

Volkan Patlamalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile İzlenmesi: Cumbre Vieja Volkanı (İspanya) Örneği

Özer Akyürek^{1*}

¹Kocaeli Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, Kocaeli.

Özet

Doğal afetler insanlar için çeşitli kayıplar oluşturan, hayatı kesintiye uğratarak tüm canlıları etkileyen olaylar olarak tanımlanmaktadır. Volkanlar, yerkürenin var oluşundan günümüze kadar geçen süre içerisinde, doğal yaşamı çeşitli açılardan etkilemişlerdir. Çeşitli açılardan yararları olduğu gibi (ısınma-jeotermal sular vb.), zararları da olmuştur. Doğal afetlerden bir tanesi olan volkanik patlamalar insanlık tarihi boyunca birçok yıkıma ve ölüme neden olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Günümüz teknolojisinde volkanik afetlerin izlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama araçları, yönetim ve takibin ayrılmaz birer parçası olarak kullanılmaktadırlar. CBS ve Uzaktan Algılama, modern ve kullanışlı bir veri toplama ve işleme, analiz etme, sorgulama ve güncelleme araçları olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada 19 Eylül - 15 Kasım 2021 arasında geçen süre içerisinde Pleiades-1A, CosmoSky Med-radar, GeoEye-1 ve Landsat 8 verileri kullanılarak La Palma adasındaki Cumbre Vieja volkanından çıkan lavların adada yaşayan insanlara, yapılarla ve arazi örtüsüne etkileri incelenmesi amaçlanmıştır. Volkandan çıkan lavların 1,042.07 hektarlık alana yayıldığı belirlenmiştir. Bu alan içerisinde 2,749 adet binanın tamamen yıkılmış veya kısmen hasar gördüğü yapılan analizlerde ortaya çıkarılmıştır. Zarar gören ulaşım hatlarının uzunluğu ise 80.1 km'ye ulaşmıştır. Yer yüzey sıcaklığı analizi ile bölgenin patlama öncesi ve sonrasına ait sıcaklık değişimi incelenmiştir. Yapılan CBS ve UA analizleri sonucunda çeşitli tarım alanları ve ormanlık alanlar ile birlikte yerleşim alanları ve okyanusun da zarar gördüğü saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Coğrafi Bilgi Sistemi, Doğal Afet, Risk Analizi, Volkan Patlaması, Cumbre Vieja

Monitoring Volcanic Eruptions with Geographical Information Systems and Remote Sensing Methods: The Case Study of Cumbre Vieja Volcano (Spain)

Abstract

Natural disasters are defined as events that cause various losses for people and affect all living things by interrupting life. Volcanoes have affected natural life in various ways, from the existence of the earth to the present. While they have benefits in various aspects (heating-geothermal waters, etc.), they also have harmful effects. Volcanic eruptions, one of the natural disasters, have caused many destructions and deaths throughout human history and continue to do so. In today's technology, Geographical Information Systems and Remote Sensing tools are used as an integral part of management and monitoring for monitoring volcanic disasters. GIS and Remote Sensing are used as modern and useful data collection and processing, analysis, querying, and updating tools. In this study, it was aimed to examine the effects of lava from Cumbre Vieja volcano on La Palma island on people, structures and land cover, using Pleiades-1A, CosmoSky Med, GeoEye-1 and Landsat 8 data between 19 September and 15 November 2021. It was determined that the lava coming out of the volcano spread over an area of 1,042.07 hectares. In this area, it was revealed in the analyzes that 2,749 buildings were destroyed or partially damaged. The length of the damaged transportation lines reached 80.1 km. The Land surface temperature analysis, the temperature changes of the region before and after the explosion were examined. As a result of the GIS and UA analyzes, it was determined that various agricultural areas and forest areas, as well as residential areas and the ocean, were also damaged.

Keywords

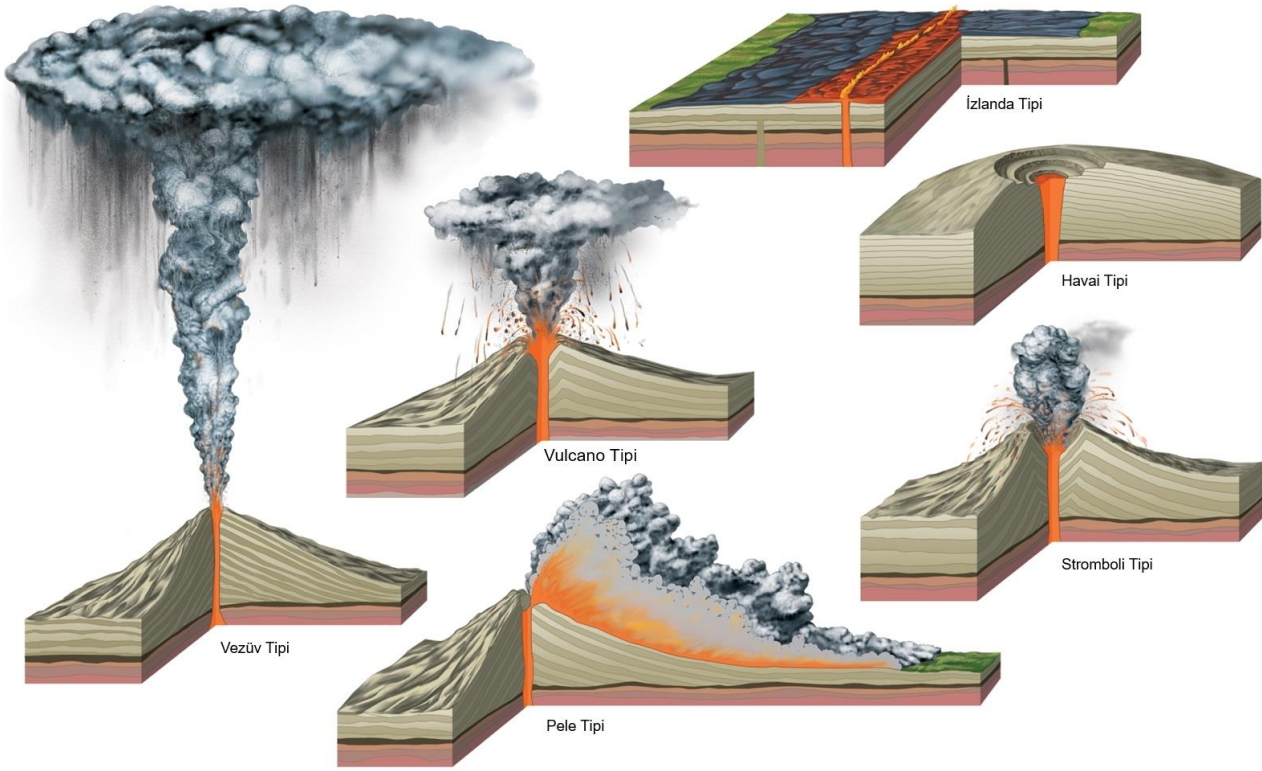
Geographical Information Systems, Natural Disaster, Risk Analysis, Volcanic Eruption, Cumbre Vieja

1. Giriş

İnsanlar için fiziksel ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen doğal, teknolojik veya insan yapısı kökenli olaylar afet olarak tanımlanmaktadır (Ergünay 1996). Afetler doğal ve teknolojik (insan kaynaklı) olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Deprem, sel, heyelan, çığ, volkan patlaması, kasırga, tsunami gibi afetler doğal afet olarak nitelendirilmektedir. Teknolojik afetlere ise kimyasal ve nükleer kazalar, orman yangınları ve salgın hastalıklar örnek olarak gösterilebilir (Arca 2012).

Volkanlar, insanın yeryüzünde var oluşundan günümüze kadar geçen süre içerisinde, insan uygarlıklarını pek çok yönden etkilemişlerdir. Neolitik dönemde yaşayan ilkel insan, avcılık döneminde volkan lavlarının hızlı bir şekilde soğumasıyla oluşan volkanik cam (obsidiyen) kullanarak avlanmış, aktif volkanik alanlarda bulunan mağaraları ve sıcak su kaynaklarını kullanmıştır. Volkanların denetlenemez gücünden etkilenmiş ve zaman zaman onlara tapmışlardır. Öte yandan tarih boyunca da volkanların gazabından ve yıkıcı etkilerinden kurtulamamışlardır (Güngör 2017).

Volkanik püskürmelerin en önemli nedenlerinden birisini, çeşitli gazların içerisinde buldukları magma tabakasından ayrılmaları oluşturur. Magma içindeki yüksek basınç altında bulunan gazlar, üzerlerindeki basıncın azalması ile birlikte magmadan hızla ayrılma eğilimi içerisine girerler. Üzerindeki basınç kalkan magma hafifleyerek püskürme özelliği kazanır ve bu durum sonucunda volkanik patlamalar gerçekleşir. Volkanlar, dışarıya ulaşan ergimiş magmanın türü, bileşimi ve miktarına bağlı olarak farklı şekillerde adlanır (Şekil 1). İzlanda tipi patlamada akıcı lavlar yükselerek yer yüzeyine yayılır. Vezüv tipi, çok şiddetli patlamalar hâlinde lav, kül ve gaz püskürmesi şeklinde gerçekleşir. Havai tipi patlamalarda koni oluşmazken, Vulcano tipi volkanlarda çok yüksek volkan konileri oluşabilir. Pele tipi volkanlarda ise büyük miktarda gaz, toz, kül ve lav parçaları genellikle büyük püsküren sütunlar şeklinde gerçekleşmektedir. Magma içerisinde biriken hava kabarcıklarının yüzeye ulaştığında hava basıncındaki farktan kaynaklanarak püskürmesi Stromboli tipi volkanik patlama olarak adlandırılmaktadır (URL-1 2021). Bu çalışmaya konu olan La Palma volkanı Stromboli tipi patlamalara örnek olarak gösterilir (URL-2 2021). Denetlenemez ancak öngörülebilir olan bu patlama türleri, volkanların yamaçlarında ve çevrelerinde yaşayan tüm canlılar için mutlak ve ani bir risk oluşturmaktadır (Güngör 2017).



Şekil 1: Volkanik patlama türleri (URL-1 2021)

Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) araçları afet yönetimi ve takibinin ayrılmaz birer parçası olmuşlardır. CBS'nin konumsal verileri yönetmedeki başarısı; konumsal analiz yapabilme yeteneği, elde edilen sonuçları görselleştirme ve sunabilme kapasitesinin yüksek olması ve ayrıca sorgulama yapabilme özelliği nedeniyle yapılan çalışmalarda tercih edilmesini sağlamıştır. UA görüntüleri ise özellikle volkan patlamaları gibi afet alanına yaklaşamayan –erişilemeyen– durumlarda yüksek konumsal ve spektral çözünürlükte veri toplayabilme kabiliyetinden dolayı afet yönetimi ve takibinde sıklıkla kullanılmaktadır. Zamansal çözünürlük yeteneği sayesinde afetlerin öncesi ve sonrasındaki etkilerini izleyebilmede kullanılan bir veri kaynağıdır.

Literatürde CBS ve UA'nın bütüncül veya bireysel olarak kullanıldığı pek çok çalışma mevcuttur. Mouginiş-Mark (2000), volkan patlamalarında ve afet izlemede UA araçlarının öneminden bahsetmiştir. Havai, Galapagos ve Filipinler'de meydana gelen volkan patlamalarında çeşitli uzaktan algılama platformlarından sağlanan termal kızılötesi bandların nasıl kullanıldığı, uydu görüntülerinden oluşturulan dijital yükseklik modelleri ile topografik değişimlerin karşılaştırmalarının nasıl yapıldığı hakkında bilgi vermiştir. Arca (2012) doğal afet çalışmalarında UA ve CBS'nin aktif ve yaygın bir şekilde kullanıldığından ve sadece afetlerin izlenmesi ve etkilerinin belirlenmesinde değil, afetlerin öncesi ve sonrasında alınacak olan önlemlerin belirlenmesinde de kullanılabileceğini bildirmiştir.

Alcorn vd. (2013) yaptıkları çalışmalarında birçok parametreyi kullanarak CBS yardımıyla New Mexico Caldera vadisi Jemez dağlarındaki El Cajate Volkanı'nın olası bir patlama durumunda etrafında bulunan yerleşim yerlerine ait risk haritalarını oluşturmuşlardır. Ayrıca volkan çevresinde bulunan yerleşim yerlerinin zarar görebilirlik durumlarını da modellemişlerdir. Surwarsono vd. (2016) çalışmalarında 2013 yılında tekrardan aktif hale gelen Sinabung volkanını çalışmışlardır. Pek çok yıkıma sebep olan bu volkanın 2013-2016 yılları arasındaki aktivitesini orta çözünürlükte görüntüler üreten Landsat-8 platformu ile incelemişlerdir. Çalışmalarında volkan patlamalarının ve lav akışının sebep olduğu hasarlı bölgelerin belirlenmesini amaçlamışlardır. Nurwihastuti vd. (2019) Endonezya'nın Kuzey Sumatra bölgesindeki aktif volkanlardan biri olan Sinabung Volkanı'nı çalışmışlardır. Çalışmalarında UA görüntülerini ve CBS kullanarak volkanik patlamanın jeomorfolojik karakteristiklerini analiz etmişlerdir. Bu karakteristiklerin analizinde uydu görüntülerini, jeolojik haritaları ve arazi ölçümlerini kullanmışlardır. Davila vd. (2019) çalışmalarında 2014-2016 yılları arasında Meksika'da bulunan Colima Volkanı'nın lav akışını uzaktan algılama görüntüleri ile izlemişlerdir. SPOT ve EO-1 görüntülerini kullanarak patlama öncesi ve sonrası görüntülerden elde edilen sayısal yüzey modelleri ile akan lav miktarını tespit etmişlerdir. Aldeghi vd. (2019) çalışmalarında Guatemala'da bulunan dünyanın en aktif ve en tehlikeli volkanlarından birisi olarak nitelendirildikleri Fuego Volkanı'nı yüksek çözünürlüklü (~3m) The Planet Labs CubeSat uzaktan algılama görüntüleri ile analiz etmişlerdir. Volkanın patlamasından önce, patlama sırasında ve sonrasında elde ettikleri görüntüler ile kül bulutlarının takibini, lav akışlarını ve morfolojik değişimleri incelemişlerdir. Bignami vd. (2020) ise çalışmalarında 2014-2015 yıllarında Cape Verde'de bulunan Fogo Volkanı'nı radar ve optik uydu görüntüleri ile incelemişlerdir. Görüntüler yardımıyla lav akışının takibini yapmışlar, değişim belirleme tekniklerini kullanarak volkan çevresinde meydana gelen deformasyonları analiz etmişlerdir. Cigna vd. (2020) yaptıkları derleme çalışmalarından volkanik aktivitenin izlenmesinde kullanılan uzaktan algılama araçlarından bahsetmişlerdir. Uzaktan algılama platformlarının hangi çeşitlerde veriler ürettiği ve bu verilerin volkan izlemede ne şekilde kullanıldığı hakkında bilgiler vermişlerdir. Ayrıca dünyanın çeşitli bölgelerinde faaliyet göstermiş olan volkanların analiz edildiği 2018 ile 2019 yılları arasındaki çalışmalara yer vermişlerdir. Etna, Fuego, Colima, Bezymianny, Holuhraun, Stromboli, Santorini, Lascar ve Villarrica volkanlarını UA teknikleri ile farklı şekillerde inceleyen 19 adet bilimsel makaleyi incelemişlerdir. Escayo vd. (2020) çalışmalarında 2006-2010 yılları arasında La Palma adası Cumbre Vieja Volkanı'nın izlenmesi için jeodezik (GNSS), radar interferometri (A-DInSAR) ve mikrogravimetre teknikleri ile topladıkları verileri analiz etmişlerdir. Yaptıkları analiz sonucunda yerçekimi değerlerinde herhangi bir değişiklik olmamasına rağmen konumsal ve zamansal olarak kesin bir yüzey deformasyonunun var olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bu makalede incelenen çalışma alanı, İspanya'ya bağlı Kanarya Adaları'ndan birisi olan Afrika kıtasının kuzey batısında, Atlantik Okyanusu'nda bulunan La Palma'da 19 Eylül 2021 tarihi saat 15:10'da faaliyete geçen Cumbre Vieja Volkanı ve civarıdır (Şekil 2). La Palma Kanarya adalarının büyüklük bakımından beşinci (706 km²) ve yükseklik bakımından ise ikinci (2.423 m) adasıdır. Ada kuzey-güney yönünde uzanmaktadır ve içerisinde iki stratovolkan bulunmasından dolayı bir eyer biçiminde görünmektedir. Adanın kuzeyinde konik kuzey kalkanı ve güneyinde ise Cumbre Vieja Volkanı bulunur (Carracedo vd. 2001). Volkan 2426 metre yükseklikte ve 28.57 °K - 17.83 °B koordinatlarında bulunmaktadır. Cumbre Vieja Volkanı Kanarya Adaları'ndaki en aktif olanlardan biridir. Kuzey-Güney yönlü olan bu volkanın faaliyetleri yaklaşık 125.000 yıl öncesine kadar uzanmaktadır (URL-3 2022). 15. yüzyıldan beri kaydedilen patlamalarla Cumbre Vieja Volkanı hafif şiddette patlayıcı aktivite ve yerleşim bölgelerine zarar veren lav akıntılarını üretmiştir. La Palma adasının güney ucu 1677-1678 yıllarında meydana gelen patlamalarla oluşan geniş bir lav örtüsüyle kaplıdır. 19 Eylül 2021 tarihinde meydana gelen son patlamada olduğu gibi 1585, 1646, 1712, 1949 ve 1971 yıllarında meydana gelen patlamalarda da oluşan lav akıntıları denize ulaşmıştır (URL-4 2013).

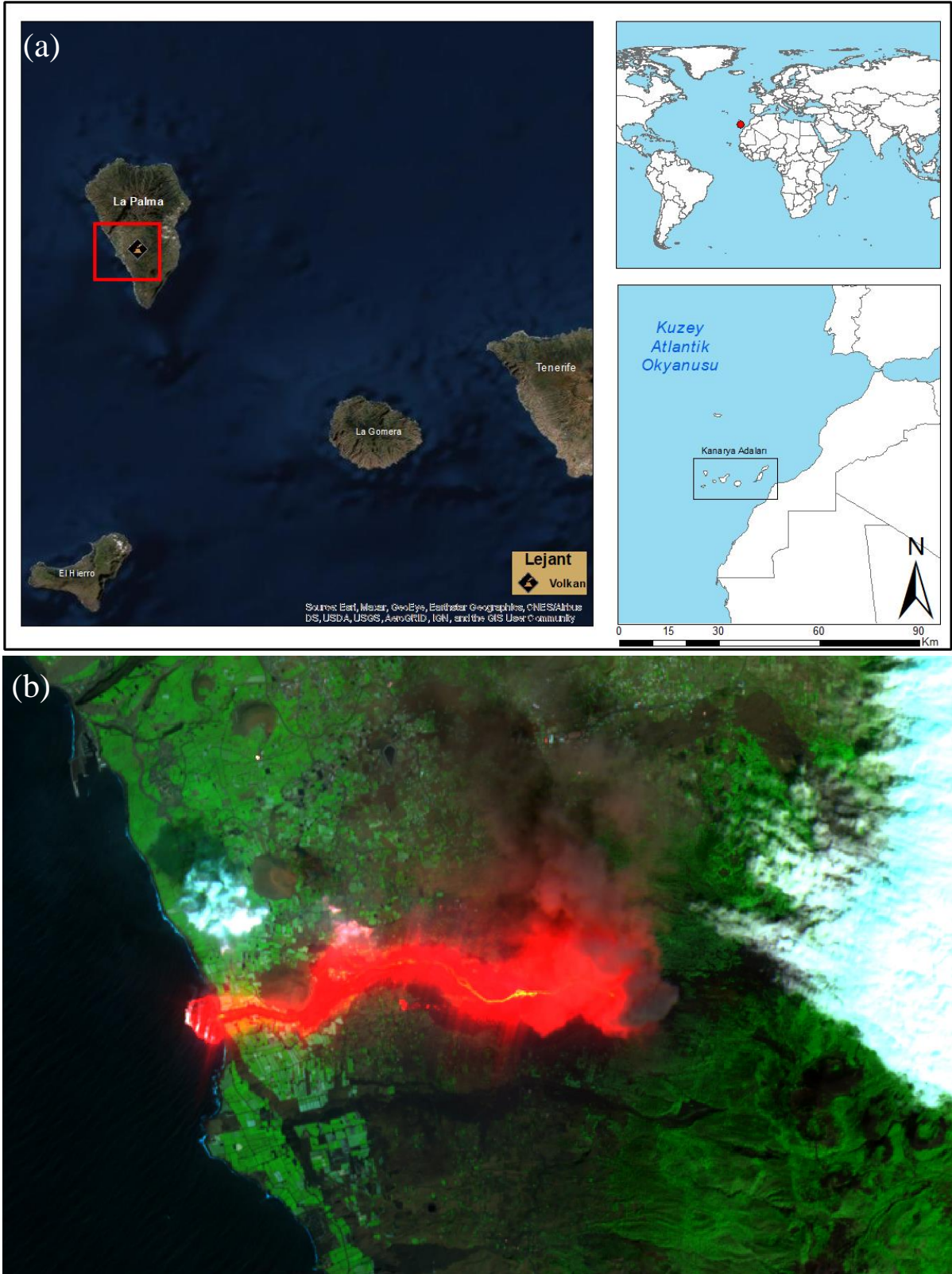
Bu çalışmada Cumbre Vieja Volkanı'nın faaliyete geçtiği gün olan 19 Eylül ile 15 Kasım tarihleri arasında 58 gün boyunca akan lav kütlelerinin yayıldığı alanlar UA ve CBS yardımıyla analiz edilmiştir. Lav akışından etkilenen yerleşim yerleri ve ulaşım hatları araştırılmıştır. Yer Yüzey Sıcaklığı (YYs) analizi ile lav akışının sebep olduğu sıcaklık artışı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu akıştan etkilenen arazi örtüsü de analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada veri seti olarak Avrupa Birliği tarafından Avrupa Çevre Ajansı ve Avrupa Uzay Ajansının destekleriyle yürütülen Kopernik (Copernicus) programı tarafından oluşturulan veriler kullanılmıştır (URL-5 2022).

Altı Kopernik Servisi, verileri işleyip analiz ederek ve bunları bilgilendirici haritalar, veri kümeleri gibi hizmetlere ve ürünlere dönüştürerek tam, ücretsiz ve açık veriler sunmaktadır. Bu servisler;

- Atmosfer İzleme Servisi
- Deniz Ortamı İzleme Servisi
- Arazi İzleme Servisi
- İklim Değişikliği Servisi
- Acil Durum Yönetim Servisi
- Güvenlik Servisidir (URL-6 2021).



Şekil 2: (a) Çalışma alanı, (b) 30.09.2021 tarihli Sentinel 2 görüntüsü (R:12, G:8A, B:4 (SWIR))

Bu çalışmada kullanılan vektör verilerin hepsi Acil Durum Yönetim Servisi (Copernicus Emergency Management Service, CEMS) tarafından oluşturulan verilerdir. Bu servis altındaki iki birimden bir tanesi olan Hızlı Haritalama (Rapid Mapping) yeryüzünde meydana gelen herhangi bir afet sonrasında saatler içerisinde çeşitli yer gözlem uyduları (optik ve radar görüntüleri) yardımıyla meydana gelen afet hakkında bilgi üretmeyi amaçlamaktadır. Birimin ürettiği veriler arasında direkt çıktı alınabilecek haritalar ve vektör veriler bulunmaktadır.

Vektör veriler Kopernik programının yetkisinde bulunan ve katkı sağlayan diğer platformlardan elde edilen görüntülerin görsel incelemesi yardımıyla oluşturulmaktadır. Görsel inceleme ile afet bölgesine ait belirlenen çalışma alanı içerisindeki binalar, ulaşım hatları, tesisler gibi birimler yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri üzerinden sayısallaştırılarak veri tabanına kaydedilir (Joubert-Boitat vd. 2020). Bu çalışmada afet öncesi görüntüsü olarak Pléiades-1A kullanılmıştır. Afet sonrasında lav akışının izlenmesi amacıyla ve lav kütlelerinin sınırlarının belirlenmesi için ise çoğunlukla COSMO-SkyMed radar ve GeoEye-1 görüntüleri üzerinden sayısallaştırma işlemi gerçekleştirilerek vektör veri tabanı CEMS tarafından oluşturulmuş ve kullanıcıların kullanımına sunulmuştur. Görüntüler üzerinden anlamlı geometrik ölçü yapılabilmesi için farklı sensörlerden alınmış görüntülerin geometrik olarak birbiri ile çakıştırılması gerekmektedir. İlgili görüntüler üzerindeki tüm geometrik ve radyometrik işlem adımları CEMS tarafından yapılarak oluşturulan veri tabanlarında girdi veri seti olarak kullanılmıştır. İlgili birimin paylaştığı vektör veri seti içerisinde; çalışma alanı içerisinde bulunan binalar, ulaşım hatları, arazi örtüsü bilgileri, akan lav sınırları ve lavın yeryüzüne çıktığı baca konumları bulunmaktadır. Tüm bu veriler kullanılarak La Palma adasındaki Cumbre Vieja volkanından çıkan lavların ada içerisinde ve çevre adalarda bulunan insanlara, yapılara ve arazi örtüsü üzerine yaptığı etkilerin CBS ve UA teknikleri ile incelenmesi amaçlanmaktadır.

Ayrıca yer yüzey sıcaklığının takip edilebilmesi için Landsat 8 OLI/TIRS platformu tarafından algılanan görüntüler kullanılmıştır. Landsat 8 platformu bünyesinde iki farklı algılayıcı sistemi barındırmaktadır. Bunlardan ilki Operasyonel Yer Görüntüleyicisi (OLI) dir. OLI sistemi içerisinde kıyı/aerosol uygulamaları için derin mavi (Band 1), sirus bulutlarının analiz ve tespiti için kısa dalga kızılötesi (Band 9) ve band kalite değerlendirmesi amacını taşıyan 3 ek yeni banda sahiptir. İkinci algılayıcı sistem ise Termal Kızılötesi Sensör (TIRS) dür. TIRS sistemi bünyesinde 100 m konumsal (30 m yeniden örnekleme), 16 bit radyometrik çözünürlük, 10.6-12.51 μm 'lik elektromanyetik spektrum termal dalga boyunda iki adet band bulundurmaktadır (Band 10 ve 11). Landsat 8 (OLI/TIRS) algılayıcısı, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 5 TM algılayıcılarına göre daha dar spektral band genişliğine ve daha güçlü sinyal gürültü karakteristiğine sahip bir algılayıcı platformudur. Çalışma dönemi içerisinde haftalık görüntüler yardımıyla (Tablo 1) patlama sonrasında yer yüzey sıcaklığının değişimi analiz edilmiştir.

Tablo 1: Yer yüzey sıcaklığı üretilen Landsat 8 görüntülerine ait tarih bilgileri

Sıra No	Tarih	Sıra No	Tarih
a	10.09.2021	e	13.11.2021
b	26.09.2021	f	16.11.2021
c	12.10.2021	g	29.11.2021
d	28.10.2021		

Yer yüzey sıcaklıklarının belirlenmesinde Işınımsal Transfer Eşitliği (Radiative Transfer Equation, RTE) yöntemi kullanılmış ve Şekil 3'de gösterilen iş akışı takip edilmiştir. Yer yüzey sıcaklıkları elde edilirken ilk olarak uydu görüntülerindeki piksel değeri (DN) Spektral Radyans değerlerine dönüştürülmüştür. Spektral Radyans değeri belirli bir dalga boyunda, belirli bir açı ve bölgeden yansıyan veya iletilen enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır (Yıldız vd. 2017). Bu dönüşüm için;

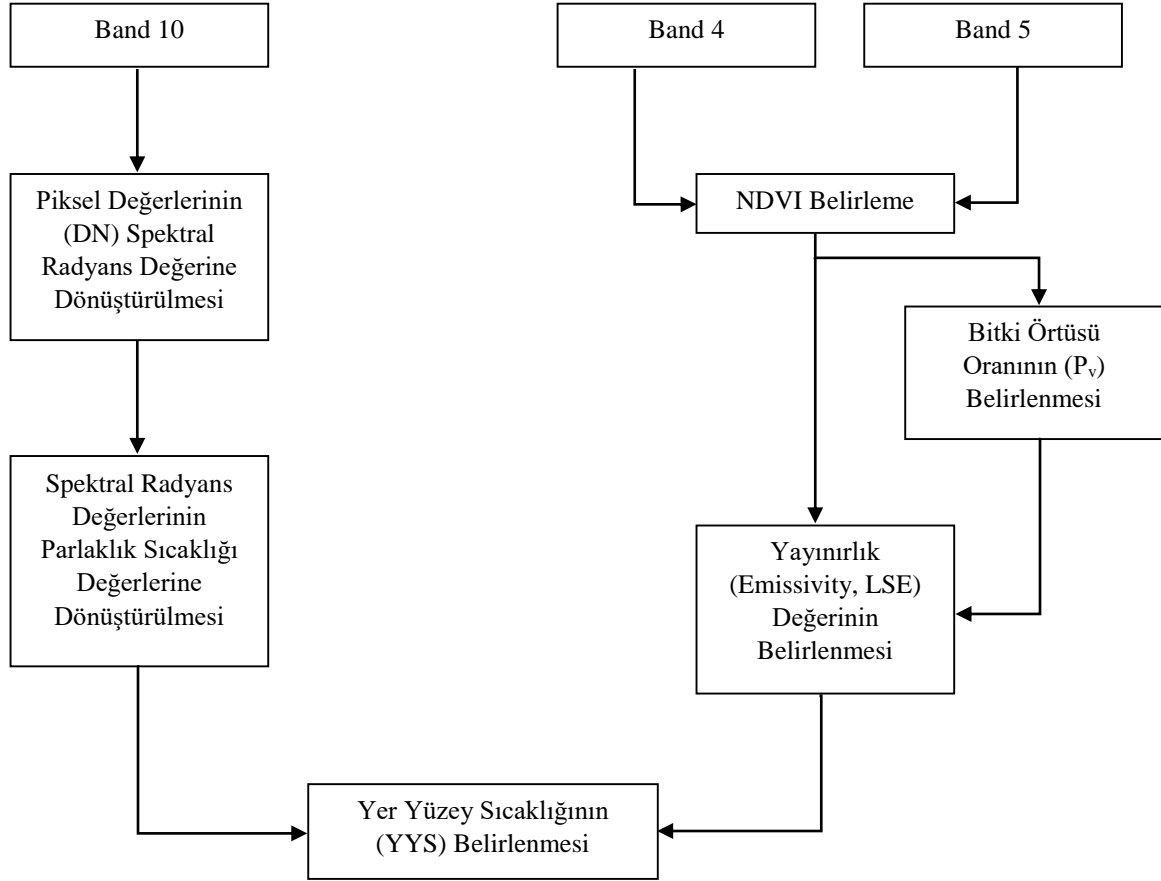
$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Buradaki L_{λ} hesaplanan Radyans değeri ($\text{W}/(\text{m}^2 * \text{sr} * \mu\text{m})$), M_L radyans çarpımsal ölçeklendirme faktörü (Uydu meta verisinden), Q_{cal} uydu görüntüsünün piksel değeri (DN) ve A_L radyans ilave ölçeklendirme faktörünü (Uydu meta verisinden) temsil etmektedir.

Görüntü bandlarına ait Radyans değerleri belirlendikten sonra bu değerlerin Parlaklık sıcaklığı değerlerine dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için;

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} - 273.15 \quad (2)$$

eşitliği kullanılmıştır. Bu eşitlikte bahsedilen, T parlaklık sıcaklığını (C^0), L_{λ} hesaplanan Radyans değerini ($\text{W}/(\text{m}^2 * \text{sr} * \mu\text{m})$), K_1 ve K_2 ise uydu meta verisinde bulunan Termal Band için dönüşüm sabitlerini tanımlamaktadır.



Şekil 3: Yer yüzey sıcaklığı belirleme için kullanılan iş akış şeması

Daha sonrasında Landsat 8 görüntülerinin dördüncü ve beşinci bandını kullanarak Normalize edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) belirlenmiştir. Belirlenen NDVI'nın bitki ve toprak değerleri kullanılarak Bitki Örtüsü Oranı (P_v);

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}^2 \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır (Sobrino vd. 2004). Yayınrlık (Emissivity, LSE) değerleri NDVI ve P_v değerleri kullanılarak;

$$NDVI < NDVI_s \text{ ise } \epsilon_{s\lambda}, NDVI_s \leq NDVI \leq NDVI_v \text{ ise } \epsilon_{v\lambda} P_v + \epsilon_{s\lambda} (1 - P_v) + C \text{ ve } NDVI > NDVI_v \text{ ise } \epsilon_{s\lambda} + C \quad (4)$$

formülü ile elde edilmiştir. Burada $\epsilon_{s\lambda}$ toprak yüzeylerden yayılan enerjiyi, $\epsilon_{v\lambda}$ ise bitkilerden yayılan enerji değerini temsil etmektedir. C değeri yer yüzeyinin pürüzlülüğünü temsil eder. Düz alanlar için sıfır kabul edilir. Tüm değerler hesaplandıktan sonra Yer Yüze Sıcaklıkları;

$$YYS = \frac{T}{\left(1 + \frac{w \cdot T}{\rho}\right) \ln(\epsilon)} \quad (5)$$

formülü ile hesaplanır. Burada daha önceki aşamalarda hesaplanmış olan T sıcaklık değerleri, w kullanılan termal banda ait ortalama dalga boyu değeri ($10.9 \mu m$), ϵ ise yayınrlık değerini temsil etmektedir. ρ sabit bir değer olup Planck sabiti, Boltzmann sabiti ve ışık hızı değerleri yardımıyla hesaplanmaktadır (Akyürek 2020; Şekertekin ve Bonafoni 2020). Çalışmada yapılan tüm izleme ve sorgulama analizlerinde ArcGIS 10.7 yazılımından faydalanılmıştır.

2.1 Validasyon

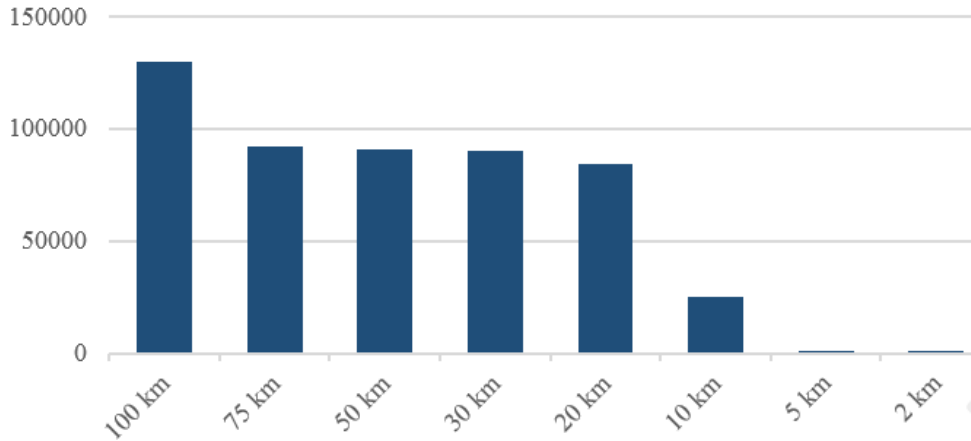
Bu çalışmada kullanılan verilerin validasyonu ve kalite kontrolü ilk olarak veriyi üreten kurum olan Acil Durum Yönetim Servisi tarafından yapılmaktadır. İkinci olarak üretilen veriler bir üst birim olan Avrupa Komisyonu'nun Birleşik Araştırma Merkezi'nde (Joint Research Centre, JRC) kontrol edilmektedir.

Acil Durum Yönetim Servisi ürettiği verilerin validasyonu için; yapılan çeşitli görüşmelerde kullanıcı geri bildirimlerinin toplanarak iş akışına olan etkilerinin araştırılması, üretilen sonuç ürünleri için kullanılan kaynaklar açısından olası iyileştirmelerin ve alternatif çözümlerin araştırılması şeklindeki adımlar uygulanmaktadır. Doğrulama faaliyetlerinin sonuçları bir öneri tablosunda toplanarak analiz edilmektedir ve sonuca bağlanmaktadır. Uygulanan bu doğrulama metodolojisi JRC tarafında geliştirilen doğrulama protokolüne dayanmaktadır (URL-7 2022). Bu çalışma içerisinde kullanılan verilerin validasyonun yapılması için yazar tarafından herhangi bir arazi çalışması işlemi gerçekleştirilmemiştir.

3. Bulgular

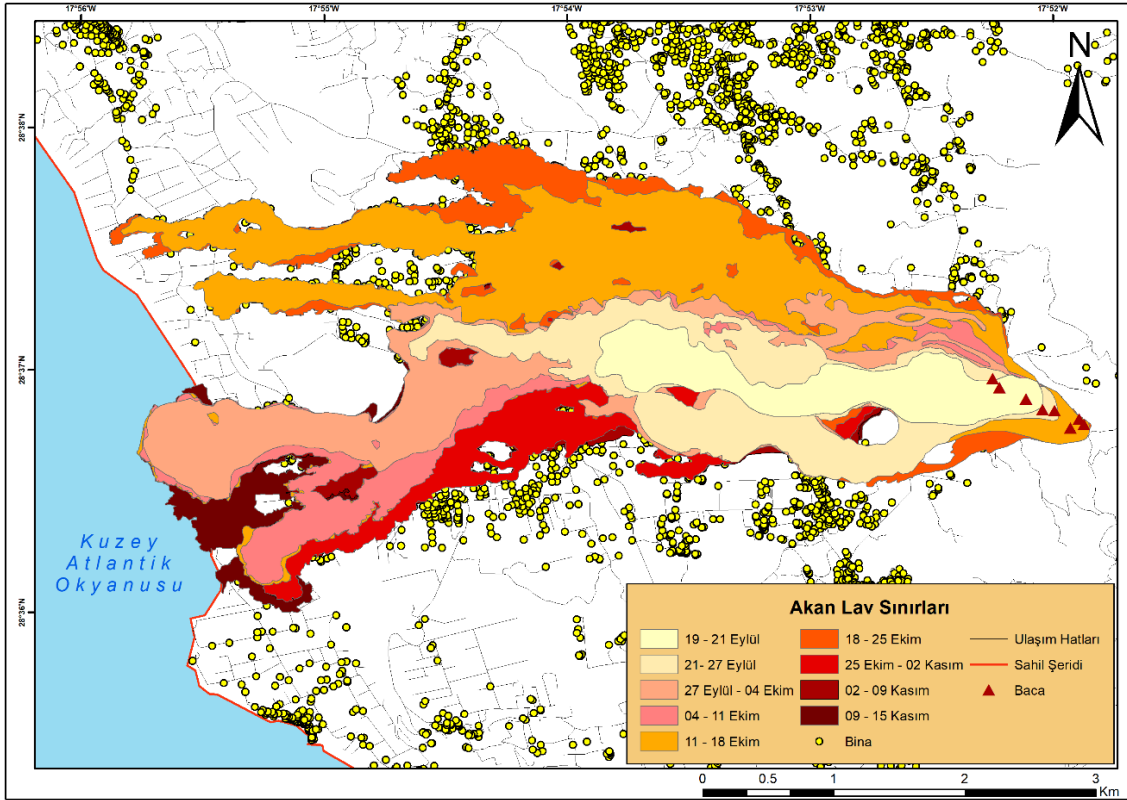
Kanarya Adaları Volkanoloji Enstitüsü (KAVE) ve İspanya Ulusal Coğrafya Enstitüsü (UCE) 11 Eylül günü saat 16:18 de La Palma adasının güney bölümünde Cumbre Vieja volkanının altında sismik hareketliliğin başladığını ve bu durumun magmatik hareketlerle ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir (URL-8 2021). 12 Eylül günü saat 16:00'a kadar geçen sürede en büyüğü m_{Lg} ölçeğinde 2.8 olmak üzere derinlikleri 8-13 km arasında değişen 315 adet deprem kaydedilmiştir. 13 Eylül günü birden fazla kurum ve kuruluşun temsilcilerinden oluşturulan bilim kurulu volkanın çevresinde bulunan yerleşim yerleri için uyarı düzeyini sarıya (dört renkli alarm ölçeğinde ikinci düzey) yükseltildiğini açıklamışlardır. 14 Eylül saat 08:00 itibarıyla volkan etrafında en büyüğü 3.9 m_{Lg} olan 2935 adet deprem tespit edilmiştir. Meydana gelen bu depremlerin yüzeye daha da yaklaştığı (8-10 km) belirlenmiştir. 17-19 Eylül tarihleri arasında sismik hareketlilik artarak devam etmiştir. Bölge sakinleri tarafından meydana gelen depremler sonucunda düşey deformasyonun meydana geldiği alanların varlığına dair raporlar alınmıştır. 19 Eylül sabahı 11:16'da büyüklüğü 4.2 m_{Lg} olan deprem ile birlikte düşey deformasyon artış göstermiştir. Kanarya Adaları Volkanik Acil Durum Planı gereği yetkililer bölgeden tahliye işleminin başlatılması gerektiğini söylemişlerdir. 19 Eylül 15:10'da Cumbre Vieja Volkan'ında bir patlama meydana gelmiş ve volkan etrafında bulunan gözlemciler gaz, kül bulutu ve lav çıkışının meydana geldiği patlamayı gözlemlemişlerdir. Meydana gelen ilk patlama ve sonrasındaki patlamalar Stromboli tipi patlama olarak sınıflandırılmıştır (URL-9 2021). Patlamadan sonra kuzey güney yönünde yaklaşık 200 metre aralıkla iki adet 200 metre uzunluğunda çatlak oluştuğu tespit edilmiştir (URL-2 2021). Yapılan ilk incelemeler sonrasında patlamanın ilk aşamalarında oluşan çatlaklar üzerinde 7 adet bacanın (vent) oluştuğu tespit edilmiştir. Volkanı anlık takip eden bilim adamları lavların ortalama akış hızını saatte 700 m ve sıcaklığını ise 1075 °C olarak belirlemişlerdir (URL-2 2021). Lav akışının başlamasıyla birlikte volkan çevresinde bulunan iğne yapraklı ormanlarda çeşitli orman yangınlarının başladığı bildirilmiştir. Patlamadan sonraki gün (20 Eylül) lav akışının ana bölümünün batı yönünde 3 km'den fazla yol kat ettiği ve daha ilk günden tahminen 166 binayı yok ettiği belirlenmiştir. Patlama ile birlikte havaya yayılan kül bulutları hayatı olumsuz etkilemiştir. Patlamadan sonraki hafta içerisinde La Palma havaalanı uçuşlara kapatılmıştır. 22 Ekim'de kül bulutlarının 3-4.6 km'ye (10,000-15,000 ft) yükseldiği bildirilmiştir. Ertesi gün ise bu sınır 5 km'ye (16,400 ft) çıkmıştır (URL-9 2021). İlk hafta içerisinde yapılan SO_2 ölçümlerinde günlük ortalama gaz çıkışının 25,000 ton olduğu tespit edilmiştir. Sonraki günlerde gaz çıkışı bir miktar azalsa da (günlük 16,000 ton) devamlılığını sürdürmüştür (URL-2 2021).

Cumbre Vieja Volkanı'nın patlamasından etkilenen en yakın yerleşim yerleri La Palma adası içerisinde Malpais, Las Caletas, Puerto Naos, Las Indias, El Paso, Fuencaliente, Brena Alta, Los Llanos, Tazacorte ve Garafiadır. Ayrıca La Palma'nın güney ve güney doğusunda bulunan Hierro ve La Gomera adaları da patlamanın sonuçlarından, kül ve duman bulutları nedeniyle, hava ve deniz trafiği olarak etkilenmişlerdir. Şekil 4'te belirli yarıçap mesafelerine göre bu yerleşim yerlerinde yaşayan ve volkan patlamasından dolayı veya direkt olarak etkilenen kişilerin sayısı gösterilmektedir (URL-10 2021).



Şekil 4: Volkandan etkilenen insan sayısı (URL-10 2021)

Şekil 5’de 19 Eylül ile 15 Kasım arasında akan lav sınırları gösterilmektedir. 19-21 Eylül tarihlerinde akan lav miktarı 102.82 hektarlık alana yayılmıştır. Toplam etkilenen yerleşim yeri sayısı 190 adet ve ulaşım hatlarının uzunluğu ise 0.9 km olarak belirlenmiştir. 21-27 Eylül tarihleri arasında akan lav miktarı 258 hektarlık alana ulaşmıştır. Lav akışından etkilenen yerleşim yeri sayısı hızla artış göstererek 686’ya, hasar gören ulaşım hatlarının uzunluğu ise 22.2 km ye ulaşmıştır. 27 Eylül-4 Ekim arasında akan lavdan etkilenen alan 434.69 hektara çıkmıştır. 28 Eylül gecesi lavlar okyanusa ulaşmış ve 50 m yüksekliğinde bir lav deltası oluşturmuştur. Etkilenen yerleşim yeri sayısı 1154’e, hasar gören ulaşım hatlarının uzunluğu ise 36.5 km’ye ulaşmıştır. 04-11 Ekim tarihleri arasında akan lavın etkilediği alan miktarı 497 hektara çıkmıştır. Hasar gören yerleşim yeri sayısı 1281, ulaşım hatlarının uzunluğu ise 42.1 km’ye yükselmiştir. 11-18 Ekim tarihleri arasında lav akışı yön değiştirmiş ve kuzey-batıya doğru yönelerek hızlı bir artış göstermiştir. Lav akışından etkilenen alan bu ani artışla birlikte 811.83 ha’ya yükselmiştir. Hasar gören yerleşim yeri sayısında da lav akışının yön değiştirmesine bağlı olarak hızlı bir artış gözlemlenmiştir. Etkilenen yerleşim yeri sayısı 2017’ye, hasar gören ulaşım hattı ise 64.3 km’ye yükselmiştir. 18-25 Ekim tarihlerinde de lav akışı kuzey-batıya doğru akışını sürdürmüştür. Lav sınırı 906.28 hektarlık alana ulaşmıştır. Lavdan etkilenen yerleşim yeri sayısı 2286’ya, ulaşım hatlarının uzunluğu ise 69.7 km’ye ulaşmıştır.

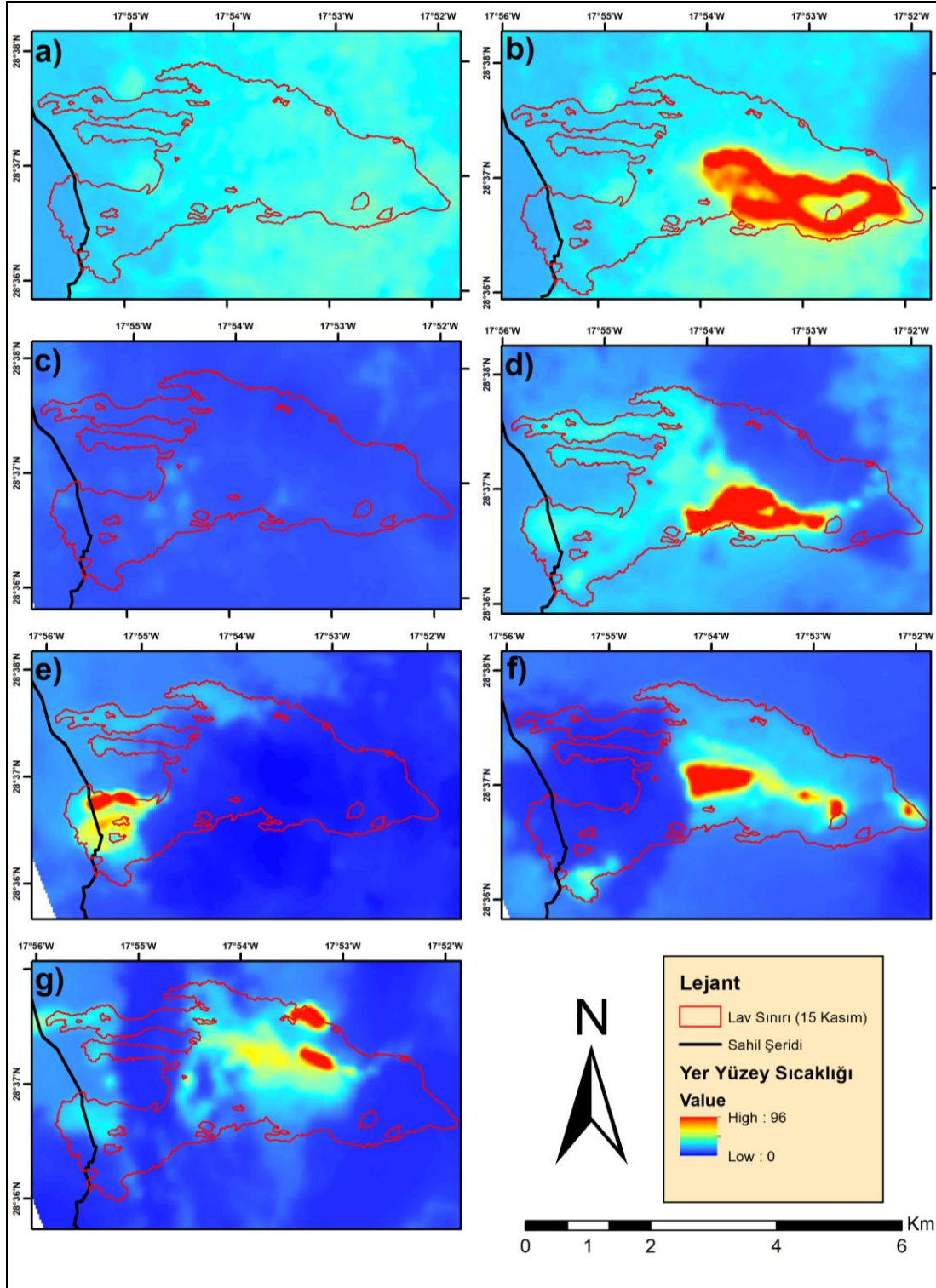


Şekil 5: 19 Eylül-15 Kasım 2021 tarihleri arasında volkandan akan ve bölgeyi etkileyen lav sınırları

Tablo 2: Lav akışından etkilenen alanlar (19 Eylül-15 Kasım)

Tarih	Akmuş Lav (hektar)	Tahrip olmuş ve kısmi hasarlı	
		Yerleşim Yeri (adet)	Ulaşım Hatları (km)
19-21 Eylül	102.82	190	0.9
21-27 Eylül	155.18	496	21.3
27 Eylül-04 Ekim	176.69	468	14.3
04-11 Ekim	62.31	127	5.6
11-18 Ekim	314.83	736	22.2
18-25 Ekim	94.45	269	5.4
25 Ekim-02 Kasım	81.58	463	7
02-09 Kasım	11.78	-	0.7
09-15 Kasım	402.43	-	2.7
Toplam Etkilenen	1,042.07	2,749	80.1

25 Ekim-02 Kasım tarihleri arasında lavın kuzey-batıya akışı durmuş ancak ana akış aksından güneye yönelerek yeni bir yol oluşturmuştur. Lavın etkilediği alan 987.86 ha'ya ulaşmıştır. Oluşan yeni akış hattı daha fazla ev ve ulaşım hattının zarar görmesine sebep olmuştur. 02 Kasım itibarıyla lav akışından etkilenen yerleşim yerinin sayısı 2749'a, ulaşım hatlarının uzunluğu ise 76.7 km'ye çıkmıştır. 02-09 Kasım aralığında lav akışı duraksama göstermiştir. Lavdan etkilenen alan miktarı 999.64 ha'ya çıkmış, hasar gören ulaşım hattı ise 77.4 km'ye ulaşmıştır. Son olarak 09-15 Kasım tarihleri arasında akan lav sınırı 1042.07 ha olarak belirlenmiştir. Son süreçte herhangi bir yerleşim yeri zarar görmemiş ancak hasar gören ulaşım hatlarının uzunluğu 80.1 km'ye ulaşmıştır. Tablo 2'de görüldüğü gibi 15 Kasım tarihi itibarıyla akan lav miktarı, etkilenen yerleşim yeri sayısı ve hasar gören ulaşım hatlarının uzunluğu gösterilmektedir.



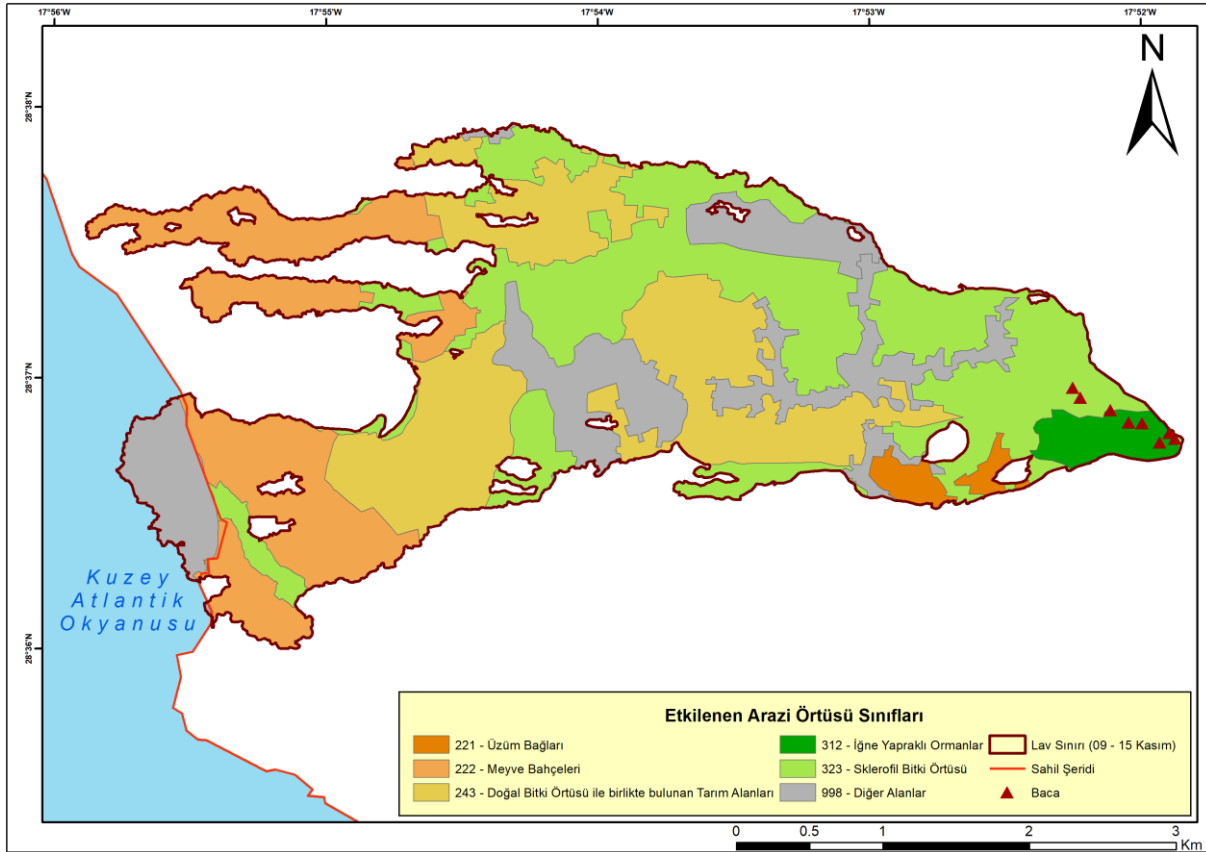
Şekil 6: Lav akışı sonrası La Palma adasındaki yer yüzey sıcaklığı değişimleri

Volkan patlaması sonrası Tablo 1’de gösterilen tarihlere ait Landsat 8 OLI/TIRS görüntüleri kullanılarak çalışma alanının 30 m yersel çözünürlüğe sahip Yer Yüzey Sıcaklık görüntüleri oluşturularak Şekil 6’da gösterilmiştir. Belirlenen sıcaklık değerleri Santigrat derece (°C) cinsinden hesaplanmıştır.

Görüntüler incelendiğinde; Şekil 6-a patlama öncesine ait görüntüyü göstermektedir ve YYS değerleri ortalama 30 °C civarında değişim göstermektedir. Lav akışının başlamasından sonra YYS değerleri hızla yükseliş göstermiş ve 95 °C değerlerine yükselmiştir. Şekil 6-b’de patlamanın üzerinden iki hafta geçtikten sonraki durum görülmektedir. Şekil 6-c’de sıcaklık değerlerinin en düşük seviyelerde çıkmasının nedeni çalışma alanının bulutlarla kaplı olmasıdır. Bu tarihten sonraki görüntülerde de bu duruma rastlamak mümkündür.

Görüntüler içerisindeki koyu mavi alanlar (sıcaklık değerlerinin en düşük olduğu bölgeler) ilgili bölgede bulutların olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 6-d,e, f ve g görüntülerinde lav akışının ilerleyişinin devam ettiği ve sıcaklık değerlerinin halen 95 °C’lerde etkisini sürdürdüğü görülmektedir.

La Palma adasının arazi örtüsü incelendiğinde farklı türlerin bir arada bulunduğu görülmektedir. Sulanmayan ekilebilir tarım alanlarından, iğne yapraklı ormanlara kadar geniş ölçekte bir arazi örtüsüne sahiptir. Şekil 7’te 15 Kasım tarihine ait lav sınırlarına göre oluşturulmuş zarar gören arazi örtüsü gösterilmektedir. Şekil 7’e göre en çok zarar gören arazi örtüsü toplamda 479.94 ha ile tarım alanlarıdır. Bu tarım alanları içerisinde üzüm bağları, meyve bahçeleri ve doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları bulunmaktadır. İkinci olarak zarar gören arazi örtüsü 372.75 ha ile orman ve yarı doğal alanlardır. Bu arazi örtüsü içinde ise iğne yapraklı ormanlar ve sklerofil bitki örtüsü bulunmaktadır. Son olarak 189.38 ha ile veri sağlayan kurum olan Kopernik Acil Durum Yönetim Servisi tarafından diğer alanlar olarak tanımlanan yerleşim yerleri ve lav kütlelerinin okyanus üzerinde oluşturduğu alanlar bulunmaktadır.



Şekil 7: Lav akışından etkilenen arazi örtüsü sınıfları

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada 19 Eylül günü lav püskürtmeye başlayan İspanya’nın Kanarya Adalarından birisi olan La Palma adasının güneyinde bulunan Cumbre Vieja Volkan’ının patlama sonrası yeryüzüne yayılan lav sınırları, lavlardan hasar gören yerleşim yerleri, ulaşım hatları, zarar gören arazi örtüsü ve patlama sonrası yer yüzey sıcaklıklarının değişimi incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre patlama günü olan 19 Eylül’den 15 Kasım’a kadar –inceleme periyodu– geçen süre içerisinde volkandan çıkan lavlar 1,042.07 hektarlık alana yayılmıştır. Bu alan içerisinde 2,749 adet bina tamamen yıkılmış veya kısmen hasar görmüştür. Zarar gören ulaşım hatlarının uzunluğu ise 80.1 km’ye ulaşmıştır.

Bu sayılar çalışma dönemi içerisinde belirlenen sayılardır. Volkan'ın halen faaliyetini sürdürdüğü göz önüne alındığında bu sayıların her geçen gün daha da artacağına kesin gözüyle bakmak gerekir. Landsat 8 uydu görüntüleri yardımıyla yapılan yer yüzey sıcaklığı analizinde çalışma alanının patlama öncesindeki sıcaklığı ortalama 30 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Patlama sonrasında bu sıcaklığın 95 °C seviyesine ulaştığı uydu görüntüleri ile tespit edilmiştir (Şekil-6). Patlama sonrasında 1,042.07 hektarlık alana yayılan lavlar çeşitli arazi örtüsü sınıflarını da etkilemiş hatta yok etmiştir. Etkilenen arazi sınıfları içerisinde çeşitli üzüm bağları ve meyve bahçeleri, orman örtüsü sınıfı, tarım alanları ve yerleşim yerleri bulunduğu belirlenmiştir. Patlama pek çok insanı etkilemiş, birçoğunu evsiz bırakmıştır. Volkan çevresindeki yerleşimleri bu durumdan en çok etkilenenler olmuştur.

Adanın turistik bir bölge olmasından dolayı yerel halk ile birlikte tatil amacıyla orda olan pek çok insanda bu durumdan olumsuz şekilde etkilenmiştir. Volkandan çıkan duman ve kül bulutları nedeniyle La Palma ve çevresindeki diğer adaların hava ve deniz ulaşımı bu durumdan olumsuz şekilde etkilenmişlerdir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem ve materyaller literatürde yapılan birçok çalışma ile paralellik göstermektedir. CBS ve UA afetlerin izlenmesinde kullanılması hızlı, etkin ve doğru sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Literatürde yapılan pek çok çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da gün gün lav akışı uzaktan algılama görüntüleri (Pléiades, GeoEye, Sentinel, Landsat ve COSMO SkyMed görüntüleri gibi) ile izlenmiş ve CBS ile analizi gerçekleştirilmiştir.

CBS günümüzde pek çok farklı kaynaktan elde edilen bilgiler ile veri tabanı oluşturma, bu verileri işleme, analiz etme, sorgulama ve güncelleme aracı olarak kullanılmaktadır. UA ise CBS'ye paralel olarak etkin bir veri toplama ve analiz etme yöntemidir. Afet yönetiminde ve müdahalesinde bilgi çok önemli bir kaynaktır. Bu nedenle bilgi üretme ve analiz etmede kullanılan CBS ve UA, afet yönetim sistemlerinin ayrılmaz birer parçası olarak görülebilir. UA verileri ile desteklenmiş olan CBS ile afet öncesi, sırası ve sonrasında karar verici kurum-kuruluşlar ve bu kararları uygulayanlar için geniş imkan ve olanaklar sağlaması, planlama ve karar verme süresini kısaltması ve simülasyon özelliklerinin güçlü olması nedeniyle afet sonrası senaryoların hızlı bir şekilde oluşturulabilmesi, afet alanına müdahalenin doğruluk oranını arttırmaktadır. Bu nedenle de bu sistemlerin kullanılması günden güne artış göstermektedir. Uydu görüntüleriyle desteklenen CBS afet yönetiminin her safhasında etkin olarak kullanılan veriler olup birçok ülkede afet zararlarının azaltılmasında tercih edilmektedir.

Teşekkürler

Yazar, çalışmanın veri setini sağlayan kurum olan Kopernik Acil Yönetim Servisine (Copernicus Emergency Management Service - Mapping) teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akyürek Ö., (2020) *Termal Uzaktan Algılama Görüntüleri ile Yüzey Sıcaklıklarının Belirlenmesi: Kocaeli Örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(2), 377-390.
- Alcorn R., Panter K. S., Gorsevski P. V., (2013), *A GIS-based volcanic hazard and risk assessment of eruptions sourced within Valles Caldera, New Mexico*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 267, 1-14 doi: 10.1016/j.jvolgeores.2013.09.005.
- Aldeghi A., Carn S., Escobar-Wolf R., Gropelli G., (2019), *Volcano Monitoring from Space Using High-Cadence Planet CubeSat Images Applied to Fuego Volcano, Guatemala*, Remote Sensing, 11(18), 2151, doi: 10.3390/rs11182151.
- Arca D., (2012), *Afet Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemi ve Uzaktan Algılama*, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(2), 53-61.
- Bignami C., Chini M., Amici S., Trasatti E., (2020), *Synergic Use of Multi-Sensor Satellite Data for Volcanic Hazards Monitoring: The Fogo (Cape Verde) 2014-2015 Effusive Eruption*, Frontiers in Earth Science, 8(22), 1-14, doi: 10.3389/feart.2020.00022.
- Carracedo J. C., Badiola E. R., Guillou H., de la Nuez J., Perez Torrado F. J., (2001) *Geology and Volcanology of La Palma and El Hierro, Western Canaries*, Estudios Geológicos, 57, 175-273.
- Cigna F., Tapete D., Lu Z., (2020), *Remote Sensing of Volcanic Process and Risk*, Remote Sensing, 12(16), 2567, doi: 10.3390/rs12162567.
- Davila N., Capra L., Ferres D., Gavilanes-Ruiz J.C., Flores P., (2019), *Chronology of the 2014-2016 Eruptive Phase of Volcan de Colima and Volume Estimation of Associated Lava Flows and Pyroclastic Flows Based on Optical Multi-Sensors*, Remote Sensing, 11(10), 1167, doi: 10.3390/rs11101167.
- Ergünay O., (1996), *Afet yönetimi nedir? Nasıl olmalıdır*, TÜBİTAK Deprem Sempozyumu, Ankara, Türkiye, ss.263-272.
- Escayo J., Fernandez J., Prieto J. F., Camacho A.G., Palano M., Aparicio A., Rodriguez-Velasco G., Ancochea E., (2020), *Geodetic Study of the 2006-2010 Ground Deformation in La Palma (Canary Island): Observational Results*, Remote Sensing, 12(16), 1-23. <https://doi.org/10.3390/rs12162566>.
- Güngör Y., (2017), *Dünyayı Etkileyen önemli Afetler ve Alınan Dersler*, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Lisans Tamamlama Programı Ders Notları, http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/acilyardimveafetyonetimi_ao/deavad.pdf, [Erişim 06 Aralık 2021].
- Joubert-Boitat I., Wania A., Dalmasso S., (2020), *Manual for CEMS-Rapid Mapping Products*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-21683-4, doi:10.2760/29876, JRC121741.
- Mouginis-Mark P.J., (2000), *Remote Sensing Observations For Volcano Monitoring And Hazard Mitigation*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33(B7), 905-910.
- Nurwihastuti D.W., Astuti A.J.D., Yuniastuti E., Perangin-Angin R.B.B., Simanungkalit N.M., (2019), *Volcanic hazard analysis of Sinabung volcano eruption in Karo North Sumatra Indonesia*, 1st International Conference on Advance and Scientific Innovation (ICASI), Medan, Endonezya.

- Şekertekin A., Bonafoni S., (2020), *Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation*, Remote Sensing, 12(2), 294, doi: 10.3390/rs12020294.
- Sobrino J.A., Jimenez-Munoz J.C., Paolini L., (2004), *Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5*, Remote Sensing of Environment, 90(4), 434-440.
- Suwarsono H., Suprpto T., Yulianto F., Zylshal Z., Prasasti I., Sofan P., Khomarudin R., (2016), *Detecting The Damaged Areas Caused By Sinabung Volcano Eruption During 2013-2016 Using Landsat-8 Multitemporal*, The 2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing (ICOIRS 2016), Yogyakarta, Endonezya, ss.212-223.
- URL-1, (2021), *Icelandic eruption*, Britannica, <https://www.britannica.com/science/Icelandic-eruption#/media/1/281355/3256>, [Erişim 22 Kasım 2021].
- URL-2, (2021), *Global Volcanism Program, Report on La Palma (Spain)*. In: Sennert, S K (ed.), *Weekly Volcanic Activity Report, 15 September-21 September 2021*, Smithsonian Institution and US Geological Survey [Erişim 16 Kasım 2021].
- URL-3, (2022), *Home page*. Smithsonian Institution National Museum of Natural History Global Volcanism Program, <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=383010#September2021>, [Erişim 04 Ocak 2022].
- URL-4, (2013), *Global Volcanism Program, Volcanoes of the World, v. 4.10.3 (15 Oct 2021)*. Venzke, E (ed.), Smithsonian Institution, <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW4-2013>, [Erişim 16 Kasım 2021].
- URL-5, (2022), *Copernicus Emergency Management Service Mapping*, COPERNICUS Emergency Management Service Mapping, <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR546>, [Erişim 08 Şubat 2022].
- URL-6, (2021), *What is COPERNICUS*, COPERNICUS Emergency Management Service Mapping, <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/what-copernicus>, [Erişim 15 Kasım 2021].
- URL-7, (2022), *Quality Control*, COPERNICUS Emergency Management Service Mapping, <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/quality-control-0>, [Erişim 11 Şubat 2022].
- URL-8, (2021), *Global Volcanism Program, Report on La Palma (Spain)*. In: Sennert, S K (ed.), *Weekly Volcanic Activity Report, 8 September-14 September 2021*, Smithsonian Institution and US Geological Survey [Erişim 04 Ocak 2022].
- URL-9, (2021), *Global Volcanism Program, Report on La Palma (Spain)*. In: Sennert, S K (ed.), *Weekly Volcanic Activity Report, 22 September-28 September 2021*, Smithsonian Institution and US Geological Survey [Erişim 08 Şubat 2022].
- URL-10, (2021), *Overall Orange alert Volcanic eruption for La Palma in Spain*, GDACS (Global Disaster Alert and Coordination Systems), <https://www.gdacs.org/Volcanoes/report.aspx?eventid=1000031&episodeid=32&eventtype=VO>, [Erişim 24 Kasım 2021].
- Yıldız A., Bağcı M., Başaran C., Çonkar F.E., Ayday C., (2017), *Landsat 8 uydu verilerinin jeotermal saha araştırmalarında kullanılması: Gazlıgöl (Afyonkarahisar) çalışması*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 277-284.