

Atmosferik Afetlerin Sentinel-2 ile İncelenmesi: Antalya İli 13.11.2017 Hortum Olayı ve Uzaktan Algılama Yaklaşımı ile Hasar Tespiti

Şerife Pınar GÜVEL*¹ ORCID 0000-0002-3175-5938
Mehmet Ali AKGÜL¹ ORCID 0000-0002-5517-9576

¹DSİ Genel Müdürlüğü, 6. Bölge Müdürlüğü, Adana

Geliş tarihi: 03.01.2023 Kabul tarihi: 28.03.2023

Atıf şekli/ How to cite: GÜVEL, Ş.P., AKGÜL, M.A., (2023). Atmosferik Afetlerin Sentinel-2 ile İncelenmesi: Antalya İli 13.11.2017 Hortum Olayı ve Uzaktan Algılama Yaklaşımı ile Hasar Tespiti. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(1), 93-103.

Öz

Bu çalışmada, Antalya İli sınırları içerisinde tarımsal alanlarda 13.11.2017 tarihli hortum olayından dolayı oluşan hasarların Sentinel-2 verisiyle değerlendirilmesi yapılarak uydu tabanlı uzaktan algılama yaklaşımının afet yönetiminde kullanılabilirliği ve sağladığı katkılar irdelenmektedir. Çalışmada, Spektral Açık Farkı (Spectral Angle Difference) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, hortum olayı öncesi 11.11.2017 ve olay sonrası 21.11.2017 tarihli görüntüler arasında değişim analizi yapılarak, Kumluca İlçesinde, hortumdan kısmen veya tamamen etkilenen 68 adet parsel ve 49.75 ha toplam tarımsal alan bulunduğu belirlenmiştir. Su hortumunun karaya çıktıktan sonra izlediği yörünge başarılı biçimde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hortum, Uzaktan algılama, Hasar tespiti, Atmosferik afetler

Investigation of Atmospheric Disasters with Sentinel-2: Antalya Province 13.11.2017 Waterspout Event and Damage Estimation by Remote Sensing

Abstract

In this study, the usability of the satellite-based remote sensing approach in disaster management and its contributions are examined by evaluating the damages caused by the waterspout event on 13.11.2017 in agricultural areas within the borders of Antalya Province by using Sentinel-2 data. In the study, the Spectral Angle Difference method was used. In this study, it was determined that there are 68 parcels and a total agricultural area of 49.75 ha in Kumluca District that were partially or completely affected by the waterspout by analyzing the changes between the images dated 11.11.2017 before the waterspout and 21.11.2017 after the event, The path of waterspout after the landfall was determined successfully.

Keywords: Waterspout, Remote sensing, Damage estimation, Atmospheric disasters

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Şerife Pınar GÜVEL, spinar.guvel@dsi.gov.tr

1. GİRİŞ

Doğal afetlerin aniden meydana gelmesi ve canlılar üzerindeki yıkıcı etkileri, afetlere karşı önleyici ve korunma tedbirlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Afet yönetimi temel olarak; hazırlık, müdahale ve kurtarma aşamalarından oluşmaktadır ve veri toplama, arşivleme ve analiz, etkin afet yönetimi için esas oluşturmaktadır [1]. Afetlerin etkin yönetiminde, insanlarda farkındalık bilincinin oluşturulması, risk ve tehlike analizlerinin yapılması afet öncesi hazırlık planlamalarında önemli aşamalar arasındadır [2]. Afet yönetimi faaliyetleri, afet olaylarında can ve mal kaybının önlenmesi için gerçekleştirilen risklerin değerlendirilmesi ve planlama faaliyetlerinin yanı sıra, afet olayları anında ve sonrasında oluşan hasarların tespitinde ve kurtarma faaliyetlerinde hızlı ve güvenli müdahaleyi gerektiren, zaman planlamasının büyük öneme sahip olduğu çalışmaları da kapsamaktadır. Dünyanın birçok bölgesinde, doğal afetlerle karşılaşan veya risk altında bulunan ülkelerde, afet olayları teknik, ekonomik veya sosyal boyutlarıyla irdelenmektedir [3-5].

Uzaktan algılama, geniş alanlarda kısa zaman aralıklarında bilgi sunması özelliği ile afet yönetimi için etkin bir araçtır [6]. Son yıllarda bilişim teknolojilerinin afet yönetiminde etkin bir rol kazanması nedeniyle, meteorolojik afetlerin incelenmesinde, afetler sonrasında hasar tespitinin kara ölçümleri ve yersel gözlemlerin yanı sıra uydu ve radar görüntüleri ile değerlendirilmesi, uzaktan algılama yaklaşımının önemini ortaya koymaktadır. Geçmiş yıllarda, uzaktan algılama teknikleri ile büyük ölçekli fırtınalar, tayfun, hortum ve kasırgaların [7-8], kentsel, nehir ve kıyı taşkınlarının [9], tsunami [10-12] ve kuraklık afetinin [13-15], don olaylarının [16], yangınların [17] ve dolu olaylarının [18], gerçekleşme nedenleri, oluşumları veya etki alanlarının incelenmesi gibi konular çeşitli bilimsel çalışmalara konu olmuştur.

Hortum olayları, dünyanın farklı ülkelerinde, örneğin Brezilya [19-20], Türkiye [21], Japonya

[22], Yunanistan [23], Amerika Birleşik Devletleri [24], Avustralya [25], Çin [26], Hırvatistan [27] bilimsel olarak incelenmiştir. Lambropoulou ve Antoniou (2016) tarafından yapılan çalışmada bir doğa olayı olarak tornadoların (hortumların) oluşma süreçleri dinamikleri ile anlatılmıştır [28]. Türkiye’de de Muğla ili Sarıgerme köyünde 2013 yılında [29], Adana İli Karataş’ta 2017 yılında [30], Ankara İli Çubuk İlçesinde Söğüt Köyü çevresinde 2004 yılında [31], Bodrum’da 2018 yılında [32] gerçekleşen hortum olayları bilimsel araştırmalarla değerlendirilmiştir. Türkeş (2021) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de meydana gelen hortum olaylarının alansal dağılım deseni verilmiştir [33]. İklim değişiminin etkisi ile ekstrem yağışlar, sıcak hava dalgaları, hortumlar gibi şiddetli hava olaylarının şiddet süre ve frekanslarında artışlar görülmesi beklenmektedir [34-36].

Uzaktan algılama, hortum olaylarının neden olduğu hasarların olay sonrası incelemelerinde ve yeniden yapılanma çalışmalarında değerli bilgiler sağlayabilmektedir [24]. Burow ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan çalışmada, Amerika Birleşik Devletlerinde 3 Mart 2019 tarihli hortum afetleri için Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) bitki örtüsü indeksi ile hasar değerlendirmesi yapılmıştır; Sentinel-2 MSI’daki gibi 10 m çözünürlüklü görüntülerin bitki örtüsüyle kaplı alanlarda hortumlardan kaynaklanan hasarın belirlenmesinde yeni bir yaklaşım olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir [24].

Antalya İli ve çevresinde daha önceki yıllarda gerçekleşen hortum olayları, hem afetlere karşı korunma hem de afet sonrası hasarların tespit edilerek iyileştirme çalışmalarının yapılması bakımından afet yönetim faaliyetlerinde araştırma önceliği taşıyan önemli konular arasındadır. Bu çalışmada, Antalya’da 13.11.2017 tarihinde meydana gelen hortum olayının tarımsal alanlar üzerinde neden olduğu hasarlar ve etkileri Sentinel-2 görüntüleri ile irdelenmekte ve uzaktan algılama yaklaşımının afet yönetiminde sağladığı katkılar ve kolaylıklar değerlendirilmektedir.

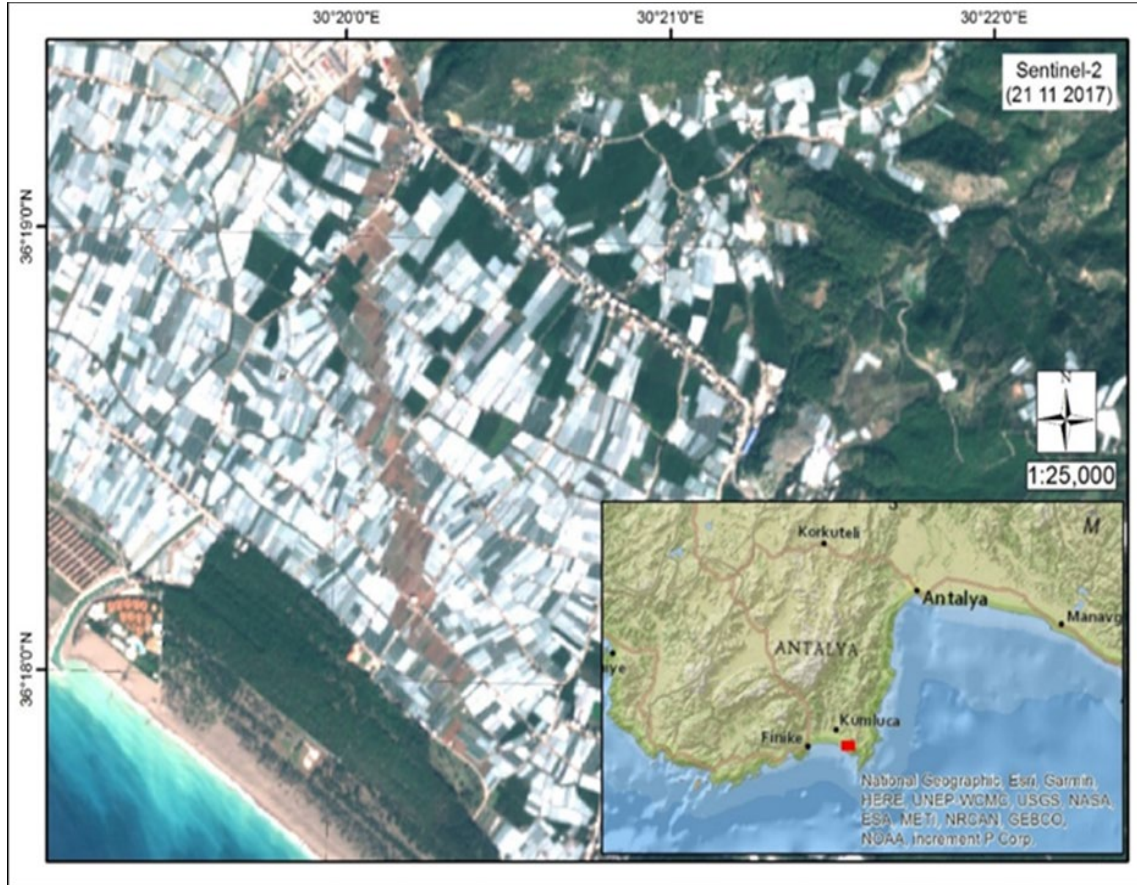
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

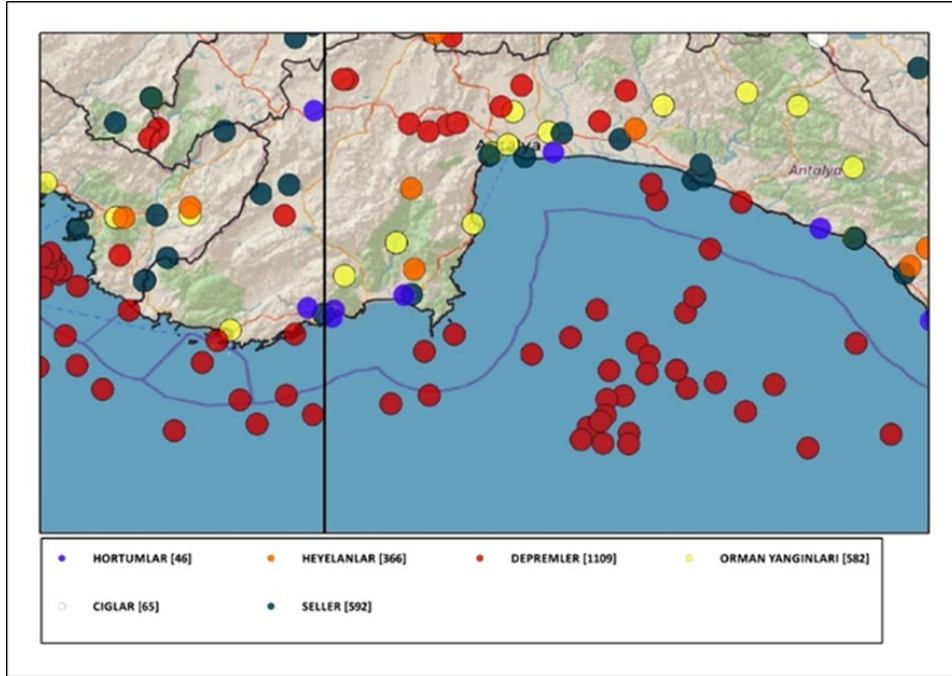
Çalışma alanı olarak seçilen Antalya İlindeki Kumluca İlçesi, Türkiye'nin güneyinde Akdeniz Bölgesinde yer almaktadır (Şekil 1). Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler 2017 Yılı Değerlendirmesi [37] raporunda belirtildiği üzere, 2017 yılında Türkiye'de Antalya İli meteorolojik afetlerin en çok görüldüğü iller arasındadır. Denizler üzerinde gelişen hortumların kara üzerinde ilerlemesi, şiddetli rüzgar hızı ve bazı durumlarda yağışlar ile yerleşimler ve canlılar

üzerinde yıkıcı etkiler oluşturabilmektedir. Önceki yıllarda Akdeniz kıyılarında yer alan Antalya İli ve çevresinde bu tür doğa olaylarının görüldüğü bildirilmiştir [38-39]. Kumluca İlçesinde yazları kurak ve sıcak, kış ayları ise yağışlı olarak Akdeniz iklimi görülmektedir.

2017 yılında Türkiye'de meydana gelen meteorolojik afetler içerisinde oransal dağılıma bakıldığında, fırtına ve hortumların %36 oranında olduğu belirtilmektedir [40] (MGM, 2018b). Antalya İli ve çevresi 2010-2017 yılları doğa kaynaklı afet olayları, afet türleri ile birlikte Şekil 2'de verilmektedir [41].



Şekil 1. Çalışma alanı genel konumu



Şekil 2. Antalya İli ve çevresinde 2010- 2017 doğa kaynaklı afet olayları (AFAD, 2018, Türkiye 2010-2017 Doğa kaynaklı afet olayları haritasından)

Sentinel-2 ESA (European Space Agency) tarafından geliştirilmiştir. Sentinel-2 uydusu, geniş alanlı, yüksek çözünürlüklü, multi-spektral görüntüleme özelliğine sahiptir; aynı yörüngede bulunan ikiz uyduların aynı noktayı ziyaret sıklığı 5 gün olarak tasarlanmıştır; 13 spektral banda sahiptir ve şerit genişliği 290 km'dir [42].

Sentinel-2 için uydu bant özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir [42]. Sensörler, yeryüzünün yüzeyi üzerindeki nesnelere algılayan ve kaydeden araçlardır. Tasarım ve özel ihtiyaçlara bağlı olarak farklı uydu sistemlerinin farklı türlerde sensörleri olabilir [11].

Çizelge 1. Sentinel-2 uydu görüntüleri bant özellikleri [42]

Bantlar	Bant adı	Dalga boyu (nm)	Bant genişliği (nm)	Çözünürlük (m)
B1	Kıyıları aerosolü	443	20	60
B2	Mavi	490	65	10
B3	Yeşil	560	35	10
B4	Kırmızı	665	30	10
B5	Vejetasyon kırmızı kenar	705	15	20
B6	Vejetasyon kırmızı kenar	740	15	20
B7	Vejetasyon kırmızı kenar	783	20	20
B8	NIR (Yakın Kızıl Ötesi)	842	115	10
B8B	Narrow NIR (Daraltılmış yakın kızıl ötesi)	865	20	20
B9	Su Buharı	945	20	60
B10	SWIR-Cirrus	1375	30	60
B11	SWIR 1	1610	90	20
B2	SWIR 2	2190	180	20

Çalışma için uygun görüntü seçiminde, optik uydu görüntülerinin en önemli sorunlarından biri olan bulutluluk göz önüne alınmıştır. Arşiv taramaları neticesinde olayın olduğu 13.11.2017 tarihinden önce ve sonra olmak üzere en yakın tarihli görüntüler seçilmiştir. Olay öncesi için en uygun görüntünün olaydan iki gün öncesine ait olan 11.11.2017 tarihli, sonrası için ise olaydan üç gün

sonrasına ait olan 16.11.2017 ve olaydan sekiz gün sonrasına ait olan 21.11.2017 tarihli görüntüler uygun bulunmuş olup uydu görüntüleri <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> sitesinden temin edilmiştir (Çizelge 2). Analiz için yıkımın büyüklüğünü daha çok göz önüne seren 21.11.2017 tarihli görüntü kullanılmıştır.

Çizelge 2. Bu çalışmada kullanılan görüntü isimleri

No	Görüntü isimleri	Tarih
1	S2B_MSIL1C_20171111T085159_N0206_R107_T36STF_20171111T110647	11.11.2017
2	S2A_MSIL2A_20171116T085231_N0206_R107_T36STF_20171116T123714	16.11.2017
3	S2B_MSIL1C_20171121T085239_N0206_R107_T36STF_20171121T104914	21.11.2017

2.2. Metot

Hortumdan etkilenen alanların tespit edilmesinde kullanılacak olan olay öncesi 11.11.2017 ve olay sonrası 21.11.2017 tarihine ait Sentinel-2 uydusu ham görüntülerinin kullanılabilmesi için öncelikle radyometrik ve atmosferik düzeltmelerinin yapılması gerekmektedir. Çalışmamızda bu düzeltmeler ENVI yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Yazılım içerisinde Radyometrik düzeltmeler yapıldıktan sonra atmosferik düzeltmeler için ABD Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı (U.S. Air Force Research Laboratory) işbirliği ile Spectral Sciences Inc. firması tarafından geliştirilmiş olan QUAC (Quick Atmospheric Correction) modülü kullanılmıştır [43].

Radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapılan 11.11.2017 ve 21.11.2017 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüleri arasındaki değişim analizi için yazılım içerisinde üç farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; Giriş Bandı Farkı yöntemi (Difference of Input Band), Özellik İndeksi Farkı yöntemi (Difference of Feature Index) ve Spektral Açık Farkı yöntemidir (Spectral Angle Difference).

İlk yöntem olan Giriş Bandı Farkı yöntemi iki farklı tarihli görüntüdeki sadece tek bir bant arasındaki değişimi hesaplar. Özellikle bitkiler ile yapılan çalışmalarda en belirleyici bant olan yakın kızılötesi (NIR, Near-infrared) bandının kullanılması ve benzeri çalışmalar için uygun bir yöntemdir.

Fakat çalışma alanımız ekili alanlardan oluşmadığından bu yöntem tercih edilmemiştir.

İkinci yöntem olan Özellik İndeksi Farkı yönteminde ise iki farklı görüntüden elde edilen indeksler arasındaki fark hesaplanmaktadır. Bunlar bitki indeksi olan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), su indeksi olan NDWI (Normalized Difference Water Index) veya yanan alan indeksi NDR (Normalized Burn Ratio) ve benzerleridir. Çalışma alanı, ekili bir alan, taşkına maruz kalmış bir alan veya yangından etkilenen bir alan olmadığından bu yöntem de tercih edilmemiştir.

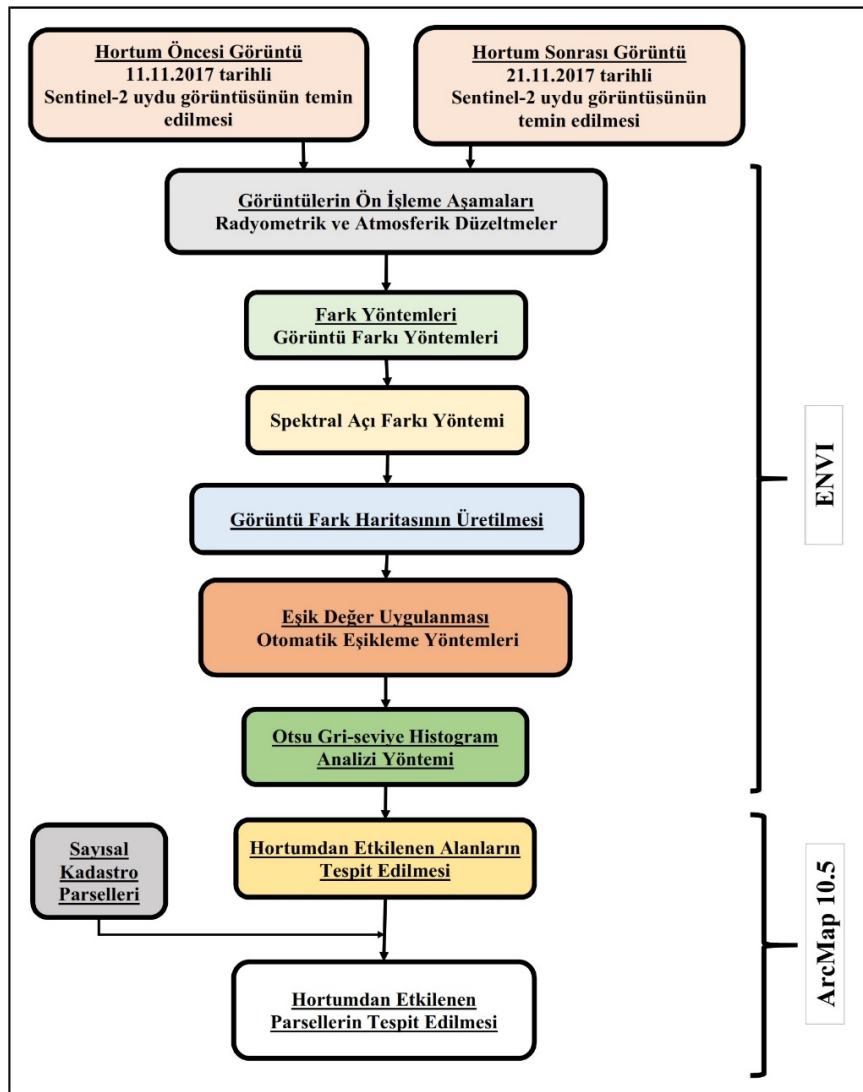
Üçüncü ve çalışmada kullandığımız yöntem olan Spektral Açık Farkı yöntemi ise özellikle çok bantlı görüntüler olan hiperspektral görüntülerde önerilen bir yöntemdir [44]. Bu yöntem, her piksel için birinci görüntü spektrumu ile ikinci görüntü spektrumu arasındaki spektral benzerliği belirler. Her piksel spektrumu, boyutsallığı bant sayısına eşit olan uzayda bir vektör ile temsil edilir. İki vektör arasındaki açı hesaplanır, bu açı ne kadar küçük olursa, iki spektrum o kadar benzer olur [44]. Şekil 5’de verilen haritada görüleceği üzere değişikliğin az olduğu bölgeler 0’a yakın değerler alırken, değişimin en fazla olduğu bu çalışma için hortumdan zarar gören alanlar ise maksimum değer olan 1’e yakın değerler almıştır.

Şekil 5’de verilen, 0 ile 1 arasında değerler alan değişim haritasında hortumdan etkilenen alanlar ile etkilenmeyen alanları ayırt edebilmek için yazılım

içinde bulunan Otomatik Eşikleme yöntemleri içerisindeki Otsu yöntemi ile bir eşik değeri tespit edilmiştir. Otsu yöntemi, görüntünün histogramı üzerinde oluşan iki tepe arasındaki eşik değeri gri-seviye histogram analizi kullanılarak hesaplamaktadır [45]. Yöntemde bahsedilen iki tepe bu çalışma için hortumdan etkilenen alanlar ile etkilenmeyen alanların görüntünün histogramı üzerinde oluşturduğu tepelerdir.

Otsu yöntemi uygulanarak hortumdan etkilenen alanlar ve etkilenmeyen alanlar olarak iki sınıfa ayrılmış harita ArcMap yazılımına aktarılmış olup etkilenen alanların büyüklüğü hesaplanmıştır. Ayrıca sayısal kadastro verileri yardımıyla hortumdan kısmen veya tamamen etkilenen parseller tespit edilmiştir.

Çalışmaya ait akış diyagramı Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Çalışma akış diyagramı

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

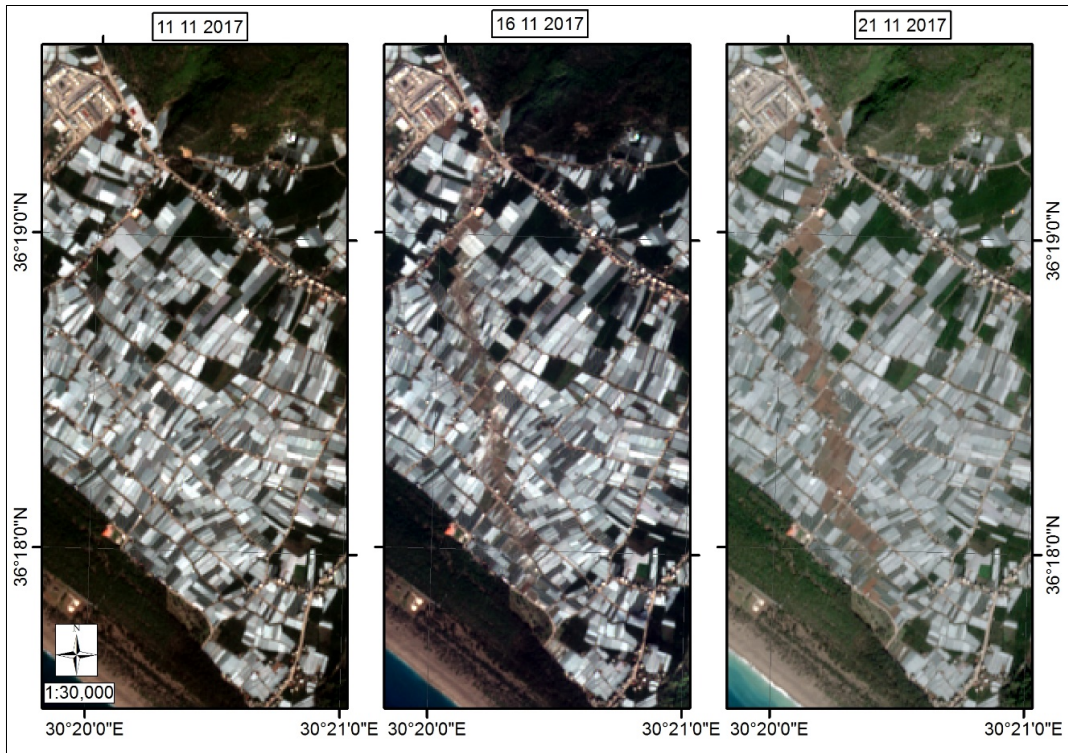
13 Kasım 2017'de Antalya'da meydana gelen hortum olayı öncesi (11.11.2017 tarihli) ve hortum olayı sonrası (16.11.2017 ve 21.11.2017 tarihli) Sentinel-2 uydu görüntüleri Şekil 4'de verilmektedir.

Görüntülerin karşılaştırılması sonucunda, sera alanlarında meydana gelen hasarın izleri alansal olarak incelenmiş olup Spektral Açık Farkı (Spectral Angle Difference) yöntemi ile üretilen değişim haritası Şekil 5'de verilmiştir.

21 Kasım 2017 tarihli açıklamada, bir su hortumunun şiddetli bir fırtına ile birleşerek saatte 200 km'ye varan hızlara ulaşan kasırga oluşturduğu bildirilmiştir. Türkiye'nin Antalya ilinde Akdeniz kıyılarını vuran kasırganın 38 kişinin yaralanmasına, tarım arazileri ve evlerde önemli hasar oluştuğu belirtilmektedir. European Space Imaging tarafından, kasırgadan üç gün

sonra, 16 Kasım'da WorldView-2 uydusunu kullanarak Kumluca İlçesindeki Mavikent sahil köyünün çok yüksek çözünürlüklü bir görüntüsünün yakalandığı, uydu görüntüsünde yıkım izlerinin net olarak görüldüğü belirtilmektedir [46].

Bu çalışmada, 13 Kasım 2017'de Antalya'da meydana gelen hortumdan etkilenen Kumluca İlçesinde hortumdan kısmen veya tamamen etkilenen 68 adet parsel ve 49.75 ha toplam tarımsal alanın bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Bu çalışma ile afet yönetiminde kurumlar arası koordinasyon ve karar verme sürecinde afet olaylarının olumsuz etkilerinin en aza indirilebilmesi, yıkıcı hasarlar olup olmadığının tespiti, zarar-zıyan durumunun araştırılmasında iş programlarına ve arama kurtarma faaliyetlerine yön verilebilmesi amacıyla uzaktan algılama yaklaşımı ile sağlanacak katkılar araştırılmıştır. Analizler sonucunda zarar gören sera alanları konum olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4. Hortum öncesi ve sonrasına ait Sentinel-2 görüntüleri



Şekil 5. 21.11.2017 – 11.11.2017 tarihleri arasındaki değişim haritası



Şekil 6. Hortumdan kısmen veya tamamen etkilenen parseller

Seraların fiziksel özellikleri, sera örtü malzemelerinin özellikleri, yetiştirilen bitki, sebze ve meyve ürünlerinin miktarı, meydana gelen hasarların ekonomik boyutunun belirlenmesinde dikkate alınmaktadır. Tarımsal üretim, tarım sigortaları ve ekonomik koşullar gibi konular, hasar tespit çalışmalarının tespitinde gündeme gelmektedir. Bu kapsamda hortum olaylarından kaynaklanan hasarların belirlenmesi ve ön değerlendirilmesinde uzaktan algılama tekniğinin kullanılabileceği bu çalışma kapsamında belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Akdeniz kıyılarında Antalya İli ve çevresinde son yıllarda en tehlikeli doğal afetlerden birisi olan hortum olaylarına sıklıkla rastlanması, can ve mal güvenliğinin sağlanması amacıyla afet risklerinin değerlendirilmesi ve teknik önlemlerin alınması konularının önemini gündeme getirmektedir. Uydu tabanlı uzaktan algılama yaklaşımının afet yönetiminde kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla, örnek bir uygulama olarak, 13.11.2017 tarihli hortum olayı nedeniyle Antalya İlinde bulunan tarımsal alanlardaki zararları araştırılmıştır. Çalışmada, Sentinel-2 uydu verileri kullanılmış ve Kumluca İlçesinde, hortumdan kısmen veya tamamen etkilenen toplam tarımsal alan 68 adet parsel ve 49.75 ha olarak tespit edilmiştir. Hortumların hasarlarının tespit edilmesi ile hortum karakteristikleri konusunda detaylı bilgiler edinilmesi de mümkün olacaktır. Örneğin su üzerinde oluşan bir hortumun karaya çıktıktan sonra katettiği mesafe önemli bir bilgidir.

5. KAYNAKLAR

1. Rahman, M.S., Di, L., Esraz-Ul-Zannat, M., 2017. The Role of Big Data in Disaster Management, Proceedings, International Conference on Disaster Risk Mitigation, Dhaka, Bangladesh, September 23-24, 2017.
2. Anılan, T., Durmuş, H., Akçalı, E., Yüksek, Ö., 2021. Taşkın Farkındalık ve Erken Uyarı Sistemleri Değerlendirmesi: Trabzon Beşikdüzü Örneği, Doğ Afet Çev Derg, 7(1), 110-123, DOI: 10.21324/dacd.722798.
3. Özşahin, E., 2013. Türkiye’de Yaşanmış (1970-2012) Doğal Afetler Üzerine Bir Değerlendirme, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül 2013, MKÜ, Hatay.
4. Carbajal, N., León-Cruz, J.F., Pineda-Martínez, L.F., Tuxpan-Vargas, J., Gaviño-Rodríguez, J.H., 2019. Occurrence of Anticyclonic Tornadoes in a Topographically Complex Region of Mexico, Advances in Meteorology, Volume 2019, Article ID 2763153, 11.
5. Lekoloane, L.E., Bopape, M.M., Rambuwani, T.G., Ndarana, T., Landman, S., Mofokeng, P., Gijben, M., Mohale, N., 2021. A Dynamic and Thermodynamic Analysis of the 11 December 2017 Tornadic Supercell in the Highveld of South Africa, Weather Clim. Dynam., 2, 373-393, 2021.
6. Van Westen, C., 2000. Remote Sensing for Natural Disaster Management, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B7. Amsterdam 2000.
7. Avotniece, Z., Briede, A., Klavins, M., Aniskevich, S., 2017. Remote Sensing Observations of Thunderstorm Features in Latvia, Environmental and Climate Technologies, Dec. 2017, 21, 28-46, doi: 10.1515/rtuect-2017-0014.
8. Womble, J.A., Wood, R.L., Mohammadi, M.E., 2018. Multi-Scale Remote Sensing of Tornado Effects, Front. Built Environ. 4, 66, doi: 10.3389/fbuil.2018.00066.
9. Jiménez-Jiménez, S.I., Ojeda-Bustamante, W., Ontiveros-Capurata, R.E., de Jesús Marcial-Pablo, M., 2020. Rapid Urban Flood Damage Assessment Using High Resolution Remote Sensing Data and An Object-based Approach, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 11(1), 906-927, Doi: 10.1080/19475705.2020.1760360.
10. Koshimura, S., Kayaba, S., Matsuoka, M., 2010. Integrated Approach to Assess the Impact of Tsunami Disaster, Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems-Furuta, Frangopol & Shinozuka (eds), 2010 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-47557-0.
11. Roopa, V., 2012. Remote Sensing & its Applications in Disaster Management Like

- Earthquake and Tsunamis, International Journal of Science and Research (IJSR), ISSN (Online): 2319-7064.
12. Pandiammal, C., Senthil, J., Anand, P.H., 2015. Tsunami Flood Damages Assessment in Cuddalore District using Remote Sensing Technology, *Advances in Applied Science Research*, 2015, 6(8), 96-100.
 13. Gaikwad, S.V., Kale, K.V., Kulkarni, S.B., Varpe, A.B., Pathare, G.N., 2015. Agricultural Drought Severity Assessment using Remotely Sensed Data: A Review, *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2015, 4(1), 1195-1203, Article ID Tech-440.
 14. Laosuwan, T., Sangpradid, S., Gomasathit, T., Rotjanakusol, T., 2016. Application of Remote Sensing Technology for Drought Monitoring in Mahasarakham Province, Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, 12(3), 17-25.
 15. Nikam, B.R., Aggarwal, S.P., Thakur, P.K., Garg, V., Roy, S., Chouksey, A., Dhote, P.R., Chauhan, P., 2020. Assessment of Early Season Agricultural Drought using Remote Sensing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B3-2020, 1691-1695. XXIV ISPRS Congress (2020 edition).
 16. Wang, P., Tang, J., Ma, Y., Wu, D., Yang, J., Jin, Z., Huo, Z., 2021. Mapping Threats of Spring Frost Damage to Tea Plants using Satellite-Based Minimum Temperature Estimation in China, *Remote Sens.* 13, 2713. <https://doi.org/10.3390/rs13142713>.
 17. Sabuncu, A., Özener, H., 2019. Uzaktan Algılama Teknikleri ile Yanmış Alanların Tespiti: İzmir Seferihisar Orman Yangını Örneği, *Doğ Afet Çev Derg*, 5(2), 317-326, DOI: 10.21324/dacd.511688.
 18. Gobbo, S., Ghiraldini, A., Dramis, A., Dal Ferro, N., Morari, F., 2021. Estimation of Hail Damage Using Crop Models and Remote Sensing. *Remote Sens.* 13, 2655. <https://doi.org/10.3390/rs13142655>.
 19. Nunes, L.H., De Bona, L., Candido, D.H., 2011. Tornado and Waterspout Climatology in Brazil, 6th European Conference on Severe Storms (ECSS 2011), 3-7 October 2011, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain.
 20. Gobato, R., Gobato, A., Fedrigo, D.F.G., 2016. Study of Tornadoes That have Reached the State of Paraná. *Parana Journal of Science and Education*, 2(1), 1-27.
 21. Kahraman, A., 2016. Türkiye’de Hortumlar, Şiddetli Dolu Hadiseleri ve Oluştukları Çevre Koşulları. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 82.
 22. Ki-Hong, M., Seonhee, C., Gyuwon, L., Kyung-Eak, K., 2017. Synoptic Characteristics of the Japan Tsukuba Tornado, The 2nd International Electronic Conference on Atmospheric Sciences (ECAS 2017), 16–31 July 2017; Sciforum Electronic Conference Series, 1, 4139. 10.3390/ecas2017-04139.
 23. Sioutas, M.V., 2003. Tornadoes and Waterspouts in Greece, *Atmospheric Research*, 67-68, 645-656.
 24. Burow, D., Herrero, H.V., Ellis, K.N., 2020. Damage Analysis of Three Long-Track Tornadoes Using High-Resolution Satellite Imagery, *Atmosphere*, 11, 613, doi:10.3390/atmos11060613.
 25. Glanville, M.J., Rohr, C.J., Holmes, J.D., 2016. Tornadoic Waterspout Impacts on Coastal Australia, 18th Australasian Wind Engineering Society Workshop, McLaren Vale, South Australia, 6-8 July 2016.
 26. Chan, P.W., Tse, S.M., Lee, J.C.W., Li, Q.S., 2020. Analysis of a Waterspout at Zhuhai, China, on June 12, 2019. *Meteorol Appl.* 2020; 27:e1904. <https://doi.org/10.1002/met.1904>.
 27. Mihajlović, J., Ducić, V., Burić, D., 2016. Tornadoic Waterspout Event in Split (Croatia)-Analysis of Meteorological Environment, *J. Geogr. Inst. Cvijic.* 66(2), 185–202, DOI:10.2298/IJGI1602185M.
 28. Lambropoulou, S., Antoniou, S., 2016. Topological Surgery, Dynamics and Applications to Natural Processes, *Journal of Knot Theory and its Ramifications*, April 14, 2016.
 29. Güler, H.G., Baykal, C., Tarakcıoğlu, G.Ö., Ergin, A., Güler, I., Yalçın, A.C., 2014. Sarıyerme Bölgesinde 17 Ekim 2013 Tarihinde Oluşan Hortum ve Bölgeye Etkileri, 8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 7-9 Kasım 2014.

30. Çabuk, Ö., Güler, H.G., Tarakcıoğlu, G.Ö., Güler, I., Yalçın, A.C., 2018. Adana Karataş Bölgesinde 28 Ekim 2017 Tarihinde Oluşan Hortum ve Etkileri, 9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 1-3 Kasım 2018.
31. Coşkun, M., Aksoy, B., 2011. 19 Haziran 2004 Çubuk-Sünlü (Ankara) Hortum Olayı. Doğu Coğrafya Dergisi, 12(17), 203-222 .
32. Kolay, O., Özdemir, E.T., Yetemen, Ö., 2020. Bodrum Sel ve Hortum Felaketi: 29 Kasım 2018 Olay Araştırması, Anadolu Çev. ve Hay. Bilimleri Dergisi, 5(4), 491-497.
33. Türkeş, M., 2021. Türkiye’de Hortumlar Artıyor mu?, EKOIQ, Mart-Nisan 2021
34. Aksu, H., 2021. Nonstationary Analysis of the Extreme Temperatures in Turkey. Dyn Atmos Oceans 95, 101238.
35. Eris, E., Cavus, Y., Aksoy, H., Burgan, H.İ., Aksu, H., Boyacıoğlu, H., 2020. Spatiotemporal Analysis of Meteorological Drought Over Kucuk Menderes River Basin in the Aegean Region of Turkey. Theor Appl Climatol 142, 1515–1530. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03384-0>.
36. Aksu, H., Cetin, M., Aksoy, H., Yaldiz, S.G., Yıldırım, I., Keklik, G., 2022. Spatial and Temporal Characterization of Standard Duration-Maximum Precipitation Over Black Sea Region in Turkey. Nat Hazards, 111(1):1-27. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05141-6>.
37. MGM, 2018a. Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler 2017 Yılı Değerlendirmesi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, 2018.
38. Kahraman, A., Markowski, P., 2014. Tornado Climatology of Turkey. Mon. Weather Rev. 142, 2345–2352.
39. Sirdas, S.A., Ozmen, I., Aydın, M., Yavuz, V.Y., Kaya, S., 2021. Evaluation of Szilagyi Waterspout Nomogram and Triangle Diagram by Era-Interim, 5th International Conference on Reanalysis, https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/repository/Events/ICR5/Posters/14_S5_Sirdas.pdf; Erişim Tarihi: 15.10.2021.
40. MGM, 2018b. 2017 Yılı İklim Değerlendirmesi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Şubat 2018.
41. AFAD, 2018. Türkiye 2010- 2017 Doğa Kaynaklı Afet Olayları Haritası.
42. ESA, 2015. European Space Agency, SENTINEL-2 User Handbook
43. L3HARRIS, 2022. <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/aboutatmosphericcorrectionmodule.html>, Erişim Tarihi: 08.09.2022.
44. L3HARRIS, 2022. <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/ImageChange.html>, Erişim Tarihi: 09.09.2022.
45. Otsu, N., 1979. A Threshold Selection Algorithm from Gray-Level Histograms, IEEE Trans. Syst. Man Cybern., SMC-9(1), 62–66.
46. European Space Imaging, 2021. Satellite Images of Turkey Show Whirlwind Damage, 21 November 2017. <https://www.euspaceimaging.com/satellite-images-of-turkey-show-whirlwind-damage/>; Erişim Tarihi: 15.10.2021.

