

## La Palma Adasında Meydana Gelen Volkanik Patlamanın Diferansiyel Yapay Açıklıklı Radar İnterferometrisi İle İncelenmesi

Hilal Yılmaz<sup>1\*</sup>, Hüseyin Kemaldere<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geomatik Mühendisliği ABD / Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Geomatik Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Türkiye

\*(yilmazhilal522@gmail.com)

**Özet** – Kanarya Adaları, kuzeybatı Afrika kıta sahanlığının dışında yer alan yedi adet volkanik adadan oluşan bir zincir oluşturur. La Palma Adası, Kanarya Adaları'nın en kuzeybatısında yer alan, beşinci en büyük ve ikinci en yüksek adasıdır. La Palma Adası tarihte birçok denizaltı ve deniz üstü volkanik patlamaya sahne olmuştur. Son olarak 1971 de meydana gelen Teneguía patlamasından yıllar sonra günümüzde 19 Eylül 2021'de yanardağ yeniden patlamıştır. Adada gerçekleşen bu patlama kayıtlara göre tam 85 gün sürmüş ve 13 Aralık 2021 de ise patlamanın durduğu duyurulmuştur. Diferansiyel yapay açıklıklı radar interferometri tekniği ile deprem, tasman, heyelan, obruk oluşumu, volkanik patlama gibi doğal ve doğal olmayan nedenlerle meydana gelen yüzey deformasyonları tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada, La Palma Adasının'da meydana gelen volkanik patlamanın neden olduğu yüzey deformasyonu, Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) yapay açıklıklı radar uyduları olan Sentinel 1A ve Sentinel 1B uydu verileri ve yine ESA'nın ücretsiz açık kaynaklı bir yazılımı olan SNAP kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, adanın güneybatı bölümünde uydu bakış doğrultusunda meydana gelen maksimum kabarma miktarı yaklaşık olarak 31 cm ve adanın güneydoğu kesiminde uydu bakış doğrultusunda meydana gelen maksimum kabarma miktarı da yaklaşık olarak 11 cm olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Cumbre Vieja, Deformasyon, Dınsar, Sentinel, Volkan Patlaması

### I. GİRİŞ

Yapay açıklıklı radar interferometri (InSAR), ışık, ses, elektromagnetik gibi iki dalganın bir araya gelmesinden oluşan interferansın, yapay açıklıklı radar (SAR) ile birleştirilmesiyle oluşan bir tekniktir. Bu teknik ile aynı bölgenin farklı zamanlarda ya da farklı konumlardan alınmış iki yapay açıklıklı radar görüntüsünün üst üste çakıştırılması sonucu, karşılık gelen piksellerinin faz farkları alınarak yeni bir görüntü oluşturulur ve bu yeni görüntüye interferogram adı verilir. İnterferogram, faz farkından dolayı meydana gelen frinçlerin oluşturduğu bir eş yükseklik haritasıdır. Bu haritadaki frinçlerin her bir döngüsü, dalga boyunun yarısı biriminde, uydu yeryüzü arasındaki uzaklık değişimlerini ifade eder [1]. InSAR ile sayısal yükseklik modelleri üretilebildiği gibi; deprem, tasman, heyelan, obruk oluşumu, volkanik patlama gibi doğal ve doğal olmayan nedenlerle

meydana gelen yüzey deformasyonları da tespit edilebilmektedir.

### II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir yüzey deformasyonunun belirlenebilmesi için, yüzey deformasyonunun meydana geldiği bölgenin en az bir çift SAR görüntüsüne ihtiyaç duyulmaktadır. İki SAR görüntüsü arasındaki faz farkı;

$$\Phi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta R \quad (1)$$

ile ifade edilir. Burada  $\delta R$ , range farkıdır. Bu eşitlik, iki görüntü alımı arasında herhangi bir yer yüzeyi değişimi olmadığı durumlarda geçerlidir. İki görüntü alımı arasında bir yüzey deformasyonu meydana gelmişse faz farkı eşitliği;

$$\Phi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta R + \frac{2\delta d}{\lambda} \quad (2)$$

halini alır. Burada  $\delta d$ , uydu bakış doğrultusu boyunca meydana gelen yüzey deformasyonudur (Çakır 2003). Bu  $\delta d$  kadarlık yüzey deformasyonunu belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri de diferansiyel radar interferometri tekniğidir.

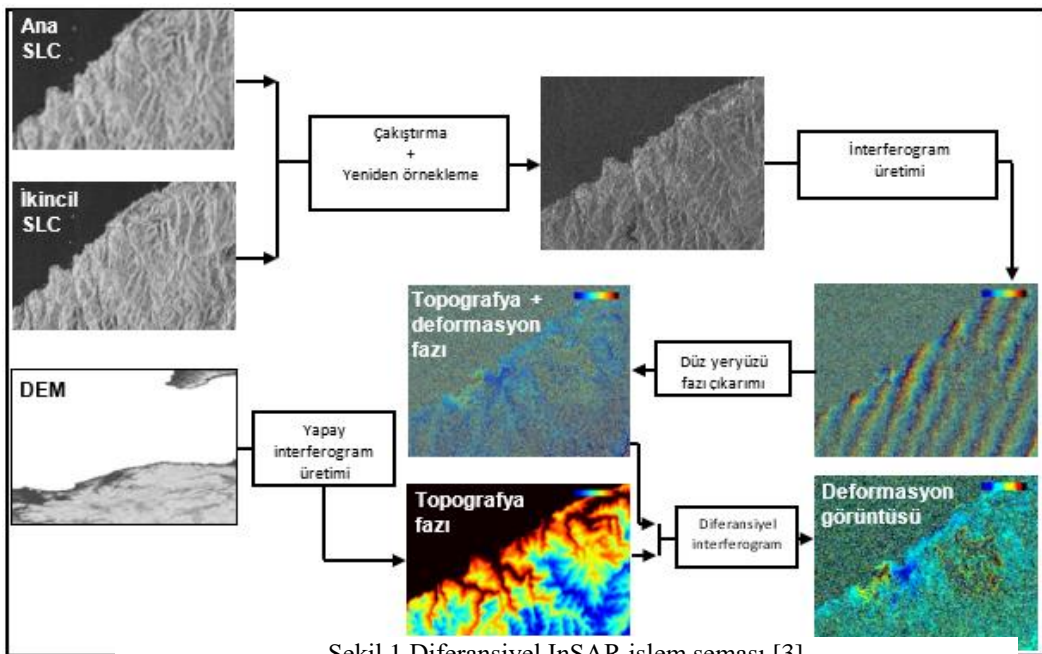
Diferansiyel radar interferometride (DInSAR), yüzey deformasyonu oluşmadan önce ve oluşuktan sonra alınan iki adet SAR görüntüsü kullanılarak bir interferogram üretilir. Bu interferogram, hem bölgenin topografyasından kaynaklanan topografik fazı, hem de bölgede meydana gelen yüzey deformasyonu nedeniyle oluşan deformasyon fazını içerir. Meydana gelen deformasyonu belirleyebilmek için, bölgenin topografyasından kaynaklanan fazın interferogramdan çıkartılması gerekmektedir. Bunun için de deformasyonun meydana geldiği bölgenin, ya var olan ya da yeni üretilen bir sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılır. Söz konusu DEM'den yapay bir interferogram üretilir ve bu yapay interferogram, içerisinde deformasyon bilgisini de içeren ilk interferogramdan çıkartılarak bölgede meydana gelen deformasyonun etki alanı ve büyüklüğünün belirlenebileceği deformasyon görüntüsü elde edilir [2] (Şekil 1).

Deformasyon görüntüsünden uydu bakış doğrultusunda belirlenecek deformasyon miktarı, sinyalin uydudan yeryüzüne ve yeryüzünden

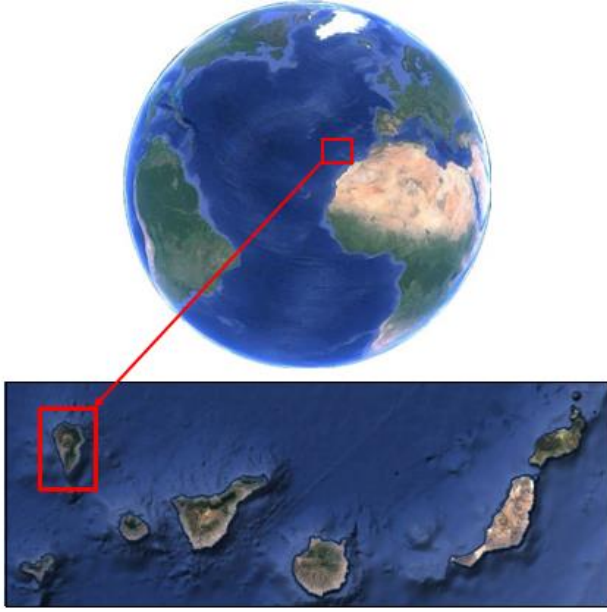
uyduya olan çift yönlü hareketi nedeniyle gerçek deformasyonun iki katıdır. Bu nedenle meydana gelen gerçek deformasyon değeri, deformasyon görüntüsündeki frinç sayısının, uydunun kullandığı sinyalin dalga boyunun yarısı ile çarpılması sonucunda elde edilir.

#### A. Çalışma Bölgesi

Kanarya Adaları, kuzeybatı Afrika kıta sahanlığının dışında yer alan yedi volkanik adadan oluşan bir zincir oluşturur [4]. La Palma, Kanarya Adaları'nın en kuzeybatısında yer alan, beşinci en büyük ve ikinci en yüksek adasıdır [5] (Şekil 2). Aynı zamanda Kanarya Adalarının en genç ve gelişim aşamasında olan adalarından biridir.



Şekil 1. Diferansiyel InSAR işlem şeması [3]



Şekil 2. Kanarya adaları içinde La Palma adasının gösterildiği Google Earth görüntüsü

La palma adası tarihte volkanik patlamalara sahne olmuştur (Tablo 1). Son olarak 1971 yılında meydana gelen Teneguía patlamasından yıllar sonra günümüzde 19 Eylül 2021’de yanardağ yeniden patlamıştır. Cumbre Vieja’da gerçekleşen bu patlama kayıtlara göre tam 85 gün sürmüş ve 13 Aralık 2021’de ise patlamanın durduğu duyurulmuştur. 85 gün süren bu Cumbre Vieja patlamasında her gün depremler meydana gelmiş, birçok ev, bina ve tarım arazisi yok olmuş, hiçbir can kaybı gerçekleşmemiştir.

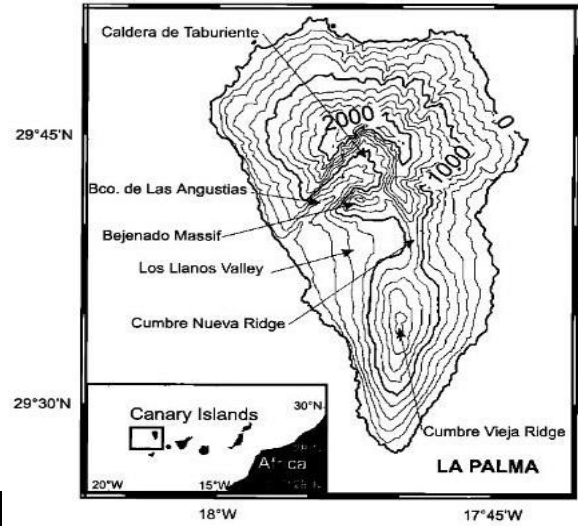
Tablo 1 La Palma tarihinde gerçekleşmiş volkanik patlamalar [5]

Yıl	Patlama Başlangıç	Patlama Bitiş	İsim
1470-1492	---	---	Tacende Volkanı
1585	20 Mayıs	Temmuz	Tahaya Patlaması
1646	2 Ekim	18-21 Aralık	Tilagette-Martin Volkanı
1677-1678	17 Kasım	21 Ocak	La Caldereta Volkanı
1712	9 Ekim	2 Aralık	El Charco-Montana Lajiones Patlaması
1949	24 Haziran	9 Ağustos	San Juan veya Duraznero Volkanı
	8 Temmuz	26 Temmuz	Llano Del Banco veya
	12 Temmuz	31 Temmuz	

			Las Manchas Volkanı
			Hoyo Negro Volkanı
1971	26 Ekim	18 Kasım	Teneguía Volkanı
2021	19 Eylül	25 Aralık	Cumbre Vieja Volkanı

Volkanik yapısıyla yüzyıllardır dikkat çeken La Palma adasının güney ucunda yer alan Cumbre Vieja sırtı (Cumbre Vieja Ridge) adanın volkanik olarak en aktif bölgesidir [6]. Şekil 3’ te La Palma adasının basitleştirilmiş jeolojisi ve adanın güney ucunda yer alan Cumbre Vieja sırtı gösterilmiştir.

Bu çalışmada, Cumbre Vieja’da gerçekleşen volkanik patlama nedeniyle meydana gelen yüzey deformasyonu, DInSAR tekniği ile incelenmiştir.



Şekil 3. La Palma Adası’nın basitleştirilmiş jeolojisi [7]

### III. BULGULAR

La Palma Adası’nda meydana gelen volkanik patlamanın neden olduğu yüzey deformasyonunu belirlemek için, Avrupa Uzay Ajansı’nın C band SAR uyduları olan ve sırasıyla 3 Nisan 2014 ve 25 Nisan 2016 tarihlerinde uzaya fırlatılan [8] Sentinel 1A ve Sentinel 1B verileri kullanılmıştır.

Değerlendirmede kullanılan SAR görüntüleri, ESA’nın Copernicus adını verdiği ve tüm kullanıcılara ücretsiz ve sınırsız veri erişimi sağlayan açık erişim merkezinden temin edilmiştir [9]. SAR görüntülerinin alım periyodu olarak, volkanik patlamanın meydana geldiği 19 Eylül 2021

tarihinden öncesi ile patlamanın durduğunun duyurulduğu 13 Aralık 2021 tarihinden sonrası seçilmiştir. Görüntü alım tarihleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Görüntü alım tarihleri

Uydu	Sentinel 1A		Sentinel 1B	
	60 (Yükselen)	169 (Alçalan)	60 (Yükselen)	169 (Alçalan)
Görüntü Alım Tarihi	14.09.2021	10.09.2021	08.09.2021	04.09.2021
	26.09.2021	04.10.2021	20.09.2021	28.09.2021
	08.10.2021	16.10.2021	02.10.2021	10.10.2021
	20.10.2021	09.11.2021	14.10.2021	22.10.2021
	01.11.2021	15.12.2021	26.10.2021	03.11.2021
	13.11.2021		07.11.2021	15.11.2021
	19.12.2021		19.11.2021	27.11.2021
			13.12.2021	21.12.2021

Temin edilen 28 adet SAR görüntüsü, 41 farklı çift kombinasyonu kurularak değerlendirilmiş ve en anlamlı sonuçlar Sentinel 1A uydusunun 60 numaralı yükselen yörüngesinden alınan görüntülerden elde edilmiştir.

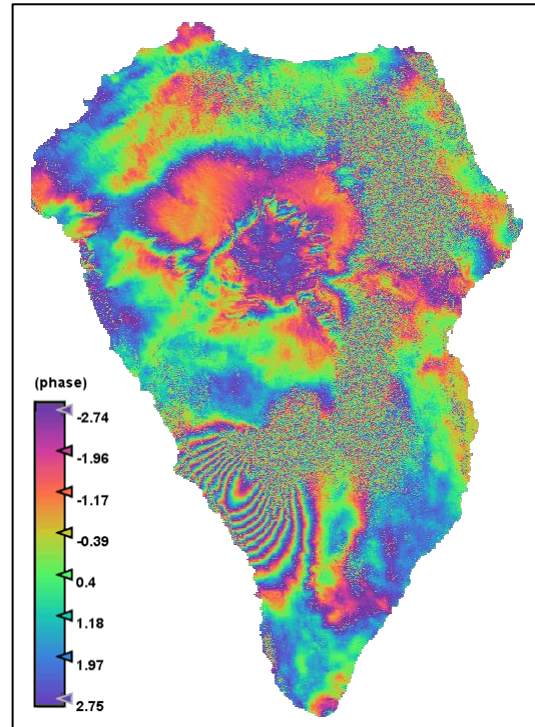
İlk olarak; volkanik patlama 19 Eylül 2021 tarihinde gerçekleştiği için, bu tarihten önceki ilk görüntü olan 14.09.2021 tarihli görüntü master olarak seçilmiş, patlamadan sonraki ilk görüntü olan 26.09.2021 tarihli görüntü de slave (ikincil) olarak kullanılmıştır. Değerlendirme, Şekil 1’deki işlem adımları takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Farkın alınacağı DEM olarak Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verisi kullanılmıştır. Değerlendirme sonucu Şekil 4’de görülmektedir.

Şekil 4 incelendiğinde, adanın güneybatı bölümünde, volkanik patlamadan dolayı meydana gelen yüzey deformasyonunu gösteren frinç oluşumları görülmektedir. Frinç, Şekil 4’de görülen renk skalasının, deformasyon görüntüsündeki her bir tam devrine verilen addır. Renk skalasının deformasyon görüntüsündeki her bir tam devri sayıldığında, bölgede yaklaşık olarak 5500 hektarlık bir alanı kapsayan toplam 10 adet frinç oluştuğu anlaşılmaktadır. Her bir frinç, uydu bakış doğrultusunda, Sentinel 1 uydularının kullandığı C band dalga boyunun yarısı olan 2.8 cm’lik deformasyona karşılık gelmektedir. Bu durumda, volkanik patlama nedeniyle adanın güneybatı bölümünde yaklaşık olarak 5500 hektarlık bir alanı etkileyen maksimum 28 cm’lik bir yüzey kabarması söz konusudur.

Volkanik aktivite 13 Aralık 2021 tarihine kadar devam ettiği için meydana gelen deformasyonun zamansal gelişimini izlemek amacıyla, Sentinel 1A uydusunun 60 numaralı yükselen yörüngesinden alınan görüntülerden 14.09.2021 tarihli görüntü master olarak seçilmiş, diğer 6 görüntü slave görüntü olarak belirlenerek değerlendirmelere devam edilmiştir.

#### IV. TARTIŞMA

Değerlendirmeler sonucunda elde edilen deformasyon görüntüleri Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5’den de görüldüğü üzere, master ve slave görüntüleri arasındaki zaman farkı arttıkça zamansal dekorelasyon nedeniyle görüntülerin uyumluluğu bozulmakta ve elde edilen deformasyon görüntüleri yorum yapmaya elvermeyecek derecede gürültülü hale gelmektedir. Bu durumun önüne geçmek için, ilk değerlendirmede slave olarak kullanılan görüntü ikinci değerlendirmede master alınmış ve bu silsileye, en ileri tarihli görüntü değerlendirmeye slave olarak girinceye kadar devam edilmiştir (Şekil 6).

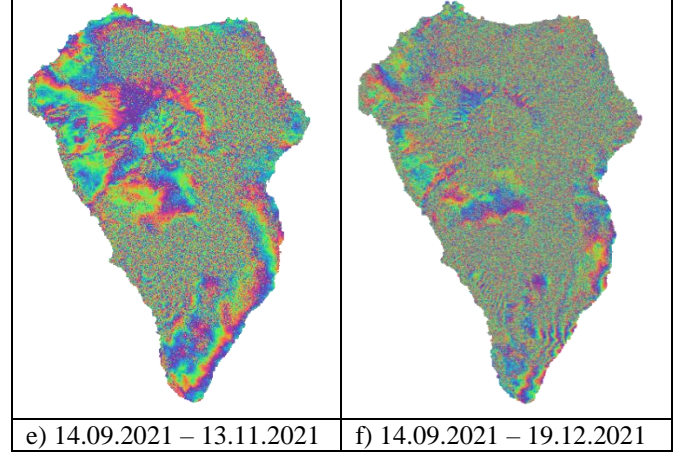
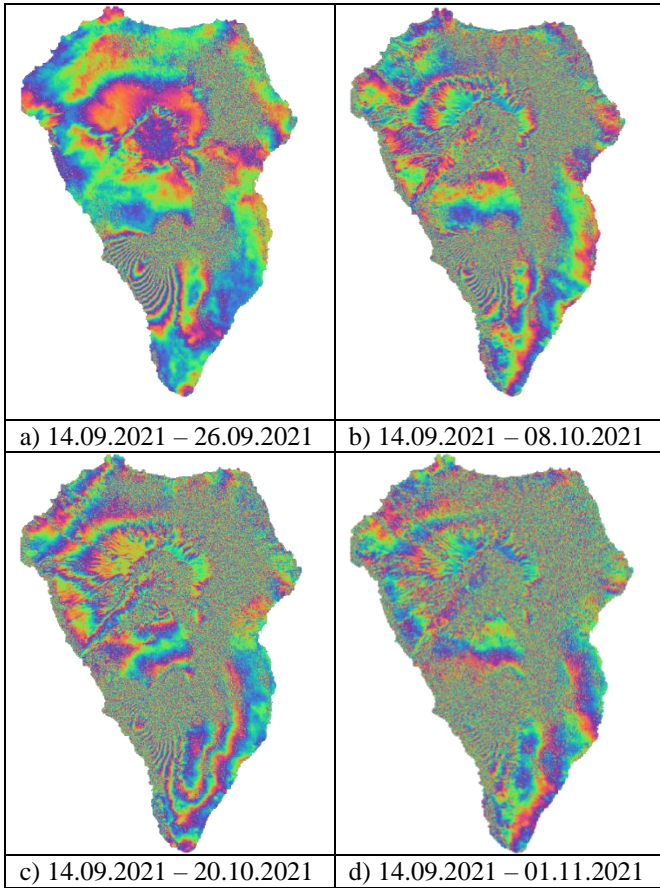


Şekil 4. Volkanik patlamanın 7. gününde oluşan deformasyon görüntüsü

12’şer günlük periyotlar halinde yapılan değerlendirmeler sonucunda (Şekil 6a – 6e), volkanik patlama nedeniyle meydana gelen yüzey

değişiminin neredeyse tamamının, patlamanın yedinci gününde tamamlandığı görülmüştür (Şekil 6a). Şekil 6b – 6e’de görülen frinç oluşumları bir anlam ifade etmeyip artık faz olarak yorumlanmıştır.

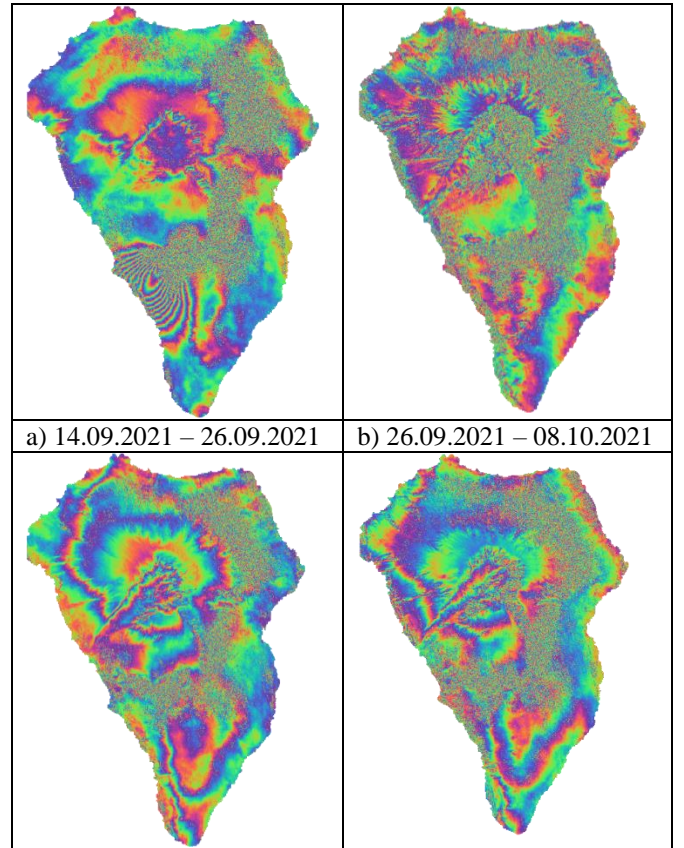
Patlamanın 13 Aralık 2021’de durduğunun duyurulması nedeniyle, son bir aylık etkinin belirlenmesi amacıyla yapılan ve Şekil 6f’de verilen değerlendirmede ise adanın güneybatısında 1 adet yeni frinç gözlemlenirken, adanın güneydoğu kesiminde 4 adet frincin oluştuğu tespit edilmiştir. Bu da, yaklaşık olarak 6000 hektarı etkileyen ve uydu bakış doğrultusunda maksimum değeri yaklaşık olarak 11 cm olan bir yüzey kabarmasını temsil etmektedir.

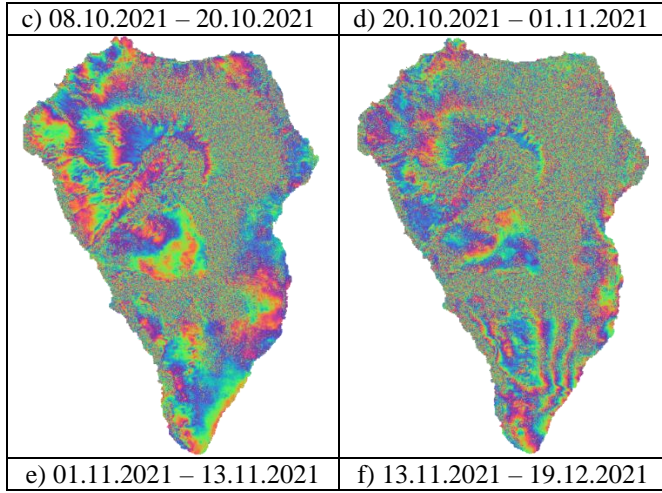


Şekil 5. Volkanik patlama nedeniyle meydana gelen yüzey deformasyonunun zamansal değişimi

## V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 19 Eylül 2021 tarihinde, Cumbre Vieja’da gerçekleşen volkanik patlama nedeniyle meydana gelen yüzey deformasyonu, DInSAR tekniği ile incelenmiştir. İncelemede, Sentinel 1A ve 1B uydusunun alçalan ve yükselen yörüngelerinden toplam 28 adet görüntü kullanılmıştır. Söz konusu 28 adet görüntü, 41 farklı çift kombinasyonu kurularak değerlendirilmiş ve en anlamlı sonuçlar Sentinel





Şekil 6. Volkanik patlama nedeniyle meydana gelen yüzey deformasyonunun zamansal değişimi

1A uydusunun 60 numaralı yükselen yörüngesinden alınan görüntülerden elde edilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda volkanik püskürmenin, adanın güneybatı bölümünde, yaklaşık olarak 5500 hektarlık bir etki alanı yarattığı ve bu bölümde meydana gelen maksimum kabarma miktarının uydu bakış doğrultusunda yaklaşık olarak 28 cm olduğu belirlenmiştir. Patlamanın yedinci gününde elde edilen bu sonuçtan sonra, uydu görüntüleri 12’şer günlük periyotlar halinde değerlendirilmeye devam edilmiş ancak bu değerlendirmelerden anlamlı bir sonuç elde edilememiştir.

Patlamanın durduğu 13 Aralık 2021 tarihini kapsayan son bir aylık periyot değerlendirildiğinde, adanın güneybatı bölümünde 1 adet yeni frinç olduğu görülmüş, adanın güneydoğu kesiminde ise 4 adet frincin olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; adanın güneybatı bölümünde uydu bakış doğrultusunda meydana gelen maksimum kabarma miktarı toplamda yaklaşık olarak 31 cm olmuştur. Adanın güneydoğu kesimindeki yaklaşık olarak 6000 hektarlık alanda ise uydu bakış doğrultusundaki maksimum kabarma miktarı yaklaşık olarak 11 cm’dir.

## KAYNAKLAR

[1] Z. Çakır, “Analysis Of The Crustal Deformation Caused by The 1999 Marmara Earthquake Sequence Using Synthetic Aperture Radar Interferometry” PhD thesis, ITU Institute of Science and Technology and Institut De Physique Du Globe De Paris, 2003.

[2] R. F. “Hanssen Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis”. *Kluwer Academic Publisher*, Dordrecht, The Netherlands, p. 327, 2001.

[3] H. Kemalder, “Şehiraltı madenciliği ve tasman etkilerinin diferansiyel insar tekniği ile belirlenmesi: Zonguldak Metropolitan Alanı örneği”, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2011.

[4] A. Klügel, T. H. Hansteen ve K. Galipp, “Magma storage and underplating beneath Cumbre Vieja volcano, La Palma (Canary Islands)”. *Earth and Planetary Science Letters*, pp. 236(1–2), 211–226, 2005.

[5] P. A. Torres-González, N. Luengo-Oroz, H. Lamolda, M. W. D’Alessandro, H. Albert, I. Iribarren, D. Moure-García, V. Soler, “Unrest signals after 46 years of quiescence at Cumbre Vieja, La Palma, Canary Islands” *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 392, p. 16, 2020.

[6] J. C. Carracedo, V. R. Troll, J. M. D. Day, H. Geiger, M. A. Junca, V. Soler, F. M. Deegan, F. J. Perez-Torrado, G. G. Pinto, E. Gazel, A. Rodríguez-Gonzalez, H. Albert, “The 2021 eruption of the Cumbre Vieja Volcanic Ridge on La Palma, Canary Islands” *Geology Today*, p. 37, 2022.

[7] R. Urgeles, D. G. Masson, M. Canals, Watts, A. B. ve T. Le Bas, “Recurrent large-scale landsliding on the west flank of La Palma, Canary Islands”. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104(B11), 25331–25348, 1999.

[8] ESA, Available: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-1](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1)

[9] COPERNICUS , Available: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>