) ve çökme (Khorrami vd., 2020) ile kritik altyapının yapısal olarak izlenmesi (Schlögl vd., 2021; Grebby vd., 2021) bulunmaktadır.

Bununla birlikte C-SAR görüntülerinin farklı ürünleri kullanarak (GRD), doğal afetlerin görüntülenmesi ve analizlerinde sıklıkla kullanılır. Petrol sızıntısı (Eronat, 2019), sel ve taşkın analizi (Amitrano vd., 2018), arazi kullanımı (Babagiray ve Kalkan, 2021), hızlı deprem haritalaması (Li vd., 2021) gibi farklı uygulama alanları mevcuttur. Ayrıca SAR görüntülerinin farklı ürünleri bir arada (SLC ve GRD) kullanarak heyelanın tespiti ve analizinde yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilmektedir (Daibiri vd., 2020; Nava vd., 2021).

Bu çalışmada Gjerdrum (Ask) kasabasında meydana gelen heyelan (şekil 1) DInSAR yöntemi ve filtreleme yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 1: Gjerdrum Heyelanı / **Figure 1:** Gjerdrum Landslide (Photo: Anders Martinsen; <https://www.uasnorway.no/europes-largest-drone-operation-after-deadly-landslide-in-norway-420-mission-and-200-hours-of-airtime/>).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada 2020 yılının 30 Aralık tarihinde Norveç'in Viken ilçesi Gjerdrum (Ask) kasabasında meydana gelen heyelanın analizi yapılmıştır. Gjerdrum bölgesi başkent Oslo'nun 35km kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 2). Söz konusu heyelan 30 Aralık 2020 tarihinde saat 04.00'da (yerel saat ile) meydana gelmiş ve 10 kişi hayatını kaybederken 1600'den fazla kişi de tahliye edilmiştir (URL-1, 2022; Penna ve Solberg, 2021). Çalışma alanı heyelan sahasında içinde yer aldığı 14,30 km² alanı kapsamaktadır.

2.2. Veri

Bu çalışmada Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) tarafından ücretsiz olarak sunulan Sentinel-1 uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Kullanılan görüntüler ile ilgili bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur. Çalışmada kullanılan heyelan öncesi ve sonrasına ait verilerin işlenmesi Sentinel Uygulama Platformu (SNAP) 8.0 tarafından gerçekleştirilmiştir.

Sentinel-1 uyduları C-bandı (~5,6 cm dalga boyu) sentetik açıklıklı radar cihazı taşımakta ve tüm hava şartlarında, gündüz ve gece sürelerinde veri toplayabilmektedirler. SAR cihazı ve kısa döngü süresi nedeniyle kullanımı artmıştır. Deniz ve Denizcilik faaliyetlerinin izlenmesinde, arazi kullanımı, doğal afetlerin izlenmesi ve analizinde (deprem, heyelan, su

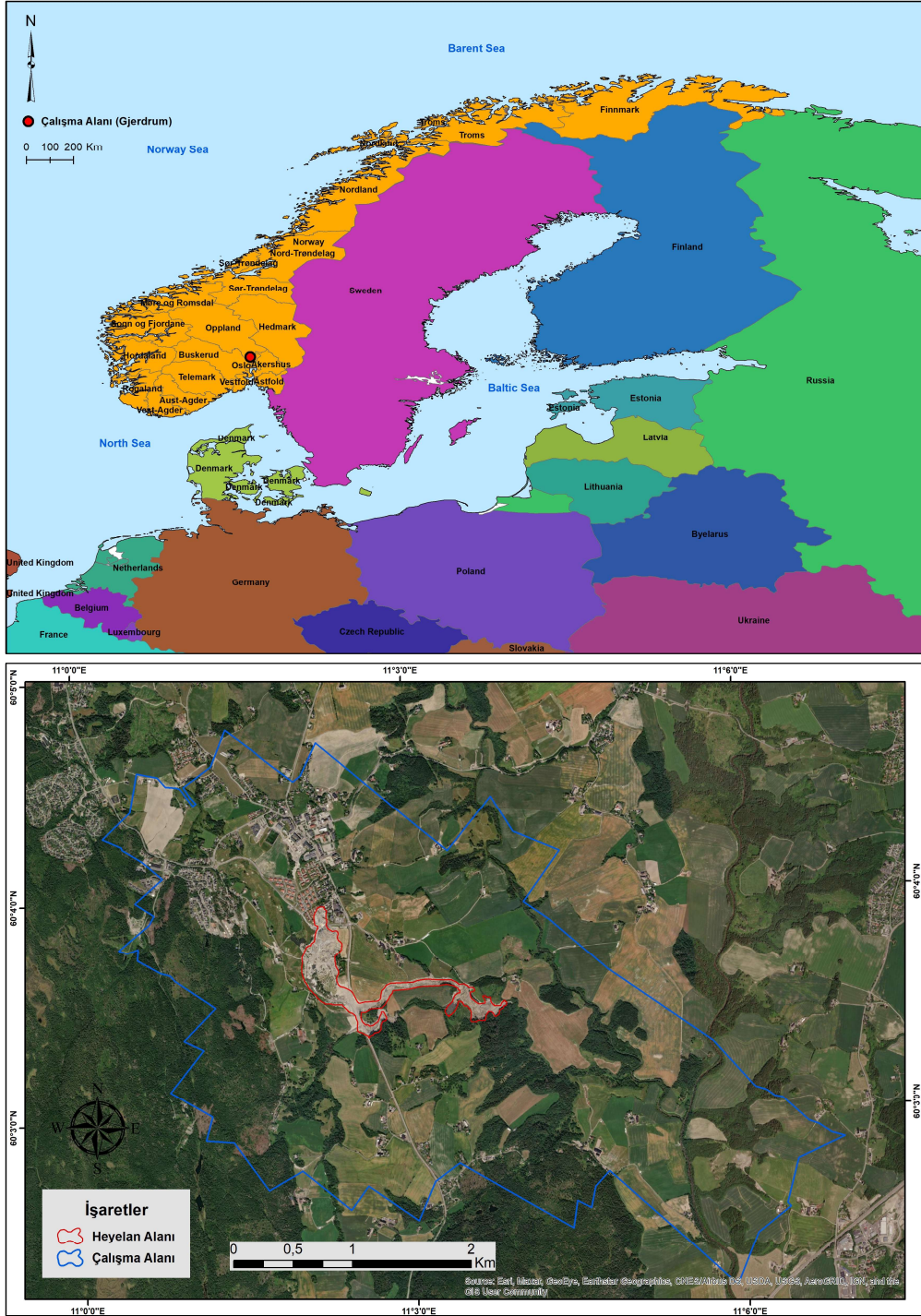
baskınları, volkanik patlamalar) sıklıkla kullanılmaktadır (URL-2, 2022).

Sentinel-1 4 farklı mod şeklinde çalışmaktadır (Tablo 2). Bunlar; serit (SM: stripmap) modu, interferometrik geniş alan (IW: interferometric wide-swath) modu, ekstra geniş alan (EW: extra wide swath) modu ve dalga (WV: Wave) modlarında veri sağlamaktadır (Potin vd., 2012). İnterferometrik Geniş (IW) alan modu, arazi üzerindeki kullanılan ana mod olmakla birlikte hizmet gereksinimlerinin çoğunu karşılar. 5 x 20 m (orta) konumsal çözünürlükte, 250 km'lik geniş bir alan tarama sınırına sahiptir (URL-3, 2022).

SAR tabanlı Sentinel-1 uydu modları farklı seviyelerde (Seviye-0, Seviye-1, Seviye-2) ürünler üretmektedir. Bu ürünler RAW (ham veri), SLC (Single Look Complex), GRD (Ground Range Detected) ve OCN (Ocean) formatındadır. Bir SLC ürünü, azimut doğrultusu boyunca coğrafi referanslı ve sıfır Doppler eğimli menzil geometrisinde sağlanan odaklanmış SAR verilerinden oluşur. Görüntüdeki her bir piksel, genlik ve faz bilgilerini içeren I ve Q değerleri ile temsil edilir. (GRD) ürünleri, bir Dünya elipsoid modeli kullanılarak tespit edilen, çok yönlü bakılan ve yer menziline yansıtılan odaklanmış SAR verilerinden oluşur (Bourbig vd., 2016, URL-4, 2022).

Sadece radyo dalga ya da mikrodalga sinyallerinin kullanıldığı interferometri çalışmalarına Radar İnterferometrisi adı verilir. SAR görüntüleri ile gerçekleştirilen interferometri çalışmaları ise SAR interferometrisi veya kısaca InSAR adı verilmektedir. InSAR alışmaları, jeomorfolojik bir yüzeyde Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) retimi ve diğerisi de yer yüzeyinde değişimleri

haritalamaya yönelik deformasyon belirlemesi olmak üzere, iki farklı amaca yönelik olarak uygulanmaktadır. Bunlardan deformasyon belirleme için yapılan InSAR uygulamalarında, aynı alana ait farklı tarihlerde kaydedilmiş SAR görüntülerinin faz değerlerinin farkı alındığından, kullanılan yönteme DinSAR adı verilmektedir (Gne, 2019).



şekil 2: Çalışma alanı / Figure 2: Study area.

Tablo 1: Uydu görüntülerine ait bilgiler / **Table 1:** Information on satellite images.

Uydu	Dosya Görüntü Adı	Görüntülenme Tarihi	Mod / Ürün Tipi
Sentinel-1 A	S1A_IW_SLC_1SDV_20201218T165425_20201218T165452_035743_042EC4_AF3	18.12.2020	IW/SLC
Sentinel-1 A	S1A_IW_SLC_1SDV_20201230T165424_20201230T165451_035918_0434F0	30.12.2020	IW/SLC
Sentinel-1 B	S1B_IW_GRDH_1SDV_20201224T165345_20201224T165410_024847_02F4D0_626D	24.12.2020	IW/GRD
Sentinel-1 A	S1A_IW_GRDH_1SDV_20201230T165425_20201230T165450_035918_0434F0_8FEA	30.12.2020	IW/GRD

Tablo 2: Sentinel-1 uydusu modları ve özellikleri / **Table 2:** Sentinel-1 satellite modes and features.

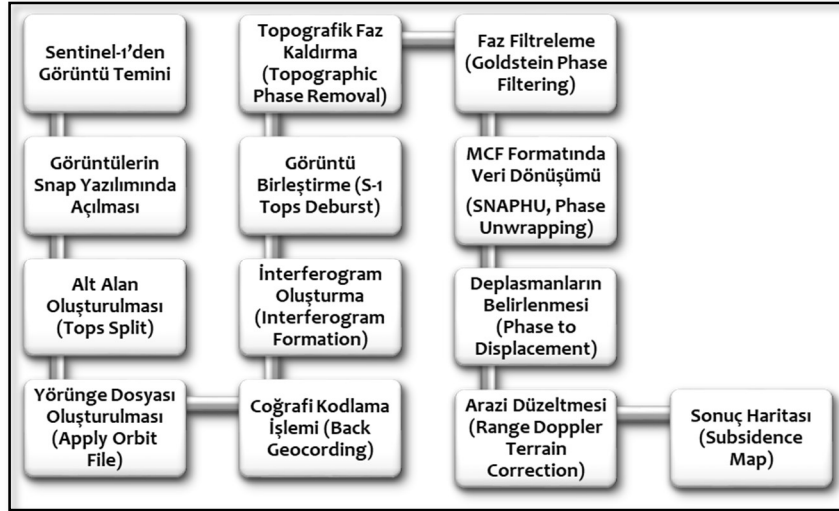
Görüntü Modu	Erişim Açısı	Çözünürlük	şerit Alan Genişliği	Polarizasyon
SM	20°-45°	5 x 5m	>80 km	HH / VV / HH+HV / VV+VH
IW	>25°	5 x 20m	>250 km	HH / VV / HH+HV / VV+VH
EW	>20°	20 x 40m	>400 km	HH / VV / HH+HV / VV+VH
WM	23° ve 36,5°	5 x 5m	>400 km	HH / VV

2.3. Yöntem

Bu alışmada, Sentinel-1 C-SAR görüntülerinin farklı ürünleri kullanılarak heyelanın tespit edilmesi, yer değiştirme miktarının belirlenmesi ve etkilediği alan üzerine bir analiz gerçekleştirilmiştir. Sentinel-1 yer aralığı algılayan (GRD) ve birleştirilmiş kompleks görüntüler (SLC) içeren ürünler kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı yöntem kullanılarak meydana gelen heyelanın analizlerinin bir bütün haline getirilmesi amaçlanmıştır.

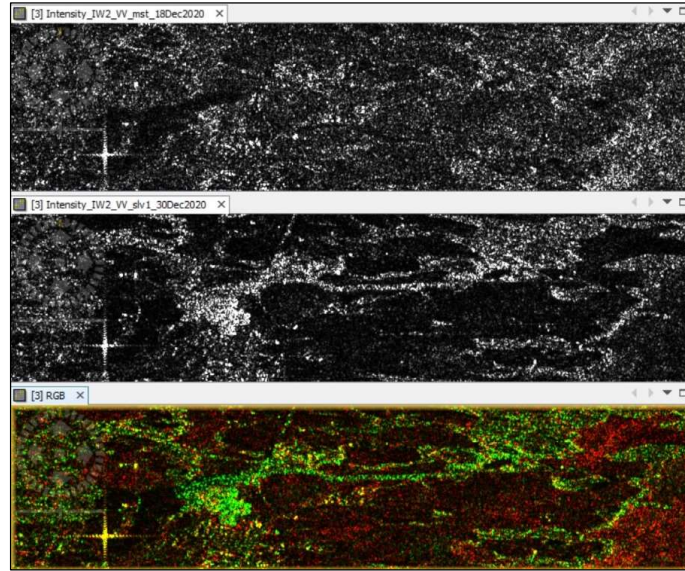
2.3.1. DInSAR Yöntemi

Bu yöntemde 18 Aralık ve 30 Aralık 2020 tarihlerinde meydana gelen yer değiştirmeyi DInSAR verilerinin kullanılarak analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Heyelanın meydana geldiği tarihten önce ve sonra, 18.12.2020 ile 30.12.2020 tarihlerindeki uydu görüntüleri üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir. DInSAR tekniği ve C-band verileri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada izlenen adımlar şekil 3'de gösterilmiştir.

**şekil 3:** DInSAR veri işlem akış şeması / **Figure 3:** DInSAR data processing flow chart.

İki farklı tarihte elde edilen aynı alan üzerindeki aynı geometriye sahip ve sensör modu IW olan iki adet SLC görüntüsü ESA'dan indirilmiş ve Sentinel Uygulama Platform (SNAP) yazılımı kullanılarak düzeltilmiştir. Çalışmada VV polarizasyonunu kullanılmıştır. Alt alan oluşturma (Tops split) işlemi ile heyelanın meydana geldiği Gjerdrum için alt

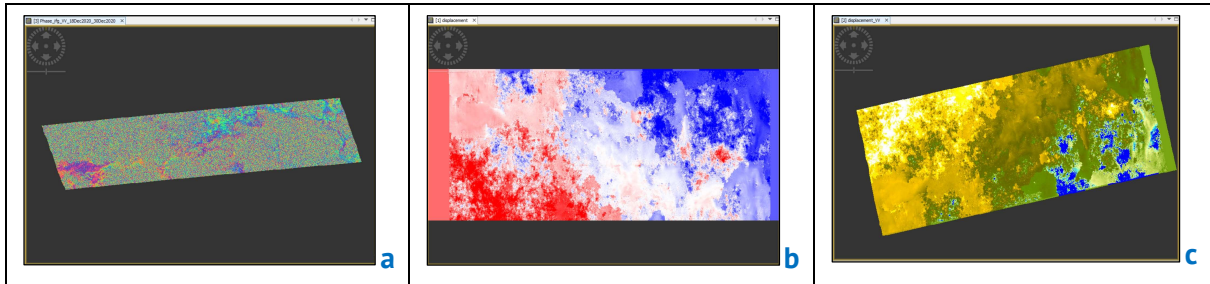
alan oluşturulmuştur. Coğrafi kodlama (Back Geocoding) operatöründe kullanılacak sayısal yükseklik modeli varsayılan, Getasse 30 SYM olarak seçilmiştir. Bu yükseklik modeli kutup bölgelerine yakın alanlar için oluşturulmuş bir sayısal yükseklik modelidir. Sonuç olarak S-1 ESD veri yığınları oluşturulmuş ve şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4: Yığın verileri RGB görüntüsü (Heyelan alanı) / **Figure 4:** Stack Data RGB image (Landslide Area).

İnterferogram oluşturulması, referans görüntünün diğer kompleks eşlenik görüntü ile çarpımı ile gerçekleşir. Bu iki görüntü arasındaki faz farkını ifade etmektedir. Bir yığın olarak oluşturulan görüntülerde olan patlamalar tek bir görüntüde bir araya getirmek için TopS-Deburst (görüntü birleştirme) adımı uygulanır. Topografik faz kaldırma adımında, işlenen iki görüntünün fazını birleştirerek, topografya ile ilgili faz kayması interferogramlardan çıkarılırsa, ortaya

çıkan ürünler arasındaki fark, iki farklı tarihte meydana gelen yüzey deformasyon modellerini gösterecektir. Sonrasında faz filtreleme işlemi (Goldstein Phase Filtering) ile oluşan gürültüler giderilir. Sonrasında faz açma adımı uygulanır SnaphuExport için Statical-cost mode: DEFO, Initial Mode: MCF seçilerek deformasyon belirlenir. Son olarak arazi düzeltme işlemi gerçekleştirilir ve faz görüntüsü bir coğrafi koordinat sistemine taşınır (Şekil 5).



Şekil 5: Analiz aşamaları a) Goldstein faz filtreleme, b) Deformasyonların belirlenmesi, c) Arazi düzeltmesi.

Figure 5: Analysis steps a) Goldstein Phase Filtering, b) Phase to displacement, c) Range doppler terrain correction.

2.3.2. Filtreleme Yöntemi

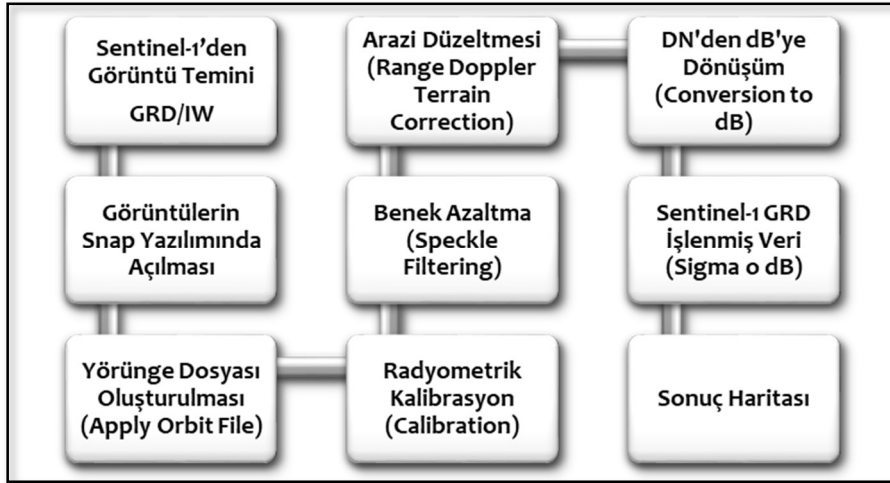
24 Aralık ve 30 Aralık 2020 tarihlerindeki uydu görüntülerine ait veriler kullanılmıştır. Kullanılan veriler, Dikey-dikey (VV) ve dikey-yatay (VH) polarizasyonlu Zemin Menzili Algılanan (GRD) ürünler olarak İnterferometrik Geniş (IW) modunda elde edilen Sentinel-1 SAR görüntüleridir.

Filtreleme tekniği ve GRD ürün verileri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada izlenen adımlar Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu yöntemde; yörünge hatalarını gidermek ve doğru bir uydu

konumu sağlamak için yörünge dosyası oluşturma modülü (Apply Orbit File) uygulanmıştır. Radyometrik kalibrasyon, ham uydu veri numaralarıyla temsil edilen radar yansımaları desibel (dB) cinsinden ölçülen fiziksel birimlere dönüştürür. Radyometrik kalibrasyon uygulanan radar görüntülerinde her bir pikselde oluşan geri saçılmalar ile oluşan yansımalar yüksek olması durumunda parlak, geri saçılım ile oluşan yansımalar düşük ise karanlık olacaktır. Benek filtreleme, radar verilerinden doğal gürültünün (rastlantısal pikseller) kaldırılmasına yardımcı olan bir

adımdır. Çalışmada Sentinel-1 verileri, 5x5 pencere boyutlu, Lee Sigma filtresi kullanılmıştır. SAR görüntülerinin uzaktan algılanmasında, topografik bozulmalar, bir sinyali daha hızlı geri gönderecek olan sensöre bakan yzeylelere sahip yükseltilmiş yapılar tarafından tutulur ve bu nedenle gerçekte olduğundan daha yakın olmakla karıştırılır. Arazi düzeltmesi, bunu düzeltmek için bir

dijital ykseklilik modeli (DEM) kullanır. Çalışmada 30m znrlkl sayısal ykseklilik modeli kullanılarak görüntü coğrafi koordinat sistemine taşınmıştır. Son olarak geri saçılım katsayısı logaritmik dönüşüm ile dB'ye dönüştürülmüştür. Elde ettiğimiz veriler üzerinde RGB bant kombinasyonu oluşturularak farklı tarihlerdeki görüntüler arasında değişim olup olmadığı tespit edilmiştir.

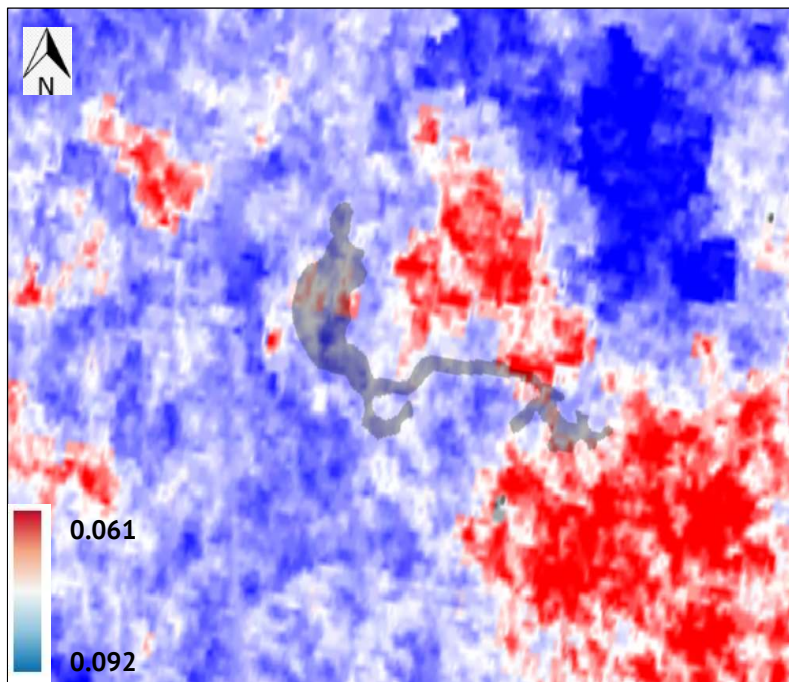


şekil 6: Sentinel-1 yer aralığı algılanan (GRD) iř aķıř şeması / **Figure 6:** Sentinel-1 ground range detected (GRD) workflow chart.

3. BULGULAR VE TARTIşMA

Gjerdrum heyelanının neden olduğu deformasyonların incelenmesi için DInSAR Yöntemi ile Sentinel-1 veri setleri kullanılmıştır. Gjerdrum (Ask) kasabası deformasyonun incelenmesi için yapılan

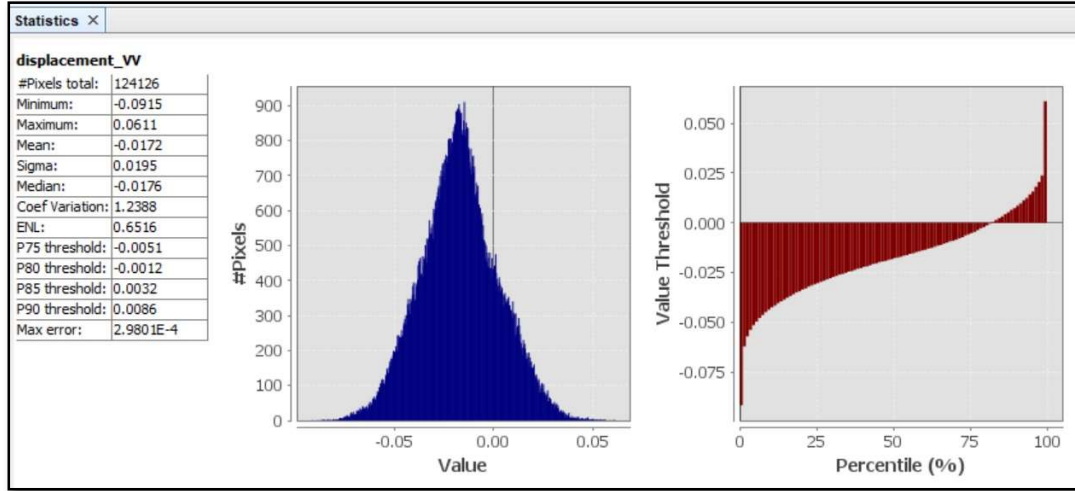
işlemlerde, 18.12.2020-30.12.2020 tarihleri arasında yer değiştirme miktarları elde edilmiştir (en küçük ve en büyük yer değiştirme miktarı -92mm ile +61mm), (şekil 7).



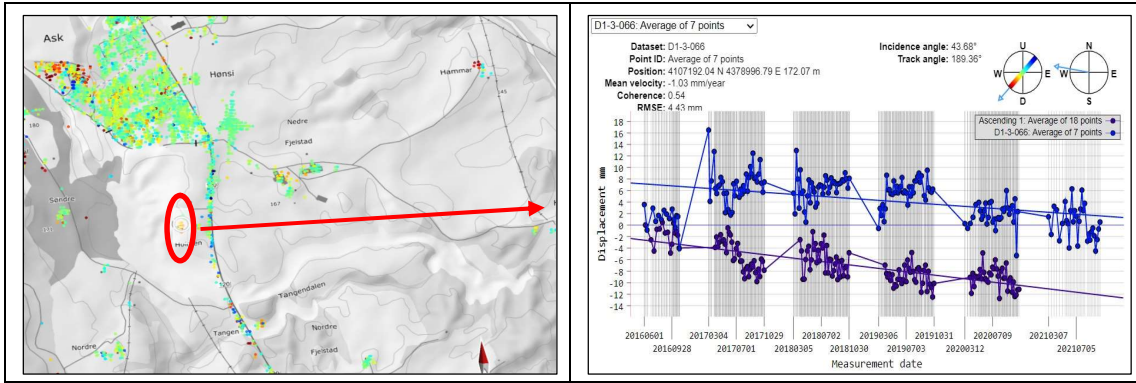
şekil 7: Deformasyon haritası / **Figure 7:** Deformation map.

Faz çözümlenmesi yapılmış çalışma sahasına ilişkin histogram bilgileri Şekil 8'de yer almaktadır. Norveç InSAR İzleme Servisi (<https://insar.ngu.no/>) ile Gjerdrum da meydana gelen heyelan verileri kontrol edildiğinde heyelan bölgesi içindeki noktaların çoğunun tutarlı, göze çarpan hareket modelleri sergilemediği görölmektedir. Sadece birkaç

noktada yıllar içerisindeki hareket değişimi görölmektedir. (Şekil 9). Bu veriler heyelanın ani gelişen ve takip edilmesinin zor olduğunu göstermektedir. Ortalama yıllık deformasyon sonuçlarının hem de ayrıntılı zaman serilerinin uydu görüş hattında yüzey deformasyonunu gösterdiği Şekil 9'da görölmektedir.



Şekil 8: 18.12.2020-30.12.2020 tarihli uydu görüntüleri ile oluşturulan deformasyona ait histogram.
Figure 8: Histogram of the deformation created with satellite images dated 18.12.2020-30.12.2020.



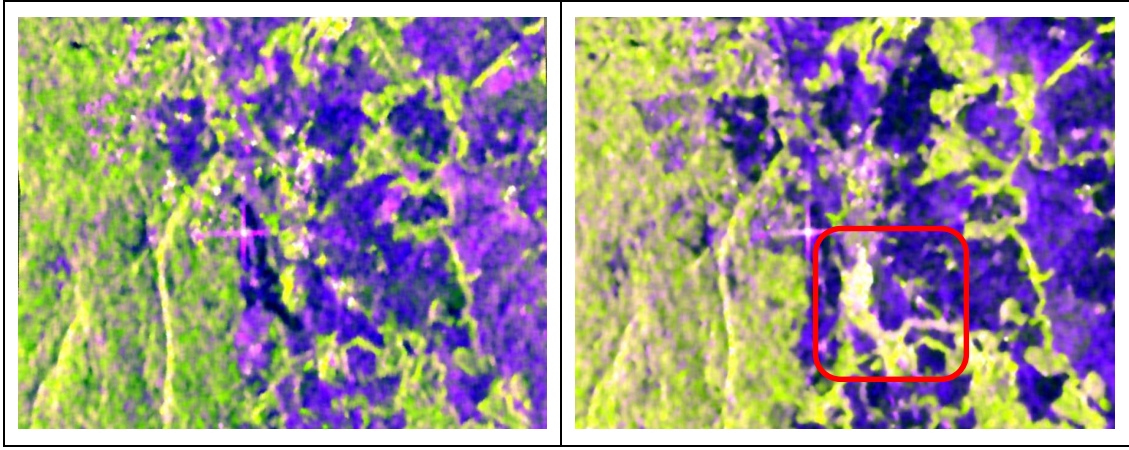
Şekil 9: Heyelan verisi kontrol noktaları / **Figure 9:** Landslide data control points.

Filtreleme yöntemi ile aynı geometriye ait iki Sentinel-1 görüntüsüne (24-30 Aralık) ait geri saçılımdaki değişiklikleri gösteren RGB görüntüleri oluşturduğumuzda geri saçılımdaki artış yeşil renkle gösterilirken, geri saçılımdaki azalma mor renkle gösterilmiştir. Meydana gelen heyelan, 30 Aralık tarihli görüntüde de çok net bir Őekilde ortaya çıkmaktadır. 24 Aralık tarihli Şekil 10'da gösterilen heyelan öncesinde RGB görüntülerinde herhangi bir değişiklik olmadığı görölmektedir.

Bu yöntemde eşik kayması 24.12.2020 ve 30.12.2020 tarihlerinde uydu görüntülerinde

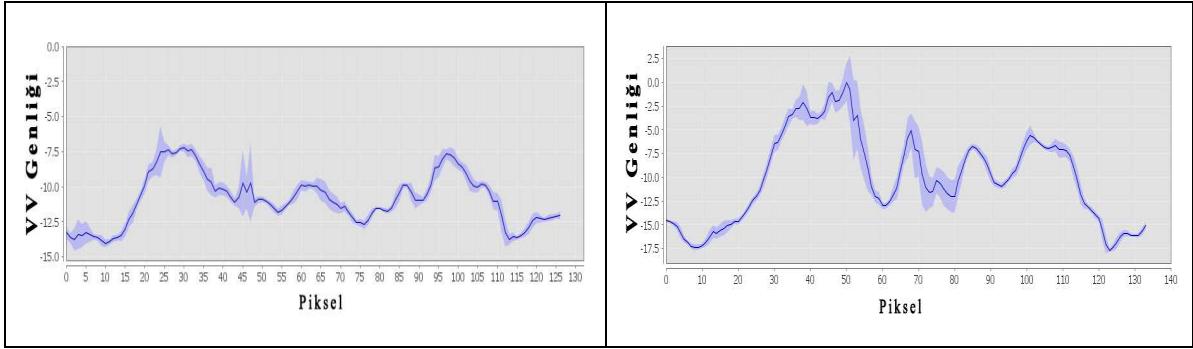
farklı dB değerlerinde dalgalandığı görölmektedir. Verilen dalgalanmalar yüzeyde bir pürüzlülüğün veya değişimin göstergesidir (Şekil 11).

Elde ettiğimiz RGB görüntüsü ile heyelanın meydana geldiği alanda maskeleyme işlemi yaparak heyelan etki alanı belirlenmiş Snap yazılımında Geotiff uzantılı veri yardımıyla 36 hektar alanı etkilediği tespit edilmiştir. Norveç belediye haritalama sistemi (<https://kommunekart.com/>) ile doğruluğu kontrol edildiğinde aynı etki alanına sahip olduğu görölmüştür (36,65 hektar), (Şekil 12).

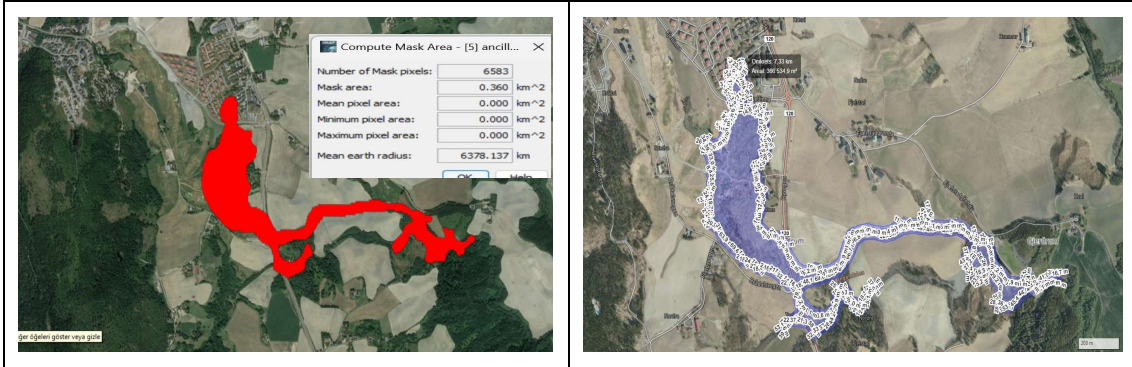


Şekil 10: Heyelan öncesi ve sonrasına ait RGB değişim algılama görüntüleri.

Figure 10: RGB change detection images before and after the landslide.



Şekil 11: VV genlik değerleri için profil grafiği / Figure 11: Profile chart for VV amplitude values.



Şekil 12: Heyelan etki alanı / Figure 12: Impact area of landslide.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu alışmada 30 Aralık 2020'de meydana gelen Gjerdrum (Ask) heyelanından önce ve sonraki tarihlerde kullanılan uydu görüntüleri ile SNAP yazılımıyla DInSAR ve Filtreleme yöntemleri kullanılarak heyelanın analizi gerçekleştirilmiştir.

DInSAR yöntemi ile yapılan analizde heyelan öncesi sonrasına ait görüntüler kullanılmış ve sonucunda -92mm. ile + 61mm. yer değiştirme belirlenmiştir. Uygulama sahasındaki deformasyonlar Sentinel-1 verileriyle başarılı bir biçimde elde edilmiştir. Ancak DInSAR

yöntemini uygulamasını zorlaştıran etkenlerin (heyelan yönü, hızlı ve ani gelişmesi, atmosferik etkiler) bulunması nedeniyle verimli sonuçlar elde edilememiştir.

Filtreleme yönteminde ise heyelan öncesi ve sonrasına ait görüntüler kullanılarak heyelanın yeri tespit edilmiş ve yer değiştirme miktarı ortaya konulmuştur. Bu yöntem heyelan tespitinin zor olduğu alanlarda destekleyici nitelikte kullanılabilir.

İnterferometrik Geniş Alan (IW) modunun kullanılması ile Sentinel-1 uydu görüntüleri,

interferometrik sentetik açıklıklı radar (InSAR) teknikleri kullanarak heyelan izleme yeteneğine sahip olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda özellikle bölgede önceki yıllarda yer alan akarsu yataklarında değişimler ve bu özelliklere bağlı olarak değişen morfolojik özellikler ile birlikte bölgede 2000'li yıllardan bu yana yaşanan eğim değişiklikleri heyelanı oluşturan sebepler olarak öne çıkmaktadır.

Uydu tabanlı SAR görüntülerinin kullanıldığı uzaktan algılama yöntemleri, karar vericiler için hızlı, ekonomik ve uygulanabilir sonuçlar verdiğinden afet yönetim sürecinde etkin bir analiz yöntemi olduğu görülmüştür.

InSAR veri değerlendirmeleri, afetlerin temel nedenlerine ilişkin önemli bilgiler sağlamaktadır. Bununla birlikte, çeşitli yer hareketi izleme hizmetlerinin kurulabileceğinin kanıtlandığı göz önüne alındığında, InSAR veri kaynaklarının kullanılmasına ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Ülkemizde de Norveç ve Finlandiya gibi ülkelerde kullanıma sunulan uydu tabanlı InSAR izleme servisleri gibi benzer sistemler kurulabilir. Bu sistemlerin heyelanların izlenmesi, yer hareketliliğinin tespiti ve aktif sahaların izlenmesinde avantajlar sağlayacağı açıktır.

TEŐEKKÜR

Makale değerlendirme sürecinde değerli öneri ve yorumlarıyla katkı sağlayan iki hakeme ve ayrıca yardımları için derginin sorumlu editörüne teőekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- AFAD, (2015) Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması Heyelan Temel Klavuzu, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Amitrano, D., Di Martino, G., Iodice, A., Riccio, D., & Ruello, G. (2018). Unsupervised rapid flood mapping using Sentinel-1 GRD SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(6), 3290-3299. Doi: 10.1109/TGRS.2018.2797536
- Babagiray, S., & Kalkan, K. (2021). Yağışların tarım alanlarında sebep olduğu göllenmelerin Sentinel-1 uydu görüntüleri ile analizi. *Jeodezi*

ve Jeoinformasyon Dergisi, 8(2), 145-160. Doi: 10.9733/JGG.2021R0011.T

- Bourbig, M., Johnsen, H. ve Piantanida, R., (2016). Sentinel-1 Product Definition, ESA.
- Carlà T, Intrieri E, Raspini F, Bardi F, Farina P, Ferretti A, Colombo D, Novali F, Casagli N (2019) Perspectives on the prediction of catastrophic slope failures from satellite InSAR. *Sci Rep* 9:1. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50792-y>
- Chaturvedi, S. K., Banerjee, S., & Lele, S. (2020). An assessment of oil spill detection using Sentinel 1 SAR-C images. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(2), 116-135. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.joes.2019.09.004>
- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthery, N., & Crippa, B. (2016). Persistent scatterer interferometry: A review, *ISPRS J. Photogramm.*, 115, 78–89. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011>
- Czikhardt, R., Papco, J., Bakon, M., Liscak, P., Ondrejka, P., & Zlocha, M. (2017). Ground stability monitoring of undermined and landslide prone areas by means of sentinel-1 multi-temporal InSAR, case study from Slovakia. *Geosciences*, 7(3), 87. Doi: <https://doi.org/10.3390/geosciences7030087>
- Dabiri, Z., Hölbling, D., Abad, L., Helgason, J. K., Sæmundsson, P., & Tiede, D. (2020). Assessment of landslide-induced geomorphological changes in Hítardalur Valley, Iceland, using Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *Applied Sciences*, 10(17), 5848. Doi: <https://doi.org/10.3390/app10175848>
- Dai, C., Li, W., Wang, D., Lu, H., Xu, Q., & Jian, J. (2021). Active landslide detection based on Sentinel-1 data and InSAR technology in Zhouqu county, Gansu province, Northwest China. *Journal of Earth Science*, 32(5), 1092-1103. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12583-020-1380-0>
- Erener, A., & Lacasse, S. (2007). Heyelan duyarlılık haritalamasında CBS kullanımı. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 30.
- Eronat, A. H. (2019). Farklı kaynaklı uydu görüntüleri kullanarak Bakü (Azerbaycan) kıyılarındaki petrol kirliliğinin gözlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(61), 47-54. Doi: 10.21205/deufmd.2019216105
- Grebby S, Sowter A, Gluyas J, Toll D, Gee D, Athab A, Girindran R (2021) Advanced analysis of satellite data reveals ground deformation precursors to the Brumadinho Tailings Dam collapse. *Communications Earth & Environment*. 2:1. Doi: <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00079-2> |

- Günçe, H. B. (2019). Batı Antalya Heyelanlarının Sar Interferometrisi ile İncelenmesi.
- Intrieri, E., Raspini, F., Fumagalli, A., Lu, P., Del Conte, S., Farina, P., ... & Casagli, N. (2018). The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data. *Landslides*, 15(1), 123-133. Doi: 10.1007/s10346-017-0915-7
- L'heureux, J. S. (2012). A study of the retrogressive behaviour and mobility of Norwegian quick clay landslides. *Landslide and engineered slopes: protecting society through improved understanding*. Taylor & Francis Group, London, 981-988.
- Li, Y., Jiang, W., Zhang, J., Li, B., Yan, R., & Wang, X. (2021). Sentinel-1 SAR-Based coseismic deformation monitoring service for rapid geodetic imaging of global earthquakes. *Natural Hazards Research*, 1(1), 11-19. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2020.12.001>
- Nava, L., Monserrat, O., & Catani, F. (2021). Improving landslide detection on SAR data through deep learning. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, 1-5. Doi: 10.1109/LGRS.2021.3127073
- Necula, N., Niculiță, M., Tessari, G., & Floris, M. (2017, May). InSAR analysis of Sentinel-1 data for monitoring landslide displacement of the north-eastern Copou hillslope, Iași city, Romania. In *Proceedings of Romanian geomorphology symposium (Vol. 1, pp. 11-14)*. Doi: 10.15551/prgs.2017.85
- Penna, I., & Solberg, I. L. (2021). Landscape changes and bedrock reconstruction in Gjerdrum area. *Methodological approach and main results*.
- Potin, P., Bargellini, P., Laur, H., Rosich, B., & Schmuck, S. (2012, July). Sentinel-1 mission operations concept. In *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 1745-1748)*. IEEE. Doi: 10.1109/IGARSS.2012.6351183
- Sauvin, G., Lecomte, I., Bazin, S., L'Heureux, J. S., Vanneste, M., Solberg, I. L., & Dalsegg, E. (2013). Towards geophysical and geotechnical integration for quick-clay mapping in Norway. *Near Surface Geophysics*, 11(6), 613-624. Doi: <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2012064>
- Schlögl M, Widhalm B, Avian M (2021) Comprehensive time-series analysis of bridge deformation using differential satellite radar interferometry based on Sentinel-1 ISPRS. *J Photogramm Remote Sens* 172:132–146. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprs.2020.12.001>
- Schlögl, M., Gutjahr, K., & Fuchs, S. (2022). The challenge to use multi-temporal InSAR for landslide early warning. *Natural Hazards*, 1-7. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05289-9>
- Solberg, I. L., Long, M., Baranwal, V. C., Gylland, A. S., & Rønning, J. S. (2016). Geophysical and geotechnical studies of geology and sediment properties at a quick-clay landslide site at Esp, Trondheim, Norway. *Engineering Geology*, 208, 214-230. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.04.031>
- Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., ... & Rostan, F. (2012). GMES Sentinel-1 mission. *Remote sensing of environment*, 120, 9-24. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.028>
- Varnes, D. J., (1958). "Landslide Types and Processes", *Landslides and Engineering Practice by the Committee on Landslide Investigations*, (Ed: Edwin B. Eckel), Highway Research Board Special Report 29, Washington D.C.
- Zhu, K., Xu, P., Cao, C., Zheng, L., Liu, Y., & Dong, X. (2021). Preliminary identification of geological hazards from songpinggou to feihong in mao county along the minjiang river using SBAS-InSAR technique integrated multiple spatial analysis methods. *Sustainability*, 13(3), 1017. Doi: <https://doi.org/10.3390/su13031017>
- URL-1
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/satellite-description> (Erişim Tarihi: 2022).
- URL-2
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/mission-objectives> (Erişim Tarihi: 2022).
- URL-3
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload> (Erişim Tarihi: 2022).
- URL-4
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products> (Erişim Tarihi: 2022).