



2020

Turkish Journal of  
Remote Sensing and GIS

# Turkish Journal of Remote Sensing and GIS

Türk Uzaktan Algılama  
ve CBS Dergisi



**Baş Editör / Editor in Chief**

Prof. Dr. Halil AKINCI, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.

**Yardımcı Editörler / Associate Editors**

Doç. Dr. Volkan YILMAZ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ZEYBEK, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.

**Yabancı Dil Editörü / Language Editor**

Doç. Dr. Volkan YILMAZ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Managing Editor**

Doç. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.

**Yayın Kurulu / Publishing Board**

Prof. Dr. Çetin CÖMERT, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.  
Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.  
Prof. Dr. Mustafa TÜRKER, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
Doç. Dr. Sedat DOĞAN, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.

**Editör Kurulu / Editorial Board**

Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Prof. Dr. Arzu ÇÖLTEKİN, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland.  
Prof. Dr. Arzu ERENER, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.  
Prof. Dr. Bülent BAYRAM, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Prof. Dr. Çetin CÖMERT, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.  
Prof. Dr. Çiğdem GÖKSEL, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.  
Prof. Dr. Füsün Balık ŞANLI, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.  
Prof. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ, Karabük Üniversitesi, Türkiye.  
Prof. Dr. Mehmet ALKAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Prof. Dr. Mehmet Devrim AKÇA, Işık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Prof. Dr. Mustafa TÜRKER, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
Prof. Dr. Nesibe Necla ULUĞTEKİN, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye.  
Prof. Dr. Tarık TÜRK, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.  
Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, Türkiye.  
Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Doç. Dr. Caner GÜNEY, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Doç. Dr. Derya ÖZTÜRK, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.  
Doç. Dr. İsmail Ercüment AYAZLI, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.  
Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye.  
Doç. Dr. Krzysztof STERENCZAK, Instytut Badawczy Leśnictwa, Poland.  
Doç. Dr. Nusret DEMİR, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye.



### **Editör Kurulu / Editorial Board**

- Doç. Dr. Özlem AKAR, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye.  
Doç. Dr. Saygın ABDİKAN, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
Doç. Dr. Sultan KOCAMAN, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
Doç. Dr. Uğur ALGANCI, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
Dr. Öğr. Üyesi Deniztan ULUTAŞ KARAKOL, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.  
Dr. Öğr. Üyesi Esra TUNÇ GÖRMÜŞ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.  
Dr. Öğr. Üyesi Gülten KARA, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.  
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye.  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÜSTÜNER, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.  
Dr. Öğr. Üyesi Resul ÇÖMERT, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye.  
Dr. Abdulla M. AL-RAWABDEH, Yarmouk University, Irbid, Jordan.  
Dr. Aikaterini KARAGIANNI, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.  
Dr. Davod POREH, University of Napoli Federico II, Napoli, Italy.  
Dr. Manohar YADAV, Motilal Nehru National Institute of Technology (MNNIT) Allahabad Prayagraj, India.  
Dr. Mohammed DABBOOR, Environment and Climate Change Canada.  
Dr. Serkan URAL, ETH Zurich- Computational Physics, Switzerland.  
Dr. Yasemin KUZU SINRAM, Hexagon Geospatial Ltd. USA.



## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

### ARAŞTIRMA MAKALELERİ RESEARCH ARTICLES

- Kaynaştırılmış Sentinel-1 SAR ve Landsat-8 Optik Veriden Makine Öğrenme Algoritması ile Tarımsal Ürün Tespiti  
*Agricultural Crop Detection with a Machine Learning Algorithm from Fused Sentinel-1 SAR and Landsat-8 Optical Data*  
**Müslüm Altun, Mustafa Türker**.....1 - 19
- 2019 İzmir Karabağlar İlçesi Orman Yangın Alanının Uydu Görüntüleri İle Analizi  
*Analysis of The Burned Areas of 2019 Izmir Karabağlar Forest Fire with Use of Satellite Images*  
**Fatma Betül Özdemir, Nusret Demir**.....20 - 33
- Kitle Kaynak POI verilerinin Çıkarılması  
*Extraction of Crowdsourced Points of Interest Data*  
**Gülten Kara, Çetin Cömert, Huriye Akcan**.....34 - 49
- FLO-2D ve HEC-RAS Yazılımları ile Ardanuç (Artvin) İlçesindeki Pona Deresi ve Örtülü Deresi'nin Taşkın Yayılım Haritalarının Karşılaştırmalı Üretilmesi  
*Comparative Production of Flood Inundation Maps of Pona Creek and Örtülü Creek in Ardanuç (Artvin) District with FLO-2D and HEC-RAS Software*  
**Emine Eda Çanta, Sebahat Temuçin Kılıçer, Halil Akıncı**.....50 - 64
- TKGM CityGML Veri Modelinin 3B WebCBS Uygulamaları Açısından İrdelenmesi  
*Investigation of the TKGM CityGML Data Model in the Context of 3D WebGIS Applications*  
**Ziya Usta, Alper Tunga Akm, Çetin Cömert** .....65 - 75
- Üç Boyutlu Konumsal Verinin Web Tabanlı Yönetiminde, OGC Standardı 3D Tiles'in Hiyerarşik Veri Yapılarıyla Gerçekleştirimi  
*Implementation of the OGC Standard 3D Tiles with Hierarchical Data Structures in Web Based Management of 3D Spatial Data*  
**Ziya Usta, Çetin Cömert** ..... 76 - 85

# Kaynaştırılmış Sentinel-1 SAR ve Landsat-8 Optik Veriden Makine Öğrenme Algoritması ile Tarımsal Ürün Tespiti

## Agricultural Crop Detection with a Machine Learning Algorithm from Fused Sentinel-1 SAR and Landsat-8 Optical Data

Müslüm Altun<sup>1\*</sup>, Mustafa Türker<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara/Türkiye.

### ARAŞTIRMA MAKALESİ

#### \*Sorumlu yazar:

Müslüm Altun  
altunmuslum06@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.999749

#### Yayın süreci

Geliş tarihi: 23.09.2021  
Kabul tarihi: 31.01.2022  
Basım tarihi: 14.03.2022

### Özet

Bu çalışmada, tek tarihe ait kaynaştırılmış Sentinel-1 Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR) ve Landsat-8 verilerinin sınıflandırma ile tarımsal ürün tespitine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışma alanı olarak, Manisa'da bir bölge seçilmiştir. Görüntü kaynaştırma için Ehlers yöntemi, görüntü sınıflandırma için rastgele orman (RO) makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. Sınıflandırma orjinal Sentinel-1 verisi ile orjinal Landsat-8 verisi ile ve kaynaştırılmış veri setleri ile gerçekleştirilmiştir. Orjinal Sentinel-1 DD veya DY bantı ile yapılan sınıflandırmanın genel doğruluğu %35 mertebesinde hesaplanmıştır. Sentinel-1 DD ve DY bantların birlikte kullanılmasının sınıflandırma performansına katkısı %6 kadar olmuştur. Orjinal Landsat-8 verisi ile yapılan sınıflandırma sonucu hesaplanan genel doğruluk değeri (%71,18), orjinal Sentinel-1 verisine göre oldukça yüksektir. Landsat-8 ile kaynaştırılmış Sentinel-1 DY ve DD bantları veri setleri ile yapılan sınıflandırmanın genel doğruluğu sırasıyla %80,44 ve %82,16 olarak hesaplanmıştır. En yüksek genel doğruluk değeri (%87,72), Landsat-8 ile kaynaştırılmış Sentinel-1 DD+DY bantları veri seti ile yapılan sınıflandırmada elde edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, sınıflandırmada kaynaştırılmış tek tarihli Landsat-8 ve Sentinel-1 DD+DY bantları veri setinin kullanılması doğruluğu önemli oranda artırmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Sentinel-1 SAR, Landsat-8, Sınıflandırma, Rastgele Orman (RO), Ehlers görüntü kaynaştırma

### Abstract

In this study, the effect of fused single-date Sentinel-1 SAR and Landsat-8 data on agricultural crop detection by classification was investigated. A region in Manisa, Turkey was chosen as study area. Ehlers method was used for image fusion and random forest (RF) machine learning algorithm was used for image classification. Classification was carried out using only Sentinel-1 data, only Landsat-8 data, and the fused Sentinel-1 and Landsat-8 datasets. In classification using only Sentinel-1 VV or VH band, the overall accuracies were calculated at the level of 35%. The combined use of Sentinel-1 VV and VH bands contributed about 6% to classification performance. The accuracy (71,18%) calculated from classification performed using Landsat-8 data alone is quite high when compared to classification performed using Sentinel-1 data alone. In classification with the fused Landsat-8 and Sentinel-1 DD dataset and with the fused Landsat-8 and Sentinel-1 DY dataset, the accuracies were calculated as 80.44% and 82.16%, respectively. The highest accuracy (87.72%) was obtained in classification performed using the fused Landsat-8 and Sentinel-1 VV+VH bands dataset. Based on the results, the use of the fused single-date Landsat-8 and Sentinel-1 VV+ VH bands dataset in classification was found to significantly increase the accuracy.

**Keywords:** Sentinel-1 SAR, Landsat 8, Classification, Random Forest (RF), Ehlers image fusion

## 1. Giriş

Yer gözlem uydularının en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi tarımsal ürün tespittir (Zhan vd. 2002; Thenkabail vd. 2010; Gumma vd. 2011; Thenkabail vd. 2011). Tarım alanlarında üretilen ürünlerin etkin bir şekilde yönetilmesi, izlenmesi, karar verilmesi ve istatistiklerin çıkarılmasında uydu görüntülerinden elde edilen tematik haritaların sağladığı bilgiler oldukça kullanışlıdır (Turker ve Arikan, 2005; Ozdarici ve Turker, 2006; Liu vd. 2014; Viskovic vd. 2019).

Tarımda uzaktan algılama uygulamaları, optik ve Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR) uydularının her ikisiyle de yapılabilmektedir (Lemoine ve Leo, 2015; Lussem vd. 2016; Nasirzadehdizaji vd. 2019; Kussul vd. 2017). Ürün tespiti uydu görüntülerinin tarımsal alanlarda en yaygın kullanım alanları arasında yer almaktadır. Optik uydu görüntüleri ile sınıflandırma ve ürün türü tespitinde pek çok çalışma yapılmasına ve ilerleme kaydedilmesine rağmen bulut örtüsü ve zamansal çözünürlük gibi kısıtlar nedeniyle istenen tarihlere ait görüntüleri bulmak ve dolayısıyla gerekli bilgiyi çıkarmak her zaman mümkün olamamaktadır. Optik uyduların aksine, SAR uyduları görüntü alımında kendi enerji kaynaklarını kullanan aktif sensöre sahiptir. SAR uydularının önemli avantajları arasında hava durumlarından etkilenmemeleri ve gece gündüz görüntü alımı yapabileceğine sahip olmaları yer almaktadır. Bu nedenle, tarımsal alanlarda ürün türü tespitinde radar görüntülerinin kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır.

Çeşitli kısıtlayıcı etkilerinden dolayı, optik ve SAR uydu görüntülerinin birlikte kullanımı kaçınılmaz olmuştur. Farklı ürün türlerinin ayırt edilmesinde belirgin bir şekilde öne çıkan birlikte kullanım, tarımsal amaçlı çalışmalara olan ilgiyi artırmaktadır (Foody vd. 1994). Farklı sensörlere sahip uydular kullanılarak tarımsal alanların sınıflandırmasını ve tarımsal ürün tespitini amaçlayan çalışmalar yapılmıştır (Skriver, 2012; Sonobe vd. 2014; Hütt vd. 2016; McNairn ve Shang, 2016; Csillik ve Belgiu, 2017).

Uzaktan algılama çalışmalarında kullanılacak veri temini zaman ve maliyet analizi açısından oldukça pahalıdır. Sentinel ve Landsat uydu görüntülerinin ücretsiz olarak temin edilebilmesi bu güçlüğün ortadan kaldırılmasında oldukça önemlidir. Ayrıca, Landsat-8 uydusunun zengin bant sayısı, kullanıcılara farklı konumsal çözünürlükte görüntü sunması ve Sentinel-1 uydusunun düşük zamansal çözünürlük özelliği ile görüntüleri kısa sürede kullanıma kazandırması açısından birçok farklı alanda yaygın kullanımı ile ön plana çıkmaktadır. Bu özellikleri ile Sentinel-1 ve Landsat-8 uydularının yaygın kullanım alanlarından birisi tarımsal alanlardır. Küresel tarım alanlarının önemli bir bölümü sıklıkla bulutla kaplı olduğu için, Sentinel-1 görüntülerinin kullanımı, net optik görüntü elde etmenin zor olduğu ya da yeterli sayıda görüntünün alınamadığı bölgelerde, tarımsal ürün deseni tespiti için ayrı bir öneme sahiptir (Bush ve Ulaby, 1978; Brisco ve Brown, 1995; Van Niel ve McVicar, 2004; Skriver, 2012; Sonobe vd. 2014; Siachalou vd. 2015).

Konuya ilişkin yapılan literatür araştırması sonucunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, Chen vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada Zimbabwe, Masvingo şehrinde 15 Nisan 2018 ve 22 Nisan 2018 tarihli Sentinel-1 SAR görüntüsü ile 26 Nisan 2018 tarihli Landsat-8 OLI bantları Decision Level Fusion (DLF) tekniğiyle kaynaştırılmış ve Destek Vektör Makineleri (DVM) algoritması ile sınıflandırılmıştır. Çalışmada, SAR DD+DY polarize bantları kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca benek (speckle) filtresinin sonuçlara etkisi de ölçülmüştür. Benek filtresi uygulanmadan DLF tekniğiyle kaynaştırılan bantlar ile yapılan sınıflandırmada, %96,02 genel doğruluk ve 0,9515 kapa katsayısı, benek filtresi uygulanarak DLF tekniğiyle kaynaştırılan bantlar ile yapılan sınıflandırmada, %94,69 genel doğruluk ve 0,9378 kapa katsayısı elde edilmiştir. Benek filtresinin sınıflandırma doğruluğunu düşürdüğü görülmüştür. En iyi doku bilgisinin Mavi bant ve devamında Kırmızı banttan elde edildiği belirtilmiştir. DY polarizyonlu bant ile üretilen doku özelliklerinin DD polarizasyonlu bant ile üretilenden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Nuthammachot ve Stratoulas (2019) tarafından yapılan çalışmada 25 Şubat 2015 tarihli Sentinel-1 SAR görüntüsü ile 18 Mart 2015 tarihli Landsat-8 OLI görüntüsü kullanılarak resolution merge ve The Local Mean Variance Matching (LMVM) veri kaynaştırma teknikleri karşılaştırılmıştır. Sentinel-1A uydusunun DD ve DY polarizasyonlu bantları kullanılmıştır. Sentinel-1A SAR, Landsat-8 OLI, Resolution merge (Sentinel-1 + Landsat 8) ve LMVM (Sentinel-1 + Landsat 8) olmak üzere 4 veri En Yüksek Olasılık (ML) kontrollü sınıflandırma algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yalnızca Sentinel-1A SAR verisi ile %58,50 genel doğruluk ve 0,48 kapa katsayısı, yalnızca Landsat-8 OLI verisi ile % 67,16 genel doğruluk ve 0,59 kapa katsayısı doğruluk değerleri hesaplanmıştır. Resolution merge tekniği ile kaynaştırılmış Sentinel-1 ve Landsat-8 verisi kullanılarak %79,75 genel doğruluk ve 0,75 kapa katsayısı değerleri hesaplanmıştır. LMVM tekniği ile kaynaştırılmış Sentinel 1 + Landsat 8 verisi kullanılarak yapılan sınıflandırmada, %59,84 genel doğruluk ve 0,52 kapa katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

Otukei vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, 4 Aralık 2009 ve 15 Aralık 2009 tarihli 2.75 m çözünürlüklü TerraSAR-X ve 21 Şubat 2005 tarihli 30 m çözünürlüklü Landsat ETM+ görüntüleri high pass filtering (HPF), Principal Component Analysis with band substitution (PCA), Principal Component with Wavelet Transform (WPCA) görüntü kaynaştırma teknikleri kullanılarak kaynaştırılmış ve karar ağacı sınıflandırıcı algoritması ile sınıflandırılmıştır. HPF, PCA ve WPCA teknikleri ile kaynaştırılmış görüntülerde sırasıyla %74,99, %83,12 ve %85,38 genel doğruluk ve sırasıyla 0,7220, 0,8100 ve 0,8369 kapa katsayısı değerleri elde edilmiştir. WPCA'nın kullanılan kaynaştırma teknikleri içinde en uygun olduğu belirtilmiştir.

Suwarsono vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada 1 Ekim 2018 tarihli Landsat 8 ile 17 Eylül 2018 tarihli Sentinel-1 SAR görüntüsü RGB Transformation ve Brovey Transformation görüntü kaynaştırma yöntemleri ile kaynaştırılarak volkanlardaki lav akışı birikintilerinin görünümünü keskinleştirmek için morfolojisi çıkartılmıştır. Çalışmada Sentinel-1 DD polarize bant kullanılmıştır. Sonuçlar görsel olarak şekiller ile kıyaslanarak verilmiştir. Sonuçlara göre kullanılan görüntü ve tekniklerin yanardağların her türlü hava koşullarında sürekli olarak gözlemlenebildiğini göstermiştir.

Dimov vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; Özbekistan, Frage Vadisinde yaz ürünü alanlarını, bahçe alanlarını ve meyvelik alanların ayırmasını yapmak için 8 Ağustos 2015 tarihli Sentinel-1 SAR ve Landsat 8 OLI görüntüleri, Wavelet, Ehlers, Principal Component Analysis (PCA), Gram-Schmidt görüntü kaynaştırma teknikleri ile kaynaştırılmıştır. Her bir yöntem ile kaynaştırılan görüntüler DVM, En Yakın Komşuluk, Rastgele Orman (RO) ve Naive Bayesian (NB) algoritmaları ile sınıflandırılmıştır. Ehlers yöntemi ile kaynaştırılan görüntünün RO algoritması ile sınıflandırması %85,9 genel doğruluk ile en iyi sonucu vermiştir.

Cao vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, Çin, Heilongjiang şehrinde 2015 yılı Mayıs ve Ekim ayları arasında çekilmiş Sentinel-1 SAR ve Landsat 7 Enhance Thematic Mapper-Plus (ETM+) ve Landsat 8 OLI görüntülerinden türetilmiş Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) bantları birlikte kullanılarak çeltik ürünü haritalamasına yönelik sınıflandırma yapılmıştır. Çalışmada SAR DD ve DY bantları ile NDVI bandı kaynaştırılarak kullanılmıştır. DVM ve RO algoritmaları kullanılarak yapılan sınıflandırmada en iyi sonuçlar 0,94 genel doğruluk ve 0,93 kappa katsayısı ile RO algoritması ve DY polarize durumundaki SAR verisinin birlikte kullanılarak hesaplanan sınıflandırmadan elde edilmiştir.

Forget vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Sub-Saharan Africa da yerleşim alanları içinde ve dışında 2015 ve 2016 yıllarında farklı zamanlarında alınmış 12 adet Sentinel-1A , -1B SAR ve Landsat-8 verileri kaynaştırılarak piksel tabanlı RO algoritması ile sınıflandırma yapılmıştır. SAR verisinin DD ve DY polarizasyon bantları kullanılmıştır. DD polarizasyon bandının DY'ye göre daha iyi performans verdiği belirtilmiştir. Grey Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) ile farklı pencere boyutlarında doku özellikleri oluşturularak analiz edilmiştir. PCA görüntü kaynaştırma tekniği kullanılarak optik ve SAR veriler birleştirilmiştir. Yalnızca optik veri, yalnızca SAR verisi ve PCA tekniği ile kaynaştırılmış SAR ve optik verisi ile piksel tabanlı RO algoritması ile yapılan sınıflandırma sonuçlarının karşılaştırmasında kaynaştırılmış görüntülerin sınıflandırması ile elde edilen sonuçlar diğerlerine göre oldukça yüksek performans sağlamıştır.

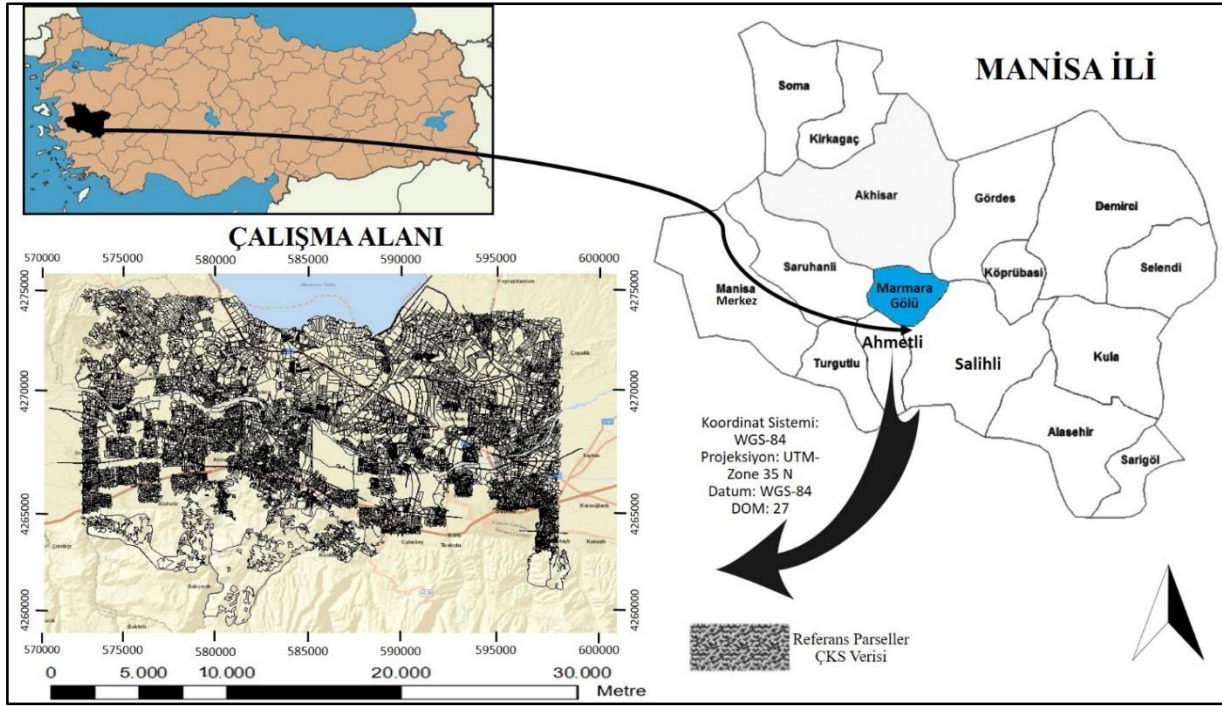
Zhang ve Xu (2018) tarafından yapılan çalışmada, Çin'in, The Pearl River Delta (PRD) bölgesinde en iyi arazi örüsünü bulma amaçlı görüntü sınıflandırma yapılmıştır. Çalışmada, 30 m çözünürlüklü Landsat ETM+ ile 75 m çözünürlüklü ENVISAT ASAR (WSM) görüntüsü, 10 m çözünürlüklü SPOT-5 ile 12,5 m çözünürlüklü ENVISAT ASAR (IMP) görüntüsü, 10 m çözünürlüklü SPOT-5 ile 3 m çözünürlüklü TerraSAR-X görüntüsü, Pixel level, Feature Level A, Feature Level B ve Decision Level kaynaştırma teknikleri ile kaynaştırılmıştır. Kaynaştırılmış görüntülerin sınıflandırması, ML, Artificial Neural Network (ANN), DVM ve RO algoritmaları ile yapılmıştır. Feature Level B tekniği ile elde edilen kaynaştırılmış görüntü ile ML, ANN, DVM ve RO algoritmaları ile yapılan sınıflandırma diğer kaynaştırma yöntemlerine göre (0,92 genel doğruluk ve 0,96 kappa katsayısı) daha iyi performans sağlamıştır.

Bu çalışmanın amacı, tek tarihe ait (07.06.2017) kaynaştırılmış Sentinel-1 Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR) (Düşey Düşey-DD ve Düşey Yatay-DY bantlar) ve Landsat-8 verilerinin makine öğrenme algoritması kullanılarak sınıflandırılması, yapılan sınıflandırma sonucunda tespit edilen tarımsal yaz ürünlerinin sınıflandırma performansına etkisini araştırmaktır. Manisa İli, Salihli ve Ahmetli İlçeleri arasında kalan tarımsal alan çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada, Sentinel-1 10 m çözünürlüklü DD ve DY polarizasyonlu bantlar ve Landsat-8 30 m çözünürlüklü Kıyı Aerosol, Mavi, Yeşil, Kırmızı, Yakın Kızılötesi, Kısa Dalga Kızılötesi 1 ve Kısa Dalga Kızılötesi 2 bantlar kullanılmıştır. Görüntü kaynaştırma işlemi Ehlers yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma için RO makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. Tespit edilen ürünler bölgede en yaygın ekilen buğday, domates, mısır, mısır2, pamuk, üzüm, yonca ve zeytindir. SAR ve optik görüntülerin kaynaştırılarak kullanıldığında ürün tespiti sınıflandırma doğruluğuna olumlu katkısı hesaplanan doğruluk değerleri ile gösterilmiştir.

## 2. Çalışma Alanı ve Veriler

Çalışma alanı, Manisa İli; Ahmetli ve Salihli İlçeleri sınırları içinde yer alan yaklaşık 520 km<sup>2</sup>lik bir tarımsal alandan oluşmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanının yaklaşık koordinatları 573369.16 m, 4275559.88 m (Kuzey Batı); 573369.16 m, 4257782.09 m (Güney Batı); 603175.50 m, 4275559.88 m (Kuzey Doğu); 603175.50 m, 4257782.09 m (Güney Doğu) ve projeksiyon bilgileri WGS 84, UTM-Zone 35 N, DOM 27 şeklindedir.

Çalışma alanındaki parsellerin büyük bir bölümü yaz ürünleri ile ekili olmasının yanında, alımı yapılan görüntü tarihi itibarıyla ekili olmayan nadas alanları ve tarım dışı alanlar da bulunmaktadır. Bölgede yetiştirilen ürünler ağırlıklı olarak buğday, domates, mısır, pamuk, üzüm, yonca olup sabit ürün olarak da zeytin bulunmaktadır. Ayrıca, bir yıl içerisinde birden fazla ürün hasadı da yapılmaktadır. Tarım parsellerinin büyüklükleri yaklaşık 3 dekar ile 4700 dekar arasında değişmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı

Alanı kapsayan Sentinel-1 SAR görüntüsü ile Landsat-8 optik görüntülerin görsel incelemesi yapılmış ve her iki uyduya ait aynı tarihte (07.06.2017) alımı yapılmış görüntüler seçilmiştir. Sentinel-1 SAR görüntülerinin DD ve DY polarizasyonlu C bantları ve Landsat-8 uydu görüntülerinin Kıyı Aerosol, Mavi, Yeşil, Kırmızı, Yakın Kızılötesi, Kısa Dalga Kızılötesi 1 ve Kısa Dalga Kızılötesi bantları ilgili sitelerden (Copernicus, 2021; EarthExplorer, 2021) indirilmiştir. İndirilen veri dosyaları metadata, geometrik ve radyometrik düzeltme dosyaları vb. bilgileri de içermektedir. Sentinel-1 SAR görüntüsü DD ve DY polarizasyonlu SAR C bantları ile Landsat-8 Kıyı Aerosol, Mavi, Yeşil, Kırmızı, Yakın Kızılötesi, Kısa Dalga Kızılötesi 1 ve Kısa Dalga Kızılötesi 2 optik bantlarının konumsal çözünürlükleri birbirinden farklıdır. Uyduların bantlarına ait konumsal çözünürlük bilgisi Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan Sentinel-1 ve Landsat-8 görüntüleri bantları ve konumsal çözünürlükleri

Uydu	Band	Konumsal Çözünürlük (m)
Sentinel-1	C band- DD polarizasyon	10
	C band- DY polarizasyon	10
Landsat-8	Band 1- Kıyı Aerosol	30
	Band 2- Mavi	30
	Band 3- Yeşil	30
	Band 4- Kırmızı	30
	Band 5- Yakın Kızıl Ötesi	30
	Band 6- Kısa Dalga Kızılötesi 1	30

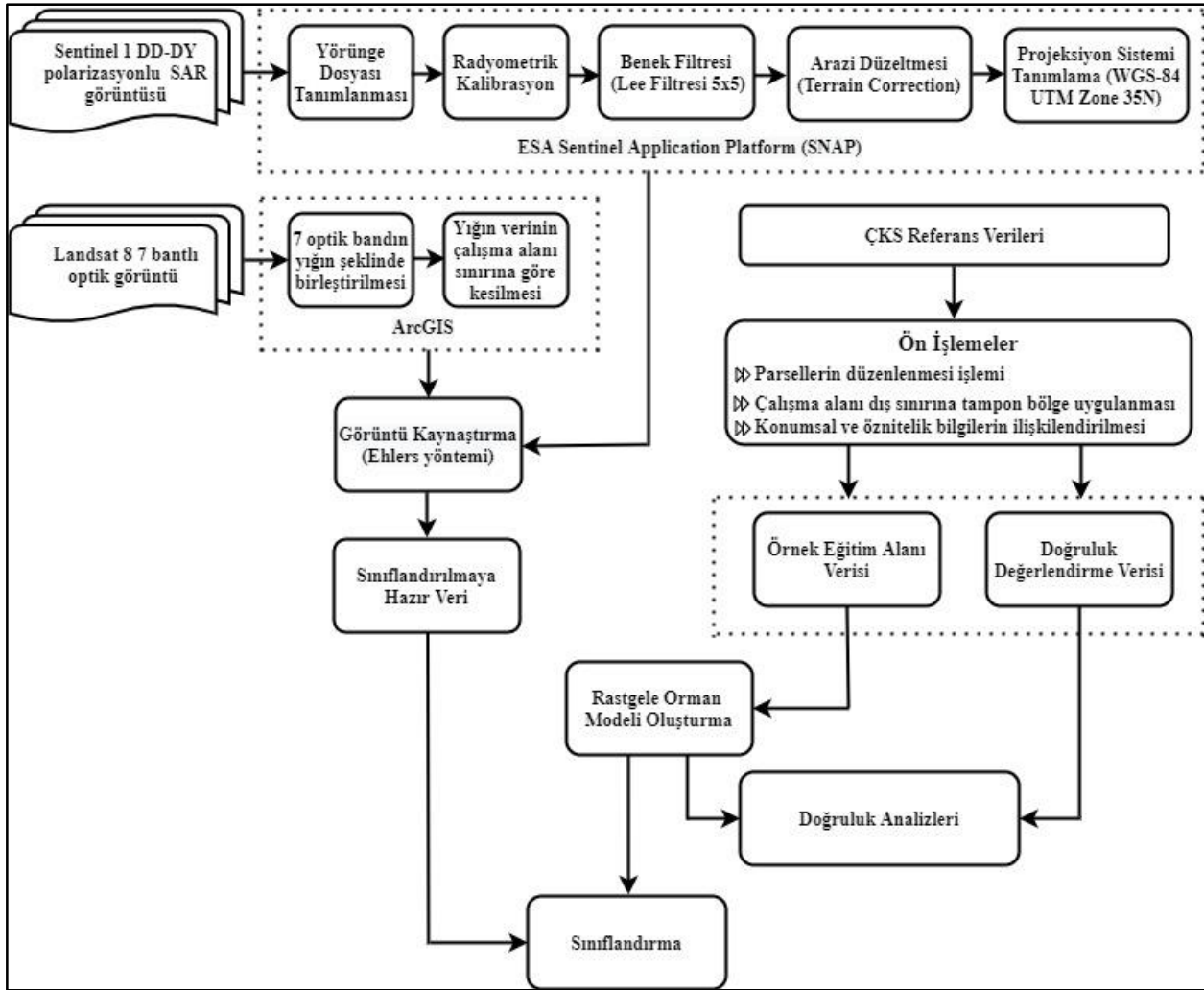
Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS), tarımsal desteklemelerin izlenebilir, denetlenebilir, raporlanabilir ve sorgulanabilirliğinin sağlanması için, çiftçi bilgilerinin bir veri tabanında toplandığı bir kayıt sistemidir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Bu çalışmada zemin doğrulama referans verisi olarak mevcut ÇKS verileri kullanılmıştır.

ÇKS verisinin konumsal bilgileri arasında fiziksel yeryüzü üzerinde temsil ettiği lokasyon bilgisi bulunurken, öznitelik bilgileri arasında ise veri tipi, il, ilçe, mahalle, ada ve parsel numarası gibi tapu kaydı bilgileri ve zemin referans numarası, toplam parsel yüzölçümü, ekili alan yüzölçümü, ekili ürün adı ve toplam parsel yüzölçümü ile ekili alan yüzölçümü arasındaki fark değeri bilgileri yer almaktadır. Çalışma alanına ait ÇKS verisinde toplam 28169 adet parsel bulunmaktadır.



### 3. Yöntem

Çalışmada kullanılan yöntemin adımlarını özetleyen akış diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir. Yöntem, veri ön işlemleri, görüntü kaynaştırma, sınıflandırma ve doğruluk analizleri olmak üzere dört temel adımdan oluşmaktadır. İlk olarak, Sentinel-1 SAR ile Landsat-8 optik görüntülere gerekli ön işleme adımları uygulanmıştır. Sonra, zemin referans verisi olarak kullanılabilmesi için, ÇKS verisi üzerinde gerekli düzenleme işlemleri yapılmıştır. Yöntemin ikinci adımında, Sentinel-1 SAR görüntüleri ile Landsat-8 optik görüntüleri Ehlers görüntü kaynaştırma tekniği kullanılarak kaynaştırılmıştır. Görüntü kaynaştırma ile elde edilen kaynaştırılmış görüntüler, RO makine öğrenme algoritması tekniği kullanılarak, parsel-tabanlı yaklaşımla sınıflandırılmıştır. Son adım olarak, elde edilen sonuçların doğruluk analizleri yapılmıştır.



Şekil 2. Yöntemin akış diyagramı

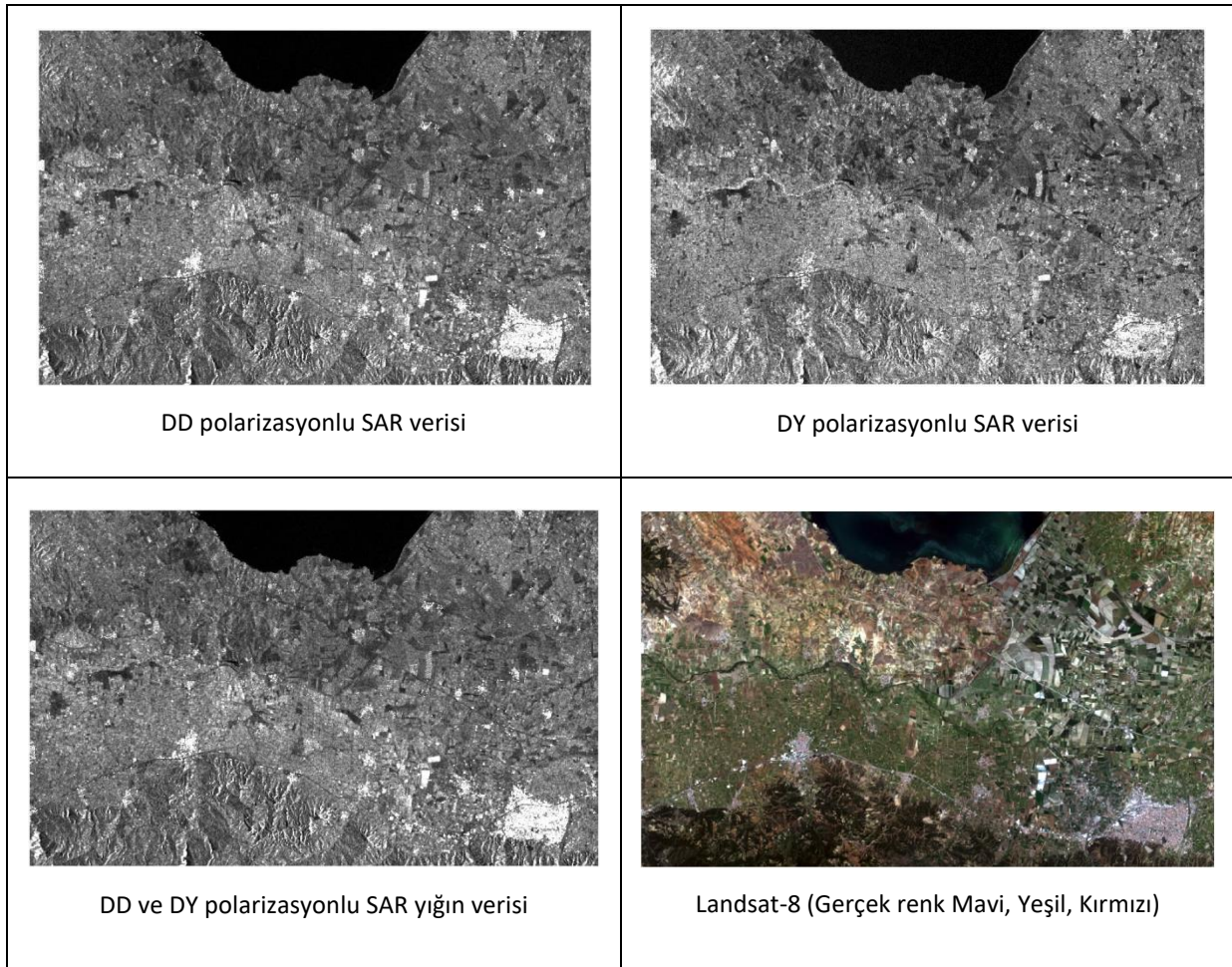
#### 3.1 Veri Ön İşlemleri

Interferometric Wide Swath (IW) modunda ve Level 1 Grid (GRDH) formatında temin edilen Sentinel-1 DD ve DY polarizasyonlu verilere ön işlemler uygulanmıştır. Ön işlemler için Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency-ESA) tarafından ücretsiz olarak sağlanan Sentinel Uygulama Platformu (Sentinel Application Platform-SNAP) yazılımı kullanılmıştır (ESA Copernicus Open Access Hub, 2021). Sırasıyla, yörünge dosyası uygulama, radyometrik kalibrasyon, benek filtreleme (Lee Filtresi 5x5), topografik düzeltme ve geri yansıma db çevirme ön işleme adımları gerçekleştirilmiştir. Yörünge dosyası uygulama ön işleme adımı ile SAR verisinin uydu yörünge durum vektörlerine güncel düzeltmeler getirilerek doğru uydu konumu ve hız bilgisi elde edilmiştir. Radyometrik kalibrasyon adımı piksel değerleri radyometrik olarak kalibre edilmiş SAR geri yansıma değerlerine çevrilmiştir.

SAR görüntülerinde taneli gürültü olarak görünen benek, birçok temel geri yansılardan yansıyan dalgaların kaynağa gelmesinden kaynaklanmaktadır (Lee vd. 1994). Dolayısıyla, benek filtreleme adımında 5x5 Lee filtresi (Filipponi, 2019) uygulanarak taneli gürültü azaltılmıştır. SAR sinyallerinin yanal gözlemlene geometrisi nedeniyle, yeryüzündeki engebeli topografya SAR sinyallerinin geri saçılma değerlerini etkilemektedir. Bu etki çok engebeli arazide, örneğin tepelik alanlarda, veri çekimi açısından değişikliklerden (artış ve azalma) dolayı çok yüksek olabilmektedir. Dolayısıyla, topografik düzeltme ile bu bozulmalar düzeltilmiş ve görüntü geometrik olarak gerçek yeryüzüne en yakın hale getirilmiştir. Geri yansıma dB çevirme adımında, Eşitlik 1' de verilen logaritmik dönüşüm kullanılarak herhangi bir birim değeri olmayan geri yansıma katsayıları dB olarak çevrilmiştir (Filipponi, 2019).

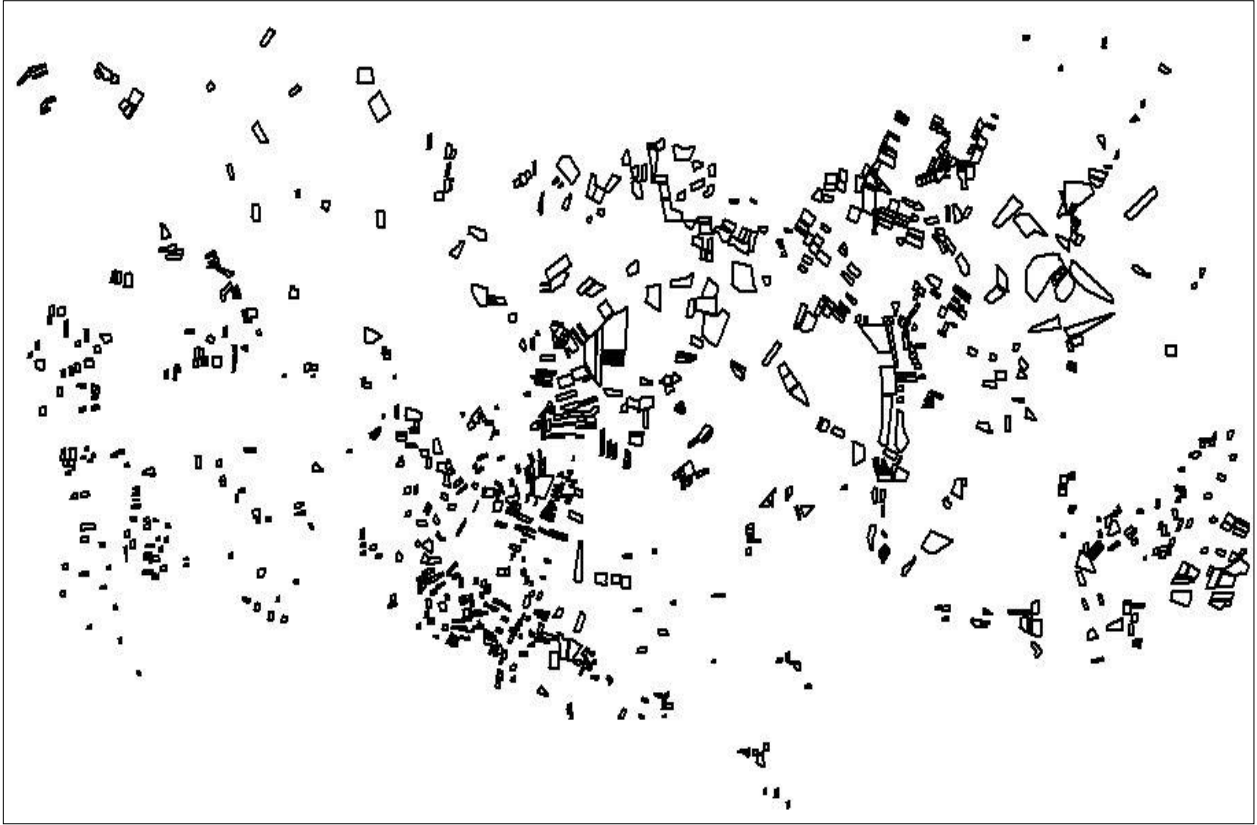
$$\beta_{db}^0 = 10 * \log_{10}(\beta^0) \quad (1)$$

Landsat-8 optik uydu görüntüsüne uygulanan ön işleme adımı sınıflandırmada kullanılacak bantların ArcGIS yazılımında birleştirilmesi işleminden ibarettir (ArcGIS User Guide, 2021). Ön işleme aşamaları sonrası elde edilen DD, DY ve DD+DY polarizasyonlu Sentinel-1 SAR verileri ile Landsat-8 optik görüntü Şekil 3'de verilmiştir.



**Şekil 3.** Ön işleme aşamaları sonrası elde edilen DD, DY ve DD+DY polarizasyonlu Sentinel-1 SAR verileri ile Landsat-8 optik görüntünün gösterimi

Sonuçların doğruluk analizlerinde kullanılacak yer gerçeği verilerine (ÇKS verileri) gerekli ön işleme adımları uygulanmıştır. Birçoğu ekili ürün içermediğinden alanı 1000 m<sup>2</sup>'den küçük parseller elimine edilmiştir. Parsellerde yetiştirilen ürün türleri ile parsellerin (poligonun) konumsal verisi ilişkilendirilmiştir. Yapılan düzenleme işlemlerinden sonra, kalan 1024 parsel referans veri olarak kullanılmıştır (Şekil 4).

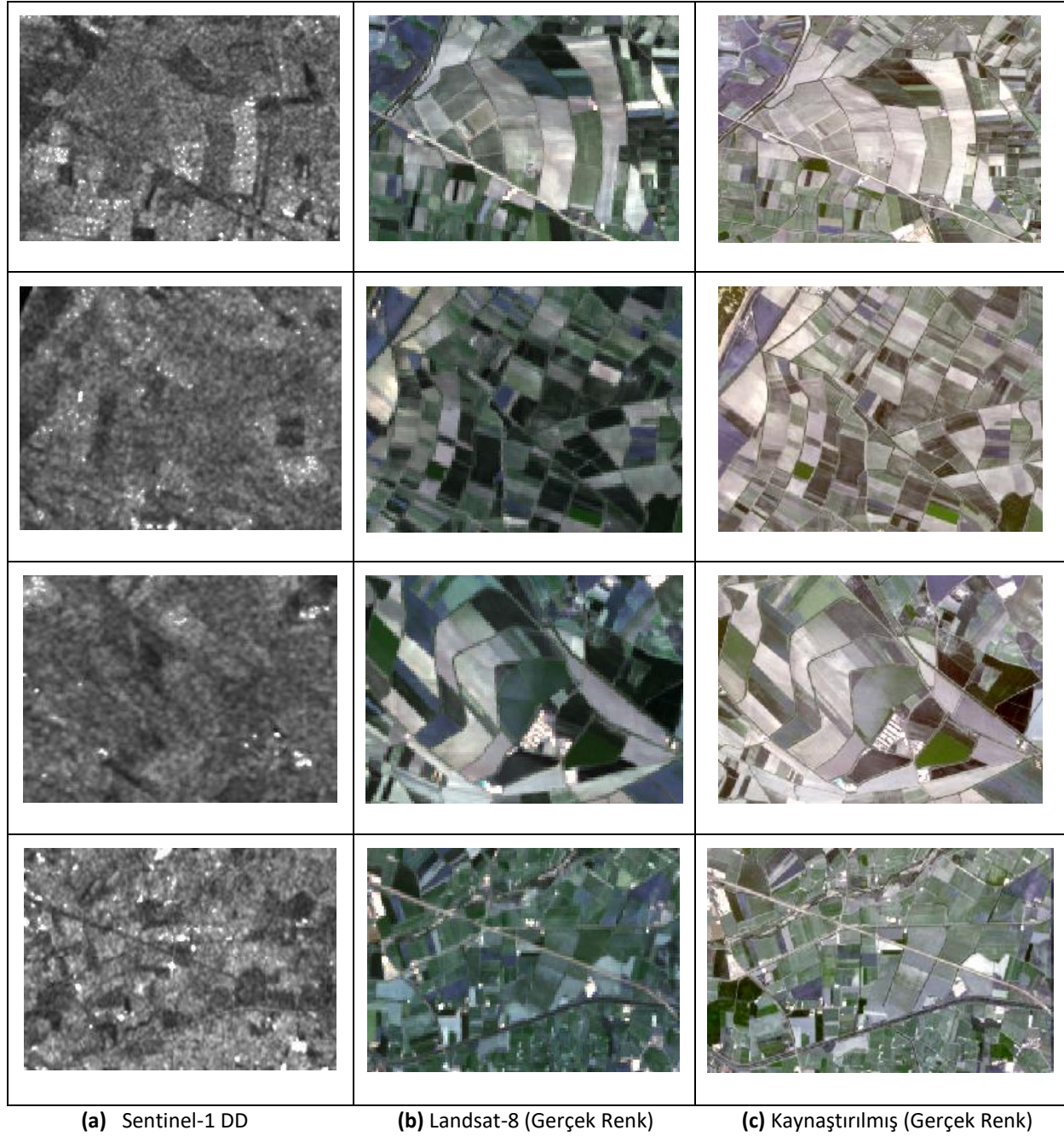


Şekil 4. Referans veri olarak kullanılan parseller

### 3.2 Sentinel-1 SAR ve Landsat-8 Optik Görüntülerin Kaynaştırılması

Çalışmada Sentinel-1 SAR görüntüsü (DD ve DY bantları) ile Landsat-8 görüntüsünün (çoklu spektral bantlar) kaynaştırılması için, Ehlers görüntü kaynaştırma tekniği kullanılmıştır (Adrian vd. 2021; Erdas Imagine User Guide, 2021). Ehlers kaynaştırma yöntemi, kaynaştırılmış görüntüyü üretirken IHS (Intensity-Hue-Saturation) ve Fourier dönüşümlerini kullanmaktadır (Alparone vd. 2004; Klonus ve Ehlers, 2009). Orijinal çok bantlı görüntüye (bu çalışmada Landsat 8-bantları) IHS dönüşümü uygulanır. IHS dönüşümü sonrası parlaklık bileşeni elde edilir. Parlaklık bileşenine ve görüntü kaynaştırmada kullanılacak olan pankromatik görüntüye (bu çalışmada Sentinel-1 DD ve DY polarizasyonlu bantlar) FFT (Fast Fourier Transformation) dönüşümü uygulanarak frekans uzayına geçiş sağlanır (Breiman, 2001). Çoklu bantlı verinin parlaklık bileşeni alçak geçiren filtre ile filtrelenir. Pankromatik verinin bileşeni ise yüksek geçiren filtreyle filtrelenir (Gungor, 2008; Dammavalam, 2012). Frekans uzayında filtrelenmiş bileşenlere ters FFT dönüşümü uygulanarak tekrar konumsal uzaya geçilir. Konumsal uzayda kaynaştırması yapılacak girdi görüntüler toplanarak yeni bir parlaklık bileşeni oluşturulur. Yeni parlaklık bileşeni ve IHS dönüşümünde kullanılan ton (hue) ve doygunluk (saturation) bileşenleri kaynaştırma işlemine girdi veri kabul edilerek ters IHS dönüşümü uygulanır ve kaynaştırılmış görüntü elde edilmiş olur (Pal, 2005a; Schowengerdt, 2007).

Ehlers görüntü kaynaştırma tekniğinin avantajı frekans uzayında filtreleme yapmasıdır (Yılmaz ve Güngör, 2013). Buna karşın kaynaştırılmış görüntünün piksel parlaklık değerlerinin, orijinal girdi çok bantlı görüntüye göre fazla olabilmesi bir dezavantaj olarak kabul edilmektedir (Mather ve Tso, 2009). Bu çalışmada görüntü kaynaştırma işleminin yapılmasının amacı Sentinel-1 SAR ve Landsat-8 verilerinin birleşiminden yüksek konumsal çözünürlüklü çok bantlı veri elde edebilmektir. Bunun için birinci girdi veri yüksek konumsal çözünürlüklü pankromatik özellikli Sentinel 1 DD ve DY polarizasyonlu SAR verisi, ikinci girdi veri düşük konumsal çözünürlüklü çok bantlı (7 bant) optik Landsat 8 veridir. Ehlers görüntü kaynaştırma tekniğinin görüntülerin spektral yapısını değerlendirirken frekans uzayında parlaklık (intensity), ton (hue) ve renksel doygunluk (saturation) bileşenlerini frekans uzayında ele alması ve renk yapısını korumadaki başarısı, kaynaştırılan sonuç ürünler üzerinden görsel analizler yardımıyla tespit edildiğinden, Ehlers yöntemi bu çalışma için tercih sebebi olmuştur. Bu çalışmada görüntü kaynaştırma işlemi Erdas Imagine yazılımı ile yapılmıştır. Çalışma alanı içerisinde farklı bölgelere ait kesitler Şekil 5' de gösterilmiştir. Şekil 5 (a), Sentinel-1 DD polarizasyonlu veriyi; Şekil 5 (b), Landsat-8 7 bantlı optik veriyi; Şekil 5 (c) ise kaynaştırma işlemi sonrası elde edilen veriyi temsil eden kesitlerdir.



**Şekil 5.** Seçili alanlara ait görüntülerin kaynaştırma öncesi ve sonrası gösterimi: (a) Sentinel-1 DD polarizasyonlu bant, (b) Landsat-8 gerçek renkli (B4, B3, B2) görüntü, (c) Kaynaştırılmış gerçek renkli (B4, B3, B2) görüntü

Görüntülerin kaynaştırılması sonucu elde edilen görüntülerin başarısını ölçmek ve çeşitli parametrelerin kalitesini değerlendirmek amacıyla görsel analiz ve yorumlamanın yanı sıra nicel ölçütlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla bu çalışmada, literatürde kabul gören ve sıkça kullanılan iki adet değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Başarı ölçütü yöntemlerinde referans görüntü olarak Landsat-8 çok bantlı optik veri, kaynaştırılma başarısı hesaplanacak olan görüntü olarak ise Sentinel-1 SAR DD, DY ve DD+DY bantları ile Landsat-8 çok bantlı verilerin kaynaştırılmış görüntüsü kullanılmıştır. Değerlendirme yöntemleri olarak yaygın kullanılan ve RMSE (Root Mean Square Error - Karese Ortalama Hata) (Witharana vd. 2013) ve ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse - Boyutsuz Global Görelî Sentez Hatası) (Alparone vd. 2008) yöntemleri seçilmiştir. RMSE başarı değerlendirici metriği görüntünün her bir pikselindeki değişim miktarını belirlemekte kullanılır ancak bu metrik kaynaştırmada kullanılan görüntülerin konumsal çözünürlüklerini dikkate almaz. RMSE başarı ölçütü çok bantlı referans görüntü ile kaynaştırılmış görüntü arasındaki farkların karesel ortalama hatasını temel alan metriktir (Witharana vd. 2013).

Eşitlik 2 sonucu elde edilen değer ile görüntü kaynaştırma arasında ters orantılı bir ilişki olup, Eşitlik 2 ile hesaplanan değer ne kadar küçük değer olarak hesaplanırsa, görüntü kaynaştırma kalitesinin o kadar başarılı olduğu kabul edilir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_x \sum_i (X_i(x) - Y_i(y))^2}{n \times m \times d}} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de yer alan parametrelerden;  $X$  çok bantlı görüntüyü,  $Y$  kaynaştırma işlemi sonrası elde edilen görüntüyü  $x$  ve  $y$  piksel indeksini,  $i$  bant numarasını ifade etmektedir. Eşitlik 2’ nin payda kısmında yer alan  $n$  satır sayısını,  $m$  sütun sayısını,  $d$  ise bant sayısını göstermektedir. RMSE değerlendirme yönteminin etki alanı aralığının (domain interval) sıfır (0) ile sonsuz ( $\infty$ ) aralığında olması beklenmektedir. RMSE ölçütü görüntünün her pikselindeki spektral distorsiyonun ortalama oranını temsil etmektedir. Sıfır (0) değerine yakın RMSE, kaynaştırılmış görüntünün çok bantlı görüntüye yakın olduğunu gösterir (Witharana vd. 2013).

ERGAS kalite metriği ise, kaynaştırılmış görüntüdeki piksel parlaklık değerlerinin yüksek çözünürlükten düşük çözünürlüğe geçtiği andaki kalitesini ölçer. Bir başka ifade ile ERGAS başarı değerlendirici metriği, kaynaştırılmış görüntüdeki radyometrik bozulmaları tespit edebilmektedir. ERGAS değerlendirme yönteminin etki alanı aralığının (domain interval) sıfır (0) ile sonsuz ( $\infty$ ) aralığında olması beklenmektedir. Eşitlik 3 sonucu hesaplanan değer ne kadar küçük ise, bir başka deyişle sıfıra ne kadar yakınsar ise kaynaştırma işleminin o kadar başarılı sayıldığı kabul edilir.

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2} \quad (3)$$

Eşitlik 3’ de  $N$  bant sayısını, RMSE karesel ortalama hatayı,  $\frac{h}{l}$  pankromatik görüntüdeki piksel parlaklık değerlerinin çok bantlı görüntüdeki piksel değerlerine oranını,  $\mu(n)$  ise  $n$ . bandın ortalamasını göstermektedir. ERGAS, kaynaştırılmış görüntüdeki spektral bozulma miktarını ifade etmektedir. Yüksek spektral kaliteli görüntü elde etmek için ERGAS değerinin mümkün olduğunca küçük olması beklenir (Alparone vd. 2008).

### 3.3. Görüntü Sınıflandırma

Sınıflandırma işlemi MATLAB R2019b ortamında RO makine öğrenme algoritması ile gerçekleştirilmiştir (MathWorks, 2021). RO algoritması temel sınıf olarak karar ağacını kullanan topluluk algoritmalarından birisidir (Breiman, 2001; Horning, 2010). İlk olarak eğitim veri setinin 2/3’ ünden önyükleme örnekleri oluşturulur. Bu örnekler eğitim veri setlerini oluşturur ve ağaç gelişimi için kullanılır. Genelleştirilmiş hatalar (Out of Bag-OOB errors) verisi olarak da adlandırılan eğitim veri setinin 1/3’ lük geri kalan kısmı hataları test etmek için kullanılır. Ağaç gelişim işlemine başlamadan önce, RO algoritmasını başlatmak için kullanıcı tarafından iki parametre tanımlanır. Bu parametreler, en iyi bölünmeyi belirlemek için her bir düğümde kullanılan değişken sayısı (mtry) ve geliştirilecek ağaçların sayısıdır (ntree). Toplam değişken (bant) sayısının  $M$  adet olduğu varsayılırsa,  $M$  sayısının kareköküne eşit alınan mtry sayısı genel olarak optimum sonuca en yakın sonucu verdiği varsayılır (Horning, 2010). RO algoritması birçok bireysel karar ağacı tarafından yapılan sınıflandırmaları birleştirir.

Bu tip bir modelin eğitimi için sadece rastgele özniteliklerin uzay boyutluluğunun değil, aynı zamanda söz konusu bölme değişkenleri tarafından üretilen karar limitlerine dayalı olarak oluşturulacak ağaç sayısının da tanımlanması gerekmektedir (Breiman vd. 1984; Congalton ve Green, 2008). Rastgele Orman (RO) sınıflandırıcısı diğer sınıflandırma algoritmalarından farklı olarak, birbirinden bağımsız ve rastgele seçim ile belirlenen çoklu karar ağaçlarını kullanır. Oluşturduğu her bir ağaç, farklı bir modeli temsil eder. RO’nun bu çalışma prensibi, ağaçlar arasındaki korelasyonu minimuma indirdiği için, diğer makine öğrenme algoritmalarına göre daha yüksek sınıflandırma sağlamaktadır (Breiman, 2001). Parametre değerlerinin seçiminden sonra, her bir önyüklemeli örnekten budama olmadan tanımlanan mtry ve ntree parametrelerine göre ağaçlar geliştirilir. Her bir ağacın oluşturulması için bu işlemler tekrarlanır. Orman oluşturulduktan sonra nesnel tüm ağaçlar tarafından sınıflandırılır ve tüm sınıflandırmaların çoğunluk değeri alınarak sonuç sınıf elde edilir (Liaw ve Wiener, 2002; Akar, 2013). RO algoritmasında tanımlanan ağaç sayısı (ntree) kadar ağaç üretildiğinde, ntree tane ağaçtan elde edilen tahmin sonuçlarına dayanılarak aday pikselin sınıfı belirlenir (Liaw ve Wiener; 2002).

Bu çalışmada, Breiman (2003), Breiman (2001), Pal (2005) ve Archer ve Kimes (2008) tarafından yapılan çalışmalara dayanarak ntree değeri olarak 100 alınmış, mtry değeri ise  $\sqrt{\text{band sayısını}}$  şeklinde hesaplanmıştır. Sınıflandırma işlemi farklı sayıda girdi görüntüleri ile gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, her bir sınıflandırma işleminde girdi görüntü sayısı değiştiği için bant sayısı da değişmiştir. Örneğin, yalnız Sentinel-1 verisi DD veya DY polarizasyonlu bandın kullanıldığı sınıflandırma işleminde mtry değeri  $\sqrt{1}$  iken, kaynaştırılmış Sentinel-1 (DD veya DY polarizasyonlu bant) ve Landsat-8

verisinin kullanıldığı sınıflandırma işleminde mtry değeri  $\sqrt{7}$ , kaynaştırılmış Sentinel-1 verisi (DD ve DY) ve Landsat-8 verisinin kullanıldığı sınıflandırma işleminde ise mtry değeri  $\sqrt{14}$  olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırmada, homojen piksel grupları ile işlem yapılan parsel-tabanlı yaklaşım kullanılmıştır. Parsel-tabanlı yaklaşımda piksellerin şekil, renk, doku, büyüklük, ilişki ve desen gibi belirli özelliklerine göre piksel grupları oluşturulup, işlemler bu piksel grupları üzerinden yapılmaktadır (Utgoff ve Brodley, 1990; Pal ve Mather, 2003; Rodriguez-Galiano vd. 2012). Bu çalışmada homojen piksel gruplarının tanımlanmasında ÇKS parsel sınırları verisi kullanılmıştır. Her bir parsel için, o parsel içine düşen sınıflandırılmış piksellerin frekans hesabı yapılmış ve frekansı en yüksek sınıfın etiketi parsel içindeki tüm piksellere atanmıştır. 1024 adet referans parsel verisinin yarısı (512 adet) eğitim verisi, yarısı da (512 adet) sınıflandırma doğruluğunun hesaplanması için test verisi olarak kullanılmıştır.

Buğday, Domates, Mısır, Mısır\_2, Pamuk, Üzüm, Yonca ve Zeytin sınıflandırma ile tespit edilecek ürünler (sınıflar) olarak belirlenmiştir. Görüntülerin ve ÇKS verilerinin analizleri neticesinde iki farklı türde mısır ürünü olduğu tespit edilmiş olup mısır iki farklı sınıfa (Mısır ve Mısır\_2) ayrılmıştır. Tanımlanan tarımsal ürünlere ilişkin eğitim ve test verileri parsel ve piksel sayıları Tablo 2' de verilmiştir. Sınıflandırma yedi (7) farklı görüntü seti ile yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Özellikle, kaynaştırılmış tek tarihli Sentinel-1 SAR ve Landsat-8 optik veri setinin sınıflandırma doğruluğuna etkisi değerlendirilmiştir. Sınıflandırma için kullanılan görüntü setleri şunlardır: i) Yalnız Sentinel-1 DD bandı, ii) Yalnız Sentinel-1 DY bandı, iii) Sentinel-1 DD ve DY bantları birlikte, iv) Yalnız Landsat-8 verisi, v) Kaynaştırılmış Sentinel-1 DD bandı ve Landsat-8 veri seti, vi) Kaynaştırılmış Sentinel-1 SAR DY bandı ve Landsat-8 veri seti, vii) Kaynaştırılmış Sentinel-1 DD+DY bantları ve Landsat-8 veri seti.

**Tablo 2.** Ürünlere ilişkin eğitim ve test verileri parsel ve piksel sayıları

Tarımsal Ürün	Eğitim Verisi (Parsel/Piksel)		Test Verisi (Parsel/Piksel)	
Buğday	94	37852	94	11473
Domates	26	12880	26	4399
Mısır	78	26636	78	10480
Mısır_2	25	7661	25	3628
Pamuk	28	15090	28	7020
Üzüm	202	33996	202	14398
Yonca	8	6027	8	563
Zeytin	51	27482	51	11670
<b>TOPLAM</b>	512	167624	512	63631
<b>GENEL TOPLAM</b>	1024 / 231255			

#### 4. Bulgular ve Yorumlar

Erdas Imagine yazılımında Ehlers görüntü kaynaştırma tekniği kullanılarak yapılan kaynaştırma işleminin RMSE ve ERGAS kalite metrikleri ile hesaplanan matematiksel başarı ölçüt değerleri Tablo 3' de verilmiştir. RMSE başarı ölçütüne göre metrik değerler, kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DD verisi için 25,238, kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DY verisi için 29,187 ve kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DD+DY verisi için 22,643 olarak hesaplanmıştır. RMSE kalite değerlendirici ölçütü etki alanı aralığının (domain interval) sıfır (0) ile sonsuz ( $\infty$ ) aralığında olması gerektiği düşünüldüğünde; kaynaştırılmış görüntülerin, çok bantlı görüntüye hesaplanan metrik değerler kadar yakın olduğu yorumu yapılabilir.

**Tablo 3.** Kaynaştırma ölçütü sonuçları metrik değerler

Kaynaştırılan Veri	RMSE	ERGAS
Etki Alanı Aralığı (Domain Interval)	[0, $\infty$ )	[0, $\infty$ )
Kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DD	25,238	6,551
Kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DY	29,187	6,599
Kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DD+DY	22,643	5,972

ERGAS kalite ölçümüne göre metrik değerler, kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DD verisi için 6.551, kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DY verisi için 6,599 ve kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DD+DY verisi için 5,972 olarak hesaplanmıştır. Kaynaştırma sonucu elde edilen metrik değerler etki alanı aralığının (domain interval) sıfır (0) ile sonsuz ( $\infty$ ) aralığında olması gerektiği kabul edilen ERGAS metrik değerlendirici yönteminde; kaynaştırılmış görüntülerin, çok bantlı görüntüye hesaplanan değerler kadar yakın olacağı bulgusuna ulaşılabilir. ERGAS metriği ile hesaplanan sayısal değerlerin, RMSE metriği ile hesaplanan sayısal değerlere göre sıfıra daha çok yakınsadığı Tablo 3' de açıkça görülmektedir. Bu durumun RMSE metriğinin kaynaştırmada kullanılan görüntülerin konumsal çözünürlüklerini dikkate almadığı, ERGAS metriğinin ise bu dezavantajı ortadan kaldırdığı gerçeğine bağlanmaktadır. Buna karşılık, ERGAS metriğinin de, kaynaştırılmış görüntü ile orijinal çok bantlı görüntü arasındaki korelasyonu hesaba katmadığı ERGAS kalite ölçütünün bir dezavantajı olarak görülebilir. Bu ve benzeri bazı eksikliklerinden dolayı kalite metrikleri her zaman güvenilir sonuçlar üretemeyebilmektedirler (Gungor, 2008). Bu çalışmada RMSE ile ERGAS yöntemleri kendi aralarında kıyaslandığında ERGAS yönteminin kaynaştırılmış görüntülerin başarısını ölçerken daha etkili bir araç olduğunun çıkarımı Tablo 3'ün yorumlanmasından anlaşılabilir.

Tablo 3'de yer alan RMSE ve ERGAS kalite ölçütleri ile hesaplanan metrik değerler incelendiğinde, görüntü kaynaştırma işlemi sonrasında konumsal detay kalitesi artırılırken, çok bantlı görüntünün renk içeriğinin korunduğu değerlendirilmektedir.

Sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizleri için hata matrisleri oluşturulmuştur. Sınıflandırma işlemi parsel tabanlı yapıldığından, doğruluk analizleri için 512 adet parsel manuel yöntemle seçilerek test verisi olarak kullanılmıştır. Test parselleri sayısının belirlenmesinde, Horning (2010), Liaw ve Wiener, (2002), Akar (2013) ve Rodriguez-Galiano vd. (2012) tarafından yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Hata matrislerinden genel doğruluk ve Kappa katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, her sınıf için üretici doğruluğu (ÜD) ve kullanıcı doğruluğu da (KD) hesaplanmıştır. Hata matrisinin her bir sütunu ayrı bir sınıfa karşılık gelirken, satırlar referans verilerin atandıkları sınıfları temsil etmektedir. Buna göre k tane sınıf için hata matrisi k satır ve k sütundan oluşur (Congalton, 1991; Campbell ve Wynne, 1996). Bu çalışmada k (sınıf sayısı) 8'dir. Eşitlik 4, 5, 6, 7 ve 8'de yer alan n, toplam referans veri örüntü sayısıdır.  $n_{ij}$ , referans veride j kategorisindeyken ( $j=1,2,\dots,k$ ) sınıflandırılmış veri içinde i sınıfına ( $i=1,2,\dots,k$ ) atanan örüntülerin sayısını gösterir. İ kategorisine atanan sınıflandırma verisindeki örüntü sayısı Eşitlik 4'de, j kategorisi için referans verideki örüntü sayısı Eşitlik 5'de gösterilmiştir. Genel doğruluk değeri Eşitlik 6'ya göre hesaplanmıştır.

$$n_{i+} = \sum_{j=1}^k n_{ij} \quad (4)$$

$$n_{+j} = \sum_{i=1}^k n_{ij} \quad (5)$$

$$\text{Genel doğruluk} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{\sum_{j=1}^k n_{+j}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad (6)$$

Her sınıf için üretici doğruluğu, doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategoriye ait sütun sayısına bölünmesi ile (Eşitlik 7) ve kullanıcı doğruluğu da doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategori için olan satır sayısına bölünmesi ile hesaplanmıştır (Eşitlik 8).

$$\text{Üretici Doğruluğu} = \frac{n_{jj}}{n_{+j}} \quad (7)$$

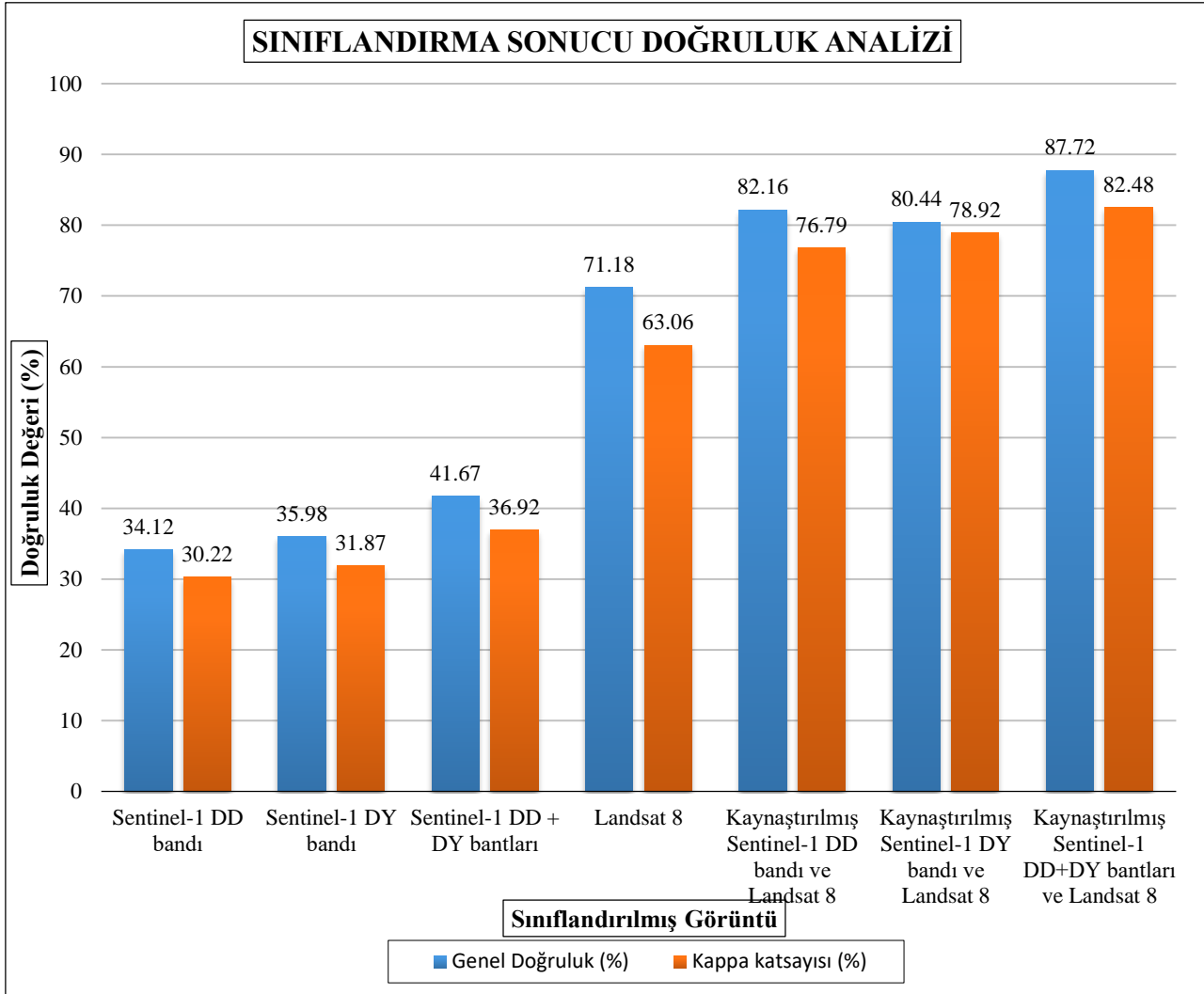
$$\text{Kullanıcı Doğruluğu} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad (8)$$

Doğruluk analizlerinde kullanılan bir diğer ölçüt, Kappa katsayısıdır (Congalton, 1991; Campbell ve Wynne, 1996). Kappa katsayısı, hata matrisindeki genel doğrulukla olasılıklı doğruluk arasındaki farka dayanır. Sınıflar arası doğrulukları da içerdiğinden genel doğruluk ölçütünden daha iyi bir ölçüdür. Kappa katsayısının hesaplanmasında Eşitlik 9 kullanılmıştır.

$$\text{Kappa katsayısı} (\kappa) = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ij} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} * x_{+j})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} * x_{+j})} \quad (9)$$

Eşitlik 9 da, N tüm kategorilerdeki örnek sınıf toplamını,  $\sum x_{ij}$  doğru sınıflandırılmış örnek sayısını,  $\sum (x_{i+} * x_{+j})$  ise her kategorideki hata matrisinin satır ve sütun toplamını ifade etmektedir.

Hesaplanan doğruluk değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4’de 2–8. sütunlar sınıflandırmada kullanılan veri setlerini göstermektedir. Örneğin, 2. sütün, yalnız Sentinel-1 DD bandı kullanılarak yapılan sınıflandırma sonucu elde edilen doğruluk değerlerini göstermektedir. Genel doğruluk ve Kappa katsayısı değerlerinin grafiksel karşılaştırması Şekil 6’da gösterilmiştir. Sınıflandırma sonucu elde edilen tematik haritalar Şekil 7 (a-g)’de gösterilmiştir.

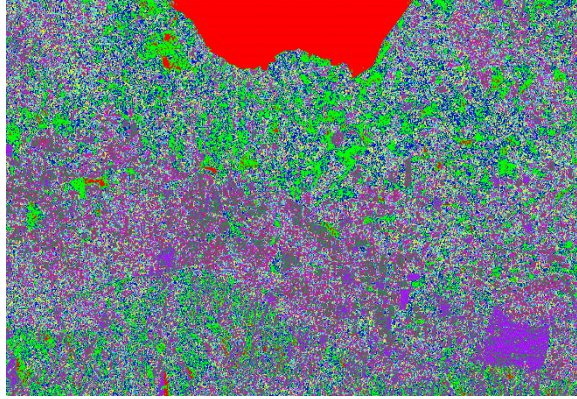


**Şekil 6.** Farklı veri setleri ile yapılan sınıflandırma sonucu elde edilen genel doğruluk ve kappa katsayısı değerlerinin grafiksel gösterimi

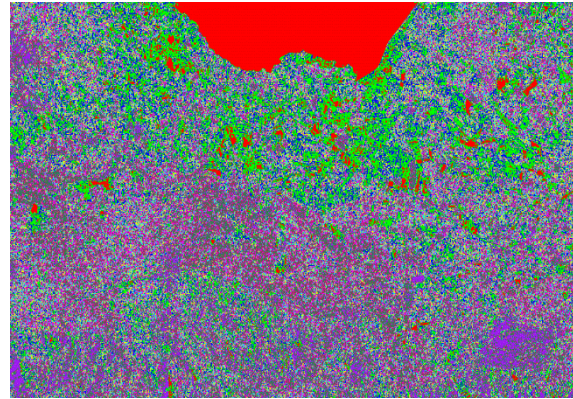


**Tablo 4.** Farklı veri setleri ile yapılan sınıflandırma sonucu hesaplanmış doğruluk değerleri (ÜD: üretici doğruluğu, KD: kullanıcı doğruluğu, genel doğruluk ve kappa katsayısı, DD: düşey düşey polarizasyon, DY: düşey yatay polarizasyon)

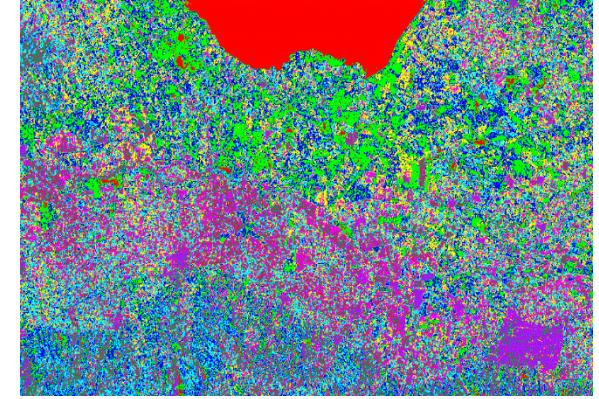
Tarımsal Ürün	Sentinel-1 DD bandı		Sentinel-1 DY bandı		Sentinel-1 DD + DY bantları		Landsat-8		Kaynaştırılmış Sentinel-1 DD bandı ve Landsat-8		Kaynaştırılmış Sentinel-1 DY bandı ve Landsat-8		Kaynaştırılmış Sentinel DD+DY bantları ve Landsat-8	
	ÜD (%)	KD (%)	ÜD (%)	KD (%)	ÜD (%)	KD (%)	ÜD (%)	KD (%)	ÜD (%)	KD (%)	ÜD (%)	KD (%)	ÜD (%)	KD (%)
<b>Buğday</b>	48,00	48,42	50,62	51,06	58,62	59,13	60,10	64,55	68,60	67,26	83,91	85,42	71,33	75,21
<b>Domates</b>	30,57	32,11	32,23	33,86	37,33	39,21	76,16	78,33	90,25	91,70	65,10	64,86	80,01	80,38
<b>Mısır</b>	36,76	42,59	38,76	44,91	44,89	52,01	66,28	72,73	88,29	87,28	80,88	77,68	72,24	74,27
<b>Mısır_2</b>	22,71	25,64	23,94	27,03	27,73	31,31	81,16	80,58	70,40	70,98	76,19	78,69	88,46	87,83
<b>Pamuk</b>	36,04	41,87	38,00	44,15	44,01	51,13	80,72	77,14	76,81	74,66	91,86	89,94	87,98	84,08
<b>Üzüm</b>	42,99	47,41	45,33	49,99	52,50	57,90	74,19	74,87	91,16	90,63	88,97	88,50	97,93	98,82
<b>Yonca</b>	41,51	39,79	43,78	41,96	50,70	48,60	76,12	77,76	74,14	70,35	85,40	82,33	94,38	96,42
<b>Zeytin</b>	25,52	29,65	26,91	31,27	31,17	36,21	71,63	73,90	77,58	75,58	58,09	62,67	94,55	97,54
<b>Genel Doğruluk</b>	34,12		35,98		41,67		71,18		82,16		80,44		87,72	
<b>Kappa Katsayısı</b>	30,22		31,87		36,92		63,06		76,79		78,92		82,48	



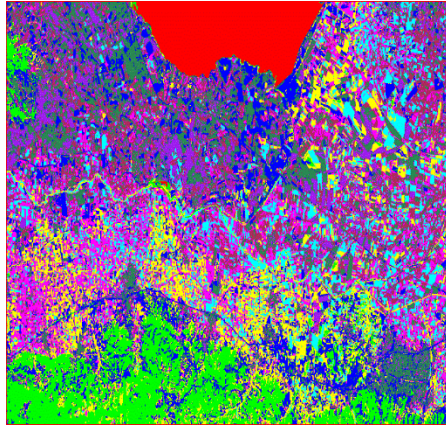
(a) Sentinel-1 DD bandı sınıflandırma sonucu



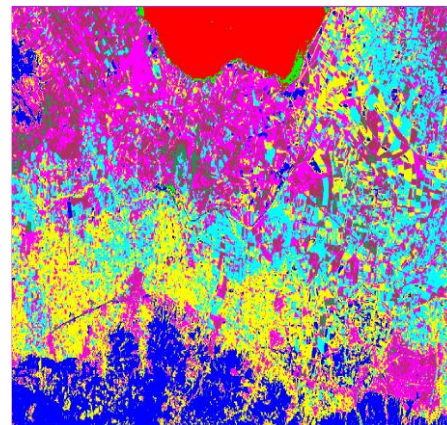
(b) Sentinel-1 DY bandı sınıflandırma sonucu



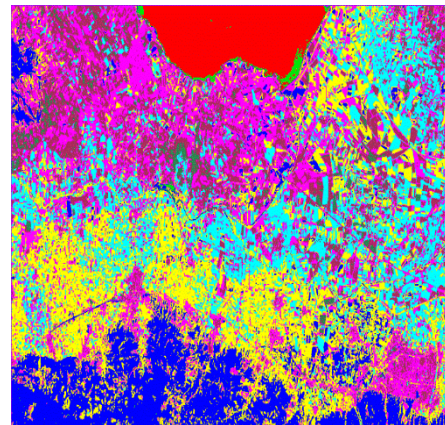
(c) Sentinel-1 DD+DY bantları sınıflandırma sonucu



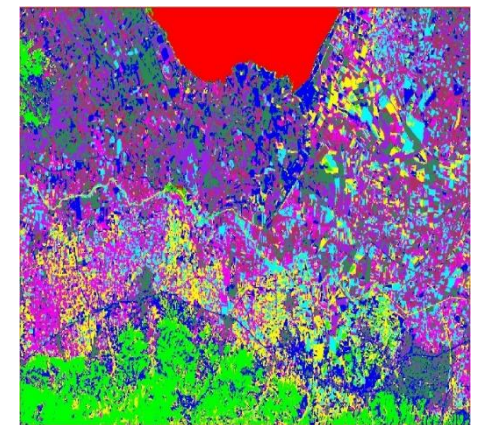
(d) Landsat-8 sınıflandırma sonucu



(e) Kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DD veri seti sınıflandırma sonucu



(f) Kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DY veri seti sınıflandırma sonucu



(g) Kaynaştırılmış Landsat-8 ve Sentinel-1 DD+DY veri seti sınıflandırma sonucu

Şekil 7. Farklı veri setleri ile gerçekleştirilen sınıflandırma sonucu elde edilen tematik haritalar

Tablo 4'de verilen doğruluk değerlerine göre, Sentinel-1 DD bandı kullanılarak yapılan sınıflandırma genel doğruluk değeri %34,12 ve Kappa katsayısı değeri %30,22 olarak hesaplanmıştır. Buğday için ÜD ve KD değerleri sırasıyla %48,00 ve %48,42 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, bu değerler sırasıyla domates için %30,57 ve %32,11; mısır için %36,76 ve %42,59; mısır\_2 için %22,71 ve %25,64; pamuk için %36,04 ve %41,87; üzüm için %42,99 ve %47,41; yonca için %41,51 ve %39,79; zeytin için %25,52 ve %29,65 olarak hesaplanmıştır. Mısır\_2, en düşük ÜD ve KD değerlerine sahip ürün olurken, buğday en yüksek doğruluk değerlerini sağlayan ürün olmuştur.

Sentinel-1 DY bandı kullanılarak yapılan sınıflandırma genel doğruluk değeri %35,98 ve Kappa katsayısı değeri %31,87 olarak hesaplanmıştır. Buğday için ÜD ve KD değerleri sırasıyla %50,62 ve %51,06 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, bu değerler sırasıyla domates için %32,23 ve %33,86; mısır için %38,76 ve %44,91; mısır\_2 için %23,94 ve %27,03; pamuk için %38,00 ve %44,15; üzüm için %45,33 ve %49,99; yonca için %43,78 ve %41,96; zeytin için %26,91 ve %31,27 olarak hesaplanmıştır. Bu veri seti ile yapılan sınıflandırmada da Mısır\_2 en düşük ÜD ve KD değerlerine sahip ürün olurken, buğday en yüksek doğruluk değerlerini sağlayan ürün olmuştur.

Sentinel-1 DD ve DY bantları ayrı ayrı kullanılarak yapılan sınıflandırma sonucu hesaplanan ÜD, KD, genel doğruluk ve Kappa katsayısı değerleri genel olarak %50 ve altında kalmıştır. Bu durum sınıflandırmada kullanılan verinin tek bantlı ve pankromatik veri olması ve sınıflandırma doğruluğuna önemli derecede etki eden bant sayısı ve renk faktörünün düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Hesaplanan doğruluk değerlerine dayanarak, sınıflandırmada yalnız Sentinel-1 DD veya DY bantlarından birisinin kullanılması halinde bu çalışma alanında ekilen ürünlerin güvenilir şekilde tespit edilemeyeceği değerlendirilmektedir.

Sentinel-1 DD ve DY bantları ile yapılan sınıflandırma sonuçları genel doğruluk değerleri karşılaştırıldığında, DY bandının DD bandına göre yaklaşık %1,86 daha iyi performans sağladığı görülmektedir. Benzer şekilde Kappa katsayısı değerleri karşılaştırıldığında, DY bandının DD bandına göre bir miktar daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Sentinel-1 DD ve DY bantların sınıflandırmada birlikte kullanılmasıyla genel doğruluk değeri %41,67 ve Kappa katsayısı değeri %36,92 olarak hesaplanmıştır. Bu veri seti ile yapılan sınıflandırmada ürün bazında üretici ve kullanıcı doğruluk değerleri sırasıyla şu şekildedir: Buğday için %58,62 ve %59,13; domates için %37,33 ve %39,21; mısır için %44,89 ve %52,01; mısır\_2 için %27,73 ve %31,31; pamuk için %44,01 ve %51,13; üzüm için %52,50 ve %57,90; yonca için %50,70 ve %48,60; zeytin için %31,17 ve %36,21.

Sentinel-1 DD ve DY bantların sınıflandırmada birlikte kullanılması, bu bantların tek kullanılmalarına göre yaklaşık %5 daha iyi sonuç üretmiştir. Bu bulgular, bu çalışmada sınıflandırmaya dâhil edilen bant sayısında artış olduğunda, sınıflandırma sonuçlarında da doğru orantılı olarak artış olduğu genellemesini doğrulamaktadır.

Sınıflandırmada Landsat-8 verisinin tek başına kullanılması ile %71,18 genel doğruluk ve %63,06 Kappa katsayısı değerlerine ulaşılmıştır. Ürün bazında doğruluklar değerlendirildiğinde, buğday için hesaplanan ÜD (%60,10) ve KD (%64,55) değerleri beklenenden düşük çıkmıştır. Diğer ürünler için hesaplanan ÜD ve KD değerleri şu şekildedir: Domates için %76,16 ve %78,33; mısır için %66,28 ve %72,73; mısır\_2 için %81,16 ve %80,58; pamuk için %80,72 ve %77,14; üzüm için %74,19 ve %74,87; yonca için %76,12 ve %77,76 ve zeytin için %71,63 ve %73,90 olarak hesaplanmıştır. Sentinel-1 SAR verisine (DD, DY ve DD+DY) göre Landsat-8 genel doğrulukta %37 oranına kadar daha yüksek performans sağlamıştır. Kappa katsayısı için değerlendirildiğinde, Landsat-8 lehine doğruluk artışı %33 mertebesinde. Ürün bazında ÜD ve KD değerleri de Sentinel-1 SAR verisi ile sınıflandırmaya göre yaklaşık %30 civarında daha yüksektir. Landsat-8 optik bantları konumsal çözünürlüğü 30 m, Sentinel-1 DD ve/veya DY bantların konumsal çözünürlüğü 10 m olmasına rağmen, Landsat-8 ile yapılan sınıflandırma doğruluğu, Sentinel-1 ile yapılan sınıflandırma doğruluğuna göre önemli oranda daha yüksek çıkmıştır. Bulgular değerlendirildiğinde, en azından bu çalışma alanındaki ürün türlerinin tespitinde, daha yüksek konumsal çözünürlüklü Sentinel-1 SAR verisi yerine daha düşük konumsal çözünürlüklü çok bantlı Landsat-8 optik veri tercih edilmelidir. Ayrıca, piksel veya nesnelerin (bu çalışma için tarımsal parseller) renk etkisinin, piksellerin yeryüzünde kapladığı büyüklük (konumsal çözünürlük) faktörüne göre daha önemli bir parametre olduğunu elde edilen bulgular göstermiştir (Tablo 4).

Kaynaştırılmış Sentinel-1 DD bandı ve Landsat-8 veri seti ile yapılan sınıflandırma neticesinde genel doğruluk değeri %82,16 ve Kappa katsayısı değeri %76,79 olarak hesaplanmıştır. Ürün bazında hesaplanan ÜD ve KD değerleri sırasıyla şu şekildedir: Buğday için %68,60 ve %67,26; domates için %90,25 ve %91,70; mısır için %88,29 ve %87,28; mısır\_2 için %70,40 ve %70,98; pamuk için %76,81 ve %74,66; üzüm için %91,16 ve %90,63; yonca için %74,14 ve %70,35 ve zeytin için %77,58 ve %75,58. Yalnız Landsat-8 verisi veya yalnız Sentinel-1 DD bandı ile yapılan sınıflandırma sonucuna göre kaynaştırılmış Sentinel-1 DD bandı ve Landsat-8 veri seti ile yapılan sınıflandırmada önemli oranda performans artışı olmuştur (Tablo 4 ve Şekil 6).

Kaynaştırılmış Sentinel-1 DY bandı ve Landsat-8 veri seti ile yapılan sınıflandırmanın genel doğruluk değeri %80,44 ve Kappa katsayısı değeri %78,92 olarak hesaplanmıştır. Ürünler için hesaplanan ÜD ve KD değerleri sırasıyla şu şekildedir: Buğday için %83,91 ve %85,42; domates için %65,10 ve %64,86; mısır için %80,88 ve %77,68; mısır\_2 için %76,19 ve %78,69; pamuk için %91,86 ve %89,94; üzüm için %88,97 ve %88,50; yonca için %85,40 ve %82,33 ve zeytin için %58,09 ve %62,67.

Kaynaştırılmış Sentinel-1 DY bandı ve Landsat-8 veri seti ile sınıflandırma, yalnız Landsat-8 verisi ya da yalnız Sentinel-1 verisi ile sınıflandırmaya göre belirgin oranda daha yüksek performans sağlamıştır (Tablo 4 ve Şekil 6).

Kaynaştırılmış Sentinel-1 DD ve DY bantları ile Landsat-8 veri seti kullanılarak yapılan sınıflandırmada genel doğruluk değeri %87,72 ve Kappa katsayısı değeri %82,48 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, değerlendiriciler arasındaki uyum ele alındığında,  $\kappa < 0$  hiç uyum olmadığını,  $0 \leq \kappa \leq 0.20$  çok düşük bir uyum olduğunu,  $0.21 \leq \kappa \leq 0.40$  düşük bir uyum olduğunu,  $0.61 \leq \kappa \leq 0.80$  yüksek bir uyum olduğunu ve  $0.81 \leq \kappa \leq 1.00$  hemen hemen mükemmel bir uyum olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, 0.70'den daha büyük bir Kappa katsayısı için değerlendiriciler arasındaki uyumun yeterli olduğu da söylenebilir (Cohen, 1960). Cohen, (1960)'a göre bu değerler oldukça başarılı sonuçlar olarak kabul görmektedir. Bu veri seti ile elde edilen genel doğruluk ve Kappa katsayısı değerleri bu çalışmada elde edilen en başarılı sonuçlardır. Ürün bazında hesaplanan ÜD ve KD değerleri sırasıyla şu şekildedir: Buğday için %71,33 ve %75,21; domates için %80,01 ve %80,38; mısır için %72,24 ve %74,27; mısır\_2 için %88,46 ve %87,83; pamuk için %87,98 ve %84,08; üzüm için %97,93 ve %98,82; yonca için %94,38 ve %96,42 ve zeytin için %94,55 ve %97,54.

ÜD ve KD değerleri değerlendirildiğinde (Tablo 4), tüm ürünler için en yüksek ÜD ve KD değerlerinin kaynaştırılmış Sentinel-1 DD+DY bantları ve Landsat-8 veri seti ile yapılan sınıflandırmadan elde edilmediği görülmüştür. Örneğin, buğdaya ait en yüksek ÜD ve KD değerleri (%83,91 ve %85,42) kaynaştırılmış Sentinel-1 DY bandı ve Landsat-8 veri seti ile yapılan sınıflandırmayla elde edilmiştir. Pamuk için de hesaplanan en yüksek ÜD ve KD değerlerini (%91,86 ve %89,94) kaynaştırılmış Sentinel-1 DY bandı ve Landsat-8 veri seti sağlamıştır. Diğer taraftan, domates ve mısır için en yüksek ÜD ve KD değerlerini kaynaştırılmış Sentinel-1 DD bandı ve Landsat-8 veri seti sağlamıştır. Çalışmada sınıflandırılan ürünlerin yarısı için (Mısır\_2, Üzüm, Yonca ve Zeytin) en yüksek ÜD ve KD değerleri kaynaştırılmış Sentinel-1 DD+DY bantları ve Landsat-8 veri seti ile yapılan sınıflandırmada elde edilmiştir (Tablo 4).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde yapılan sınıflandırma işlemi değerlendirildiğinde, çok bantlı görüntünün spektral çözünürlük artışına göre daha az olmakla birlikte, konumsal çözünürlük artışının sınıflandırma sonucu elde edilen doğruluk sonuçlarına pozitif yönde katkı sağladığı yorumlanmaktadır. Çünkü kaynaştırılmış Sentinel-1 DD ve DY bantları ve Landsat-8 veri setinin çoklu bantlı olmasının yanı sıra 10 m konumsal çözünürlüğe sahip olmasının sınıflandırma sonuçlarına olumlu etkisi olmuştur. Yalnız 30 m konumsal çözünürlüklü Landsat 8 verisi ile yapılan sınıflandırma sonucu veya yalnız 10 m çözünürlüklü pankromatik SAR DD ve/veya DY bantları ile yapılan sınıflandırma sonucu bu bulgunun doğruluğunu göstermektedir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, kaynaştırılmış tek tarihe ait Sentinel-1 SAR ve Landsat-8 verilerinin, tarımsal yaz ürünlerinin (buğday, domates, mısır, pamuk, üzüm, yonca ve zeytin) tespitine yönelik olarak, RO makine öğrenme algoritması ile sınıflandırma performansına olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, orijinal Sentinel-1 DD veya DY polarizasyonlu bantlar ile yapılan sınıflandırma işleminde genel doğruluk değeri en yüksek %35.98 olurken, orijinal Sentinel-1 DD ve DY bantların her ikisinin de kullanılması genel doğruluk değerini ancak %41.67'ye kadar yükseltmiştir. Dolayısıyla, tek tarihli orijinal Sentinel-1 SAR DD ve/veya DY verisi, en azından bu çalışma alanında, tarımsal yaz ürünleri tespiti için yeterli değildir. Sınıflandırmada tek tarihli orijinal Landsat-8 verisi 30 m çözünürlüklü bantlar (Kıyı Aerosol, Mavi, Yeşil, Kırmızı, Yakın Kızılötesi, Kısa Dalga Kızılötesi 1 ve Kısa Dalga Kızılötesi 2 - Tablo 1) kullanıldığında, %71.18 genel doğruluk değerine ulaşılmıştır. Cohen (1960)'a göre bu oran makul sonuç olarak kabul görmektedir. Sentinel-1 SAR verisine göre yaklaşık iki kat daha iyi performans gösteren Landsat-8 verisi tek tarihli görüntü sınıflandırma işleminde çok bantlı optik görüntü kullanımının önemini göstermiştir.

Landsat-8 ile kaynaştırılmış Sentinel-1 DD ve DY verileri yığını ile yapılan sınıflandırmanın genel doğruluğu %87.72 ve Kappa katsayısı %82.48 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler bu çalışmada kullanılan süreç ve tekniğin başarılı olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, farklı girdi verilerin diğer kombinasyonları ile karşılaştırıldığında, bu çalışma için en yüksek sınıflandırma doğruluğu olarak elde edilmiştir. Orijinal pankromatik Sentinel-1 SAR verisi tek başına kullanıldığında düşük doğruluk verdiği, ancak optik bir görüntü ile birleştirilip birlikte kullanıldığında oldukça tatmin edici sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada SAR ve optik verileri bir arada daha etkin kullanabilmek için, SAR görüntülerine yeniden ölçeklendirme (rescale) işlemi uygulanmıştır. Yeniden ölçeklendirme işlemindeki amaç, SAR görüntüsü ile çok bantlı optik veri setini aynı radyometrik aralığa getirmek ve sonrasında aynı radyometrik aralıktaki pankromatik ve çok bantlı veri setini kaynaştırarak sınıflandırma işlemi yapmaktır. Yeniden ölçeklendirme işleminin görüntü kaynaştırma işlemine olumlu katkı sağladığı ve sınıflandırma doğruluğunu artırdığı değerlendirilmektedir.

Görüntü kaynaştırma işleminin başarısını ölçmek amacıyla ERGAS ve RMSE kalite ölçütleri ile metrik kalite değerleri hesaplanmıştır. Hem elde edilen metrik değerler (Tablo 3) hem de görsel analizler, görüntü kaynaştırma işlemi sonrasında konumsal detay kalitesinin arttığını ve çok bantlı görüntünün renk içeriğinin korunduğunu göstermektedir.

Ücretsiz temin edilebilen Sentinel-1 SAR ve Landsat-8 optik görüntülerin sahip oldukları sırasıyla yüksek konumsal çözünürlük ve çok bantlı özellik etkilerini bir arada kullanıma sunması ve belirli büyüklükteki tarım parsellerinin bulunduğu bölgelerdeki tarımsal uygulamalar için yeterli olması, bu verileri tarımsal ürün tespiti için çok değerli hale getirmiştir. Referans verileri elde etmek için araziye gidilip gerekli bilgiler toplanmalı veya araziden toplanan bilginin yerine geçebilecek tarım parselleri bilgisine (örn., parsel sınırları, ekili ürün isimleri vd.) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, ÇKS verilerinin sınıflandırmada arazi gerçeği verileri olarak kullanılabilmesi için mutlak suretle birtakım düzenleme işlemlerinden ve analizlerden geçirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Bu çalışmada referans veri olarak kullanılan ÇKS verileri çiftçilerin sözlü beyanlarına göre hazırlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, bazı öznitelik bilgileri (örn., ekili alan yüzölçümü, ekili ürün adı, toplam parsel alanı ile ekili alan arasındaki fark, vb.) eksik veya hatalı olan ÇKS parsellerin önerilen yöntemle otomatik olarak tespit edilebileceği ve olası hataların giderilebileceği sonucuna varılmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan ÇKS verilerinin temin edildiği T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'na çok teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Adrian, J., Vasit Sagan, V., & Maimaitijiang, M. (2021). Sentinel SAR-optical fusion for crop type mapping using deep learning and Google Earth Engine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 175(2021), 215-235. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2021.02.018.
- Akar, Ö. (2013). *Rastgele orman sınıflandırıcısına doku özellikleri entegre edilerek benzer spektral özellikteki tarımsal ürünlerin sınıflandırılması (Doktora tezi)*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Alparone, L., Alazzi, B., Baronti, S., Garzelli, A., Nencini, F. & Selva, M. (2008). Multispectral and panchromatic data fusion assessment without reference. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(2), 193-200.
- Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A., & Nencini, F. (2004). A global quality measurement of pan-sharpened multispectral imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1(4), 313-317. doi: 10.1109/LGRS.2004.836784.
- ArcGIS User Guide. (2021, Nisan 22). *ArcGIS Desktop User Guide Documentation*, Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/documentation/>
- Archer, K. J., & Kimes, R. V. (2008). Empirical characterization of random forest variable importance measure. *Computational Statistics & Data Analysis*, 52(4), 2249-2260. doi: 10.1016/j.csda.2007.08.015.
- Breiman, L. (2001). Random forests, *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Breiman, L. (2003). Manual setting up, using, and understanding random forests. *RColorBrewer MASS*, 4(0), 1-33.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone C. J., (1984). *Classification and Regression Trees*. Boca Raton, Chapman & Hall/CRC Press.
- Brisco, B., & Brown, R. J. (1995). Multidate SAR/TM synergism for crop classification in Western Canada. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(8), 1009-1014.
- Bush, T. F., & Ulaby, F. T. (1978). An evaluation of radar as a crop classifier. *Remote Sensing of Environment*, 7(1), 15-36.
- Campbell, J.B., Wynne, R.H. (1996). *Introduction to Remote Sensing*. New York, London, Guilford Press.
- Cao, J., Cai, X., Tan, J., Cui, Y., Xie, H., Liu, F., Yang, L., & Luo, Y. (2020). Mapping paddy rice using Landsat time series data in the Ganfu Plain irrigation system, Southern China, from 1988-2017. *International Journal of Remote Sensing*, 42(4), 1556-1576. doi: 10.1080/01431161.2020.1841321.
- Chen, S., Useya, J., & Hillary Mugiyu, H. (2020). Decision-level fusion of Sentinel-1 SAR and Landsat 8 OLI texture features for crop discrimination and classification: case of Masvingo, Zimbabwe. *Heliyon*, 6(11), 1-14.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46.
- Congalton, R. G., Green, K. (2008). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices*. Boca Raton, CRC Press.
- Copernicus. (2021, Mart 30). *Copernicus Open Access Hub*. Retrieved from <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- Csillik, O., & Belgiu, M. (2017, May). Cropland mapping from Sentinel-2 time series data using object-based image analysis. In *Proceedings of the 20th AGILE International Conference on Geographic Information Science Societal Geo-Innovation Celebrating, Wageningen, The Netherlands* (pp. 9-12).
- Dammavalam, S. R., Maddala, S., & Mhm, K. P. (2012). Quality assessment of pixel-level image fusion using fuzzy logic. *International Journal on Soft Computing*, 3(1), 11-23. doi:10.5121/ijsc.2012.3102.

- Dimov, D., Kuhn, J., & Conrad, C. (2016, July). Assessment of cropping system diversity in the fergana valley through image fusion of Landsat 8 and Sentinel-1. In *23rd ISPRS Congress*, 2016. (pp.173-180). XXIII ISPRS.
- EarthExplorer. (2021, Mart 30). *USGS Earth Explorer*. Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov>
- Erdas Imagine User Guide. (2021, Nisan 22). *Hexagon Erdas Imagine User Guide*, Retrieved from <https://www.hexagongeospatial.com/>
- ESA Copernicus Open Access Hub. (2021, Mart 30). *Overview, Sentinel-1 Data Offer*, Retrieved from <https://scihub.copernicus.eu/userguide/>
- Filippini, F. (2019). Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 18(1), 11-15. doi:10.3390/ECRS-3-06201.
- Foody, G. M., M. B. McCulloch, M. B., & W. B. Yates, W.B. (1994). Crop classification from C-band polarimetric radar data. *International Journal of Remote Sensing*, 15(14), 2871-2885. doi: 10.1080/01431169408954289.
- Forget, Y., Shimoni, M., Gilbert, M., & Linard, C. (2018). Complementarity between Sentinel-1 and Landsat 8 imagery for built-up mapping in Sub-Saharan Africa. *Preprints*, doi: 10.20944/preprints201810.0695.v1.
- Gumma, M. K., Nelson, A., Thenkabail, P. S., & Singh, A. N. (2011). Mapping rice areas of South Asia using MODIS multitemporal data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 5(1), 1-26. doi: 10.1117/1.3619838.
- Gungor, O. (2008). *Multi sensor multi resolution image fusion (Doctoral dissertation)*, Purdue University, USA.
- Horning, N. (2010, December). Random forests: An algorithm for image classification and generation of continuous fields data sets. In *International Conference on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*, 2010. Proceedings. GIS-IDEAS.
- Hütt, C., Koppe, W., Miao, Y., & Bareth, G. (2016). Best accuracy land use/land cover (LULC) classification to derive crop types using multitemporal, multisensor, and multi-polarization SAR satellite images. *Remote Sensing*, 8(8), 684-698. doi:10.3390/rs8080684.
- Klonus, S., & Ehlers, M. (2009, July). Performance of evaluation methods in image fusion. In *2009 12th International Conference on Information Fusion* (pp. 1409-1416). IEEE.
- Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A. (2017, May). Deep learning classification of land cover and crop types using remote sensing data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(5), 778-782. doi: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
- Lee, J.S., Jurkevich, I., Dewaele, P., Wambacq, P., & Oosterlinck, A. (1994). Speckle filtering of synthetic aperture radar images: A review. *Remote Sensing Reviews*, 8(4), 313-340. doi: 10.1080/02757259409532206.
- Lemoine, G., & Leo, O. (2015, November). Crop mapping applications at scale: Using google earth engine to enable global crop area and status monitoring using free and open data sources. In *International Geoscience and Remote Sensing Symposium, (IGARSS)* (pp. 1496-1499). IEEE. doi: 10.1109/IGARSS.2015.7326063.
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by random forest. *R News*, 2(3), 18-22.
- Liu, M.W., Ozdogan, M., & Zhu, X. (2014). Crop type classification by simultaneous use of satellite images of different resolutions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(6), 3637-3649. doi: 10.1109/TGRS.2013.2274431.
- Lussem, U., Hütt, C., & Waldhoff, G. (2016, July). Combined analysis of Sentinel-1 and Rapid Eye data for improved crop type classification: An early season approach for rapeseed and cereals. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41(2016), 959-963. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B8-959-2016.
- Mather, P., & Tso, B. (2009). *Classification methods for remotely sensed data*. BW: CRC Press.
- MathWorks. (2021, Mayıs 8). *MathWorks Makers of MATLAB and Simulink*. Retrieved from <https://www.mathworks.com/>
- McNairn H., & Shang J. (2016). A Review of multitemporal synthetic aperture radar (SAR) for crop monitoring. In Ban, Y. (Eds.) *Multitemporal remote sensing. Remote sensing and digital image processing* (Vol. 20, pp. 217-340). Canada, Ottawa, ON: Springer Press.
- McNairn, H., & Shang, J. (2016). A review of multitemporal synthetic aperture radar (SAR) for crop monitoring. *Multitemporal remote sensing*, 317-340.
- McNairn, H., & Shang, J. (2016). A review of multitemporal synthetic aperture radar (SAR) for crop monitoring. *Multitemporal remote sensing*, 20(2016), 317-340.
- Nasirzadehdzaji, R., Sanli, F. B., Cakir, Z., & Sertel, E. (2019, July). Crop mapping improvement by combination of optical and SAR datasets. In *2019 8th International Conference on Agro Geoinformatics*, (pp. 1-6). IEEE. doi: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820604.
- Nuthammachot, N., & Stratoulas, D. (2019). Fusion of Sentinel-1A and Landsat-8 images for improving land use/land cover classification in Songkla Province, Thailand. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 3123-3135. doi: 10.15666/aeer/1702\_31233135.

- Otukei, J. R., Blaschke, T., & Collins, M. (2015). Fusion of TerraSAR-x and Landsat ETM+ data for protected area mapping in Uganda. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38(2015), 99-104. doi: 10.1016/j.jag.2014.12.012.
- Ozdarici A. & Turker, M. (2006, July). Field-based classification of agricultural crops using multi-scale images, *Proceedings of the 1st International Conference on Object-based Image Analysis*, 2006. (pp. 1-7). OBIA'06.
- Pal, M. (2005a, February). Multiclass approaches for support vector machine based land cover classification, *In Proceedings of Map India, 8th Annual International Conference and Exhibition in the Field of GIS, GPS, Aerial Photography and Remote Sensing*, 2005.
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 217-222. doi: 10.1080/01431160412331269698.
- Pal, M., & Mather, P. M. (2003). An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing of Environment*, 86(4), 554-565. doi:10.1016/S0034-4257(03)00132-9.
- Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67(2012), 93-104. doi:10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002.
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote sensing: Models and methods for image processing*. AP: Elsevier Press.
- Siachalou, S., Mallinis, G., & Tsakiri-Strati, M. (2015). A hidden markov models approach for crop classification: Linking crop phenology to time series of multisensor remote sensing data. *Remote Sensing*, 7(4), 3633-3650. doi:10.3390/rs70403633.
- Skriver, H. (2012). Crop classification by multitemporal C- and L-band single- and dual polarization and fully polarimetric SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(6), 2138-2149. doi: 10.1109/TGRS.2011.2172994.
- Sonobe, R., Tani, H., Wang, X., Kobayashi, N., & Shimamura, H. (2014). Random forest classification of crop type using multi-temporal TerraSAR-X dual-polarimetric data. *Remote Sensing Letters*, 5(2), 157-164. doi: 10.1080/2150704X.2014.889863.
- Suwarsono, N., Prasasti, I., Nugroho, J. T., Sitorus, J., & Triyono, D. (2018). Detecting the lava flow deposits from 2018 anak Krakatau eruption using data fusion Landsat-8 optic and Sentinel-1 SAR. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 15(2), 157-166. doi: 10.30536/j.ijreses.2018.v15.a3078.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021, Mart 30). *T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Anasayfası*, Retrieved from <https://www.tarimorman.gov.tr/>
- Thenkabail, P. S., Hanjra, M. A., Dheeravath, V., & Gumma, M. (2010). A holistic view of global croplands and their water use for ensuring global food security in the 21st century through advanced remote sensing and non-remote sensing approaches. *Remote Sensing*, 2(1), 211-261. doi: 10.3390/rs2010211.
- Thenkabail, P. S., Hanjra, M. A., Dheeravath, V., & Gumma, M. (2011). Global croplands and their water use remote sensing and non-remote sensing perspectives. Weng Q (Ed.), *Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Applications*, (pp. 383-419). Florida, CRC Press.
- Turker M., & Arikan, M. (2005). Sequential masking classification of multi-temporal Landsat7 ETM+ images for field-based crop mapping in Karacabey, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 26(17), 3813-3830. doi: 10.1080/01431160500166391.
- Utgoff, P. E., & Brodley, C. E. (1990). An incremental method for finding multivariate splits for decision trees. In *Machine Learning Proceedings 1990*, (pp. 58-65), Morgan Kaufmann.
- Van Niel, T. G., & McVicar, T. R. (2004). Determining temporal windows for crop discrimination with remote sensing: A case study in south-eastern Australia. *Computers and Electronics in Agriculture*, 45(1-3), 91-108. doi:10.1016/j.compag.2004.06.003.
- Viskovic, L., Kosovic, I. N., & Mastelic, T. (2019, September). Crop classification using multi-spectral and multitemporal satellite imagery with machine learning. In *2019 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)* (pp. 1-5). IEEE. doi: 10.23919/SOFTCOM.2019.8903738
- Witharana, C., Civco, D. L., & Meyer, T. H. (2013). Evaluation of pansharpening algorithms in support of earth observation based rapid-mapping workflows. *Applied Geography*, 37(2013), 63-87. doi: 10.1016/j.apgeog.2012.10.008.
- Yılmaz, V., & Güngör, O. (2013, Mayıs). Görüntü kaynaştırma yöntemlerinde performans analizi. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu*, 2013. TUFUAB'2013.
- Zhan, X., Sohlberg, R., Townshend, J., Dimiceli, C., Carroll, M., Eastman, J., Hansen, M. C., & DeFries, R. S. (2002). Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 336-350. doi: 10.1016/S0034-4257(02)00081-0.
- Zhang, H., & Xu, R. (2018). Exploring the optimal integration levels between SAR and optical data for better urban land cover mapping in the Pearl River Delta. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64(2018), 87-95. doi: 10.1016/j.jag.2017.08.013.

## 2019 İzmir Karabağlar İlçesi Orman Yangın Alanının Uydu Görüntüleri İle Analizi

### Analysis of The Burned Areas of 2019 Izmir Karabaglar Forest Fire with Use of Satellite Images

Fatma Betül Özdemir<sup>1\*</sup>, Nusret Demir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzak Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, 07058, Antalya/Türkiye.

#### ARAŞTIRMA MAKALESİ

##### \*Sorumlu yazar:

Fatma Betül Özdemir  
fad\_bet@windowlive.com

doi: 10.48123/rsgis.1009319

##### Yayın süreci

Geliş tarihi: 16.10.2021  
Kabul tarihi: 09.12.2021  
Basım tarihi: 14.03.2021

#### Özet

Orman yangınları dünyada sıkça rastlanan bir doğal afettir. Orman yangınları sonrası yanan alanların belirlenmesinde uzaktan algılama teknolojileri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada 18 Ağustos 2019 tarihinde İzmir ili Karabağlar ilçesinde meydana gelen ve 53 saat süren orman yangını incelenmiştir. Multispektral görüntüler (MSI) ve Yapay Açıklıklı Radar (SAR) veri setlerine (Landsat 8, Sentinel 2 ve Sentinel 1A) uzaktan algılama teknikleri uygulanmıştır. Çalışma bölgesine ait orman yangını öncesi sırasıyla Landsat 8 ve Sentinel 2 için 16 ve 11 Ağustos 2019 ve orman yangını sonrası 23 ve 21 Ağustos 2019 tarihli görüntüler kullanılmıştır. Alana ait yangın risk modeli oluşturulmuş, ilaveten; bitki sağlığı izleme ve yanan alan tespiti için geliştirilen indeksler kullanılarak tahrip olmuş alanlar tespit edilmiştir. dNBR (Fark Normalize Yanma İndeksi) ve dNDVI (Fark Normalize Bitki İndeksi) indeksleri kullanılarak, kontrolsüz sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Sınıflandırılan görüntülerin alanları hesaplanarak doğruluk analizleri yapılmış ve Ekoloji Birliği verileriyle karşılaştırılmıştır. Yanan alan, elle oluşturulan vektör veri ile karşılaştırılmış Sentinel MSI verileriyle hesaplanan dNDVI ve dNBR indekslerinde sırasıyla % 99,96 ve % 99,95 doğrulukla hesaplanmıştır. Google Earth Engine platformuyla Sentinel 1 SAR görüntüleri; Sentinel 2 uydusuna ait dNDVI ve dNBR indeksleri üzerinde sınıflandırılan alanlara göre maskelenmiştir. Maskelenen alanlardan elde edilen saçılma değerleri istatistiksel olarak hesaplanarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Uzaktan algılama, Uydu görüntüsü, Orman yangını, Değişim tespiti

#### Abstract

Forest fires are a common natural disaster in the world. Remote sensing technologies are frequently used in the extraction of the burned areas after forest fires. In this study, the forest fire that occurred in Karabağlar district of İzmir province on August 18, 2019, and which lasted for 53 hours was examined. Remote sensing techniques have been applied to multispectral images (MSI) and Synthetic Aperture Radar (SAR) datasets (Landsat 8, Sentinel 2, and Sentinel 1A) from the dates of pre-fire and post-fire periods of each dataset. Additionally, the fire risk model was calculated. Burned areas were extracted by using two indices of vegetation which are NDVI and NBR. The unsupervised classification was applied on the dNBR (Difference Normalized Combustion Index) and dNDVI (Difference Normalized Plant Index) indices images. Accuracy analyzes were made by calculating the areas of the classified images and compared with the Ecology Union data. The burned area was calculated with 99.96% and 99.95% accuracy, respectively. Sentinel 1 SAR images with Google Earth Engine platform; it is masked according to the classified areas on the dNDVI and dNBR indices of the Sentinel 2 satellite. The scattering values obtained from the masked areas were calculated statistically and the results obtained were discussed.

**Keywords:** Remote sensing, Satellite image, Forest fire, Change detection



## 1. Giriş

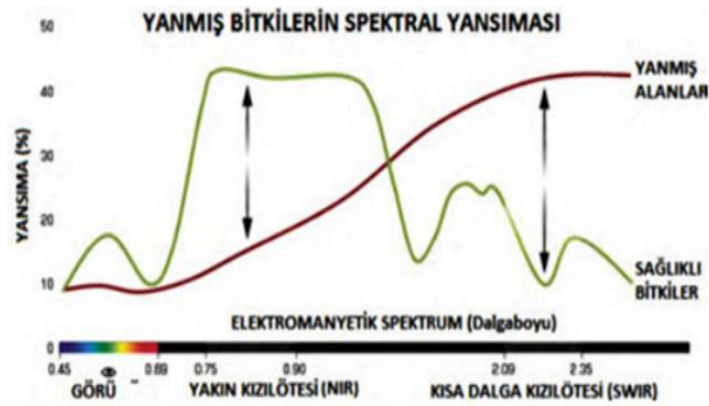
Akdeniz bölgesi, ülkemizde yangın riskinin en yüksek olduğu bölgelerden biridir. Son yıllarda gerçekleştirilmiş olan orman istatistik çalışmalarına göre Türkiye'nin orman varlığı 22,3 milyon ha olup, bu ormanlık alanların %35'i birinci, %23'ü ikinci, %22'si üçüncü, %15'i dördüncü ve %5'i ise beşinci derecede yangına hassas bölgelerde yer almaktadır (Sabuncu ve Özener, 2019). Türkiye'de, Hatay'dan başlayıp İstanbul'a kadar uzanan sahil şeridi alanları en yüksek yangın riskine sahip bölgeler olarak belirlenmiştir. Orman yangınları sonrası, araziden veri toplamak beraberinde çeşitli zorlukları da getirmektedir. Bu kısıtlamalar nedeni ile son yıllarda orman yangını sonrası çalışmalar için uzaktan algılama teknolojilerine başvurulmuştur.

Çok yönlü veri toplama ve farklı dalga boylarında görüntüleme özelliği, uzaktan algılama uyduları ile mümkündür. Uydu görüntülerinden bilgi çıkarmak için kullanılan yöntemlerden biri değişim saptama analizleridir. Çok zamanlı uydu görüntüleri kullanılarak yapılan bu analizler hem piksel tabanlı hem de nesne tabanlı olarak uygulanabilmektedir. Bant indeksleri değişim saptama uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Taşçı ve Avdan, 2018).

Yaptığımız çalışmada, orman yangınları hem MSI ile hem de SAR verileri ile incelenmiş olup her iki veri setinin farklı frekans duyarlılıkları bize uzaktan algılama tekniklerinde sensör faktörünün elde edilen sonuçların yorumlamasında kapsamlı bir bakış açısı kazandırmıştır. SAR verileri orman kanopisine duyarlı olduğu için oluşan yangının türünün yangın raporunda gösterilen bulgularla tutarlı olduğu dolayısıyla sadece SAR verileri kullanılarak yangının türü, boyutu ve orman kanopisinde ki total kayıpların raporlanmasını hızlı ve kolay bir hale getirmektedir. Sonuçları değerlendirirken her iki veri setinin sunduğu farklı avantajlar sayesinde çalışmamız farklı bir boyut kazanmıştır.

### 1.1 MSI görüntülerin Yanan Orman Alanlarındaki Kullanımı

Ormanlık alanlarda bulunan yeşil yapraklı bitkiler, yakın kızılötesi bölgede yüksek spektral yansımaya özelliğine sahiptir. Biyokütle bakımından yoğun alanlarda meydana gelen yangın sonucu, yakın kızılötesi bölgede spektral yansımaya değerleri azalırken, kısa dalga kızılötesi bölgede bu değerler artar (Şekil 1). Sonuç olarak, yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerden NIR ve SWIR bantlar kullanılarak üretilen indekslerin farklarına dayanan değişim saptama işlemi yanmış orman alanlarının tespitinde önemli avantajlar sunar (Taşçı ve Avdan, 2018).



Şekil 1. Yanmış bitki spektral yansımaya grafiği (Taşçı ve Avdan, 2018)

Orman yangınları (ağaç kaybı) meydana geldiğinden, yanmış ve yanmamış alanlar arasındaki ayrım NDVI (Normalize Fark Bitki İndeksi), GEMI (Küresel Çevre İzleme İndeksi) gibi bazı bitki örtüsü indeksleri ile sağlanabilir. Birçok yangın indeksi, karbon sinyaline ve toprak örtüsü özelliklerinin yakılmasından sonraki sıcaklığa dayanarak özel olarak tasarlanmıştır. Yangın sonrası, spektral sinyal sırasıyla SWIR ve NIR'in yansımada hızlı bir artışa ve azalmaya yol açar (Liu vd. 2020). Bu teoriye dayanarak, NBR (Normalize Yanma Oranı), NDSWIR (Normalize Fark SWIR) ve BAI (Yanan Alan İndeksi) gibi yanmış alanları tespit etmek için tasarlanmış yaygın indekslerdir. Bazı araştırmacılar, SWIR bantlarının kombinasyonunun yanmış ve yanmamış alanlarda güçlü bir spektral ayrım gösterdiğini bulmuşlardır (Liu vd. 2020). Bu nedenle, MIRBI (orta-kızılötesi iki-spektral indeks) bu gruplarla tasarlanmıştır. Ayrıca yanmış alanlar, yanmadan sonraki 1 ay içinde yanmamış alanlardan 5-6 °C daha yüksek bir sıcaklık gösterebilir; bu nedenle, TIR (Termal kızılötesi) bantlar genellikle yangın meydana gelme döneminde yanmış alanları tespit etmek için kullanılmaktadır. Hem NBRT (NBR-Termal) hem de NSTV2 (NIR-SWIR Sıcaklık Versiyon 2) indeksleri, yangın algılama doğruluğunu artırmak için TIR bandı tarafından elde edilen BT (parlak sıcaklık) kullanılmaktadır. Tablo 1'de yanan alan tespitinde kullanılan indeksler belirtilmiştir.

**Tablo 1.** MSI görüntülerde yanar alan tespitinde kullanılan spektral indeksler ve formülleri (Liu vd. 2020)

Spektral İndeks	Formül
<b>NBR</b>	$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$
<b>NDVI</b>	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
<b>BAI</b>	$BAI = \frac{1}{\left(0.1 - \frac{Red}{1000}\right)^2 + \left(0.06 - \frac{NIR}{1000}\right)^2}$
<b>BSI</b>	$BSI = \frac{(SWIR1 + Red) - (NIR + Blue)}{(SWIR1 + Red) + (NIR + Blue)}$

Yaygın olarak yanar alan tespitinde, Sentinel 2 ve Landsat 8 uyduları son zamanlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Yanmış orman alanının sınıflandırılmasında, temel sınıflandırma metotları; denetimli ve denetimsiz olarak iki gruba ayrılır. Çolak ve Sunar (2018) tarafından, denetimli sınıflandırma metoduyla yapılan bir çalışmada; yanmış orman alanı sınıflandırırken kullanılan Maksimum Benzerlik ve Destek Vektör Makine Algoritması ile sırasıyla %80,30 ve %97,52 oranında bir doğruluk elde edilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada Nesne Tabanlı Sınıflandırma metodu kullanılarak %90 doğruluk oranı elde edilmiştir (Çömert vd. 2017). Demir (2020) Tarafından gerçekleştirilen çalışmada da 2020 yılında Avustralya'da meydana gelen orman yangınları Google Earth Engine platformu üzerinde analiz edilmiştir.

## 1.2. SAR Verilerinin Yanar Orman Alanlarındaki Kullanımı

SAR verileri farklı çözünürlüklerde ve farklı polarizasyonlarla K, X, C, L ve P bantlarında (farklı dalga boyları) elde edilebilir. Bu bantların her biri, orman örtüsünün taşıdığı özelliklere bağlı olarak farklı nüfuz kabiliyetine sahiptir. X bandı, yapraklar ve bitki örtüsü yüzeyi ile etkileşime girer, dolayısıyla ağaç yüzey katmanı bilgisi elde edilmesi için uygundur. C bandı üst yüzeye nüfuz eder; yapraklar, küçük dallar ve altta yatan dallar tarafından saçılabilir. L bandı, orta yüzey tabakalarına nüfuz eder; iç, ana dallar tarafından ve toprak yüzeyden saçılabilir. P bandındaki geri saçılmanın çoğu, ağaç gövde ve gövde-zemin etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, L ve P bantları için meydana gelen saçılmaların bize orman biyokütlesi ile ilgili çalışmalar için kullanım olanağı sağlamaktadır.

**Şekil 2.** Ağaçlarda radar saçılmaları (Meyer, 2019)

SAR sinyallerinin polarizasyonu, orman dokusunu elde etmede önemli bir parametredir. Elektromanyetik dalgaların polarizasyonu elektrik alanının yönünü ifade eder. Dört SAR veri polarizasyonu kombinasyonu mevcuttur (Ghasemi vd. 2011);

HH: Yayılan ve geri saçılan sinyallerin yatay polarizasyonu.

YG: Yayılan sinyalin yatay polarizasyonu ve geri saçılmış sinyalin dikey polarizasyonu.

VH: Yayılan sinyalin dikey polarizasyonu ve geri saçılmış sinyalin yatay polarizasyonu.

VV: Hem yayılan hem de yansıyan sinyallerin dikey polarizasyonu.

C, L ve P bantları biyokütle tahmin çalışmalarının çoğunda sıklıkla kullanılır. Daha uzun dalga boyları (L ve P bandı) ve HV polarizasyonu AGB (toprak üstündeki biyokütle)'ye en duyarlıdır. P bandı gibi daha uzun dalga boylarındaki ikili polarize (HH ve VV) verilerin değişen yüzey koşullarına duyarlı olduğu bulunmuştur (Ghasemi vd. 2011). Çapraz polarize (HV ve VH) geri saçılma esas olarak ağaç gölgelik içindeki çoklu saçılmadan kaynaklanır ve yüzey durumundan daha az etkilenir. Daha uzun dalga boylarında geri saçılma; otlak, bataklık, temiz kesimler, orman yenilenme alanları ve genç plantasyonlar gibi düşük biyokütle sahaları için düşüktür bu nedenle, düşük yoğunluklu biyokütle tahminleri için C bandı tercih edilir (Ghasemi vd. 2011). P bandında, çim veya genç bitki türleri ile kaplı yüzeyler için çok düşük geri saçılma görülür, aynı yüzeyler C bandında pürüzlü olur. C bandının sınırlaması, bitki örtüsüne çok fazla nüfuz edememesidir.

SAR verilerinden biyofiziksel parametrelerin çıkarılması için frekansa bağlı analizler yapılmaktadır. L-bandı (2.0-1.0 GHz) ve P-bandı (1.0-0.3 GHz) gibi düşük frekanslı bantlar, bitki örtüsü kütlesine daha iyi nüfuz edebilir ve yapısal bileşenleri (yapraklar, dallar, gövdeler) ile daha kapsamlı etkileşime girebilir. Daha yüksek frekanslı bantlar (C band, 3.8-7.5GHz), esasen kanopinin üst kısmı ile etkileşime girme eğilimindedir. Eğik alımlarda yangından etkilenen bölgeleri dik geliş açılarına göre tespit etmek daha zordur. Bu nedenle dik açılar, taçlı yangın tipi için yanmış ve yanmamış ormanlar arasında daha iyi ayırt edilebilmesini sağlamaktadır. Eğik alım, ormanın üst katmanları yangından önemli ölçüde etkilenirse, yangın izlerini algılama olasılığı önemli ölçüde azaltmaktadır (Das, 2020). Elde edilen görüntülerin zamansal çözünürlüğü, yangın haritasını hassas şekilde çıkarma şansını artırmaktadır. Yangın döneminde (kuru dönem) ve yağışlı mevsimde yangından kısa bir süre sonra alınan görüntüler en uygun SAR veri kümesini oluşturur. Geliştirilmiş iki basit polarizasyon indeksi; RVI (Radar Bitki Örtüsü İndeksi) ve RFDI (Radar Orman Bozulma İndeksi) orman türlerinin izlenmesi için önerilmektedir ve mevcut uydu SAR sistemlerinden kolayca üretilebilir (Tablo 2).

**Tablo 2.** SAR bitki örtüsü indeksleri (Saatchi, 2019)

İndeks	Formülü	Özellikleri
Radar Bitki Örtüsü İndeksi (RVI)	$\frac{8\gamma_{HV}^0}{\gamma_{HH}^0 + \gamma_{VV}^0 + 2\gamma_{HV}^0}$	RVI pürüzsüz çıplak bir yüzey için elde edilen değer 0'a yakındır ve bitki örtüsü büyümesiyle artar. Biyokütleye karşı hassasiyeti yüksektir.
Radar Orman Bozulma İndeksi (Radar Forest Degradation Index-RFDI)	$\frac{\gamma_{HH}^0 - \gamma_{HV}^0}{\gamma_{HH}^0 + \gamma_{HV}^0}$	RFDI değerleri, yoğun ormanlar için 0,3'ten düşük, bozulmuş ormanlar için 0,4 ile 0,6 ve ormansızlaştırılmış alanlar için 0,6'dan yüksektir.

### 1.2.1. C-Bandı Geri Saçılma Katsayısının Davranışı

Yangın, geri saçılma katsayısını potansiyel olarak azaltan bitki örtüsü saçılma elemanlarının sayısını azaltmaktadır. Bununla birlikte biyokütle kaybı, daha az bitki örtüsü, nem ve pürüzlülük gibi toprak yüzey özelliklerinin artan etkisi nedeniyle zeminden saçılmayı artırabilir. Bu nedenle, yangınlardan etkilenen alanlardaki radar sinyalinin geri saçılma davranışı, özellikle yangın sonrası yağış meydana geldiğinde, yanmamış alanlara kıyasla toprak nemi özelliklerinden daha fazla etkilenebilir. Yağmur ve eriyen kar, radar sinyalini etkileyen ve sonuç olarak yangına bağlı değişikliklere karşı C-band hassasiyetini azaltan toprak neminin ana nedenleridir.

SAR tabanlı BA (Yanmış Alan) haritalaması, yangınla dolaylı olarak ilgili faktörler (örneğin sıcaklık, güneşe maruz kalma, rüzgâr, eğim ve yönelim, toprak pürüzlülüğü), toprak nemindeki uzamsal değişikliklerle daha da engellenebilir. Lokal Alım Açısı (LIA), yangına bağlı değişikliklere karşı C-bant hassasiyetini etkileyen bir başka faktördür. Son olarak, polarizasyon da temel bir değişkendir, çapraz polarize dalgalar bitki örtüsünde değişikliklere (hacimsel saçılma) daha duyarlı ve ikili polarize dalgalara göre yüzey özelliklerine (örn. toprak nemi ve pürüzlülüğü) daha az duyarlıdır. Bu zıt etkiler, SAR algılayıcısı karakteristikleri (örn. dalga boyu, polarizasyon, geliş açısı) ve SAR alımındaki çevresel koşullar (örn. yangın etkisi, toprak yüzeyi özellikleri, meteorolojik koşullar) arasındaki etkileşime bağlı olan yanmış alanlar üzerinde çok çeşitli olası geri saçılma varyasyonları oluşturabilir (Belenguer-Plomer vd. 2019).

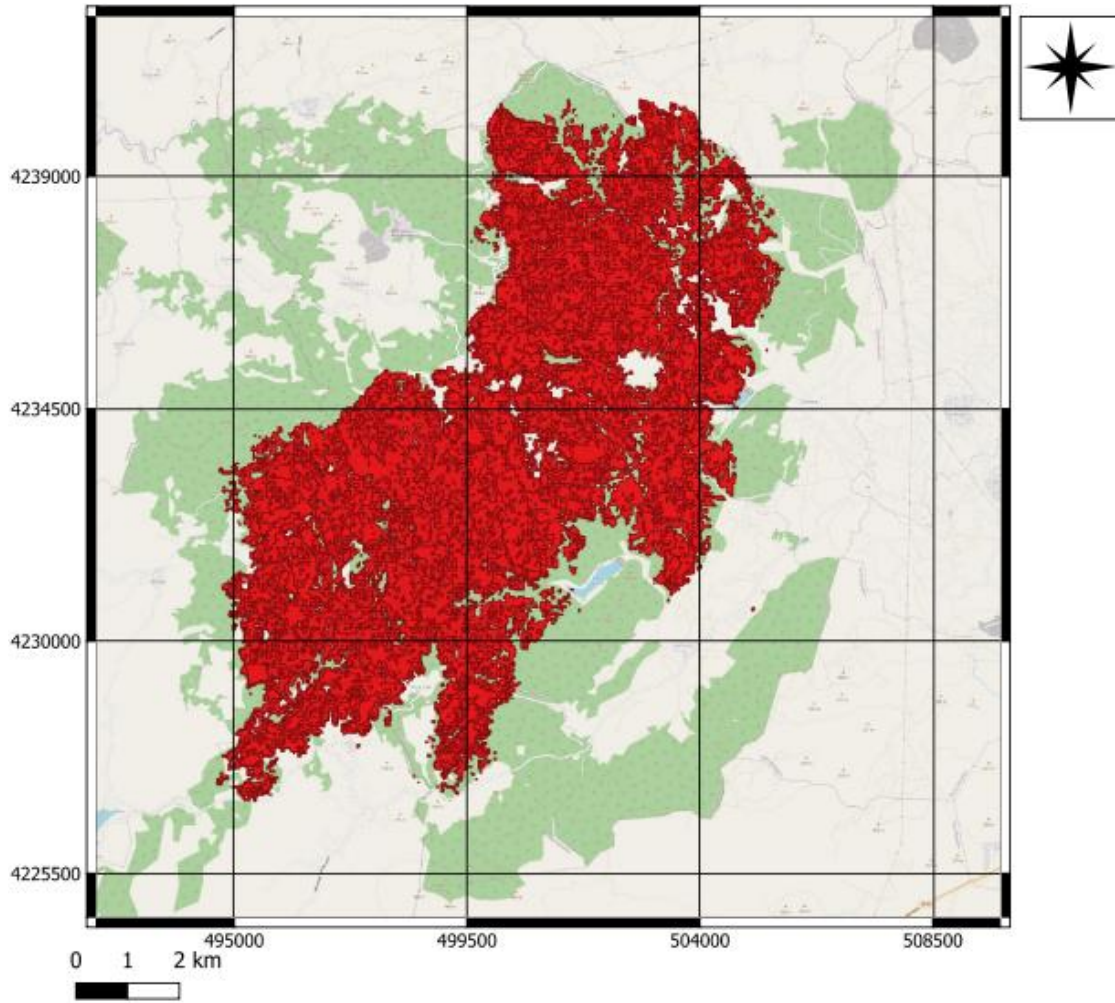
Yağıştan sonra, BA üzerindeki geri saçılma katsayısı arttıkça, yanmamış çevre ormandan ayırt edilmesi zordur. Ilıman bölgede ve Akdeniz havzasında, bitişik yanmamış ormana kıyasla çapraz polarize C-bandı için yangından etkilenen alanlarda daha düşük geri saçılma değerleri bulunmuştur (Imperatore vd. 2017). Toprak nemi yüksek olduğunda, C-bandı VV polarizasyonunda bitişik yanmamış alanlara kıyasla daha yüksek geri saçılma değerleri gözlenirken, daha iyi drenaja sahip bölgeler için daha düşük geri saçılma gözlemlenmiştir.

Yangın sonrası geri saçılma seviyelerindeki değişiklikler, toprak nemindeki değişikliklerle güçlü bir şekilde ilişkili gibi görünmektedir; yağış sonrası elde edilen veriler, sınıflandırma veya biyofiziksel parametrelerin geri alınması için daha az uygun olduğu değerlendirilmektedir (Gimeno ve San-Miguel-Ayanz, 2004). Bununla birlikte, Akdeniz havzasında yağıştan sonra BA için farklılaşma potansiyeli olduğunu bildirmiştir (Belenguier-Plomer vd. 2019).

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Alanı

Bu makalede çalışma alanı olarak, İzmir ilinin güneybatısında yer alan Karabağlar bölgesi (38°14'59.75"K, 27° 0'19.27"D) bölgesi seçilmiştir. Bölgede hâkim bitki örtüsü maki ve orman olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma alanı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. İzmir Karabağlar orman yangını sonucu tahrip olan alan

Bölgede 18 Ağustos 2019'da meydana gelen orman yangınında başlangıçta sıcaklığın 35°C, nispi nemin %29, rüzgâr hızının 60-80 km/saat, rüzgâr yönünün de genelde kuzey (ağırlıklı olarak kuzeydoğu) olduğu raporlanmıştır. Yangının meydana geldiği bölge; çoğunlukla yüksek eğimli, GD-KB doğrultusunda derin vadilerle kaplı engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. Yanan alanın büyük çoğunluğu yanma riski yüksek, 12-35 yaş aralığında ağaçlardan oluşmaktadır (TOD, 2019).

### 2.2. Veri Seti

Bu çalışmada İzmir ili Karabağlar ilçesinin 38°14'59.75"K 27° 0'19.27"D bölgesinde, 18 Ağustos 2019 tarihinde başlayan orman yangını uydu görüntüleri ile yangın öncesi ve sonrası yangın alanı tespit çalışması yapılmıştır. Çalışmada orta çözünürlüklü (mekânsal çözünürlük) uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Uydu görüntüleri, United States Geological Survey (USGS, 2020), Copernicus (2020) ve OpenTopography (2020) web sayfalarından ücretsiz olarak temin edilmiştir. Landsat 8 ve Sentinel 2 uydu verileri ile yangın risk modeli oluşturmak için OpenTopography'den temin edilen DEM verisi kullanılmıştır. Radar görüntüleriyle yapılan analizler Google Earth Engine platformu üzerinden, "Sentinel-1A SAR GRD: C-band Synthetic Aperture Radar Ground Range Detected, log scaling" kataloğu (Google Earth Engine, 2020) yine ücretsiz olarak kullanılmıştır.

Kullanılan Sentinel 1A uydusunun SAR verileri; uydu geçişi Ascending modundayken alınmıştır. C bandının dalga boyu 5.405GHz olup yangın öncesi (13 Ağustos) ve yangın sonrası (25 Ağustos) alınan görüntüler VV ve VH polarizasyonlarındadır. SLC (Görüntüler Tekli Görünüm Kompleksi)'ne sahiptir. GRD (Zemin Aralığı Algılama) karelerinden oluşmuştur. Görüntülerin geliş açıları minimum 0° ile maksimum 90° arasında değişim göstermektedir. Mekânsal çözünürlük 10 metre (m)'dir (Google Earth Engine, 2020).

### 2.3. Kullanılan Yöntemler

Optik uydu görüntüler kullanılarak çeşitli indekslerin hesaplanması ile yanan alanların tespiti (NBR, dNBR, NDVI, dNDVI, BAI, BSI) ile Yangın risk modeli analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma; verilerin temini, ön işleme, bitki örtüsü ve yanan alan indekslerinin hesaplanması ile yanan alanların hesaplanması olmak üzere bir dizi bölümden oluşmaktadır. Son olarak da Sentinel uydusundan elde edilen dNDVI ve dNBR görüntülerinin sınıflandırılması sonucu elde edilen sınıflandırılmış alanlardan SAR görüntülerindeki geri yansımaya değerleri analiz edilmiştir. Çalışmamızda QGIS, SAGA-GIS ve Google Earth Engine platformları kullanılmıştır.

#### 2.3.1. Görüntü Önleme

Görüntü önleme aşamasında, jeoreferanslama işlemi uygulanmıştır. Bu çalışma için geometrik düzeltme uygulanırken En Yakın Komşuluk Yöntemi seçilmiştir. Radyometrik düzeltme ile de verilerdeki modellenemeyen atmosferik etkilerin giderilmesi ve objeleri tam olarak temsil etmeyen yansımaların düzeltilmesi gerçekleştirilmiştir. Her iki işlem de görüntü sınıflandırma adımıdan önce görüntülere uygulanmaktadır (KTÜ, 2020).

Bu çalışmada USGS sayfasından elde edilen, Sentinel 2 ve Landsat 8 görüntülerine, görüntü ön işleme adımları uygulanmıştır. SAR görüntülerine ise, görüntülerin analiz edildiği platform sağlayıcısı Google Earth Engine radyometrik ve termal görüntü kalibrasyonu ile arazi düzeltmesi yapıldığı için sadece Benek Filtresi uygulanmıştır. Ayrıca SAR görüntüleri platform sağlayıcısı tarafından desibel (db)'e dönüştürülmüştür (Google Earth Engine, 2020).

#### 2.3.2. Spektral Oranlama

Bu çalışmada yangın alanının uydu görüntüleri kullanılarak analizini yapmak için NBR, BAI, BSI ve NDVI indeksleri görüntüler üzerinde uygulanmıştır.

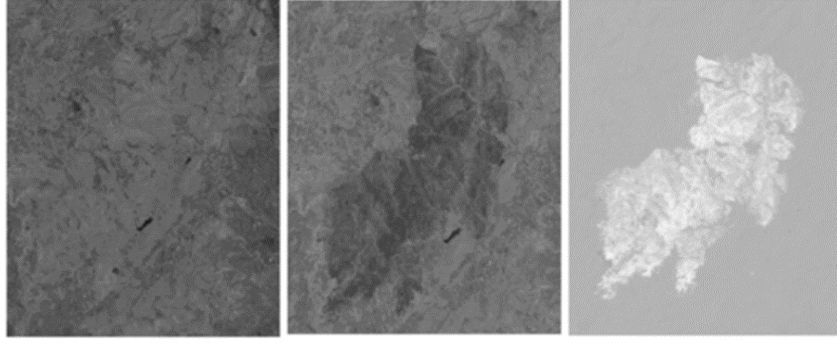
#### NDVI (Normalize Bitki Örtüsü İndeksi) ve dNDVI (Fark Normalize Bitki Örtüsü İndeksi)

NDVI, yakın kızıl ötesi ve kırmızı bant görüntülerinin matematiksel bir oranla ifade edilmesidir ve bitki örtüsünün izlenmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır (Denklem 1). İlgili bağıntı aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Denklem 1).

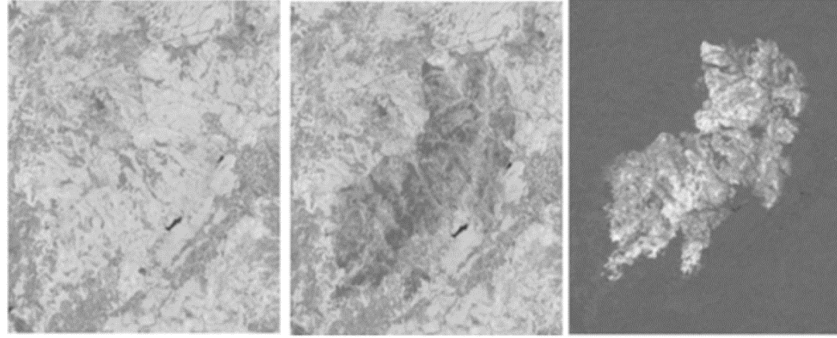
$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (1)$$

$$dNDVI = NDVI_{pre} - NDVI_{post} \quad (2)$$

Yangın öncesi ve sonrası görüntüler için NDVI hesaplanarak ilgili farklarla (dNDVI) yanan alanlar belirlenebilmektedir. Yangın öncesi ve sonrası NDVI değerleri yüksek oranda farklıdır, bu da görüntüde farklı tonlarda görülmektedir (Şekil 4 ve 5).



**Şekil 4.** Landsat 8 uydu görüntüsünün yangın öncesi (sol), yangın sonrası NDVI analizi sonucu (orta) ve bu iki görüntünün farkından elde edilen dNDVI görüntüsü (sağ)



**Şekil 5.** Sentinel 2 uydu görüntüsünün yangın öncesi (sol), yangın sonrası NDVI analizi sonucu (orta) ve bu iki görüntünün farkından elde edilen dNDVI görüntüsü (sağ)

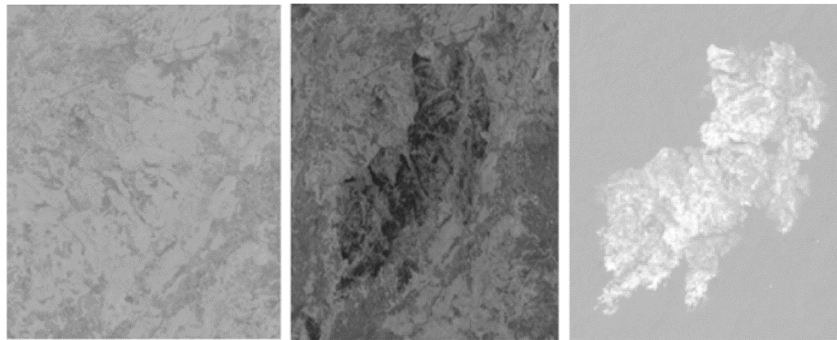
#### **NBR (Normalize Yanma Oranı) ve dNBR (Fark Normalize Yanma Oranı)**

NBR, orman yangınlarının etkilediği alanların tespitinde kullanılmaktadır. NBR, NIR ve SWIR2 bantları hesaplamada kullanılır (Denklem 3).

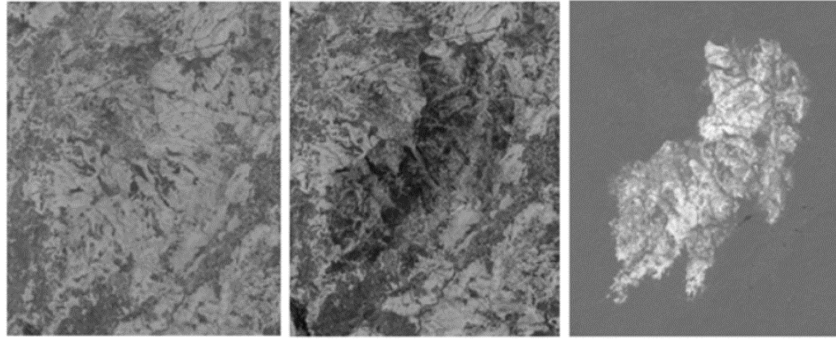
$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (3)$$

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post} \quad (4)$$

dNBR ise meydana gelen orman yangını öncesi ve sonrası hesaplanan değerlerin birbirinin farkı ile elde edilmektedir (Denklem 4). Ayrıca, bu hesaplama ile birlikte karbon salınımı, aerosol üretimi ve biyokütle parametrelerinde meydana gelen değişimlerin ortaya konması ile yanma şiddeti hesaplanabilmektedir (Sabuncu ve Özener, 2019).



**Şekil 6.** Landsat 8 uydu görüntüsünün yangın öncesi (sol), yangın sonrası NBR analizi sonucu (orta) ve bu iki analizin farkından elde edilen dNBR görüntüsü (sağ)



**Şekil 7.** Sentinel 2 uydu görüntüsünün yangın öncesi(sol), yangın sonrası NBR analizi sonucu(orta) ve bu iki analizin farkından elde edilen dNBR görüntüsü(sağ)

dNBR indisi ile yapılan hesaplama sonucu literatürde aldığı değerlerin -2,00 ile +2,00 arasında olduğu görülmüştür (Key vd. 2006). Çalışmamızda yanmış alanlar; -0,33 ile 1 arasında değişirken, yanmamış alanlar -1 ile +1 arasında değişmektedir.

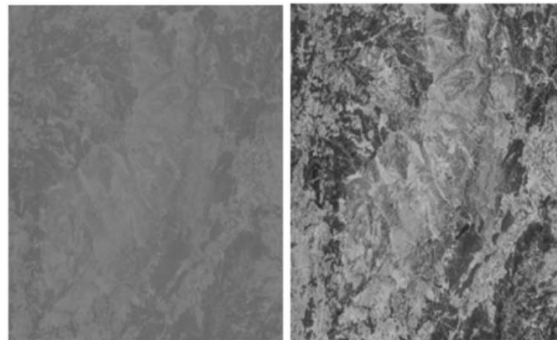
#### **Yanık İzi İndeksi (Burn Scar Index-BSI)**

Toprak özelliklerini incelemek için mavi, kırmızı, NIR ve SWIR spektral bantları içeren bir indekstir. (Denklem 5, Landsat 8 uydusunun sahip olduğu bantlar kullanılarak hesaplanan ifade). Spektral bantlar normalleştirilmiş halde kullanılır. SWIR ve kırmızı spektral bantlar toprak mineral bileşimini ölçmek için kullanılırken, mavi ve NIR spektral bantlar bitki örtüsünün tespitinde kullanılır. (Denklem 6, Sentinel 2 uydusunun sahip olduğu bantlar kullanılarak hesaplanan ifade) Yeşil bitki alanı NDVI'da 0,21 ile 0,23 arasındadır. Bu alanlar yüzey indeksine yakın değere sahip olduğunda, ayırmak için bir çalışmada BSI kullanılmıştır (Çömert vd. 2017).

BSI incelendiğinde aldığı değerler, Landsat 8 uydu görüntüsü ile oluşturulan indekslerde 0 ile 200 arasındayken, Sentinel 2 uydu görüntüsü ile oluşturulan indeksler 57 ile 140 aralığında değiştiği görülmüştür.

$$BSI = \frac{(SWIR1+Red)-(NIR+Blue)}{(SWIR1+Red)+(NIR+Blue)} \quad (5)$$

$$BSI = \frac{(Red\ edge\ (6)+Red)-(Red\ edge\ (5)+Blue)}{(Red\ edge\ (6)+Red)+(Red\ edge\ (5)+Blue)} \quad (6)$$



**Şekil 8.** Sırasıyla Landsat 8 ve Sentinel 2 uydularının yangın sonrası görüntülerinden elde edilen BSI görüntüsü

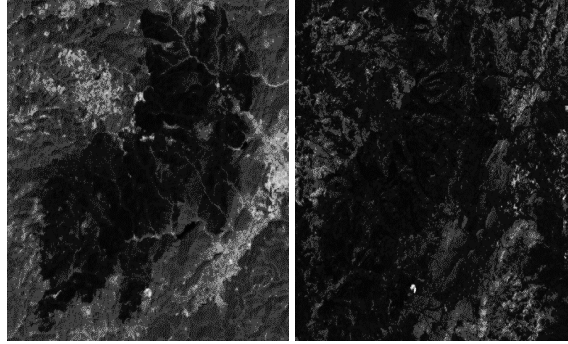
Çalıştığımız alanın yangından sonra elde edilen görüntüsünde farkın az olmasının sebebinin diri örtü yoğunluğunun düşük olması (TOD, 2019) olarak değerlendirilmektedir.

#### **Yanmış Alan İndeksi (Burned Area Index-BAI)**

Bu indeks, yangın sonrası görüntülerde ki yanan alanları tespit etmek için kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar kullanılarak hesaplanır (Denklem 7). Analiz sonucu oluşan görüntülerde daha koyu pikseller, yanmış alanları gösterir (Şekil 9).

$$BAI = \frac{1}{\left(0.1 - \frac{Red}{1000}\right)^2 + \left(0.06 - \frac{NIR}{1000}\right)^2} \quad (7)$$

BAI indeksi incelendiğinde aldığı değerler, Landsat 8 uydu görüntüsü ile oluşturulan indekste 0,02 ile 1660 arasındayken Sentinel 2 uydu görüntüsü ile oluşturulan indekste 1,03 ile 33,50 aralığında değiştiği görülmüştür.



Şekil 9. Sırasıyla Landsat 8 uydusuna ait yangın sonrası ve öncesi BAI görüntüsü

Bu analiz sonucuna göre yangın sonrası görüntü yanmış alanların yanmamış alanlara göre daha koyu görülmektedir.

### 2.3.3. Yangın Risk Modeli

Yangın riski, sıcak esen rüzgâr doğrultusunda, eğimli alanlardaki bitki örtüsünün biyokütle yoğunluğu ile ifade edilir (El-Sheimy vd. 2005). Sıcak esen rüzgâr doğrultusunda bakan, eğimin fazla olduğu yoğun biyokütleyle sahip alanlar, yüksek risk altındadır. Eğim ne kadar yüksekse alevinin yayılış oranı o kadar fazladır (Bengueraı vd. 2019).

Yangın risk analizi için dikkate almamız gereken üç faktör vardır: eğim (DEM'den), baki (DEM'den) ve bitki yoğunluğu (Landsat 8 ve Sentinel 2, NDVI) olarak sıralanabilir. Sıcak esen rüzgâr yönünün Güney-Kuzey olduğu ve üç faktörün her birine bakıldığında, ilgili risk modeli eğim, baki ve NDVI bileşenlerinden oluşacaktır (Bengueraı vd. 2019) (Şekil 11).

#### Eğim

Eğim, yangın yayılma oranını etkileyen bir parametredir. Ateş, eğimin az olduğu bölgelerde daha hızlı yükselirken eğimin fazla olduğu bölgelerde daha yavaş yükselir. Yangının yayılma hızı, arazinin eğimine ve ısı taşınım sürecine etkileyen parametrelere (rüzgâr, vs.) bağlı olarak yanma şiddetini artırabilir (Bengueraı vd. 2019).

Eğim, 90° olduğunda yüksek riski ifade ederken, 0° eğim ise riskin düşük olduğunu ifade eder. Bunun için her bir indeksi 0'dan 1'e normalleştirmek için eğimi 90°'ye böleriz (Denklem 8).

$$\frac{Eğim}{90} \quad (8)$$

#### Baki

Baki, güneş ışınımının düştüğü yüzey alanının miktarı ile ilişkilidir. Bitki örtüsü tipik olarak güneye bakan yamaçlarda kuzeye bakanlardan daha kuru ve daha az yoğundur. Kurutucu güneş ışınları ateşlenme riskine sebep olabilir. Ek olarak, doğu yönleri, batı yönlerinden gün içinde daha fazla mor ötesi ve doğrudan güneş ışığına maruz kalır. Dolayısıyla, doğu yönündeki bitki örtüsü tutuşmaya daha eğilimlidir (Bengueraı vd. 2019).

Yönüne bağlı olarak, güneye bakan alanlar en yüksek yangın riskine sahipken, kuzeye bakan alanlarda risk daha düşüktür. Bunu 1 (yüksek) ile 0 (düşük) yangın riski arasında ifade etmek için Denklem 9 kullanılmıştır.

$$1 - \left| \frac{180 - Baki}{180} \right| \quad (9)$$

#### NDVI

NDVI değeri, bölgede bulunan biyokütle miktarı hakkında bilgi sağlamak için uygun bir indekstir. -1 ila 1 arasında değişecek şekilde normalize edilmiştir, 1'i yüksek bitki örtüsü biyokütlesi ve -1'i düşük biyokütleyle sahip olduğunu ifade

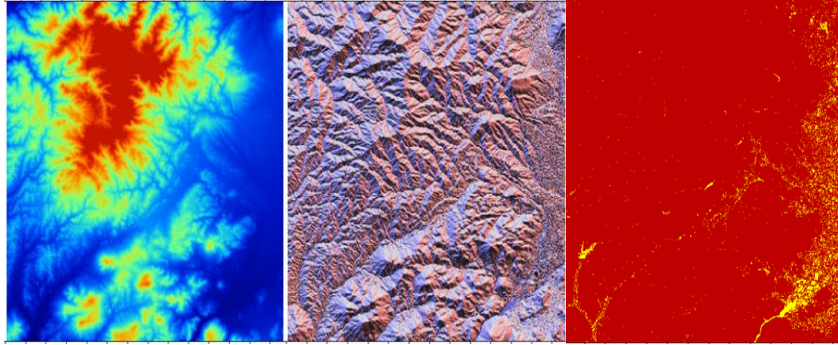


eder (Benguerai vd. 2019). Bunu 1'den (yüksek risk) 0'a (düşük risk) indirmek için Landsat 8 ve Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılarak hesaplanan NDVI görüntüleri Denklem 10'da yerine yazılarak hesaplanmıştır.

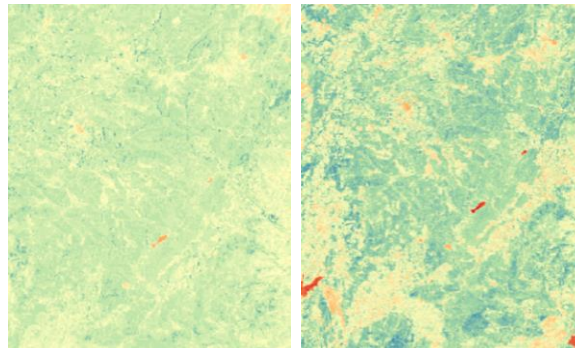
$$\frac{NDVI+1}{2} \quad (10)$$

Sonuç olarak yangın risk modeli için El-Sheimy vd. (2005) tarafından önerilen model aynen alınıp çalışmamızda kullanılmıştır.

$$Risk = \frac{\frac{Eğim}{90} + 1 - \left| \frac{180 - Bakı}{180} \right| + \frac{NDVI+1}{2}}{3} \quad (11)$$



Şekil 10. Sırasıyla Alos DEM verisi, eğim görüntüsü ve bakı görüntüsü



Şekil 11. Sırasıyla Landsat 8 ve Sentinel 2'nin yangın risk analizi sonucu

Bu işlem sonucunda, Şekil 11'de kırmızı renkler yangın riskinin düşük olduğu bölgeler koyu yeşil-mavi bölgeler ise yangın riskinin yüksek olduğu bölgeleri göstermektedir. Sentinel 2 uydusu kullanılarak yapılan analizde alanlar daha belirgin görülmektedir. Kullanılan uyduların mekânsal çözünürlüğü yapılan analizin sonucunu değiştirmiştir (Şekil 11). Bu analizden hareketle, yanma riski yüksek ağaçların potansiyel yanıcılık oranı (konumu, yüzey eğimi vs. parametrelere bağlılık oranı) meydana gelen yangının sebebini açıklayabilmektedir.

#### 2.3.4. Sınıflandırma

Çalışmada kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır.

##### Kontrolsüz Sınıflandırma Metodu

Bu çalışmada Sentinel 2 ve Landsat 8 uydu görüntüleri üzerinde hesaplanmış dNBR ve dNDVI indeks görüntüleri üzerinde kontrolsüz sınıflandırma metodu uygulanmıştır. Çok yanmış, yanmış ve zarar görmüş alanları hesaplamak için sonuç görüntüler vektör haline getirilmiş ve toplamda oluşan 12 farklı görüntü katmanı (Sentinel; dNDVI; çok yanmış, yanmış, zarar görmüş. dNBR; çok yanmış, yanmış, zarar görmüş.)(Landsat 8; dNDVI; çok yanmış, yanmış, zarar görmüş. dNBR; çok yanmış, yanmış, zarar görmüş) için ayrı ayrı alanlar hesaplanmıştır. Yanmış, çok yanmış ve zarar görmüş alanların hesaplama sonucu Tablo 3'de, doğruluk analizi sonucu Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Kontrolsüz sınıflandırma metoduna göre dNBR ve dNDVI indeksleri kullanılarak hesaplanan alanlar

	Çok Yanmış Alan [Km <sup>2</sup> ]	Yanmış Alan [Km <sup>2</sup> ]	Zarar Görmüş Alan [Km <sup>2</sup> ]	Toplam Yanan Alan [Km <sup>2</sup> ]
Sentinel 2 dNBR	9,968	27,625	20,679	58,272
Landsat 8 dNBR	6,892	30,835	27,151	64,878
Sentinel 2 dNDVI	7,361	21,999	36,285	65,645
Landsat 8 dNDVI	1,976	22,596	41,535	66,108

**Tablo 4.** Yapılan kontrolsüz sınıflandırmanın doğruluk analizi sonuçları

Uydular	Sentinel						Landsat					
	dNDVI			dNBR			dNDVI			dNBR		
Seviye	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş
Tespit edilen Alan [km <sup>2</sup> ]	7.36081	22	36.2849	9.9683	27.625	20.67901	1.9762	22.596	41.53497	6.89153	30.835	27.1514
Hesaplanan Alan [km <sup>2</sup> ]	65.645179			58.272071			66.107568			64.878384		
Referans Vektör Veri (RV) [km <sup>2</sup> ]	72.38296056						69.75478256					
RV'de Orman Olmayan Alan [km <sup>2</sup> ]	6.737781559			14.11088956			3.647214559			4.876398559		
Vektör Dışındaki Alan [km <sup>2</sup> ]	0	0.0009	0.0018	0	0.0016	0.001601	0	0.0009	0.000901	0	0.0004	0.0016
Tamlık [km <sup>2</sup> ]	72.38025856			72.37975856			69.75298056			69.75278156		
Doğruluk [km <sup>2</sup> ]	65.642477			58.268869			66.105766			64.876383		
Doğruluk Hata Oranı (%)	0.004116237			0.005495216			0.002725935			0.003084327		

\*Tamlık; Referans vektörü kesişim orman alanı, \*Doğruluk; orman alanı kesişim referans alanı

### ISODATA Sınıflandırma Algoritması

Bu çalışmada önceki uygulanan sınıflandırmaya ek olarak Sentinel 2 ve Landsat 8 uydu görüntülerinde, ISODATA (İteratif Kendiliğinden Organize Veri Analizi) algoritması kullanılmıştır. Tüm görüntüler dNBR indeks görüntülerinde 11 sınıfta, dNDVI indeks görüntülerinde 10 sınıfta sınıflandırılmıştır. Saha çalışmasından elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır.

Sınıflandırılmış alanlar; çok yanmış, yanmış ve zarar görmüş alanlara ayrılarak toplamda 12 farklı görüntüde alan hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama sonuçları Tablo 5'de yapılan doğruluk analizi sonuçları da Tablo 6'da gösterilmiştir.

**Tablo 5.** dNBR ve dNDVI indeksleri kullanılarak ISODATA sınıflandırma algoritması sonucu hesaplanan alanlar

	Çok Yanmış Alan [Km <sup>2</sup> ]	Yanmış Alan [Km <sup>2</sup> ]	Zarar Görmüş Alan [Km <sup>2</sup> ]	Toplam Yanan Alan [Km <sup>2</sup> ]
Sentinel 2 dNBR	18,755	15,638	17,450	51,843
Landsat 8 dNBR	6,904	30,748	27,158	64,810
Sentinel 2 dNDVI	11,296	20,219	15,472	46,987
Landsat 8 dNDVI	20,215	24,335	19,689	64,238

**Tablo 6.** Yapılan ISODATA kontrolsüz sınıflandırmasının doğruluk analizi sonuçları

Uydular	Sentinel						Landsat					
Görüntüler	dNDVI			dNBR			dNDVI			dNBR		
Yanma Seviye	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş
Yanan Alan [km <sup>2</sup> ]	11,296	20,219	15,472	18,755	15,638	17,450	20,215	24,335	19,689	6,904	30,748	27,158
Tespit Edilen Orman Alanı [km <sup>2</sup> ]	47			52			64			65		
Referans Vektörü (RV)[km <sup>2</sup> ]	72.38						69.75478256					
Vektör Dışındaki Alan [km <sup>2</sup> ]	0.038508	0.224	0.57552	0.082	0.1712	3.1716	0	0.1552	2.83584	0	0.1504	0.83318
Tamlık [km <sup>2</sup> ]	71.54456456			68.95827356			66.76372056			68.77117056		
RV'da Orman Olmayan Alan [km <sup>2</sup> ]	25.40			20.54			6			4.94478256		
Doğruluk [km <sup>2</sup> ]	46.14456454			48.42			61.246938			63.826388		
Doğruluk Hata Oranı (%)	1.8538163			7.073123345			4.883610671			1.541074203		

\*Tamlık; Referans vektörü kesişim orman alanı, \*Doğruluk, orman alanı kesişim referans alanı

### 2.3.5. SAR verilerinin orman yangınları analizinde kullanımı

Yangın, bitki örtüsünün dielektrik (su içeriği) miktarını azaltır ve ayrıca ormanın ağaç geometrisini, gövde özelliklerini (kompozisyon, yoğunluk) ve mekansal özelliklerini (bitki örtüsü, pürüzlülüğü) değiştirmektedir (Das, 2020).

Bu çalışmada Sentinel 1A uydusu ile yangın öncesi (13 Ağustos) ve yangın sonrası (25 Ağustos) saçılma değerleri analiz edilmiştir. Burada öncelikle dNDVI ve dNBR ile tespit edilen alanlardaki saçılma karakteristiği ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. İlgili analizler Google Earth Engine Platformu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 7'de gösterilmiştir.

Analiz sonucunda elde edilen geri saçılma değerlerinde, VV polarizasyonunda özellikle dNBR indeksinde önemli azalmalar görülmektedir. Bunun sebebinin Rücker ve Siegert (2000), yaptıkları çalışmada, yangının geri saçılma katsayısı üzerindeki etkisinin aslında belirsiz etkilere neden olduğunu tespit etmişlerdir. Kuru hava koşullarında C-bandı VV polarizasyonunda yanmış tropikal ormanlar için, azalan hacim ve artan ısı akısı daha kuru bir zemine yol açar dolayısıyla güçlü bir geri saçılma azalması gözlemlenir (Rücker vd. 2000). Çalışılan alanda yangın sonrasında SAR verilerinin alındığı tarihte havanın kuru (bağıl nem seviyesi %40 ve %40'ın altında) %39 bağıl nem oranına sahip olması gözlenmektedir.

dNDVI ve dNBR indekslerinde, gruplandırılan alanlar arasında saçılma değerlerinin birbirinden farklı sonuçlar vermesinin sebebi; indeksleri oluşturan farklı spektral aralıkların bitki sağlığına duyarlılığının değişkenlik göstermesidir. Biyokütlerdeki değişimi her iki indekste tespit ettiği alanların yapısının farklı olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Orman yangınlarıyla yapılan çalışmalarda VH polarizasyonda VV polarizasyona göre belirgin bir değişimin olmamasının sebebi; yangın sonrası orman bitki örtüsünde büyük bir değişiklik meydana gelmedikçe, yanmış alanlardan elde edilen SAR verilerinde belirgin farklılıklara rastlanmamasıdır. Yapılmış benzer bir çalışmada Sentinel-1 C-bandı geri saçılma miktarı, yangın öncesi ve sonrası sonuçları, optik uydu görüntülerinin verileriyle karşılaştırılmıştır. Sentinel-1 C-bandı geri yansımaları (VH) yangının verdiği yapısal değişikliklere duyarlı olduğunu kanıtlamıştır (Belenguer-Plomer vd. 2019). Bunun en büyük sebeplerinden bir tanesi C bandının dalga boyunun ağaç kanopi alanından içeriye nüfus edememesidir (Ghasemi vd. 2011). dNDVI veya dNBR indeksleriyle yanmış olarak tespit edilen alanların yanık morfolojisinin kanopi bölgesi dışında orman tabanında oluşan tahribata dair veri alamamasından kaynaklı olduğu değerlendirilebilir.

Çalışılan bölgenin, yanan alanın yaklaşık %60-65'inin düşük enerjili (Çam ibrelerinin tüketilmeden sadece kavrulduğu) bir yangına maruz kaldığı tespit edilmiştir (TOD, 2019). Yangın türünün düşük enerjili oluşu ağaçlar üzerinde olduğu gibi duran kavrulmuş iğne yaprakların yangın öncesindeki orman örtüsünün şeklini değiştirmemesi, yaptığımız analizdeki geri yansımaya değerlerinin neden önemli ölçüde değişmediğinin bir göstergesidir.

**Tablo 7.** SAR görüntülerinden elde edilen saçılma değerlerinin istatistiksel hesaplama sonuçları

Uydu	Sentinel 1					
İndeksler	dNDVI			dNBR		
Sınıflandırma	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş
<b>Yangın Öncesi</b>						
<b>VV polarizasyon</b>						
Ortalama (db)	-8.153085459	-5.665413358	-12.10764268	-10.01224893	-13.23835667	-13.04083485
Standart Sapma (db)	0.33895205	0.203390897	1.893850721	1.340953293	0.177831024	0.106938421
Median (db)	-8.168359576	-5.639722928	-12.65697149	-9.824723801	-13.22822201	-13.03523122
<b>VH polarizasyon</b>						
Ortalama (db)	-10.62590163	-13.876068	-16.27746816	-13.6243273	-17.07833177	-18.47740985
Standart Sapma (db)	1.487178178	0.528325563	2.037951531	0.770771935	0.203819853	0.323541203
Median (db)	-10.31098955	-13.87336552	-16.03299411	-13.44362013	-17.06197247	-18.48800967
<b>Yangın Sonrası</b>						
<b>VV polarizasyon</b>						
Ortalama (db)	-7.286774001	-6.686124103	-10.60786432	-8.024909543	-9.696060363	-8.967815945
Standart Sapma (db)	0.867770206	0.340915684	1.557948557	1.025371027	0.309765647	0.190373793
Median (db)	-7.552090212	-6.683895199	-10.30004828	-7.835735348	-9.66974765	-8.924261911
<b>VH polarizasyon</b>						
Ortalama (db)	-10.65899359	-14.61103319	-16.82311989	-15.36982152	-18.36593231	-17.97659691
Standart Sapma (db)	0.364735593	0.43085388	1.480587323	1.84595294	0.111840285	0.707060131
Median (db)	-10.62823992	-14.48116377	-16.98616224	-15.16973647	-18.38132528	-17.95366245

### 3. Tartışma ve Sonuçlar

Gerçekleştirilen bu çalışmada İzmir ilinin Karabağlar ilçesinde meydana gelen orman yangını MSI ve SAR veri setleri kullanılarak uzaktan algılama yöntemleriyle analiz edilmiştir. Çok bantlı görüntülerle yapılan hesaplamalarda dNDVI ve dNBR indeksinden elde edilen sonuçlar yanmış alan hesaplamasında kullanılmıştır. Her iki sınıflandırmada elde edilen hesaplamalar sonucunda ilk uygulanan kontrolsüz sınıflandırma metodunun, ISODATA algoritması kullanılarak yapılan sınıflandırmaya göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Ekoloji Birliği'nin açıklamasına göre yaklaşık 6500 ha alan yanmıştır (Ekoloji Birliği, 2019). Basın açıklamasında belirtilen yanan alan miktarına en yakın hesaplanan alan ISODATA sınıflandırılmasında, Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılarak 6480 ha olarak bulunan dNBR indeksidir. İlk uygulanan kontrolsüz sınıflandırmada ise Sentinel 2 uydu görüntüsü kullanılarak 6564 ha olarak hesaplanan dNDVI indeksi olmuştur. Alan hesaplamaları üzerinde yapılan doğruluk analizi sonuçlarına göre ilk uygulanan kontrolsüz sınıflandırma metodu ISODATA sınıflandırma metoduna göre daha doğru sonuçlar vermektedir.

Yangın risk analizi sonucuna göre yanan alanın yanmaya karşı hassas olduğu görülmüştür. MSI ile yapılan değişim tespiti analizlerinde yanmış alan belirgin bir şekilde görülürken SAR görüntüleriyle yapılan analizlerde kullanılan band aralığı (C band) ve polarizasyon (VV ve VH) sebebiyle yangın öncesi ve yangın sonrası arasında geri yansıma değerlerinde gözle görülür bir fark tespit edilememiştir. Çalıştığımız bölgenin, yanan alanın yaklaşık %60-65'inin düşük enerjili (Çam ibrelerinin yok olmadan sadece kavrulduğu) bir yangına maruz kaldığı tespit edilmiştir (TOD, 2019). Kullandığımız C bandının yüksek enerjili dalga boyunda olması ve orman kanopisine fazla nüfus edememesi yaptığımız analizdeki geri yansıma değerlerinin neden önemli ölçüde değişmediğinin bir göstergesidir. Literatürde de bahsedildiği üzere SAR verileri ile yanmış orman alanlarına uygulanan değişim tespiti analizlerinde kullanılan bantların L veya P gibi uzun dalga boyu seçimi ve polarizasyonların HH ve HV seçilmesinin, belirgin farklar elde edileceği belirtilmiştir. Google Earth Engine platformu üzerinde yapılan SAR analizlerinde L veya P bandına ait bir kataloğun olmaması, C band kataloğunda HH ve HV bantlarının olmaması, çalışmamızı yaparken SAR görüntülerinin işlenmesi aşamasında yaşadığımız zorluklardan birisi olmuştur.

## Kaynaklar

- Belenguer-Plomer, M.A., Tanase, M.A., Fernandez-Carrillo, A., & Chuvieco, E. (2019). Burned area detection and mapping using Sentinel-1 backscatter coefficient and thermal anomalies. *Remote Sensing of Environment*, 233: 111345, doi: 10.1016/j.rse.2019.111345.
- Benguerai, A., Benabdeli, K., & Harizia, A. (2019). Forest fire risk assessment model using remote sensing and GIS techniques in Northwest Algeria. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica: An International Journal in Forest, Wood and Environmental Sciences*, 15(1), 9-21.
- Copernicus. (2020, Mayıs 25). *Copernicus Open Access Hub*, Retrieved from <https://scihub.copernicus.eu/>
- Çolak, E. & Sunar, F. (2018, Eylül). Yüzey sıcaklığı ve spektral yanma indekslerinin orman yangını analizinde kullanımı. In *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 2018. (pp. 311-320). UZAL-CBS.
- Çömert R., Küçük Matcı, D., Emir, H. & Avdan, U. (2017, Nisan). Uydu görüntüleri kullanılarak orman yangınlarının haritalanması. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) IX. Teknik Sempozyumu*, 2017. TUFUAB.
- Das, A. K. (2020, Mayıs 25). *Advanced SAR Techniques for Forest Applications*, Retrieved from [https://vedas.sac.gov.in/vedas/downloads/ertd/SAR\\_And\\_HyperSpectral/Notes.pdf](https://vedas.sac.gov.in/vedas/downloads/ertd/SAR_And_HyperSpectral/Notes.pdf)
- Demir, N. (2020). NDVI analysis of Australian Bushfires with cloud computing. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 78-84.
- Ekoloji Birliği. (2019, Eylül 3). *TMMOB'dan İzmir'deki orman yangınları ile ilgili şok eleştiriler*. Retrieved from <https://ekolojibirliigi.org/tmmobdan-izmirdeki-orman-yanginlari-ile-ilgili-sok-elestiriler/>
- El-Sheimy, N., Habib, A., & Valeo, C. (2005). *Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation, and Applications*. Boston: Artech House Publishers.
- Ghasemi, N., Sahebi, M. R., & Mohammadzadeh, A. (2011). A review on biomass estimation methods using synthetic aperture radar data. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1(4), 776-788.
- Gimeno, M., & San-Miguel-Ayanz, J. (2004). Evaluation of RADARSAT-1 data for identification of burnt areas in Southern Europe. *Remote Sensing of Environment*, 92(3), 370-375.
- Google Earth Engine. (2020, Mayıs 25). *Data catalog, Sentinel-1 SAR GRD: C-band synthetic aperture radar ground range detected, log scaling*. Retrieved from [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS\\_S1\\_GRD](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S1_GRD)
- Imperatore, P., Azar, R., Calo, F., Stroppiana, D., Brivio, P. A., Lanari, R., & Pepe, A. (2017). Effect of the vegetation fire on backscattering: an investigation based on Sentinel-1 observations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(10), 4478-4492.
- Key, C.H & Benson, N.C. (2006). *Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio* (Report No. RMRS-GTR-164-CD: LA 1-51). Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- KTÜ. (2020, Mayıs 25). *Uzaktan algılamada uydu görüntülerine uygulanan işlemler*, Retrieved from [http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani\\_09c24.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_09c24.pdf)
- Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M., & Tong, X. (2020). A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *European Journal of Remote Sensing*, 53(1), 104-112.
- OpenTopography. (2020, Mayıs 25). *OpenTopography high resolution topography data and tools*, Retrieved from <https://opentopography.org/>
- Meyer, F. (2019). Spaceborne Synthetic Aperture Radar: Principles, Data Access, and Basic Processing Techniques. In A. Flores, K. Herndon, R. Thapa & E. Cherrington (Eds.), *SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*, (pp. 21-62), National Space Science and Technology Center, Huntsville, AL: NASA.
- Ruecker, G., & Siegert, F. (2000). Burn scar mapping and fire damage assessment using ERS-2 SAR images in East Kalimantan, Indonesia. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B7/3 Part 7), 1286-1293.
- Saatchi, S. (2019). SAR Methods for Mapping and Monitoring Forest Biomass. In A. Flores, K. Herndon, R. Thapa & E. Cherrington (Eds.), *SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*, (pp. 207-253), National Space Science and Technology Center, Huntsville, AL: NASA.
- Sabuncu, A. & Özener, H. (2019). Uzaktan Algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 317-326.
- Taçcı İ. & Avdan, Z. Y. (2018, Eylül). Orta çözünürlüklü uydu görüntülerinden değişim saptama ile yanmış orman alanların haritalanması. In *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*. 2018. (pp. 880-887). UZAL-CBS.
- TOD. (2019, Ağustos 18). *Türkiye Ormancılar Derneği Tarihli İzmir orman yangını ile ilgili basın açıklaması*. Retrieved from [https://www.ormancilardernegi.org/dosyalar/files/TOD\\_izmir\\_yangini\\_basin\\_bildirisi%2812.09.2018%29.pdf](https://www.ormancilardernegi.org/dosyalar/files/TOD_izmir_yangini_basin_bildirisi%2812.09.2018%29.pdf)
- USGS. (2020, Mayıs 25). *USGS Home Page*, Retrieved from <https://www.usgs.gov/>

## Kitle Kaynak İlgı Çekici Nokta Verilerinin Çıkarılması Extraction of Crowdsourced Points of Interest Data

Gülten Kara<sup>1\*</sup>, Çetin Cömert<sup>1</sup>, Huriye Akcan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon/Türkiye.

### ARAŞTIRMA MAKALESİ

#### \*Sorumlu yazar:

Gülten Kara  
gispir@ktu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1057947

#### Yayın süreci

Geliş tarihi: 21.01.2022  
Kabul tarihi: 21.02.2022  
Basım tarihi: 14.03.2022

### Özet

Günümüzde web üzerinde kullanıcılar tarafından üretilen konumsal verinin miktarı her geçen gün büyük bir hızla artmaktadır. Bu da, özellikle konumsal uygulamaların geliştirilmesi için web üzerindeki konumsal verileri önemli bir bilgi kaynağı haline getirmektedir. Özellikle açık veri politikası ile birlikte kitle kaynak girişimlerinin yaygınlaşması ve başarısı, konumsal veri üreticisi kurum ve kuruluşların veri toplamada kitle kaynaklı coğrafi bilgileri kullanma olasılıklarını değerlendirmeye sevk etmiştir. Bu bağlamda ulusal harita kurumları, veri tabanlarını güncellemek için ya kitle kaynak yaklaşımıyla oluşturulan açık harita kaynaklarını kullanmakta ya da gönüllü coğrafi bilgi yaklaşımıyla veri toplamak için mobil ve web uygulamaları geliştirmektedir. Bu noktadan hareketle, Harita Genel Müdürlüğü uygulamaları kapsamında belirlenen POI verileri, OpenStreetMap, Wikimapia ve GoogleMaps harita servislerinden çıkarılarak veri kaynakları arasındaki farklılıklar irdelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kitle kaynak, Gönüllü coğrafi bilgi, İlgı çekici nokta, OpenStreetMap, Wikimapia, GoogleMaps

### Abstract

Today, the amount of spatial data produced by users on the web is increasing rapidly day by day. This, of course, makes spatial data on the web into an important source of information especially for the development of spatial applications. Particularly with the open data policy, the spread and success of crowdsourced initiatives has prompted spatial data producer institutions and organizations to evaluate the possibilities of using crowdsourced geographic information in data collection. In this context, national mapping agencies either use open map resources created with a crowdsourcing approach to update their databases or develop mobile and web applications to collect data with a volunteered geographic information approach. From this point of view, in this study, POI data determined as part of the national mapping agency applications have been extracted from OpenStreetMap, Wikimapia and GoogleMaps map services and the differences between data sources have been assessed.

**Keywords:** Crowdsourcing, Volunteered geographic information, Points of interest, OpenStreetMap, Wikimapia, GoogleMaps

## 1. Giriş

Points of Interest (POI), ilgi noktası ya da ilgi çekici nokta anlamına gelmektedir. Çalışmanın tamamında POI kısaltması ile kullanılmıştır. İlgı çekici noktalar, Wikipedia tarafından kişinin yararlı ya da ilginç bulunduğu noktaların konumu olarak tanımlanmıştır. W3C POI Çalışma Grubu ise ilgi çekici noktaları, hakkında bilgilerin bulunduğu noktalar olarak tanımlamaktadır (W3C, 2012). İlgı çekici noktalar; bir konum ve isim, tür, adres gibi bu konuma ait verilerle tanımlanmaktadır. Bu noktalar yalnızca bir koordinat olabilecek biçimde basit ya da çeşitli verilerden oluşan karmaşık bir model olabilir. POI verileri kullanıcılar tarafından oluşturulmuştur ve çeşitli özelliklere sahiptir. Bu özellikler isim, geçerli bir konum, kategori veya tür, id, URI, adres, iletişim gibi bilgilerden oluşmaktadır.

Bu veriler, uygulama kapsamında çeşitli biçimlerde yapılandırılabilir. POI verileri, haritalama, navigasyon sistemleri, turizm, sosyal ağ, lojistik ve daha pek çok alanda ilgili birçok uygulamada ve hizmette yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özellikle açık veri politikası ve kitle kaynak yaklaşımların birçok alanda yaygınlaşması ve başarısı, konumsal veri üreticisi kurum ve kuruluşları bu yaklaşımlarla üretilen konumsal verileri kullanabilme olasılıklarını değerlendirmeye sevk etmiştir. Ulusal düzeyde temel veri üreticisi konumunda olan Harita Genel Müdürlüğü (HGM) kapsamında gerçekleştirilen uygulamalarda, kitle kaynak yaklaşımların konumsal veri elde etme ve güncelleme avantajlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Fotogrametri Daire Başkanlığı ve Askeri Coğrafya Daire Başkanlığı ile yapılan toplantılarda bu yaklaşımların değerlendirilmesi amacıyla öncelikle POI verilerinin çıkarılması gerektiğine karar verilmiştir. İlgili literatür incelendiğinde; ulusal harita kurumları, kitle kaynak yaklaşımları ile konumsal veri toplamak ve veri tabanlarını güncellemek amacıyla iki yöntem kullanmıştır. İlk yöntem, kitle kaynak yaklaşımlarla üretilen açık veri kaynakları kullanılarak veri tabanlarını güncellemektir. Diğer yöntem ise; kullanıcılar tarafından verilerin toplanması amacıyla mobil ve web uygulaması geliştirerek toplanan verilerin kullanılmasıdır. Bu çalışma kapsamında öncelikle ilk yöntemin uygulanması amaçlanmıştır. Bu noktadan hareketle; HGM uygulamaları kapsamında gerekli olan POI türleri ve öznitelikleri belirlenerek OpenStreetMap (OSM), Wikimapia ve GoogleMaps harita platformlarından POI verileri çıkarılmıştır.

POI verilerinin açık veri kaynaklarından çıkarılması ve POI verilerinin değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde literatürde proje, girişim ve akademik çalışmalar mevcuttur. Mummidi ve Krumm (2008), farklı kullanıcılardan gelen verilerin kalite sorununa odaklanarak gönüllü coğrafi bilgi kalitesinin değerlendirilmesi için veri madenciliğine dayanan bir yaklaşım önermiştir. Uygulamada kullanıcıların işaret ettiği noktaları temel alarak yeni POI noktaları bulmak amacıyla algoritma geliştirilmiş ve yaklaşık olarak hakkında açıklamaların olduğu 40.000 nokta incelenmiştir. Algoritma ile noktaya ilişkin metinlerden kullanım sıklığı temel alınarak POI isimleri belirlenmiştir. Belirlenen bu POI'lerin veri tabanında karşılaştırılması yapılarak POI'lerin mevcut olduğu ya da olmadığı bilgisine ulaşılmıştır. Bulunan POI'nin doğruluğu bölge sakinlerine sorularak elde edilen sonuçların kalite değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

Ciepluch vd. (2010), İrlanda için OSM verilerinin doğruluğunun GoogleMaps ve Bing Maps ile karşılaştırıldığı çalışmada POI verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma bölgesi olarak 5 şehir ve kasaba seçilmiştir. OSM verileri Cloudmade'den OSM XML formatında indirilmiştir. osm2pgsql aracı kullanılarak OSM XML dosyası Postgis veri tabanına import edilmiştir. SQL sorguları ile çıkarılan POI verileri KML formatında kaydedilmiştir. KML dosyaları GoogleMaps ve BingMaps haritaları üzerine eklenmiştir. Yapılan POI karşılaştırmasında OSM'nin POI'ler için doğru konum bilgisi sağladığı varsayılmış ve buna göre analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda GoogleMaps'in bazı POI türleri için konumsal hatalar içerdiği görülmüştür. Bing Maps'in az miktarda POI versine sahip olduğu ayrıca GoogleMaps ile elde edilen verilerin güncel olmadığı ya da yanlış veri içerdiği görülmüştür.

Bakillah vd. (2014), bina düzeyinde yapılan nüfus çalışmalarında POI verilerinin kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Bina verileri ve POI'lere ait veriler OSM'den alınmıştır. Çalışmada nüfus dağılımında kullanılacak POI'leri sınıflandırmaya ve belirlemeye yönelik yöntem geliştirilmiştir.

Lamprianidis vd. (2014), DBpedia, OSM, Wikimapia, Google Places, Foursquare, Eventful gibi popüler web kaynaklarından Londra, Viyana ve Atina için kitle kaynaklı POI verilerini çıkarmıştır. Web kaynaklarının veri erişim yöntemi, şemaları ve veri formatları farklılık göstermektedir. Belirtilen web kaynaklarından çıkarılan POI verilerinin karşılaştırılması ve entegre edilmesi, ancak orijinal şemaların ortak bir şema ile ilişkilendirilmesi sayesinde mümkündür. Bu amaçla web kaynaklarının şemaları incelenmiştir ve ortak bir şema geliştirilmiştir. Geliştirilen ortak şema, Foursquare tarafından kullanılan kategori hiyerarşisine dayanmaktadır. Çünkü bu hiyerarşinin diğer kaynaklara kıyasla daha geniş bir kapsamı olduğu ve daha fazla POI türü çeşitliliğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Ruta vd. (2014), artırılmış gerçeklikte POI verilerinin bulunması amacıyla araç ve çerçeve geliştirmiştir. Buna göre, kullanıcı profili ile ilişkili cihaza ait anlık kamera görüntüsünde yakın çevredeki POI'ler belirtilir. Kullanıcı konumu ve yakın çevredeki POI verileri arasında eşleştirme gerçekleştirilir. Kullanıcılar POI verilerinin ayrıntılı tanımında eşleşen ya da eksik unsurları belirleyebilir.

Chen vd. (2015), çalışmalarında bisiklet istasyonlarının en uygun yerleşiminin yapılabilmesi amacıyla bisiklet yolculuğu tahmini açık veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. POI verileri Google Places API kullanılarak alınmıştır ve gruplandırılmıştır. Alanın işlevi POI'lerin dağılımına göre nitelendirilmektedir.

Bao vd. (2017), çalışmalarında POI ve akıllı kart verilerinin birleştirilerek bisiklet seyahat modeli ve yolculuk amaçlarının araştırılması yapılmıştır. Kullanılan POI'ler Google Places API ile alınmıştır. Çalışmada POI verileri kullanılarak ve POI verileri kullanılmadan elde edilen modeller karşılaştırılmıştır. POI kullanılarak elde edilen modellerden daha fazla veri elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Touya vd. (2017), çalışmasında OSM POI verilerinin kalite değerlendirilmesi dört farklı yöntem önerilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan OSM verileri Geofabrik kullanılarak elde edilmiştir. Kullanılan yöntemlerin tek başına kalite değerlendirmesi için yeterli olmadığı sonucuna varılmış ve önerilen yöntemlerin ayrı ayrı güçlü ve zayıf noktalarını birleştirerek gelecek çalışmalara yönelik çıkarımlarda bulunulmuştur.

Cheng vd. (2018), OSM'den alınan yol, POI ve Nighttime light verileri ile kentsel arazi çıkarımı gerçekleştirilmiştir. OSM verileri Geofabrik indirilmeden elde edilmiştir. Yapılan değerlendirmede OSM'den alınan verilerle gerçekleştirilen işlemin daha doğru olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Zhang vd. (2018), coğrafi bilgilerin web üzerinden elde edilmesinde web arama motorlarının kullanıldığı bir yaklaşım incelenmiştir. GoogleMaps ile elde edilen POI türleri ve OSM'den elde edilen cadde isimleri Google arama motoruna koyularak POI'ler için olası adresler elde edilmiştir. POI'lerin yer adlarının elde edilmesi amacıyla arama motoru tekrar elde edilen POI adresleriyle birlikte kullanılır. Google arama motoru son olarak öğrenilen yer adları ve karşılığı olan adresleri ile doğrulama yapmak için çalıştırılır. Elde edilen yer adı veri seti yaklaşımında GoogleMaps referans alınarak OSM ve Wikimapia sonuçları ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen yaklaşım ile bulunan veriler, GoogleMaps ile eşit miktarda, OSM ve Wikimapia'dan daha çok sayıda olduğunu göstermektedir.

Andrade vd. (2020), çalışmalarında kentsel alanların planlama ve yönetimine ilişkin arazi kullanımı sınıflandırmasında pahalı ve zahmetli veriler yerine kullanılacak POI verilerinin potansiyeli araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan POI verileri Facebook Places verileridir. Elde edilen sonuçlarda POI verilerinin arazi kullanımı sınıflandırılmasında yüksek bir doğruluğa sahip olduğu ve bu amaçla kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Klinkhardt vd. (2021), yolculuk talebi modellemesi uygulamalarında kullanmak üzere POI verilerinin OSM'den çıkarılmasına yönelik yöntem ortaya koymaktadır. OSM'den veriler Geofabrik ile elde edilmiştir. OSM'den elde edilen POI verileri ile resmi kaynaklardan gelen veriler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda OSM verilerinin kalitesinin POI türüne göre değişiklik gösterdiği ve resmi verilerle büyük oranda denk olduğu görülmüştür. Bu verilerin uygulamalarda kullanılabilmesi, açık ve gerçek olması dolayısıyla uygulamayı daha güvenilir hale getireceği ifade edilmiştir.

Wang vd. (2021), çalışmalarında OSM verileri ve POI verileri birleştirilerek kente ait işlevsel alanları belirlemeye yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir. Kente ait yol verisi OSM'den elde edilmiş ve POI verileri Çin'de dijital harita içeriği sağlayıcısı olan AutoNavi Maps API ara yüzü kullanılarak alınmıştır. OSM ve POI veri yöntemlerinin gerçek zamanlı ve yeterli olması yapılan çalışmanın farklı kentsel bölgelerin işlevselliğinde de kullanılabilmesini gösterirken hataya sahip olan POI'ler kullanılmayan arazilerin ve tarımsal arazilerin tespitini zorlaştırmıştır.

Mevcut çalışmalar incelendiğinde, navigasyon, turizm, kent planlama gibi farklı alanlarda POI verilerinin çıkarılması amacıyla birçok çalışma mevcuttur. Ulusal düzeyde POI verilerinin açık harita kaynaklarından çıkarılması ve değerlendirilmesi konusunda bir çalışma yoktur. İlgili literatürde mevcut çalışmalara bakıldığında ise özellikle acil durum yönetiminde mevcut POI verilerinin çıkarılması ve kullanılması ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı, HGM uygulamaları kapsamında belirlenen POI verileri, OpenStreetMap, Wikimapia ve GoogleMaps harita servislerinden çıkarılarak veri kaynakları arasındaki farklılıkların irdelenmesidir. Bu bağlamda TOPO25VT'de doğrudan bulunmayan ancak HGM uygulamaları kapsamında kullanılması hedeflenen POI türleri ve öznitelikleri belirlenmiştir. Gönüllü Coğrafi Bilgi (GCB) ve kitle kaynak yaklaşımlarının birçok alanda uygulanması ve artan başarısı ile birlikte bu yaklaşımlarla elde edilen verilerin kullanımının değerlendirilmesi planlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında öncelikle belirlenen POI türlerinin açık harita kaynaklarından çıkarılarak POI türlerinin kapsamı ve içeriği belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda ticari bir ürün olan GoogleMaps POI verileri de çıkarılarak gelecek çalışmalarda veri kalitesinin değerlendirilmesi aşamasında veri kalitesi kriterlerine göre açık veri kaynaklarından çıkarılan verilerle karşılaştırma yapılacaktır. Bu nedenle çıkarılan POI verilerinin veri kalitesinin değerlendirilmesi bu çalışmanın kapsamı dışındadır. POI verilerini sunan açık ve ticari platformlar mevcuttur ancak konumsal veri üreticisi kurum ve kuruluşların veri tabanlarında POI türünde katman bazında veriler mevcut değildir. Özellikle veri toplama maliyetleri düşünüldüğünde, veri güncelleme ve zenginleştirme yönüyle GCB ve kitle kaynak yaklaşımları ile üretilen verilerin önemli bir rolü vardır. Çalışma bu yönüyle ulusal düzeyde yapılan ilk çalışma niteliğindedir. Bu çalışma kapsamında çıkarılan POI verilerinin HGM uygulamalarında kullanılabilmesi için veri kalitesinin değerlendirilmesi gerekir. İlgili literatürde veri kalitesinin değerlendirilmesi için ilgili değerlendirme kriterleri olarak tamlik ve konumsal doğruluk alınmıştır. Bu değerlendirme kriterlerinin yanı sıra diğer veri kalitesi değerlendirme kriterlerinin kullanılabilirliği gelecek çalışmalarda değerlendirilecektir. Bunun için TOPO25VT den ilgili POI verilerinin belirlenip bu çalışmada çıkarılan POI verileri ile karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilecektir.

## 2. Materyal ve Metot

HGM POI verilerinin çıkarılması için kullanılan harita servislerinin ve/veya veri tabanlarının üretilme amaçları ve üretilme yöntemleri birbirinden farklıdır. Bu nedenle OSM, Wikimapia ve GoogleMaps ile sunulan POI verilerinin kategorileri birbirinden ayrılmaktadır. Yani bu veri kaynaklarının üretim amaçları, şemaları ve veri formatları birbirinden farklıdır. OSM, ücretsiz, açık ve evrensel bir harita oluşturma projesidir. 2004 yılında Steve Coast tarafından kurulmuştur. OSM verilerinin büyük bir çoğunluğu acil durum yönetimi ve insani yardım amacıyla üretilmiştir ve bu veriler kullanıcılar tarafından gönüllülük esasına dayanarak toplanmaktadır. Verilerin kullanıcılar tarafından erişilebilir ve düzenlenebilir olması hatta kullanıcıların detaylara ait öznitelik ekleyebilmeleri; OSM'yi değerli bir konumsal veri kaynağı haline getirmektedir.



Ancak amatör kullanıcılardan profesyonel harita kullanıcılarına kadar geniş bir yelpazede kullanıcı grubu tarafından veri toplanması OSM verilerini hataya ve belirsizliklere daha yatkın hale getirmektedir. Bu durum, OSM verilerinin kullanımında bir engel olarak ortaya çıkmaktadır. POI verilerinin çıkarılması için kullanılan bir diğer açık harita servisi de Wikimapia'dır. Wikimapia, Alexandre Koriakine ve Evgeniy Saveliev tarafından 2006 yılında Moskova'da kurulmuştur. Wikimapia, online bir haritanın wiki sistemiyle birleştirilmesi fikrinden yola çıkılarak tasarlanmıştır. Dünya üzerinde bulunun tüm coğrafi nesnelere açık içerikli olarak haritalamak ve bu içeriklerle ilgili bilgiyi ücretsiz olarak sağlamak bu projenin temel amacıdır. Kullanıcılar belirledikleri konum için etiket oluşturarak bu etiketlerle ilgili bilgiler paylaşabilir. Wikimapia 1.5 milyondan fazla kullanıcı ve 20 milyondan fazla POI verisine sahiptir. Dinamik yapısı ve her zaman güncel verilere sahip olmasının yanı sıra sade ve anlaşılır yapısıyla bu sayı her geçen gün artmaktadır. Veriler, kullanıcılar tarafından gönüllü olarak herhangi bir bedel alınmaksızın yer etiketlemesi ve açıklamalar ya da fotoğraf eklenerek yapılmaktadır. Ayrıca kullanıcılar bu verileri düzenleyebilir. Wikimapia kullanıcılara çoklu dil desteği sağlamaktadır (Wikimapia, 2021). Ticari bir ürün olan GoogleMaps ise, uydu görüntüsü, sokak haritaları, seyahat güzergâh planlaması gibi hizmetler sunan bir web harita platformudur. Başlangıçta C++ bir masaüstü uygulaması olarak geliştirilmiş daha sonra Google tarafından web uygulaması olarak sunulmuştur. Haritaların görüntülenmesinin yanı sıra Android, IOS, web tarayıcıları ile çalışabilmek için programlama ara yüzü ile çalışabilir. GoogleMaps görünümünde katman ve harita türü kullanıcının ihtiyacına bağlı olarak değiştirilebilir. Çeşitli kategorilerde bulunan konumlarla ilgili sorgulamalar GoogleMaps API yardımıyla gerçekleştirilmektedir (GoogleMaps API, 2021). GoogleMaps, kullanıcılarına güzergâh bulma, detaylara erişim imkânını sunmaktadır. POI verilerinin kullanım amaçları ve hedef kitle durumları kullanıcı yorumları değerlendirilerek zenginleştirilmiştir. GoogleMaps, herkese yönelik bir navigasyon aracı olarak geliştirilmiştir. Sunduğu ek hizmetlerle beraber kullanıcı için kullanışlı hale gelmesi, ek amaçlar için kullanımı da ortaya çıkarmıştır. Kullanıcı GoogleMaps sayesinde; güzergâh oluşturabilir, konum paylaşabilir, ziyaret edilmesi planlanan yerlerin konumlarını ve güzergâhlarını kayıt altına alabilir. Aynı zamanda yazılımın geliştirilmesiyle beraber uygulama ile güzergâh belirlerken trafiği de göz önünde tutarak hedefe ulaşma süresini de belirler. TOPO25VT ise, HGM tarafından standart bir prosedür izlenerek, 1:25000 veya daha küçük ölçekli olarak haritaların üretildiği veri tabanıdır. Bu veri tabanının güncellenmesi maliyetli bir işlemdir ve yalnızca belirli zaman aralıklarında gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, TOPO25VT'de güncelleme gerektiren detayların otomatik tespiti etkili bir işlem olacaktır ve bu da sonuçta veri tabanı güncellemesinin toplam maliyetini azaltacaktır. Böyle bir motivasyonu gerçekleştirmek ise GCB ve kitle kaynak yaklaşımlarla üretilen verilerin kalitesinin değerlendirilmesini gerektirir. Ancak görüldüğü gibi POI verilerinin çıkarıldığı veri kaynaklarının üretim amaçları, şemaları ve veri formatları farklılık göstermektedir. Elbette GCB ve kitle kaynak yaklaşımları ile üretilen veriler TOPO25VT verilerinin yerine geçemez ancak belirli değerlendirme işlemlerinden sonra veri tabanını güncellemek veya zenginleştirmek için kullanılabilir.

Bu çalışmada HGM uygulamaları kapsamında kitle kaynak yaklaşımı ile toplanması gereken POI verileri belirlenmiştir. Belirlenen POI verilerinin, kitle kaynak yaklaşımı ile oluşturulan açık harita servislerinin başında gelen OSM'den çıkarılması hedeflenmiştir. HGM POI türleri, OSM POI türleri kapsamında karşılaştırılarak anahtar ve değer (key=value) kavramları belirlenmiştir (OSM Wiki, 2021). Belirlenen anahtar değer kavramları kapsamında Tablo 1'de yer alan bütün POI türleri SPARQL sorgu dili kullanılarak OSM Sophox ile sorgulanmıştır. SPARQL sorguları sonucunda elde edilen veriler \*.csv formatında kaydedilmiştir. POI verilerinin çıkarılması için bir diğer açık harita servisi Wikimapia olarak belirlenmiştir. Wikimapia API kullanılarak Trabzon sınırlayıcı dikkörtgeni (bounding box) içinde kalan, bütün HGM POI kategorileri kapsamında yer alan POI verileri \*.geojson formatında çıkarılmıştır. Çıkarılan verilerin karşılaştırılması amacıyla Google Places API kullanılarak her bir POI türü için sınırlı sayıda (29 satır) veriler \*.xlsx formatında GoogleMaps'ten çıkarılmıştır. OSM, WikiMapia ve GoogleMaps'ten çıkarılan POI verileri etiket ve konum benzerliği yönüyle karşılaştırılmıştır.

## 2.1 Çalışma Alanının Belirlenmesi

POI verilerinin çıkarılması amacıyla çalışma alanı olarak Trabzon ili seçilmiştir. Trabzon ilinde, çıkarılacak POI verilerinin kategorileri Alışveriş, Antenler ve Yüksek Yapılar, Dini Tesisler, Eğitim Kurumları, Finansal Kurumlar, Kültürel Tesisler, Mezarlıklar, Resmi kurum, Sağlık Kurumları, Sanayi ve Üretim Alanları, Spor Tesisleri, Su, Kanalizasyon, Çöp, Tarım ve Hayvancılık, Tarihi ve Turistik Tesisler, Ulaşım ve Yeşil Alanlar olarak sıralanmaktadır.

## 2.2. HGM-POI Kategorilerinin Belirlenmesi

POI detayları TOPO25VT kapsamında tutulan detaylar içerisinde doğrudan yer almamaktadır. Ancak acil durum yönetimi ve navigasyon gibi birçok uygulama kapsamında bu verilerin HGM uygulamalarında kullanılması planlanmaktadır. Bu nedenle POI detayları için asgari düzeyde öznitelikler belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen POI verileri için gelecek çalışmalarda veri kalitesi değerlendirme işlemleri gerçekleştirilecektir. Elde edilen sonuçlara göre değerlendirme kriterlerini sağlayan POI verileri veri tabanına kaydedilecektir.

Ulusal harita kurumları GCB ve kitle kaynak yaklaşımıyla veri tabanlarını güncellerken iki yöntem kullanmaktadır. Bu yöntemlerden ilki, açık veri kaynaklarındaki verileri kullanarak, ikincisi ise GCB yaklaşımıyla kullanıcılardan veri toplamak için mobil ve web uygulaması geliştirerek veri tabanlarını güncellemektir. Bu çalışmada ilk yöntem kullanılmıştır ve çalışma, açık veri kaynaklarından hangi POI kategorilerinin yer aldığı ve kaç tane POI verisinin çıkarılabileceğine odaklanmaktadır. Amaç, yeni eklenen POI verilerini belirlemek veya mevcut POI verileri için değişikliklerin belirlenmesidir. Bu amaçla OSM, Wikimapia ve GoogleMaps kullanılarak POI verilerinin çıkarılması için HGM POI türleri belirlenmiştir. HGM POI verilerinin GCB yaklaşımıyla toplanması için geliştirilecek olan mobil ve web uygulaması için belirlenen HGM POI türleri baz alınacaktır. Çalışma kapsamında HGM TOPO25VT'nin güncellenmesi ve zenginleştirilmesi için HGM Fotogrametri Daire Başkanlığı ve Askeri Coğrafya Daire Başkanlığı ile yürütülen çalışmalar kapsamında HGM uygulamalarında kullanılacak POI detayları ve öznitelikleri Tablo 1'deki gibi belirlenmiştir.

**Tablo 1.** HGM POI detayları ve öznitelikleri

Tema	POI Türleri	Türü	Adı	Durumu	Yükseklği
Alışveriş	AVM	✓	✓		
	İş Merkezi	✓	✓		
	Açık Pazaryeri	✓	✓		
	Kapalı Pazaryeri	✓	✓		
Ulaşım	Benzinlik	✓	✓		
	Dinlenme Tesisi	✓	✓		
	Havaalanı	✓	✓		
	Otopark	✓	✓		
	Araç Muayene İstasyonu	✓	✓		
	Otobüs Durağı	✓	✓		
	Metro Durağı	✓	✓		
	Tren İstasyonu	✓	✓		
Dini Tesisler	Otogar	✓	✓		
	Cami	✓	✓		
	Cemevi	✓	✓		
	Mescit	✓	✓		
	Kilise	✓	✓		
	Havra	✓	✓		
Eğitim Kurumları	Sinagog	✓	✓		
	İlkokul	✓	✓	✓	
	Ortaokul	✓	✓	✓	
	Lise	✓	✓	✓	
	Üniversite	✓	✓	✓	
Finansal Kurumlar	Kurs	✓	✓	✓	
	Banka Şubesi	✓	✓		
Kültürel Tesisler	ATM	✓	✓		
	Fuar Merkezi	✓	✓	✓	
	Kültür/Kongre Merkezi	✓	✓	✓	
	Kütüphane	✓	✓	✓	
	Müze	✓	✓	✓	
	Tiyatro	✓	✓	✓	
	Sergi Salonu	✓	✓	✓	
Resmi Kurum	Sinema	✓	✓	✓	
	Valilik	✓	✓		
	Belediye	✓	✓		
	Adliye	✓	✓		
	Noter	✓	✓		
	Lojman	✓	✓		
	Jandarma	✓	✓		
	Polis	✓	✓		
	Gümrük Binası	✓	✓		
İl Özel İdare	✓	✓			
Sağlık Kurumları	Hastane	✓	✓	✓	
	Sağlık Ocağı	✓	✓	✓	
	Poliklinik	✓	✓	✓	

Tablo 1'in devamı

Tema	POI Türleri	Türü	Adı	Durumu	Yüksekliği
Sanayi ve Üretim Alanları	Organize Sanayi Bölgesi	✓	✓		
	Küçük/Büyük Sanayi Sitesi	✓	✓		
	Fabrika	✓	✓		
	Atölye	✓	✓		
Spor Tesisleri	Stadyum	✓	✓	✓	
	Spor Salonu	✓	✓	✓	
	Futbol/ Basketbol/ Tenis/ Voleybol/ Golf Sahası	✓	✓	✓	
Su, Kanalizasyon, Çöp	Çöp Depolama Alanı	✓	✓		
	Aritma Tesisi	✓	✓		
Tarihi ve Turistik Yerler	Anıt	✓	✓	✓	
	Otel	✓	✓	✓	
	Hamam	✓	✓	✓	
	Kaplıca	✓	✓	✓	
	Misafirhane	✓	✓	✓	
	Plaj	✓	✓	✓	
	Tarihi Alanlar	✓	✓	✓	
	Milli Parklar	✓	✓	✓	
Tarım ve Hayvancılık	Tarım/Hayvan Çiftlikleri	✓	✓	✓	
	Tarımsal Üretim Alanları	✓	✓	✓	
	Silo	✓	✓	✓	
Antenler ve Yüksek Yapılar	Baz İstasyonu	✓	✓	✓	✓*
	TV/Radyo Verici	✓	✓	✓	✓*
	Deniz Feneri	✓	✓	✓	✓*
	Baca	✓	✓	✓	✓*
	Vinç	✓	✓	✓	✓*
	Değirmen	✓	✓	✓	✓*
	Kuleler	✓	✓	✓	✓*
	Bayrak Direği	✓	✓	✓	✓*
	Havada Asılı Engeller	✓	✓	✓	✓*
Yeşil Alanlar	Park	✓	✓	✓	
	Mesire Alanı	✓	✓	✓	
Mezarlıklar	Müslüman Mezarlığı	✓	✓	✓	
	Hristiyan Mezarlığı	✓	✓	✓	
	Yahudi Mezarlığı	✓	✓	✓	

\*Yükseklik bilgisinin toplanmasının isteğe bağlı olması kararlaştırılmıştır.

Tablo 1'de verilen ana temalar altında yer alan POI türleri için Fotogrametri Daire Başkanlığı ve Askeri Coğrafya Daire Başkanlığı ile birlikte yapılan toplantılarda asgari öznitelikler belirlenmiştir. Yükseklik özniteliğinin sadece Antenler ve Yüksek Yapılar teması altındaki POI türlerinde olma sebebi düşey engel veri tabanındaki güncelleme ve zenginleştirme işleminin diğer detaylara göre önem arz etmesidir. Diğer HGM POI türleri için asgari düzeyde belirlenen özniteliklerin toplanması öncelikli hedef olarak belirlenmiştir ve ihtiyaç halinde kapsam genişletilebilecektir. Belirlenen POI türleri ve öznitelikleri baz alınarak geliştirilecek olan mobil ve web uygulaması yardımıyla kullanıcılardan bu verilerin toplanması hedeflenmektedir. Böylece hem açık veri kaynaklarından hem de mobil-web uygulamasından toplanan verilerin filtrelenerek veri tabanına aktarılması planlanmaktadır. Mobil ve web uygulamalarının gelişim sürecinde kullanıcılardan gelen açıklamalara göre detay ve öznitelik bilgilerinin kapsamı genişletilebilecektir.

### 2.3. HGM-POI Verilerinin Açık Harita Kaynaklarından Çıkarılması

Belirlenen HGM-POI türleri, yaygın kullanılan harita kaynakları olan OSM, Wikimapia ve GoogleMaps üzerinden çıkarılmıştır.

#### 2.3.1 HGM-POI Verilerinin OpenStreetMap'ten Çıkarılması

OSM, ücretsiz, açık kaynaklı ve evrensel bir harita oluşturma projesidir. OSM verileri, kullanıcılar tarafından gönüllülük esasına dayanarak toplanmaktadır. Veriler kullanıcılar tarafından düzenlenebilir ve tümüne ücretsiz olarak erişim sağlanabilir. OSM temel veri yapıları düğüm (node), yol (way) ve ilişki (relation)dir. Bu temel veri yapılarına etiketler (tags) eklenerek zemindeki fiziksel özellikler temsil edilmektedir.

Etiketler nesne hakkında bilgilerin bulunduğu bir anahtar-değer (key-value) çiftinden oluşmaktadır. Örneğin bir banka “amenity=bank” etiketiyle temsil edilmektedir. OSM verileri kullanıcılar tarafından bu verilerle temsil edilir. Yaygın olarak kullanılan etiketler için anahtar-değer çiftleri oluşturulmuştur. Ayrıca etiketlerle ilgili detaylı bilgiler kullanıcılara sunulmuştur. OSM’ye ait tüm veriler üçlü depolarda özne-yüklem-nesne olarak depolanmaktadır. Kullanıcılar OSM ana sayfasından ilgili aramaları yaparak verileri dışa aktarabilir. Verilerin dışa aktarımında XAPI, Overpass API ya da dışa aktarım aracı kullanılır. OpenStreetMap veri tabanına ait güncel tüm veriler Planet OSM kullanılarak elde edilebilirken kıta, ülke ve şehirlere ait güncel veriler ise Geofabrik indirmelerden elde edilmektedir (OSM, 2021). OSM, POI veri kaynakları arasında en önemli veri kaynağıdır. Bu kaynak POI verilerini temsil edecek biçimde özel olarak tasarlanmamıştır. Bu sebeple verilerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Konumsal uygulamalarda en çok kullanılan açık veri kaynağı şüphesiz OSM dir. POI verileri OSM üzerinden OSM Sophox kullanılarak çıkarılmıştır. OSM Sophox, OSM verileriyle çalışabilmek amacıyla geliştirilmiş hizmetler topluluğudur. OSM verileri ve OSM meta verilerine ek olarak harici veri kaynakları da kullanılabilir. Ayrıca, OSM Sophox, OSM’nin düzenlenmesi için kullanılabilir. Verileri sorgulamak için SPARQL dili kullanılmaktadır. Sophox bir harici kaynaktan tablo biçimli ve URL aracılığıyla erişilebilir olan verileri alabilir ve bunları diğer verilerle birleştirebilir (OSM Sophox, 2021). Sophox ile OSM verilerinden RDF üçlüleri oluşturulmaktadır. Fakat geometrik şekil bilgisi bir merkez noktası olacak biçimde sadeleştirilmektedir. Konumsal sorgular sadece verilen bir sınırlayıcı dikdörtgen (bounding box) içerisinde bulunan bu merkezi noktaların arasında gerçekleştirilmektedir (Bast vd. 2021).

OSM Sophox ile verilerin çıkarılması için öncelikle HGM POI verileri için belirlenen kategorilerde POI türlerinin OSM kategorilerinde hangi anahtar=değer (key=value) kavramlarına karşılık geldiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle HGM POI türlerinin OSM anahtar değer karşılıkları Tablo 2’de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

**Tablo 2.** HGM POI türlerinin OSM anahtar=değer karşılıkları

Tema	HGM POI Türleri	OSM anahtar=değer
Alışveriş	AVM	shop=mall
	İş Merkezi	building=office
	Açık Pazaryeri	amenity=marketplace
	Kapalı Pazaryeri	building=supermarket, shop=supermarket
Ulaşım	Benzinlik	amenity=fuel
	Dinlenme Tesisi	highway=services, highway=rest_area
	Havaalanı	aeroway=aerodrome
	Otopark	amenity=parking, building=parking
	Araç Muayene İstasyonu	amenity vehicle_inspection
	Otobüs Durağı	amenity=bus_station, highway=bus_stop, public_transport=stop_position
	Metro Durağı	public_transport=stop_area, public_transport=platform
	Tren İstasyonu	railway=station, public_transport=station, railway=halt, railway=tram_stop, public_transport=stop_position,
Otogar	building=transportation, public_transport=platform	
Dini Tesisler	Cami	building=mosque, amenity=place_of_worship + religion=muslim
	Cemevi	-
	Mescit	amenity=place_of_worship + religion=muslim
	Kilise	building=church, amenity=place_of_worship + religion=christian
	Havra	building=synagogue, amenity=place_of_worship + religion=jewish
Sinagog	building=synagogue, amenity=place_of_worship + religion=jewish	
Eğitim Kurumları	İlkokul	amenity=school
	Ortaokul	amenity=school
	Lise	amenity=school
	Üniversite	amenity=university
Finansal Kurumlar	Kurs	-
	Banka Şubesi	amenity=bank
Kültürel Tesisler	ATM	amenity=atm
	Fuar Merkezi	amenity=community_centre
	Kültür/Kongre Merkezi	amenity=arts_centre, amenity=community_centre
	Kütüphane	amenity=library
	Müze	tourism=museum
	Tiyatro	amenity=theatre
	Sergi Salonu	tourism=gallery
Sinema	amenity=cinema	

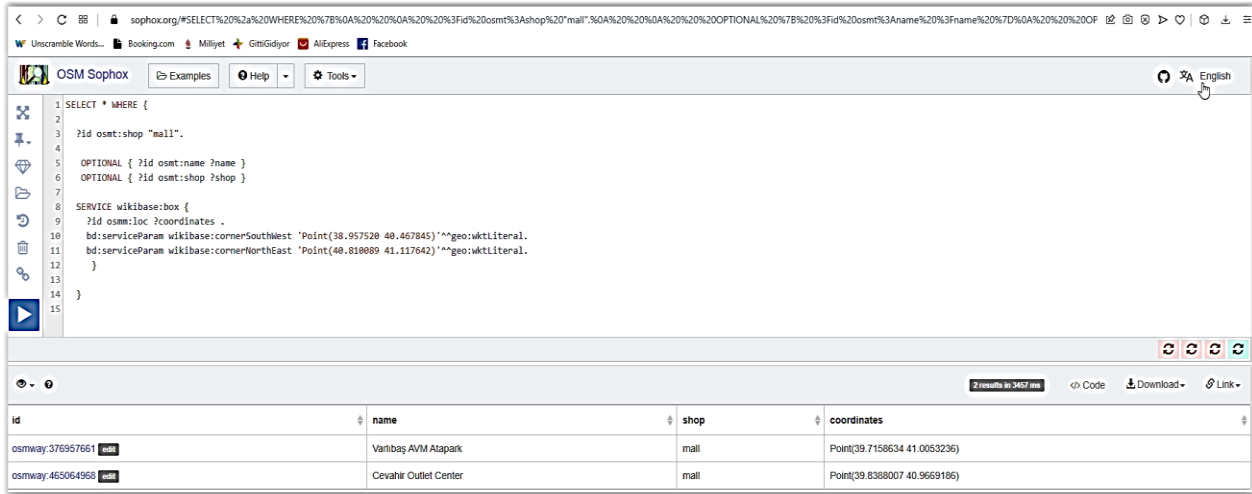
Tablo 2'nin devamı

Tema	HGM POI Türleri	OSM anahtar=değer
Resmi Kurum	Valilik	office=government
	Belediye	amenity=townhall
	Adliye	amenity=courthouse
	Noter	office=notary
	Lojman	-
	Jandarma	building=military
	Polis	amenity=police
	Gümrük Binası	barrier=border_control
	İl Özel İdare	building=government
Sağlık Kurumları	Hastane	amenity=hospital, building=hospital
	Sağlık Ocağı	amenity=clinic
	Poliklinik	amenity=clinic
Sanayi ve Üretim Alanları	Organize Sanayi Bölgesi	landuse=industrial
	Küçük/Büyük Sanayi Sitesi	-
	Fabrika	man_made=works
	Atölye	craft=atelier
Spor Tesisleri	Stadyum	leisure=stadium, building=stadium
	Spor Salonu	leisure=sports_centre, building=sports_hall
	Futbol/ Basketbol/ Tenis/ Voleybol/ Golf Sahası	leisure=pitch + sport=soccer/basketball/tennis/volleyball/golf_course
Su, Kanalizasyon, Çöp	Çöp Depolama Alanı	landuse=landfill
	Arıtma Tesisi	man_made=wastewater_plant
Tarihi ve Turistik Yerler	Anıt	historic=monument
	Otel	tourism=hotel, building=hotel
	Hamam	amenity=public_bath
	Kaplıca	amenity=public_bath
	Misafirhane	tourism=guest_house
	Plaj	natural=beach
	Tarihi Alanlar	historic=archaeological_site
	Milli Parklar	boundary=national_park, boundary=protected_area, leisure=nature_reserve
Tarım ve Hayvancılık	Tarım/Hayvan Çiftlikleri	landuse=farmyard
	Tarımsal Üretim Alanları	landuse=farmland
	Silo	man_made=silo
Antenler ve Yüksek Yapılar	Baz İstasyonu	man_made=mast
	TV/Radyo Verici	man_made=communications_tower
	Deniz Feneri	man_made=lighthouse
	Baca	man_made=chimney
	Vinç	man_made=crane
	Değirmen	man_made=watermill, man_made=windmill
	Kuleler	man_made=tower
	Bayrak Direği	man_made=flagpole
Havada Asılı Engeller	-	
Yeşil Alanlar	Park	leisure=park
	Mesire Alanı	tourism=picnic_site
Mezarlıklar	Müslüman Mezarlığı	landuse=cemetery (religion=muslim)
	Hristiyan Mezarlığı	landuse=cemetery (religion=christian)
	Yahudi Mezarlığı	landuse=cemetery (religion=jewish)

OSM Sophox ile SPARQL sorgularının gerçekleştirilmesi için kullanılan URI adresleri örnekleri ile birlikte aşağıda sıralanmıştır.

prefix osmnode: <https://www.openstreetmap.org/node/>  
 prefix osmway: <https://www.openstreetmap.org/way/>  
 prefix osmrel: <https://www.openstreetmap.org/relation/>  
 prefix osmt: <https://www.openstreetmap.org/wiki/Key:>  
 prefix osmm: <https://www.openstreetmap.org/meta/>

Çalışma kapsamında POI verilerinin OSM den çıkarılması için OSM Sophox ile SPARQL sorguları çalıştırılmıştır. Şekil 1’de avm için gerçekleştirilen SPARQL sorgusu verilmiştir.



The screenshot shows the OSM Sophox web interface. The top part displays a SPARQL query in a text editor. The query is as follows:

```
1 SELECT * WHERE {
2   ?id osmt:shop "mall".
3
4   OPTIONAL { ?id osmt:name ?name }
5   OPTIONAL { ?id osmt:shop ?shop }
6
7   SERVICE wikibase:box {
8     ?id osm:loc ?coordinates .
9     bd:serviceParam wikibase:cornerSouthWest "Point(38.957520 40.467845)^^geo:wktLiteral.
10    bd:serviceParam wikibase:cornerNorthEast "Point(40.818089 41.117642)^^geo:wktLiteral.
11  }
12 }
13
14 }
15
```

Below the query editor, there is a table with the following data:

id	name	shop	coordinates
osmway:376957661	Varışaş AVM Atapark	mall	Point(39.7158634 41.0053236)
osmway:465064968	Cevahir Outlet Center	mall	Point(39.8388007 40.9669186)

Şekil 1. OSM Sophox SPARQL Sorgusu

SPARQL sorguları bütün POI detayları için gerçekleştirilmiştir ve her bir POI türü için \*.csv uzantılı dosya olarak kaydedilmiştir.

### 2.3.2 HGM-POI Verilerinin Wikimapia’dan Çıkarılması

Wikimapia POI verileri için harita sağlayıcısıdır. Wikimapia, online bir haritanın wiki sistemiyle birleştirilmesi fikrinden yola çıkılarak tasarlanmıştır. Dünya üzerinde bulunun tüm coğrafi nesnelere açık içerikli olarak haritalamak ve bu içeriklerle ilgili bilgiyi ücretsiz olarak sağlamak bu projenin temel amacıdır. Kullanıcılar etiket oluşturarak bu etiketlerle ilgili bilgiler paylaşabilir. Veriler, kullanıcılar tarafından gönüllü olarak herhangi bir bedel alınmaksızın yer etiketlemesi ve açıklamalar ya da fotoğraf eklenerek oluşturulmaktadır. HGM POI kategorileri kapsamındaki POI türleri Wikimapia API kullanılarak çıkarılmıştır. Çıkarılan POI verileri \*.geojson formatında kaydedilmiştir.

### 2.3.3 HGM-POI Verilerinin GoogleMaps’ten Çıkarılması

GoogleMaps uydu görüntüsü, sokak haritaları, seyahat rota planlaması gibi hizmetler sunan bir web haritalama platformudur. Başlangıçta C++ bir masaüstü uygulaması olarak geliştirilmiş daha sonra Google tarafından web uygulaması olarak sunulmuştur. Haritaların görüntülenmesinin yanı sıra Android, IOS ve web tarayıcıları üzerinde programlama ara yüzü ile çalışabilir. GoogleMaps görünümünde katman ve harita türü kullanıcının ihtiyacına bağlı olarak değiştirilebilir. Çeşitli kategorilerde bulunan konumlarla ilgili sorgulamalar GoogleMaps API yardımıyla gerçekleştirilmektedir (GoogleMaps API, 2021). HGM POI kategorilerinde yer alan POI verileri Google Places API kullanılarak çıkarılmıştır. Ancak sınırlı sayıda kategoride yer alan sınırlı sayıda veri \*.xlsx formatında çıkarılmıştır.

## 2.4 POI Verilerinin Çıkarılması ve Karşılaştırılması

Her bir kategorideki POI türleri ve öznitelikleri belirlenmiştir. Belirlenen POI türleri için öncelikle OSM anahtar\_değer çiftleri belirlenerek OSM Sophox ile sorgular gerçekleştirilmiştir. OSM anahtar değer çiftlerinin değerlendirilmesinde HGM uygulamaları kapsamında cemevi, kurs, lojman, küçük/büyük sanayi sitesi, havada asılı engeller kategorisindeki POI türlerinin karşılığı bulunamamıştır. Ancak HGM POI türlerinin büyük bir çoğunluğunun anahtar değer karşılıklarının OSM Harita Detayları (OSM MapFeatures) kapsamında değerlendirildiği, kategorilerin detaylı bir şekilde oluşturulduğu görülmüştür. OSM detayları çalışmanın yapıldığı tarih itibarıyla toplamda 29 anahtar ve 1409 değer olmak üzere 740.980.0455 düğüm, 826.374.213 çizgi ve 953.8921 ilişki içermektedir.

Web üzerinde farklı kaynaklardan veri setlerinin tamamını içeren dosyalar yani veri dökümleri (data dumps) çıkarılabilir. Verileri çıkarmak için sorgu ara yüzleri yani sorgu uç noktaları (SPARQL Endpoint, RESTful API) kullanılır. Web sitelerinden programlama desteği ile veri çıkarma (web scraping) teknikleriyle POI verileri çıkarılabilir. OSM verilerinin sorgulanması için OSM Sophox ara yüzü kullanılmıştır. POI verileri SPARQL sorguları ile çıkarılmıştır. OSM Sophox nokta detaylarını sorgulamak için sınırlayıcı dikkörtgeni kullanılmaktadır.

Wikimapia API ile OSM POI türlerinin karşılıkları çıkarılmıştır. GoogleMaps sınırlı veri indirme işlemine izin verdiği için toplamda 280 kayıt veri indirilebilmiştir. POI türlerinin OSM, Wikimapia ve GoogleMaps kategori karşılıkları ile çıkarılan veriler Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** OSM-Wikimapia-GoogleMaps POI kategorilerinin karşılıkları

OSM POI türleri	Wikimapia POI türleri	GoogleMaps POI Türleri*
amenity=arts_centre	-	-
amenity=bank	bank	bank
amenity=bus_station	bus_station	bus_station
amenity=cinema	-	movie_theater
amenity=clinic	clinic	-
amenity=community_centre	-	-
amenity=courthouse	courthouse	courthouse
amenity=fuel	petrol_gas_station	gas_station
amenity=hospital	hospital	hospital
amenity=library	library	library
amenity=marketplace	-	-
amenity=parking	parking	parking
amenity=place_of_worship+religion=christian	church	church
amenity=place_of_worship+religion=muslim	mosque	mosque
amenity=police	police_station	police
amenity=public_bath	-	-
amenity=school	school	school(primary,secondary)
amenity=theatre	-	movie_theater
amenity=townhall	townhall	local_government_office
amenity=university	university	university
amenity=vehicle_inspection	-	*
building=hotel	hotel	hotel
cemetery=muslim	cemetery	cemetery
highway=rest=area	-	-
historic=monument	-	-
landuse=farmland	-	-
landuse=farmyard	-	-
landuse=industrial	industrial_area	-
landuse=landfill	-	-
leisure=nature_reserve	nature_conservation_park	-
leisure=park	park	park
leisure=sports_centre	Sports_complex	-
leisure=stadium	football-soccer_stadium	stadium
man_made=wastewater_plant	-	-
man_made=watermill	-	-
man_made=works	factory	-
natural=beach	beach	-
office=government	government	-
shop=mall	shopping_mall_center	shopping_mall
shop=supermarket	supermarket	supermarket
sport=basketball	basketball_court	-
sport=soccer	football-soccerfield,	-
sport=tennis	tennis_court	-
tourism=museum	-	museum

\*Google Places API ile sınırlı sayıda veri indirildiği için bütün POI türleri için indirme işlemi gerçekleştirilememiştir.

HGM-POI türleri kapsamında belirlenen OSM, Wikimapia ve GoogleMaps kategori karşılıklarına bakıldığında OSM POI türlerinin, HGM-POI türlerini büyük ölçüde içerdiği görülmektedir. Wikimapia API ile sağlanan POI türlerine bakıldığında HGM-POI kategorilerinin OSM ye göre daha az POI türü karşılığının olduğu belirlenmiştir. Wikimapia 2021 Aralık itibarıyla 1976 kategoride yaklaşık 11 milyon POI verisi içermektedir. Wikimapia POI verilerinin her bir kategoride OSM POI verilerinden daha az sayıda veri içerdiği görülmüştür. Bazı OSM kategorilerinin ise Wikimapia POI kategorilerinde karşılığı bulunamamıştır.

GoogleMaps POI verilerinin çıkarılması için Google Places API kullanılmaktadır. Google Places, 96 adet POI türü ve 43 adet Places servisleri tarafından döndürülen ek tipleri içermektedir. Google Places API tarafından sağlanan HGM-POI kategorileri OSM ve Wikimapia POI kategorilerine göre daha azdır.

Ayrıca Google Places API ile bank, bus\_station, gas\_station, hospital, library, church, hotel, cemetery, museum POI kategorilerinde toplamda 280 kayıt veri çıkarılabilmektedir. Tablo 3'te gösterilen bütün Google Places POI kategorileri için veriler indirilememiştir. Açık veri kaynaklarından OSM'de POI türlerinin daha kapsamlı olduğu görülmüştür.

OSM verilerinin çıkarılması için OSM Sophox ara yüzü kullanılmıştır. OSM Sophox ara yüzünde POI verilerinin belirli bir sınırlayıcı dikdörtgen içinde aranması Trabzon ili dışındaki verilerin de sorgu sonucunda döndürülmesine neden olmuştur. Bu problem OSM Sophox ile sunulan verilerin geometri tanımlarının birbiri ile ilişkilendirilmemesi ve konumsal ilişkilerin tanımlanmaması sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Bu problemi ele alarak Almanya OSM verilerinin sunulması için Qlever UI (Qlever UI, 2021) geliştirilmiştir. Qlever UI ile yalnızca Almanya için konumsal ilişkilere göre sorgulama yapılmaktadır. Bu nedenle QleverUI OSM POI verilerinin çıkarılmasında kullanılamamıştır. Almanya OSM verilerinin çıkarılması için örnek bir sorgu aşağıdaki gibidir.

Freiburg'daki tüm üniversiteleri listele:

```
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX osmkey: <https://www.openstreetmap.org/wiki/Key:>
PREFIX osmrel: <https://www.openstreetmap.org/relation/>
SELECT ?osm_id ?geometry WHERE {
  osmrel:62768 ql:contains ?osm_id .
  ?osm_id osmkey:building "university" .
  ?osm_id geo:hasGeometry ?geometry .
}
```

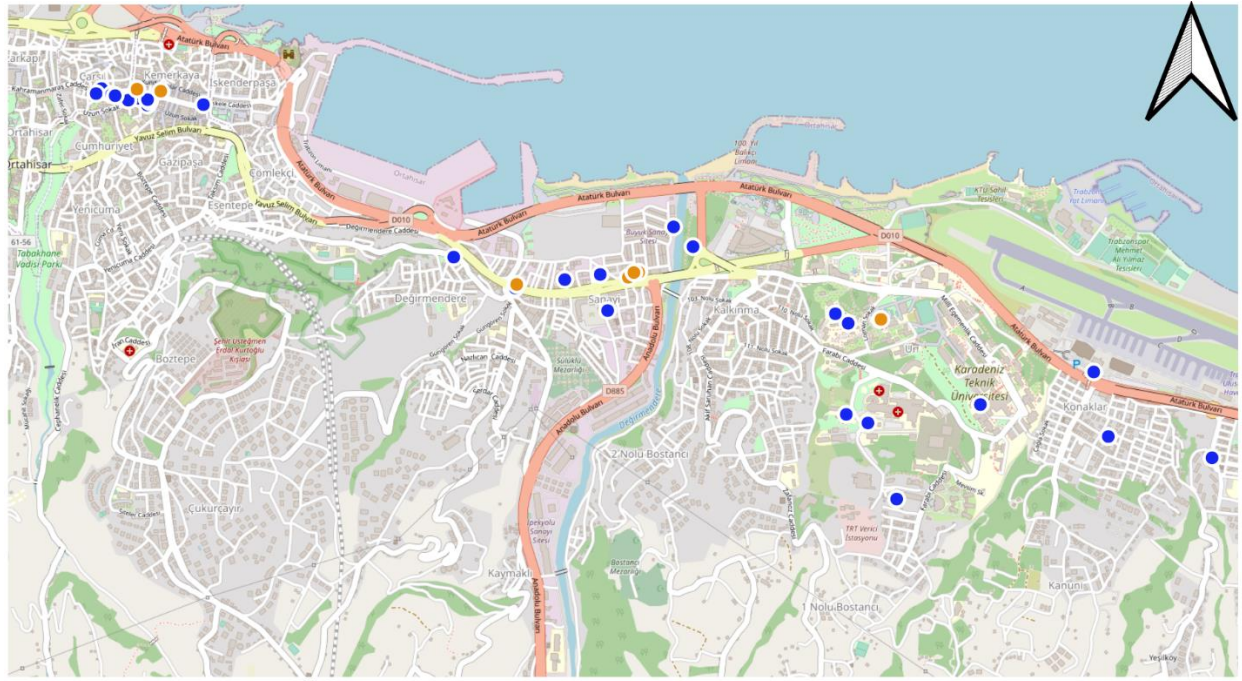
HGM-POI kategorilerinde belirlenen POI verileri, OSM, Wikimapia, GoogleMaps harita veri kaynaklarından çıkarılmıştır. HGM-POI kategorilerinden hotel, cemetery, fuel, bank, hospital için OSM, Wikimapia ve GoogleMaps'ten çıkarılan POI türlerine ait indirilen veri sayısı ve ilgili kategorilerdeki aynı veriler Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Çıkarılan POI verilerinin veri sayıları ve aynı verilerin karşılaştırılması

POI Türleri	OSM	Wikimapia	GoogleMaps	OSM	Wikimapia	GoogleMaps
hotel	12	16	28	Aksular Otel		Aksular Otel
cemetery	28	16	28	Mezarlık	mezarlık	
fuel	23	9	29	Petrol Ofisi	Petrol Ofisi	
bank	10	3	28	Ziraat Bankası, Halkbank, Vakıfbank		Ziraat Bankası, Halkbank, Vakıfbank
hospital	19	12	29	Of Devlet Hastanesi, Medical Park Trabzon	Of Devlet Hastanesi	Medical Park Trabzon, Medical Park Trabzon

Çıkarılan POI verilerinin hotel, cemetery, fuel, bank ve hospital POI kategorilerindeki veri sayıları Tablo 4'teki gibidir. GoogleMaps ile telif hakkından dolayı sınırlı sayıda veri indirme işlemi gerçekleştirildiğinden her üç harita kaynağında ortak POI türleri alınmıştır. GoogleMaps ile indirilen POI türlerinin özneliklerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Tablo 4 ile verilen POI dağılımını gösteren haritalar Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir.

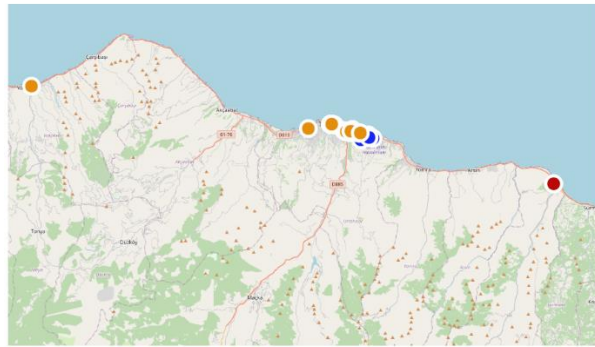




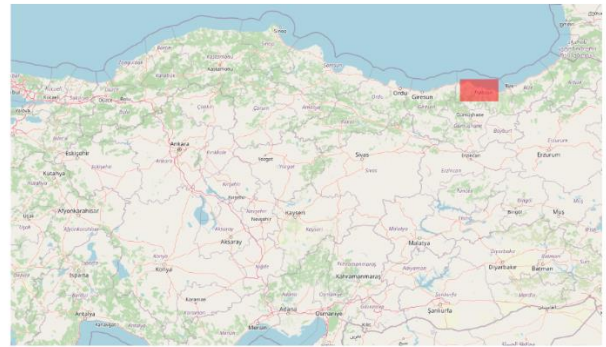
a) Trabzon merkezde yoğunlaşan bankalar

● bank\_wikimapia ● bank\_osm ● bank\_googlemaps

0.5 0 0.5 1 km



b) Trabzon'daki bankaların tamamı

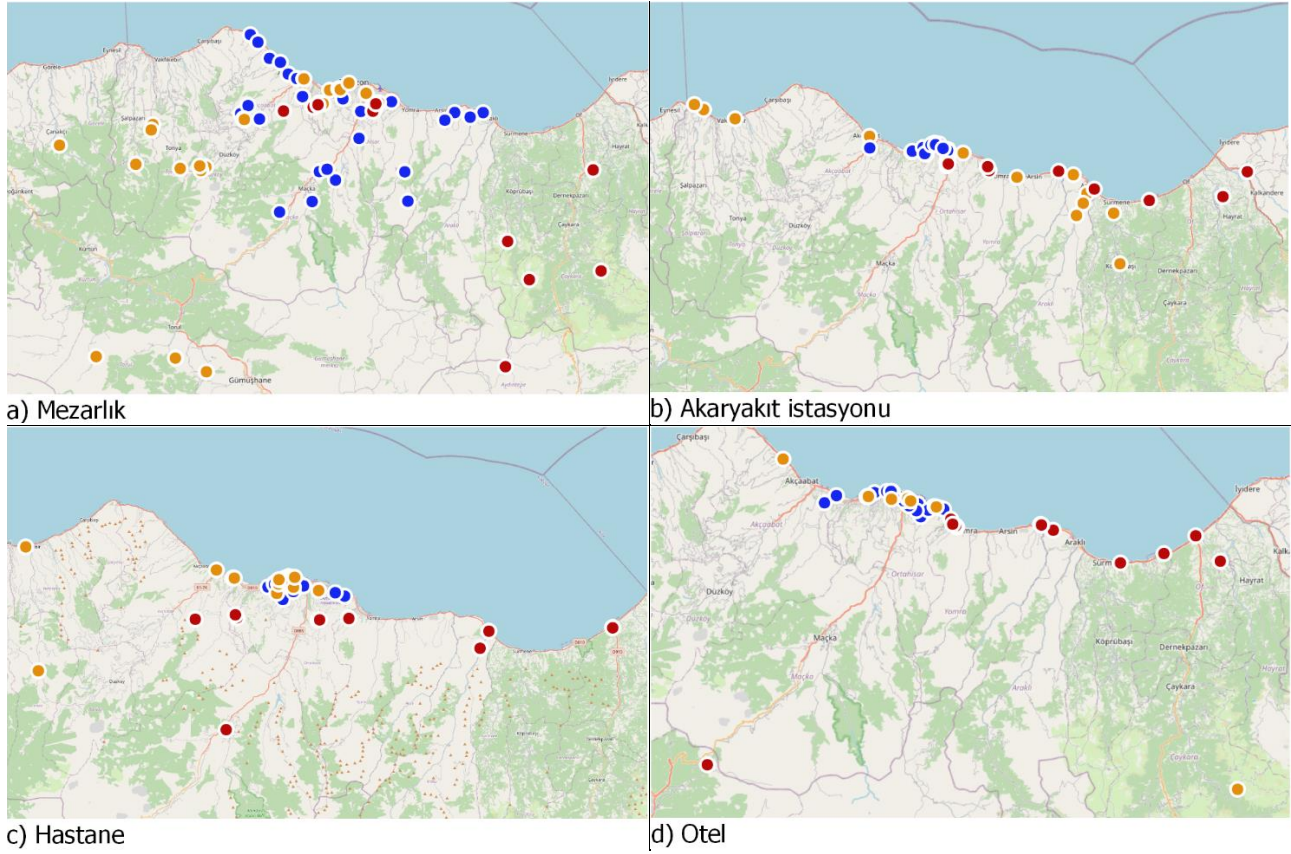


c) Çalışma alanı

**Şekil 2.** a) Trabzon merkezdeki Wikimapia, OSM ve GoogleMaps'ten çıkarılan banka verilerinin dağılımı b) Trabzon il sınırları içindeki bankaların tamamı c) Çalışma alanı

Şekil 2'de banka POI kategorisinde OSM, Wikimapia ve GoogleMaps'ten çıkarılan verilerin dağılımı verilmiştir. OSM den gelen 10, Wikimapia'dan gelen 3, GoogleMaps'den gelen 28 banka verilerinin nerelerde bulunduğu ve Trabzon'un hangi bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Şekil 3'te ise Mezarlık, Akaryakıt istasyonu, Hastane ve Otel POI kategorisinde yer alan POI verilerinin Trabzon il sınırları içerisindeki dağılımı verilmiştir. Çıkarılan POI verilerinin çok fazla aynı verileri içermediği farklı alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Yani farklı veri kaynaklarından farklı yerlerdeki POI verilerinin çıkarıldığı görülmüştür.



Şekil 3. Çıkarılan Mezarlık, Akaryakıt istasyonu, Hastane ve Otel POI verilerinin dağılımı

Harita kaynaklarından çıkarılan veriler arasındaki eksiklerin ve farklılıkların belirlenmesi amacıyla Tablo 5 hazırlanmıştır. Tablo 5’te verildiği gibi POI türlerinin bazılarında isim özniteliğinin boş olduğu görülmüştür. Ayrıca tek bir kategori içinde farklı kategorilere ait verilerin bulunduğu tespit edilmiştir. Özellikle OSM’den çıkarılan verilerde isim özniteliğinin kullanıcılar tarafından girilmediği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra OSM, Wikimapia ve GoogleMaps’ten çıkarılan verilerde veri tekrarlarına da rastlanmaktadır.

Tablo 5. Çıkarılan POI verilerinde eksikliklerin ve farklılıkların değerlendirilmesi

POI Türü	OSM	Wikimapia	Google Places
bank	✓	✓	Banka isimleri ile birlikte ATM isimleri bulunmaktadır.
beach	Verilerin bir kısmında isim özniteliği boş bırakılmıştır.	✓	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
bus_station	Terminal, Otogar ve kalkış alanı olmak üzere farklı kategoride veriler bulunmaktadır.	Dolmuş ve Minibüs Durak Alanı, Otobüs Terminali olmak üzere farklı kategoride veriler bulunmaktadır.	Otobüs Durağı, Dolmuş Durağı, büro, cadde ve yol isimleri bulunmaktadır.
cemetery	İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	✓	Veri tekrarı vardır.
church	İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	Veri tekrarı vardır.	Park, botanik bahçesi, müftülük, camii gibi farklı veri türleri mevcut. Ayrıca veri tekrarı bulunmaktadır.
fuel	İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	✓	Ticari işletme, lokanta, LPG şirketleri

Tablo 5'in devamı

POI Türü	OSM	Wikimapia	Google Places
Government	Hükümet konağı, belediye, kaymakamlık, asfalt şantiyesi, defterdarlık, gençlik spor il müdürlüğü, çocuk esirgeme kurumu vergi dairesi, aile ve sosyal politikalar il müdürlüğü, meteoroloji müdürlüğü, yurt müdürlüğü, DSİ bölge müdürlüğü, ilbank bölge müdürlüğü, TMO gibi veriler bulunmaktadır.	Hükümet konağı	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
hospital	✓	Sağlık ocağı ve aile sağlığı merkezi	Medikal, rehabilitasyon merkezi, sağlık ocağı, aile sağlığı birimi ve laboratuvar poliklinik. Veri tekrarı vardır. Ayrıca isim verilerinde eksiklik vardır.
hotel	Apart verileri yer almaktadır. İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	Restoran verisi mevcuttur.	Apart verileri mevcuttur.
industrial	HES, Organize sanayi bölgesi verileri yoğunluktadır. İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	Organize sanayi bölgesine ait veriler bulunmaktadır	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
library	✓	✓	Kütüphane verilerine ek olarak okuma salonu verileri bulunmaktadır.
man_made_works	İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	✓	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
mosque	İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	Veri tekrarı vardır. İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
museum	✓	-	Kale, heykel, anıt, manastır, ticari ve resmi kurum, cami, verileri bulunmaktadır. Veri tekrarı vardır.
park	İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	Restoran verisi bulunmaktadır.	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
parking	İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	✓	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
police	İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	✓	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
school	Uygulama okulu, anaokulu ve eğitim merkezi verileri mevcuttur. Veri tekrarı vardır. İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	Kuran kursu ve öğretmenevi verisi bulunmaktadır.	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
sports_centre	Halı saha, yüzme havuzu gibi veriler mevcuttur. İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	✓	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
stadium	İsim özniteliği boş bırakılan veriler bulunmaktadır.	✓	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.
townhall	✓	Kaymakamlık verisi bulunmaktadır.	Veri indirme sınırlı olduğu için bu kategoride veri indirilememiştir.

\*Farklı kategorileri içeren POI verileri HGM-POI türleri kapsamında bulunan POI verileri filtrelenerek kaydedilmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde OSM'den çıkarılan POI verilerinin Wikimapia'dan çıkarılan verilerden fazla olduğu görülmektedir. GoogleMaps ile çok daha fazla POI verisi yer almasına rağmen telif haklarından dolayı GooglePlaces API ile sınırlı sayıda POI verisi çıkarılmıştır. Ancak literatürde web kazıma veya veri kazıma (web scraping) ya da veri madenciliği kullanılarak daha fazla POI verisinin çıkarılması ile ilgili çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışma kapsamında GoogleMaps POI verilerinin çıkarılmasının amacı açık veri kaynaklarına göre konum doğruluklarının gelecek çalışmalarda değerlendirilmesidir. Tablo 5'te "✓" işareti ile verilen kısımlar ilgili POI kategorisinde yer alan POI verilerini ifade etmektedir. Tablo 5'te verilen değerlendirmeye göre OSM, Wikimapia hatta GoogleMaps'te bile ilgili POI kategorisi altında farklı kategorilerde yer alan POI verileri çıkarılmıştır. Örneğin, kilise POI kategorisinde çıkarılan POI verileri Park, botanik bahçesi, müftülük, cami gibi POI kategorisi ile ilgisi olmayan POI detayları bulunmaktadır. Veri tekrarlarının sayısı ise 1-3 arasında değişmektedir. Bu şekilde ilgili POI kategorisi kapsamında yer almaması gereken POI verilerine OSM, Wikimapia hatta GoogleMaps'te bile hemen hemen bütün POI kategorilerinde rastlanmaktadır. Bu durum veri içeriklerinin kapsamının doğruluğu açısından önemli bir çalışma konusudur ve gelecek çalışmalarda ele alınacaktır.

OSM'de birçok POI verisinin isim özneteliğinin boş bırakıldığı veya anlamsız rastgele karakterler girildiği görülmektedir. Ancak OSM'de kullanıcıların ilgili POI detayı için öznetelik ekleyebildikleri ve bu öznetelik için değerleri girdikleri görülmüştür. Ayrıca 3 veri kaynağında da veri tekrarına rastlanmaktadır. Bu sonuçlara göre her üç veri kaynağının POI sınıflandırması içeriklerinin değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir. Farklı POI verileri farklı POI türü içinde yer alabilmektedir.

### 3. Sonuç ve Öneriler

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte harita alanında uzman olan kullanıcılardan amatör kullanıcılara kadar geniş bir yelpazede kullanıcı grubu, açık harita kaynaklarını kullanarak konumsal verileri oluşturmakla veri tüketicisi konumundan veri üreticisi konumuna geçmiştir. Gerek kitle kaynak gerekse açık veri politikası gereği web üzerinde oluşturulan, paylaşılan konumsal verilerin büyük bir hızla artması, web üzerindeki konumsal verileri önemli bir bilgi kaynağı haline getirmiştir. Açık veri politikası ve kitle kaynak yaklaşımlar kapsamında oluşturulan girişimlerin yaygınlaşması ve başarısı, konumsal veri üreticisi kurum ve kuruluşları veri tabanlarını güncellemek ve zenginleştirmek için bu yaklaşımların sağladığı avantajları değerlendirmeye sevk etmiştir. Bu noktadan hareketle, ülkemizde ulusal düzeyde harita üreticisi konumunda olan HGM uygulamaları kapsamında açık veri ve kitle kaynak yaklaşımları ile üretilen konumsal verilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. HGM uygulamaları kapsamında POI verilerinin web üzerindeki harita kaynaklarından çıkarılması ve karşılaştırılması hedeflenmiştir. Çıkarılan POI verileri karşılaştırıldığında farklı harita kaynaklarından gelen POI verilerinde aynı verilerin az sayıda olduğu görülmüştür. Özellikle bazı POI isimlerinin kullanıcılar tarafından girilmediği ve ilgili POI kategorilerinde farklı kategorilerden verilerin bulunduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda POI verilerinin bu hatalardan arındırılması ve veri kalitesi değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilecektir. Kitle kaynak ve gönüllü coğrafi bilgi yaklaşımları ile toplanan verilerin kullanımının önündeki en büyük engel veri kalitesinin değerlendirilmesidir. Veri kalitesi değerlendirme işlemlerinin ardından uygun görülmesi halinde ulusal düzeyde tüm POI verilerinin çıkarılması hedeflenmektedir. HGM POI türleri doğrudan TOPO25VT kapsamında yer almamaktadır. Veri kalitesi değerlendirme işlemleri sırasında hangi POI türlerinin hangi katmandan çıkarılacağı ve kapsamının ne olduğu yönünde çalışmalar yürütülecektir. Farklı konumsal sorgulamalar ve konumsal analizler sonucunda belirlenen POI kategorileri katman olarak belirlenecek ve çıkarılan POI verileri ile karşılaştırılacaktır.

### Kaynaklar

- Andrade, R., Alves, A., & Bento, C. (2020). POI mining for land use classification: A case study. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9), 493, doi: 10.3390/ijgi9090493.
- Bakillah, M., Liang, S., Mobasher, A., Jokar Arsanjani, J., & Zipf, A. (2014). Fine-resolution population mapping using OpenStreetMap points-of-interest. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(9), 1940-1963.
- Bao, J., Xu, C., Liu, P., & Wang, W. (2017). Exploring bikesharing travel patterns and trip purposes using smart card data and online point of interests. *Networks and Spatial Economics*, 17(4), 1231-1253.
- Bast, H., Brosi, P., Kalmbach, J., & Lehmann, A. (2021, November). An efficient RDF converter and SPARQL endpoint for the complete OpenStreetMap data. In *Proceedings of the 29th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, 2021. (pp. 536-539). SIGSPATIAL'21.
- Chen, L., Zhang, D., Pan, G., Ma, X., Yang, D., Kushlev, K., Zhang, W., & Li, S. (2015, September). Bike sharing station placement leveraging heterogeneous urban open data. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2015. (pp. 571-575). UbiComp'15.
- Cheng, F., Liu, S., Hou, X., Zhang, Y., Dong, S., Coxix, A., & Liu, G. (2018). Urban land extraction using DMSP/OLS nighttime light data and OpenStreetMap datasets for cities in China at different development levels. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(8), 2587-2599.

- Ciepluch, B., Jacob, R., Mooney, P., & Winstanley, A. C. (2010, July). Comparison of the accuracy of OpenStreetMap for Ireland with Google Maps and Bing Maps. In *Proceedings of the Ninth International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, 2010. (pp. 337).
- GoogleMaps API. (2021, October 17). *Google maps platform*, Retrieved from <https://developers.google.com/maps>.
- Klinkhardt, C., Woerle, T., Briem, L., Heilig, M., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2021). Using OpenStreetMap as a Data Source for Attractiveness in Travel Demand Models. *Transportation Research Record*, 2675(8), 294-303.
- Lampranidis, G., Skoutas, D., Papatheodorou, G., & Pfoser, D. (2014, November). Extraction, integration and analysis of crowdsourced points of interest from multiple web sources. In *Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Crowdsourced and Volunteered Geographic Information*, 2014. (pp. 16-23). GeoCrowd'14.
- Mummidi, L. N., & Krumm, J. (2008). Discovering points of interest from users' map annotations. *GeoJournal*, 72(3), 215-227.
- OSM. (2021, January 22). *Open Street Map*, Retrieved from <https://www.openstreetmap.org/#map=19/39.86674/32.75063>
- OSM Sophox. (2021, May 15). *OSM Sophox*, Retrieved from <https://sophox.org>
- OSM Wiki. (2021, February 19). *Map Features*, Retrieved from [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map\\_features](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_features)
- QLever UI. (2021, June). *QLever UI*, Retrieved from <http://osm2ttl.cs.uni-freiburg.de:8080/osm-planet/TwJREB>
- Ruta, M., Scioscia, F., De Filippis, D., Ieva, S., Binetti, M., & Di Sciascio, E. (2014). A semantic-enhanced augmented reality tool for OpenStreetMap POI discovery. *Transportation Research Procedia*, 3(2014), 479-488.
- Touya, G., Antoniou, V., Olteanu-Raimond, A. M., & Van Damme, M. D. (2017). Assessing crowdsourced POI quality: Combining methods based on reference data, history, and spatial relations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(3), 80, doi: 10.3390/ijgi6030080.
- W3C. (2012, March 16). *W3C points of interest core*, Retrieved from <https://www.w3.org/2010/POI/documents/Core/core-20111216.html>
- Wang, Z., Ma, D., Sun, D., & Zhang, J. (2021). Identification and analysis of urban functional area in Hangzhou based on OSM and POI data. *PLoS ONE*, 16(5), 1-20.
- Wikimapia. (2021, February 10). *Wikimapia - Let's describe the whole world!*, Retrieved from <https://wikimapia.org/#lang=tr&lat=40.162100&lon=29.065900&z=12&m=w>
- Zhang, Y., Gao, M., Zhang, X., Yang, P., Ma, Q., Wang, C., ... & Hu, X. (2018). An automatic approach to extracting geographic information from Internet. *IEEE Access*, 6, 36732-36743.

## FLO-2D ve HEC-RAS Yazılımları ile Ardanuç (Artvin) İlçesindeki Pona Deresi ve Örtülü Deresi'nin Taşkın Yayılım Haritalarının Karşılaştırmalı Üretilmesi

### Comparative Production of Flood Inundation Maps of Pona Creek and Örtülü Creek in Ardanuç (Artvin) District with FLO-2D and HEC-RAS Software

Emine Eda Çanta<sup>1</sup>, Sebahat Temuçin Kılıçer<sup>2\*</sup>, Halil Akıncı<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Devlet Su İşleri, 26. Bölge Müdürlüğü, Hidroelektrik Enerji Şube Baş Mühendisliği, 08100, Artvin/Türkiye.

<sup>2</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin/Türkiye.

#### ARAŞTIRMA MAKALESİ

##### \*Sorumlu yazar:

Sebahat Temuçin Kılıçer  
stemucin@artvin.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1058378

##### Yayın süreci

Geliş tarihi: 16.01.2022  
Kabul tarihi: 09.03.2022  
Basım tarihi: 14.03.2022

#### Özet

İklim değişikliğinin etkisiyle dünya genelinde meteorolojik karakterli doğal afetlerin sayısı her geçen yıl artmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda şiddetli yağışlar nedeniyle taşkın afetlerinde büyük bir artış olduğu gözlenmektedir. Çoruh Havzası, gerek topoğrafik, beşeri ve hidrometeorolojik özellikleri gerekse havza üzerinde yer alan derelerde sıklıkla taşkınların yaşanması nedeniyle taşkın afeti yönünden önemli havzalardan biri sayılmaktadır. Bu sebeple taşkın afetlerine dayalı muhtemel can ve mal kayıplarının önlenmesi ve zararların minimuma indirilebilmesi için havzadaki derelerin hidrolojik açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bir hidrolik model kullanılarak taşkın yayılım haritalarının üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada Çoruh havzası üzerinde yer alan, Artvin ili Ardanuç ilçesinde bulunan, Pona Deresi ve Örtülü Deresi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada arazi modelleme işlemleri için ArcGIS yazılımı, sonuçlara ait konumsal sorgulamalar ve haritalama işlemleri için ArcGIS yazılımı, hidrolik analizler için ise FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ilgili derelere ait hidrolik modelleme gerçekleştirilmiş, maksimum su derinlikleri bilgilerine ulaşılmış, taşkın yayılım alanları belirlenmiş ve taşkın yayılım haritaları üretilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Taşkın, Taşkın yayılım haritası, FLO-2D, HEC-RAS, Ardanuç, Artvin

#### Abstract

With the effect of climate change, the number of meteorological disasters is increasing year after year around the world. In our country, it has been observed that there has been a great increase in flood disasters due to heavy rains in recent years. Çoruh Basin is considered as one of the important basins in terms of either its topographic, human and hydrometeorological features or flood disasters based on frequently flooding in the streams of the basin. For this reason, it is necessary to evaluate the streams in the basin hydrologically in order to prevent possible loss of life and property and to minimize the damages due to flood disasters. In this study, it is aimed to produce flood inundation maps using a hydraulic model. For this purpose, Pona and Örtülü Creeks located in the Çoruh basin and within the borders of Ardanuç district of Artvin province, were selected as the study area. Several software were used in the study, ArcGIS for terrain modeling, spatial analysis and mapping, FLO-2D and HEC-RAS for hydraulic analysis. As the results of the study, hydraulic modeling of the relevant creeks was performed, maximum water depths were obtained, flood inundation areas were determined and flood inundation maps were produced.

**Keywords:** Flood, Flood inundation map, FLO-2D, HEC-RAS, Ardanuç, Artvin

## 1. Giriş

Dünyada ve Türkiye’de azımsanamayacak düzeyde afetler yaşanmaktadır. Afetlerin çeşitliliği, yaşanan ülke ve bölgenin coğrafyası, iklim koşulları, jeolojik ve topoğrafik özellikleri gibi koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Türkiye’de ise deprem, heyelan, orman yangını, sel ve taşkın gibi birçok doğal afet yaşanmaktadır. Literatürde Türkiye’de bölgesel veya ulusal ölçekte yaşanan afetlerin çeşitliliğini vurgulayan birçok çalışma bulunmaktadır (Karakhanian vd. 2004; Özşahin, 2013; Uslu vd. 2018; Ekinci vd. 2020).

Türkiye’de geçmişte yaşanan afetler nedeniyle önemli boyutlarda mal ve can kayıplarının yaşandığı görülmektedir (Uslu vd. 2018; Akıncı vd. 2019). Bu nedenle afetler ülkemiz gündeminde önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde sık sık gözlemlenen ve neredeyse her yıl önemli düzeyde can ve mal kayıplarının yaşanmasına neden olan doğal afetlerden biri de sel ve taşkın afetidir (Bacanlı, 2011; Acar vd. 2018; Uslu vd. 2018; Akıncı vd. 2019). Ülkemizde 2020 yılında yaşanan 905 doğa kaynaklı afetten 177 tanesinin sel ve taşkın kaynaklı olduğu görülmektedir (AFAD, 2021a). 2021 yılı içinde de Karadeniz Bölgesi’nde Kastamonu, Sinop ve Artvin illerinde ciddi kayıplara yol açan sel ve taşkın olayları yaşanmıştır. Yaşanan afetler nedeniyle Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD); afet farkındalığının artırılması, afet risklerinin azaltılması ve afetlerin önlenmesi konularında farkındalık yaratmak amacıyla 2021 yılını “Türkiye Afet Eğitim Yılı” ilan etmiştir (AFAD, 2021b).

Afetler, farklı kurum ve kuruluşların birlikte ve koordineli çalışmasını gerektiren olaylardır. Çünkü afetler, fiziki ve ekonomik kayıplara neden olduğu gibi hayatı durdurarak kesintiye uğratan olaylardır (Şahin ve Şipahioğlu, 2002; Uslu vd. 2018). Türkiye’de taşkın afetleri tarım arazilerinin hatta son yıllarda yerleşim alanlarının sular altında kalmasına sebep olmaktadır. Meteorolojik karakterli doğal afetlerden biri olarak değerlendirilen taşkın afetlerinin sayısı, sıklığı ve zararları küresel ısınma ve iklim değişikliğinin de etkisi ile artmaktadır. Ancak taşkın afetleri sadece meteorolojik kaynaklı olarak ifade edilmemelidir. Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerdeki sanayileşme ile oluşan kentleşme çalışmaları, havzalardaki hidrolojik dengeyi değiştirmektedir. Sanayileşme nedeniyle akarsu havzaları etrafında yeni yerleşim yerleri, yeni ulaşım ağları ve yeni tesislerin kurulması havza yapısını bozmaktadır. Böylece havzaya ait arazi yapıları değişerek tarım ve toprak yönetimi elverişsiz hale gelmekte, orman ya da mera gibi alanlar tahrip olmaktadır. Havza alanında yaşanan bu tür değişikliklerin bütünü ise havzada yaşanan ya da yaşanacak taşkın afetlerinin büyüklüğünü ve sıklığını etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı Türkiye’de yaşanan afetler arasında depremlerden sonra gelen en önemli afetin sel ve taşkınlar olduğu belirtilmektedir (Beden vd. 2014).

Hem afetin yaşandığı bölgede maddi ve manevi kayıplara sebep olması, hem de bölgenin gelişim ve kalkınmasını olumsuz yönde etkileyen bir afet olması nedeniyle taşkın yönetiminin önemi her geçen gün artmaktadır (Ertürk ve Kaya, 2019). Taşkın yönetimi; taşkını kontrol edebilmek adına taşkını tetikleyen sebepleri bulmak ve taşkın etkilerini en aza indirmek amacıyla yapılan tüm çalışmalar olarak tanımlanmaktadır (Sunkar ve Tonbul, 2010; Öztürk vd. 2017). Bu nedenle taşkın riski taşıyan havza alanlarında taşkın afetine yönelik analizler yapılmalı ve taşkın anında oluşması muhtemel su derinlikleri belirlenmelidir. Böylece taşkın afeti yaşanmadan önce gerekli önlemler alınabilecektir (Saraç vd. 2010; Gülbaz, 2019). Kınacı vd. (2017), taşkın afetleri yaşanmadan önce havzaya ait analizler ile havzaya ait hidrolojik modellerin yapılmasının ve taşkın yayılım haritalarının üretilmesinin sağlayacağı faydaları;

- “Risk değerlendirmesi ya da risk yönetimi için önem taşır,
- Dere boyunca veya belli bir noktada su seviyesinin yükselmesi durumunda erken uyarı yapılarak gerekli önlemlerin alınmasına zemin hazırlar,
- Taşkın kurtarma operasyonlarında afetten etkilenenlerin daha yüksek yerlere taşınması konusunda fayda sağlar,
- Yeni yerleşim yerlerinin planlanmasında ve oluşturulmasında fayda sağlar,
- Planlama, sulama sistemi ve su yönetimi konusunda fayda sağlar” şeklinde sıralamıştır.

Taşkın haritalarının oluşturulması havzayı topoğrafik, hidrolojik ve meteorolojik açıdan konum ve zamana bağlı olarak detaylıca analiz etmeyi gerektirir. Taşkın alanı ve taşkın yatağı belirleme çalışmalarında sayısal modellerin kullanılmaya başlanması taşkın tahminlerinin daha kısa sürede ve daha doğru bir şekilde yapılmasını ve taşkından etkilenecek alanların doğru bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır (Onuşuel Gül ve Gül, 2010; Demir ve Ülke, 2018).

Taşkın yönetim çalışmaları kapsamında taşkın haritalarının üretilmesi için çeşitli hidrolik modeller yapılmaktadır. Hidrolik modeller bir boyutlu ve iki boyutlu modeller olarak sınıflandırılmaktadır. Literatürde hidrolik modelleme yapabilen HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), MIKE ve FLO-2D gibi çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bunlardan HEC-RAS ve MIKE yazılımları hem bir boyutlu hem de iki boyutlu taşkın modelleri üretebilmektedir. FLO-2D ise iki boyutlu taşkın modelleri üzerine çalışan bir yazılımdır. Bir boyutlu ve iki boyutlu modellerin birbirlerine göre üstünlükleri bulunmaktadır (Sönmez, 2013). Cook ve Merwade (2009) tarafından yapılan çalışmada, iki boyutlu modellerin havzanın topoğrafik ve geometrik özelliklerini de modele dahil etmesinden dolayı taşkın yayılım haritalarının üretilmesinde daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Sönmez, 2013).

Türkiye’de FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılarak taşkın yayılım haritaları üretilmesine yönelik birçok örnek çalışma bulunmaktadır. Örneğin Marim vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, Kocaeli Karamürsel Avcıdere ve İhsaniye Barajları ile İstanbul Osmangazi ve Sungurlu Barajları için bir ve iki boyutlu baraj yıkılma analizleri yapılmış ve ilgili alanlar için taşkın risk haritaları oluşturulmuştur. Elçi vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada Alibey ve Porsuk Barajları için barajın yıldığı varsayımı ile HEC-RAS ve FLO-2D yazılımları kullanarak iki boyutlu yayılım modellemesi gerçekleştirilmiştir. Demir ve Ülke (2018) tarafından yapılan çalışmada ise Samsun’da Mert Irmağı için FLO-2D yazılımı kullanılarak iki boyutlu taşkın modellemesi yapılmış ve çalışma alanının taşkın yayılım ve derinlik haritaları üretilmiştir. Taş vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, Akarçay Havzası’nın ekonomik olarak en gelişmiş bölgesi olan Afyon Alt Havzası için HEC-RAS yazılımı kullanılarak taşkın risk değerlendirmesi yapılmış ve taşkın yayılım haritaları üretilmiştir. Oğraş ve Önen (2019) tarafından yapılan çalışmada Dicle Nehri’nin Diyarbakır- Silvan karayolu ile tarihi On Gözlü Köprü arasındaki kesiminde HEC-RAS ile taşkın analizi yapılmıştır. Demir (2020) tarafından yapılan doktora tez çalışmasında ise FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılarak Samsun Mert Havzası’nda 50, 100, 500 ve 1000 yıllık taşkın debilerine ait su yayılım alanları, su derinlikleri, su hızları, taşkın tehlike ve risk seviye haritaları üretilmiştir.

DSİ 8. Bölge Müdürlüğü (Erzurum), DSİ 22. Bölge Müdürlüğü (Trabzon) ve DSİ 26. Bölge Müdürlüğü (Artvin)’nün sorumluluk sınırları içerisinde kalan Çoruh Havzası (DSİ, 2021) Türkiye’de taşkın afetlerinin sık yaşandığı havzalardan biridir. Havzada şiddetli mevsimsel yağışlarla birlikte yaşanan taşkın felaketleri çok sayıda can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Havzada 2015 yılında yaşanan şiddetli yağış nedeniyle Artvin ilinin Arhavi, Hopa ve Borçka ilçelerinde taşkınlar ve heyelanlar meydana gelmiş ve ciddi ölçüde can ve mal kayıpları yaşanmıştır (Akıncı vd. 2019).

Bu çalışmada etrafında tarım alanları ile konut alanlarının bulunması ve literatürde daha önce yapılmış herhangi bir hidrolojik modelleme çalışması bulunmaması sebebiyle Çoruh Havzası içinde yer alan Artvin ili Ardanuç ilçesinde yer alan Pona Deresi ve Örtülü Deresi’ne ait taşkın yayılım haritaları üretilmiştir. İlgili derelere ait hidrolik modellemeler FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılarak üretilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece taşkın afeti gerçekleşmeden önce gerekli önlemleri alabilmek adına taşkın yayılım haritaları kullanılarak taşkından etkilenebilecek alanlar ve yerleşim yerleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın acil durum eylem planlarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bir alanın taşkın değerlendirmesinin yapılabilmesi için öncelikle ilgili alanın hidrolojik, meteorolojik, jeomorfolojik, topoğrafik ve arazi kullanımı açısından değerlendirilmesi gerekmektedir (Temiz vd. 2004). Bu çalışma da ilgili derelere ait taşkın yayılım haritalarının üretilebilmesi için öncelikle çalışma alanı topoğrafik olarak değerlendirilmiştir. Topoğrafik değerlendirmeler için önce ArcGIS 10.2 yazılımı kullanılarak ilgili dereleri kapsayan alanlara ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. Çalışma alanını hidrolik açıdan değerlendirmek için FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılarak ilgili derelerde hidrolik analizler gerçekleştirilmiştir. Böylece hidrolik modeller üretilmiş, maksimum su derinlikleri bilgilerine ulaşılmış ve taşkın yayılım alanları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ise FLO-2D ve HEC-RAS çıktıları ArcGIS yazılımı kullanılarak coğrafi olarak anımlandırılmış ve taşkın yayılım haritaları üretilmiştir.

### 2.1 Çalışma Alanı

Çoruh Havzasında yer alan ve 9 ilçeden oluşan Artvin ili Doğu Karadeniz bölgesinde topoğrafik ve hidrolojik açıdan önemli şehirlerden birisidir. Artvin ilinin Ardanuç ilçesinde Çoruh Nehri’ni besleyen önemli dereler bulunmaktadır. Çalışma alanı Ardanuç ilçesi sınırlarında yer alan ve Çoruh Nehrine mansaplanan Pona Deresi ve Örtülü Deresi’ni kapsamaktadır.

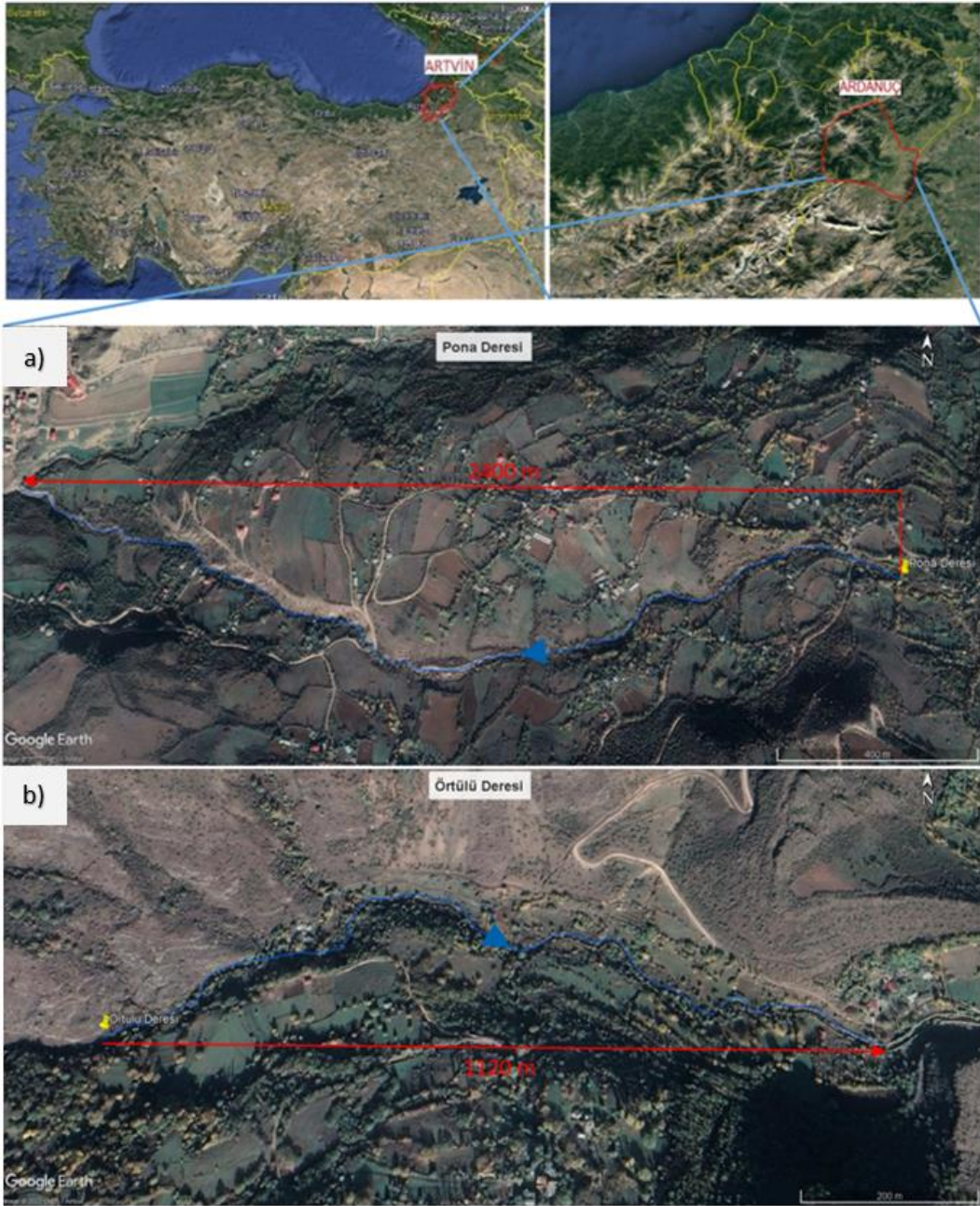
Pona Deresi, Ardanuç ilçesinin kuzeyinde  $41^{\circ} 7' 22.87''$  –  $41^{\circ} 7' 35.88''$  enlemleri ile  $42^{\circ} 4' 38.25''$  –  $42^{\circ} 6' 8.32''$  boylamları arasında yer almaktadır. Hâkim bakının batı yönü olduğu Pona Deresi ortalama 644 m yüksekliğe ve ortalama %18 eğime sahiptir. Pona Deresi’ne ait  $374.368 \text{ m}^2$ ’lik çalışma alanı arazi örtüsü açısından değerlendirildiğinde, alanın %73 gibi büyük bir bölümünün tarım arazisi olduğu görülmektedir (ESRI, 2022). DSİ 26. Bölge Müdürlüğü’nden temin edilen 2018 tarihli 1/1000 ölçekli hâlihazır haritada yer alan bina katmanına göre Pona Deresi çalışma alanı içerisinde 31 adet yapı bulunmaktadır.

Örtülü Deresi ise Ardanuç ilçesinin güneyinde  $41^{\circ} 4' 5.38''$  –  $41^{\circ} 4' 12.49''$  enlemleri ile  $42^{\circ} 1' 9.63''$  –  $42^{\circ} 1' 48.31''$  boylamları arasında yer almaktadır. Hâkim bakının güneydoğu yönü olduğu Örtülü Deresi ortalama 750 m yüksekliğe ve ortalama %12 eğime sahiptir. Örtülü Deresi’ne ait  $124.420 \text{ m}^2$ ’lik çalışma alanının %53’ü çalılık, geri kalan %47’si ise orman ile kaplıdır (ESRI, 2022). Yine DSİ 26. Bölge Müdürlüğü’nden temin edilen ve 2018 yılında üretilmiş olan 1/1000 ölçekli halihazır haritada yer alan bina katmanına göre Örtülü Deresi çalışma alanı içerisinde 21 adet yapı bulunmaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilen 2015-2020 yılları arası yağış verilerine göre Ardanuç ilçesi yıllık ortalama toplam yağış miktarı  $392,41 \text{ mm}$ ’dir.

Çalışma Pona Deresi’nin  $2.400 \text{ m}^2$ ’lik kesiminde, Örtülü Deresi’nin ise  $1.120 \text{ m}^2$ ’lik kesiminde gerçekleştirilmiştir. İlgili derelere ait mabdan mansaba akış yönleri ve çalışma alanı uzunlukları Şekil 1’de gösterilmiştir.

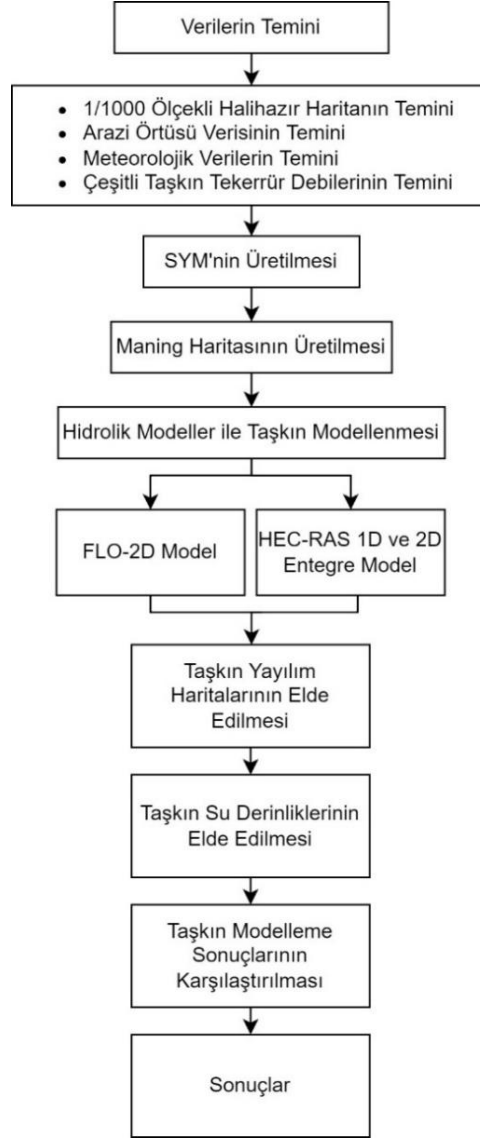




Şekil 1. Çalışma alanı haritası Google Earth görüntüsü a) Pona Deresi b) Örtülü Deresi (Google Earth, 2022)

## 2.2 Yöntem

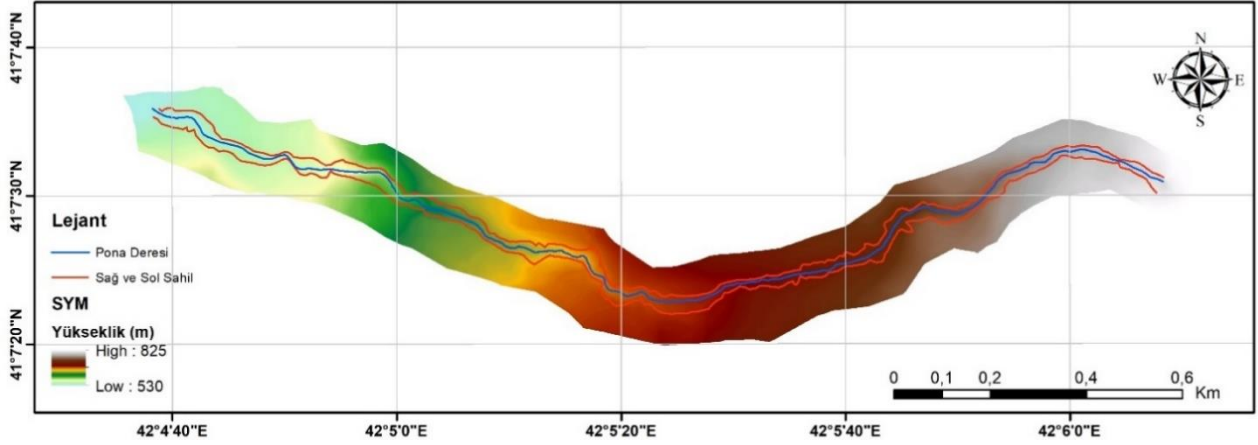
Bu çalışmada öncelikle taşkın yayılım haritası üretilecek olan Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait güzergah bilgileri DSİ 26. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiş ve dere güzergahları Google Earth Pro yazılımı üzerinde görselleştirilmiştir (Şekil 1). Ardından çalışma alanını kapsayan SYM'ler üretilmiş ve böylece hidrolik modelleme için model altlıkları hazırlanmıştır. Analiz aşamasında ise hidrolik modellemeler yapılmış ve su yükseklikleri ile taşkın yayılım alanları bilgilerine ulaşılmıştır. Son olarak ise Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak taşkından etkilenecek alan ve yapılar belirlenmiş ve ilgili derelere ait taşkın yayılım haritaları üretilmiştir. Yapılan çalışmalara ait teknik detaylar bu bölüm altında alt başlıklar halinde açıklanmıştır. Çalışmaya ait genel durumu gösteren iş akış şemasına Şekil 2'de yer verilmiştir.



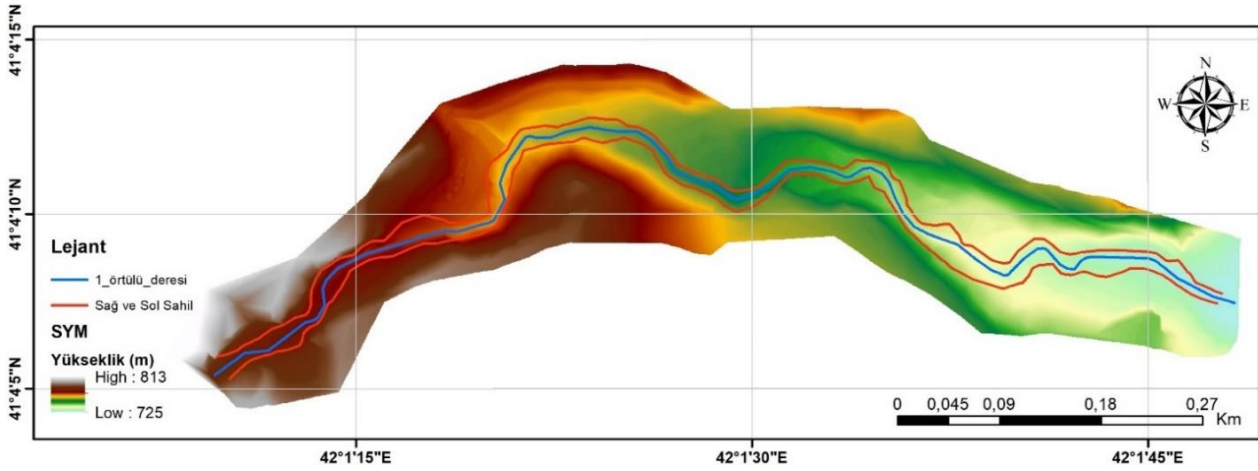
Şekil 2. Çalışmanın genel iş akış şeması

### 2.2.1 Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturulması

Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait 1 m çözünürlüklü SYM'ler ArcGIS yazılımı kullanılarak üretilmiştir. SYM'nin oluşturulduğu altlık veri olan üçgen modeller, Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait dere ıslah çalışmaları için DSİ 26. Bölge Müdürlüğü tarafından üretilmiş olan 1/1000 ölçekli sayısal halihazır harita kullanılarak üretilmiştir. SYM'nin çalışma sınırları olarak ise bahsi geçen halihazır haritanın sınırı kullanılmıştır. Pona Deresi'ne ait SYM Şekil 3'de Örtülü Dere'sine ait SYM ise Şekil 4'de yer almaktadır. Son olarak ise ArcGIS yazılımında SYM'ler yükseklik bilgilerini içeren nokta verilerine dönüştürülmüştür. Böylece hidrolik modelleme için gerekli olan veriler FLO-2D yazılımında kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3. Pona Deresi'nin sayısal yükseklik modeli



Şekil 4. Örtülü Deresi'nin sayısal yükseklik modeli

## 2.2.2 Pürüzlülük Katsayısı ve Taşkın Debi Değerleri

Çalışmada, Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait dere yatağı pürüzlülük katsayılarını belirlemek için DSİ'nin Dere Yatakları için Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Kılavuzu'ndan yararlanılmıştır (DSİ, 2016). Söz konusu kılavuzda, pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde ülkemiz dere yatakları için en uygun yöntemin "Cowan Metodu" olduğu vurgulanmıştır (DSİ, 2016; Demir ve Ülke Keskin, 2019; Demir ve Ülke Keskin, 2020). Kılavuzdan yararlanılarak Pona Deresi için pürüzlülük katsayısı 0.041, Örtülü Dere'si içinse 0.043 olarak belirlenmiştir. Pürüzlülük değerleri ArcGIS yazılımında çalışma alanı sınırı olarak kullanılan poligonların öznetelik tablolarına eklenmiştir. Çalışmada DSİ 26. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilmiş taşkın tekerrür debileri kullanılmıştır (Tablo 1). Taşkın tekerrür debileri Pona Deresi için Mockus Yöntemi, Örtülü Deresi içinse DSİ Sentetik Yöntem kullanılarak üretilmiştir.

Tablo 1. Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait taşkın tekerrür debileri (m<sup>3</sup>/s)

Tekerrür Periyodu (yıl)	50	100	500	1000
Pona Deresi	11.56	14.97	21.29	24.02
Örtülü Deresi	52.26	66.64	94.04	105.85

## 2.2.3 Hidrolik Modelleme

Karen O'Brien tarafından geliştirilmiş olan FLO-2D yazılımı, iki boyutlu hidrolik modellemelerin yapıldığı paket programlardan biridir ve son yıllarda taşkın modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

FLO-2D yazılımı suyun akışını zamana bağlı olarak modelleyerek taşkın değerleri hesaplamaktadır. Bu çalışmada modelleme kararlı akım şartlarına göre gerçekleştirilmiştir (O'Brien, 2006; Demir ve Ülke, 2018).

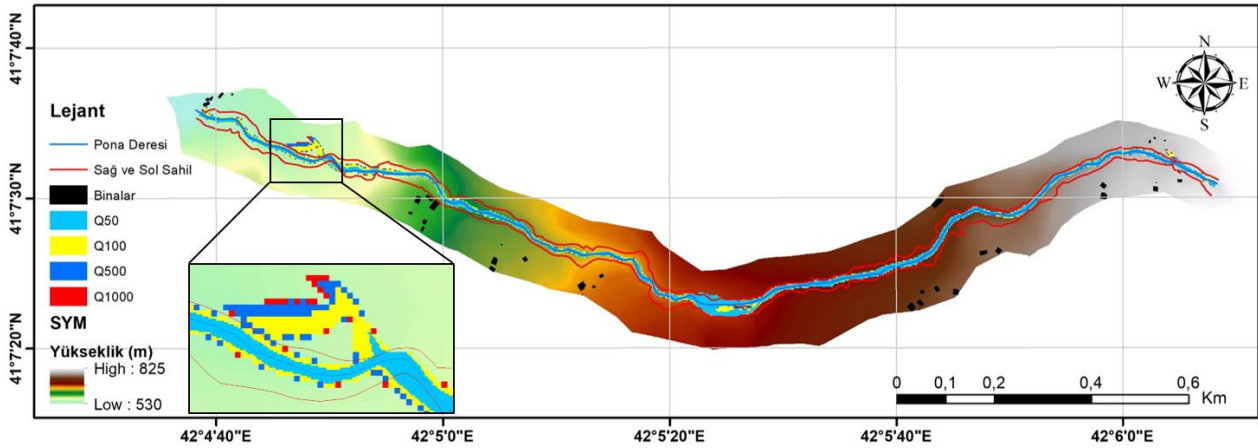
Ticari bir yazılım olan FLO-2D, ikinci dereceden reolojik yasaya dayanan, çamur ve moloz akışının sonlu farklar yöntemiyle simülasyonunu yapan bir programdır. FLO-2D, bir viskoplastik akışkanı temsil eden Herschel-Bulkley reolojisini içeren, sonlu hacim modelidir. Bu reolojik model, yeterli miktarda kil içeriğine sahip, çamurlu tipteki moloz akışını modelleyebilmektedir (Hsu vd. 2010; Demir ve Ülke, 2018; Demir, 2020). FLO-2D akarsu ve yerüstü akışlarının simülasyonunu gerçekleştirebilen dinamik bir taşkın öteleme modelidir. Model, tam dinamik dalga momentum ve süreklilik denklemlerini sonlu farklar yöntemi kullanarak kare ızgara elemanlar için çözmektedir. Böylece taşkın dalgasının ızgara elemanlar sisteminde iki boyutlu yayılımını hesap etmektedir (Elçi vd. 2017; Demir ve Ülke, 2018).

Bu çalışmada, FLO-2D yazılımından elde edilen taşkın çıktıları karşılaştırabilmek ve yorumlayabilmek adına aynı çalışma alanı HEC-RAS programıyla da çalışılmıştır. HEC-RAS, taşkın modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan yazılımlardan biridir. 1994 yılında USACE (United States Army Corps of Engineers) tarafından geliştirilmiş olan HEC-RAS yazılımı hem bir boyutlu hem de iki boyutlu hidrolik modellemelerin yapılabildiği bir paket programdır. Bir boyutlu modelleme dere yatağı yani sağ ve sol sahil alanları içerisinde kalan taşkın alanların modellemesini yapmaktadır. İki boyutlu modelleme ise taşkın suyunun dere yatak sınırlarını aştığı durumlar için kullanılmaktadır. Taşkın analizleri HEC-RAS'ta 1 ve 2 boyutlu entegre modeller kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir (USACE, 2005; Demir, 2020; Tektaş, 2021; USACE 2021).

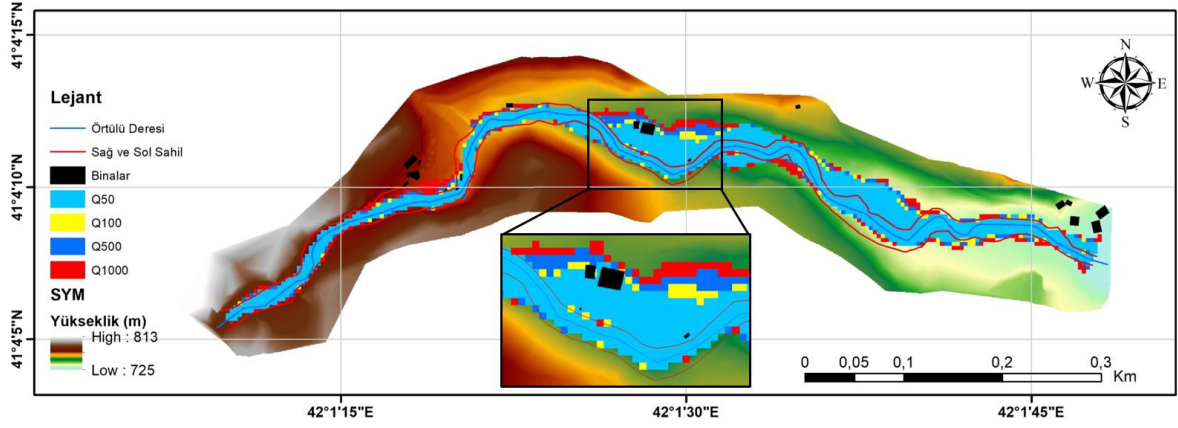
Çalışmada Pona ve Örtülü Deresi'nin çeşitli tekerrür aralıklarına sahip taşkın değerleri FLO-2D ve HEC-RAS programlarına girilerek su yükseklikleri ve yayılım alanları tespit edilmiştir. HEC-RAS programında 1 ve 2 boyutlu entegre model kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

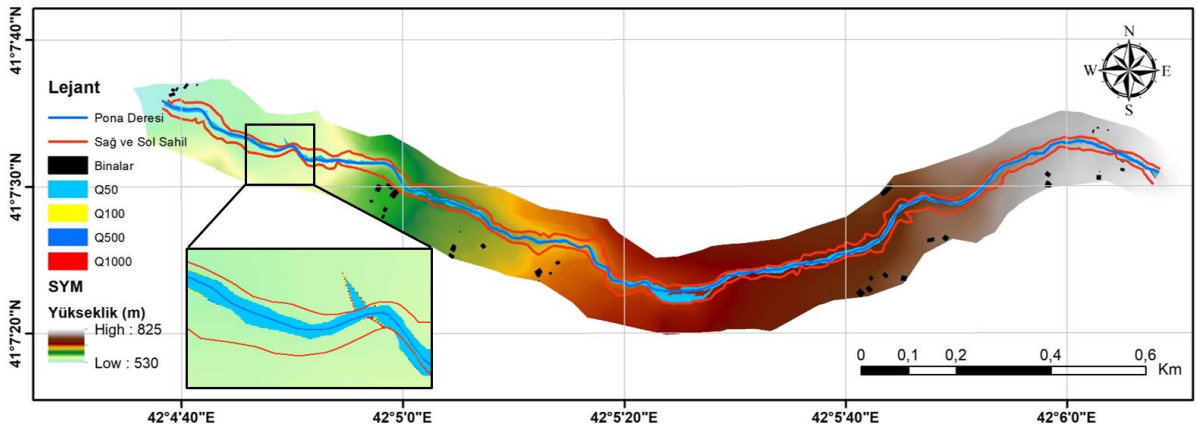
FLO-2D ve HECRAS yazılımından elde edilen hidrolik sonuçların yorumlanması için FLO-2D ve HEC-RAS çıktı verileri CBS ortamında değerlendirilmiştir. Bunun için hem Pona hem de Örtülü Deresi'nin  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  taşkın sonuçları FLO-2D ve HEC-RAS yazılımlarından ArcGIS yazılımına aktarılmıştır. ArcGIS yazılımı kullanılarak Pona Deresi ve Örtülü Deresi için  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  tekerrürlü taşkın yayılım alanları görselleştirilmiştir. FLO-2D yazılımından elde edilen Pona Deresi'ne ait taşkın yayılım haritası Şekil 5'de, Örtülü Deresi'ne ait taşkın yayılım haritası ise Şekil 6'da gösterilmiştir. Pona Deresi'nin HEC-RAS yazılımı kullanılarak üretilen taşkın yayılım haritası Şekil 7'de, Örtülü Deresi'ne ait taşkın yayılım haritası ise Şekil 8'de gösterilmiştir.



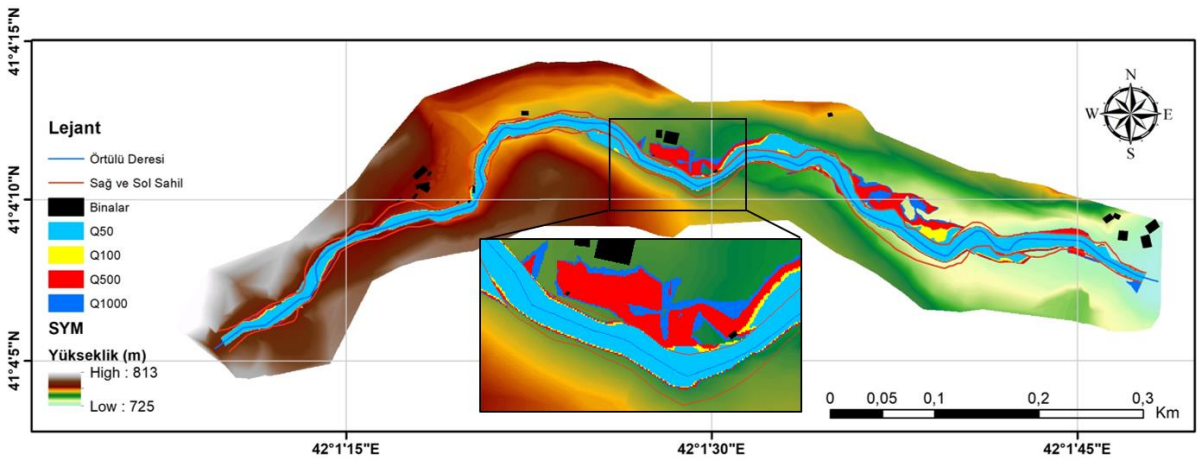
Şekil 5. Pona Deresi'nin  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  tekerrür debilerine göre FLO-2D yazılımı ile üretilen taşkın yayılım haritası



Şekil 6. Örtülü Deresi'nin  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  tekerrür debilerine göre FLO-2D yazılımı ile üretilen taşkın yayılım haritası



Şekil 7. Pona Deresi'nin  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  tekerrür debilerine göre HEC-RAS yazılımı ile üretilen taşkın yayılım haritası



Şekil 8. Örtülü Deresi'nin  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  tekerrür debilerine göre HEC-RAS yazılımı ile üretilen taşkın yayılım haritası

FLO-2D ve HEC-RAS yazılımlarından elde edilen çıktılar ve Şekil 5, 6, 7 ve 8'de sunulan farklı tekerrür debilerine ait taşkın yayılım alanları bilgileri bir arada değerlendirildiğinde Tablo 2 ve Tablo 3'de yer alan taşkın sonuç verilerine ulaşılmıştır. Pona Deresi'ne ait  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  tekerrür debilerine göre toplam taşkın yayılım alanı, sağ ve sol sahil sınırlarını aşan taşkın yayılım alanı yani dere yatağı dışında kalan taşkın alanı, minimum, ortalama ve maksimum su yükseklikleri bilgilerine Tablo 2'de yer verilmiştir. Örtülü Deresi'ne ait bilgilere ise Tablo 3'de yer verilmiştir.

Pona Deresi, 2400 m uzunluğunda ve derenin sağ sahilinden ve sol sahiline kadar 62.211 m<sup>2</sup> dere yatak alanına sahiptir. Tablo 2’de yer alan FLO-2D yazılımı taşkın sonuç verilerine göre Q<sub>50</sub>’de maksimum su seviyesi 1,689 m iken Q<sub>1000</sub>’de su seviyesinin 2,392 m’ye çıktığı görülmektedir. Toplam taşkın yayılım alanı ise Q<sub>50</sub>’de 22153 m<sup>2</sup> alana sahipken yayılım Q<sub>1000</sub>’de 31.653 m<sup>2</sup> alana çıkmaktadır. Ayrıca dere sağ ve sol sahillerin dışına taşan yani dere yatağı dışında kalan taşkın alanı Q<sub>50</sub>’de 535 m<sup>2</sup> iken Q<sub>1000</sub>’de 2.489 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. HEC-RAS yazılımından elde edilen ve Tablo 2’de yer alan taşkın sonuç verilerine göre maksimum su seviyesi Q<sub>50</sub>’de 1,406 m’den Q<sub>1000</sub>’de 2,881 m’ye çıkmıştır. Toplam taşkın yayılım alanı ise Q<sub>50</sub>’de 16.198 m<sup>2</sup> alana sahipken yayılım Q<sub>1000</sub>’de 16.660 m<sup>2</sup> alana çıkmaktadır. Ayrıca dere yatağı dışında kalan taşkın alanı Q<sub>50</sub>’de 70 m<sup>2</sup> iken Q<sub>1000</sub>’de 87 m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Sonuç olarak FLO-2D yazılımı ve HEC-RAS yazılımından elde edilen sonuçlara göre Pona Deresi’nde taşkın suyunun büyük bir kısmı dere yatak sınırları içinde kaldığı gözlemlenmiştir. Yatak sınırını aşan alanlardan biri Şekil 5’de yakınlaştırılan bölgedir ve bir tarım arazidir.

Örtülü Deresi’nde çalışılan bölüm 1.120 m uzunluğunda ve derenin sağ sahilinden ve sol sahiline kadar 17.818 m<sup>2</sup> dere yatak alanına sahiptir. FLO-2D ve HEC-RAS yazılımından elde edilen taşkın sonuçlarına Tablo 3’de yer verilmiştir. FLO-2D yazılımından elde edilen verilere göre maksimum su seviyesi Q<sub>50</sub>’de 3,161 m yüksekliğinden Q<sub>1000</sub>’de 3,883 m yüksekliğine çıkmaktadır. Toplam taşkın yayılım alanı Q<sub>50</sub>’de 20.976 m<sup>2</sup> alana sahipken yayılım Q<sub>1000</sub>’de 28.016 m<sup>2</sup> alana çıkmaktadır. Ayrıca dere yatağı dışında kalan alan Q<sub>50</sub>’de 7.507 m<sup>2</sup> iken Q<sub>1000</sub>’de 12.847 m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. HEC-RAS yazılımından elde edilen sonuç verilerine göre maksimum su seviyesi Q<sub>50</sub>’de 2,756 m yüksekliğinden Q<sub>1000</sub>’de 3,658 m yüksekliğine çıkmaktadır. Toplam taşkın yayılım alanı ise Q<sub>50</sub>’de 13.676 m<sup>2</sup> alana sahipken yayılım Q<sub>1000</sub>’de 20.085 m<sup>2</sup> alana çıkmaktadır. Dere yatağı dışında kalan alanlar ise Q<sub>50</sub>’de 1.842 m<sup>2</sup> iken Q<sub>1000</sub>’de 6.315 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Örtülü Deresi’nde FLO-2D yazılımında olduğu gibi HEC-RAS yazılımında özellikle Q<sub>50</sub> tekerrürlü taşkın debisinde bile yatak dışı taşkın alanı oldukça yüksektir. Taşkın, derenin kıvrım noktalarında yatak sınırlarını takip edemeyip sol sahilinde Q<sub>50</sub> için su yüksekliği FLO-2D yazılımında 1,6 m ve HEC-RAS yazılımında 2,7 m yüksekliğine kadar ulaşmaktadır. Ayrıca Örtülü Deresi’nde sol sahilin düşük kotta olması ve derenin kesitinin gelen debiye göre yeterli büyüklükte olmamasından dolayı taşkından etkilenecek binalar olduğu görülmektedir.

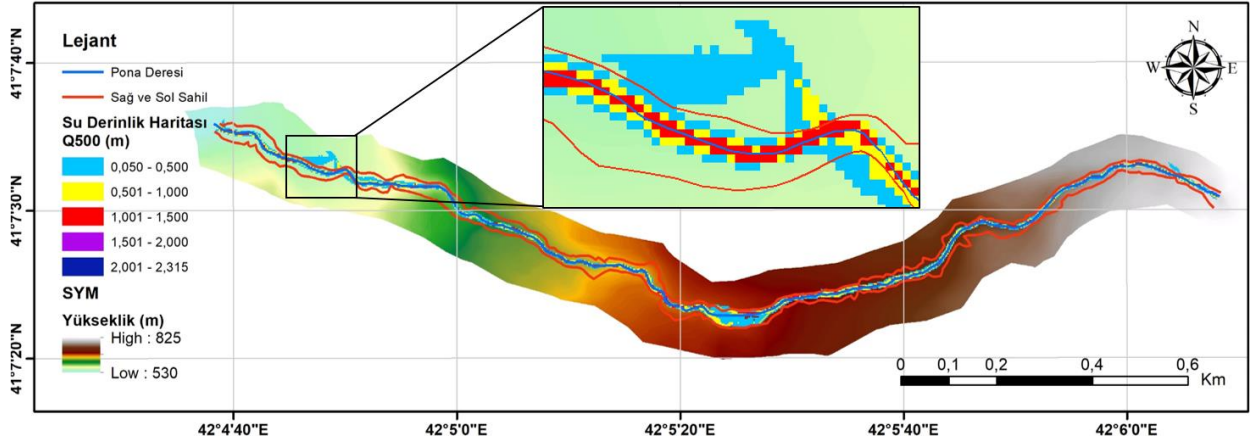
**Tablo 2.** Pona Deresi taşkın sonuç verileri

	Hidrolik Modeller	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>500</sub>	Q <sub>1000</sub>
Minimum Su Yüksekliği	FLO-2D	0.050 m	0.050 m	0.050 m	0.050 m
	HEC-RAS	0.001 m	0.001 m	0.001 m	0.001 m
Ortalama Su Yüksekliği	FLO-2D	0.387 m	0.622 m	0.708 m	0.739 m
	HEC-RAS	0.410 m	0.398 m	0.411 m	0.409 m
Maksimum Su Yüksekliği	FLO-2D	1.689 m	2.119 m	2.315 m	2.392 m
	HEC-RAS	1.406 m	2.349 m	2.875 m	2.881 m
Toplam Taşkın Yayılım Alanı (m <sup>2</sup> )	FLO-2D	22153 m <sup>2</sup>	28485 m <sup>2</sup>	30789 m <sup>2</sup>	31653 m <sup>2</sup>
	HEC-RAS	16198 m <sup>2</sup>	16258 m <sup>2</sup>	16634 m <sup>2</sup>	16660 m <sup>2</sup>
Dere Yatağı Dışında Kalan Taşkın Alanı (m <sup>2</sup> )	FLO-2D	535 m <sup>2</sup>	1508 m <sup>2</sup>	2229 m <sup>2</sup>	2489 m <sup>2</sup>
	HEC-RAS	70 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	87 m <sup>2</sup>	87 m <sup>2</sup>

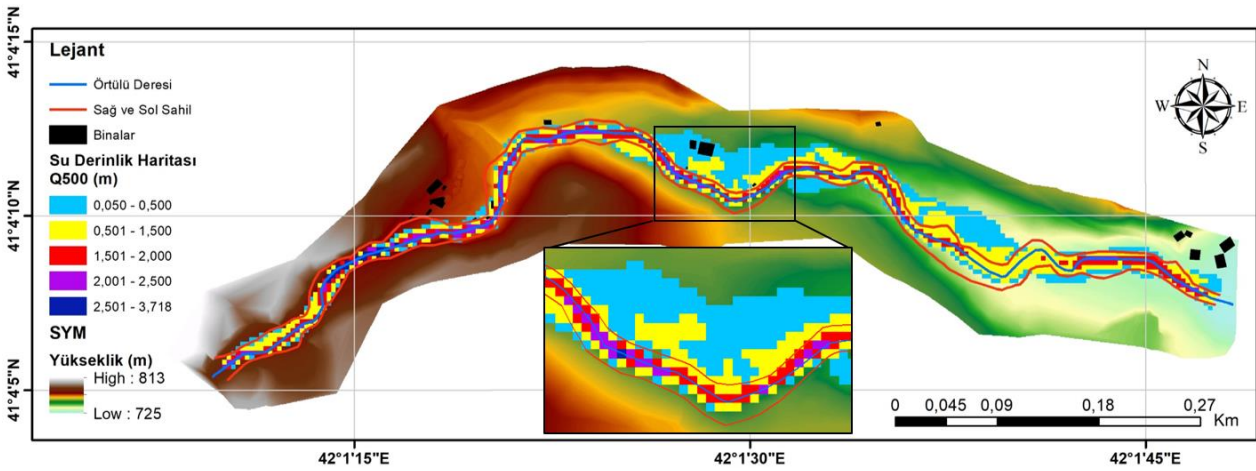
**Tablo 3.** Örtülü Deresi taşkın sonuç verileri

	Hidrolik Modeller	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>500</sub>	Q <sub>1000</sub>
Minimum Su Yüksekliği	FLO-2D	0.050 m	0.050 m	0.050 m	0.050 m
	HEC-RAS	0.001 m	0.001 m	0.001 m	0.001 m
Ortalama Su Yüksekliği	FLO-2D	0.779 m	0.847 m	0.952 m	0.911 m
	HEC-RAS	0.849 m	0.927 m	0.986 m	1.006 m
Maksimum Su Yüksekliği	FLO-2D	3.161 m	3.378 m	3.718 m	3.883 m
	HEC-RAS	2.756 m	3.039 m	3.498 m	3.658 m
Toplam Taşkın Yayılım Alanı (m <sup>2</sup> )	FLO-2D	20976 m <sup>2</sup>	22432 m <sup>2</sup>	24832 m <sup>2</sup>	28016 m <sup>2</sup>
	HEC-RAS	13676 m <sup>2</sup>	14908 m <sup>2</sup>	18536 m <sup>2</sup>	20085 m <sup>2</sup>
Dere Yatağı Dışında Kalan Taşkın Alanı (m <sup>2</sup> )	FLO-2D	7507 m <sup>2</sup>	8511 m <sup>2</sup>	10308 m <sup>2</sup>	12847 m <sup>2</sup>
	HEC-RAS	1842 m <sup>2</sup>	2439 m <sup>2</sup>	5053 m <sup>2</sup>	6315 m <sup>2</sup>

Çalışmada üretilen  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  tekerrürlere sahip taşkın yayılım sonuçlarının daha net anlaşılması adına örnek olarak FLO-2D yazılımından elde edilen  $Q_{500}$  debisine ait taşkın su derinlik haritası oluşturulmuştur. Pona Deresi için  $Q_{500}$  tekerrür debilerine ait taşkın su derinlik haritası Şekil 9'da, Örtülü Deresi için Şekil 10'da sunulmuştur.

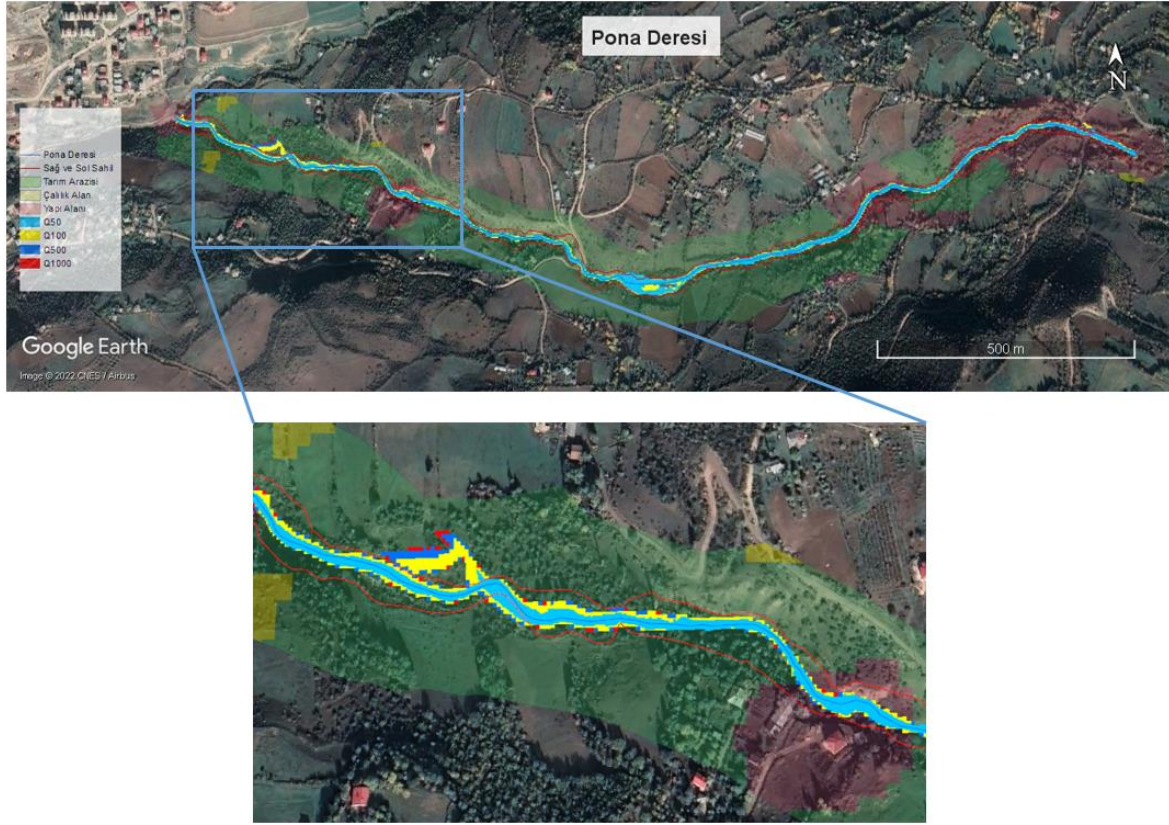


Şekil 9. Pona Deresi  $Q_{500}$  tekerrür debisine göre FLO-2D su derinlik haritası

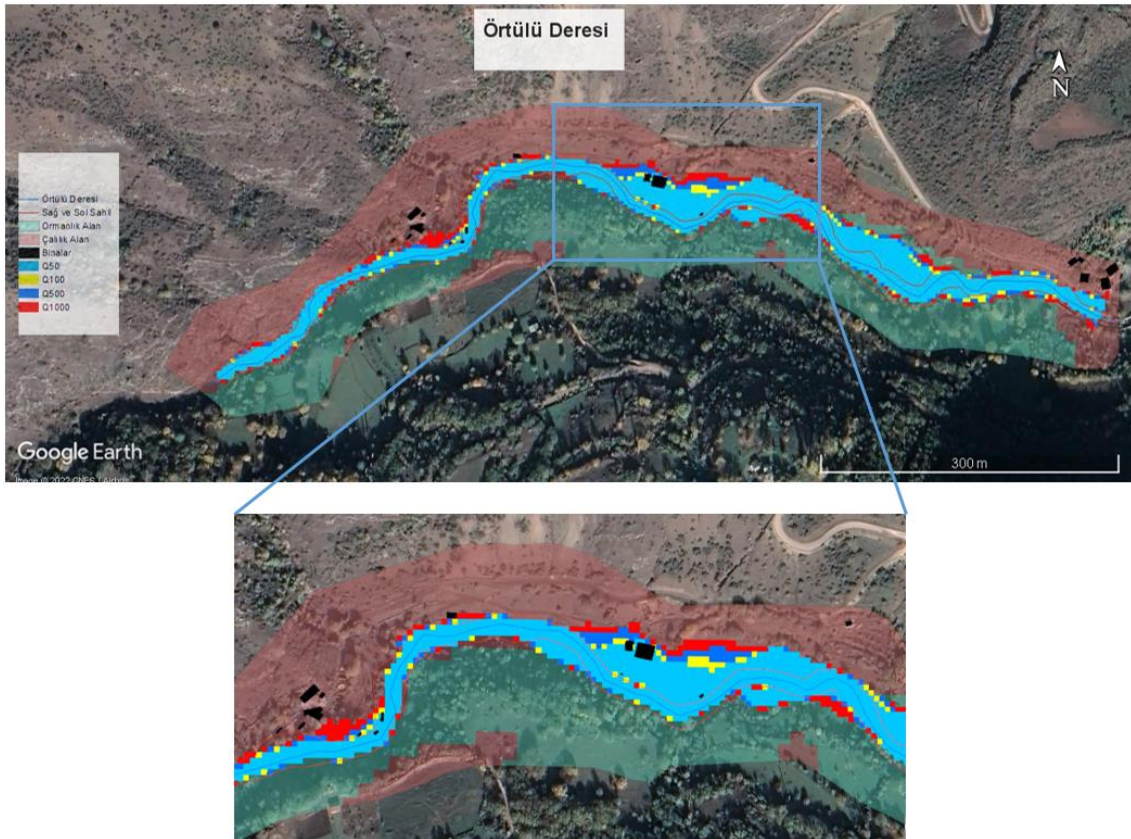


Şekil 10. Örtülü Deresi  $Q_{500}$  tekerrür debisine göre FLO-2D su derinlik haritası

Pona Deresi ve Örtülü Deresi'nde tüm senaryolar için taşkından etkilenecek alanları belirlemek adına bu derelerin çalışma sınırı içinde yer alan parsel ve binalar tespit edilmiştir. Temin edilen binalar ve arazi örtüsü katmanları ArcGIS yazılımına aktarılmıştır ve taşkından etkilenecek alanlar değerlendirilmiştir. Şekil 11'de Pona Deresi'nin taşkın alanları ve arazi örtüsü Google Earth görüntüsü üzerinden sunulmuştur. Pona Deresi'nde çalışma alanının büyük çoğunluğunun tarım arazisi olması nedeniyle Google Earth üzerinde binalar görsel olarak seçilebilmektedir. Bu nedenle lejantlar kısmında binalar tekrar gösterilmemiştir. Taşkın yayılım sonuçlarına göre Pona Deresi taşkın alanı içerisinde herhangi bir bina yapısının bulunmadığı ancak taşkın alanı içerisinde kalan alanların tarım alanları olduğu görülmüştür. Örtülü Deresi'nin taşkın alanları ve arazi örtüsü Google Earth görüntüsü üzerinden Şekil 12'de sunulmuştur. Örtülü Deresi taşkın yayılım sonuçlarına göre çalışma alanında bulunan 21 yapıdan 7 tanesinin olası taşkın alanı içerisinde kaldığı görülmektedir.



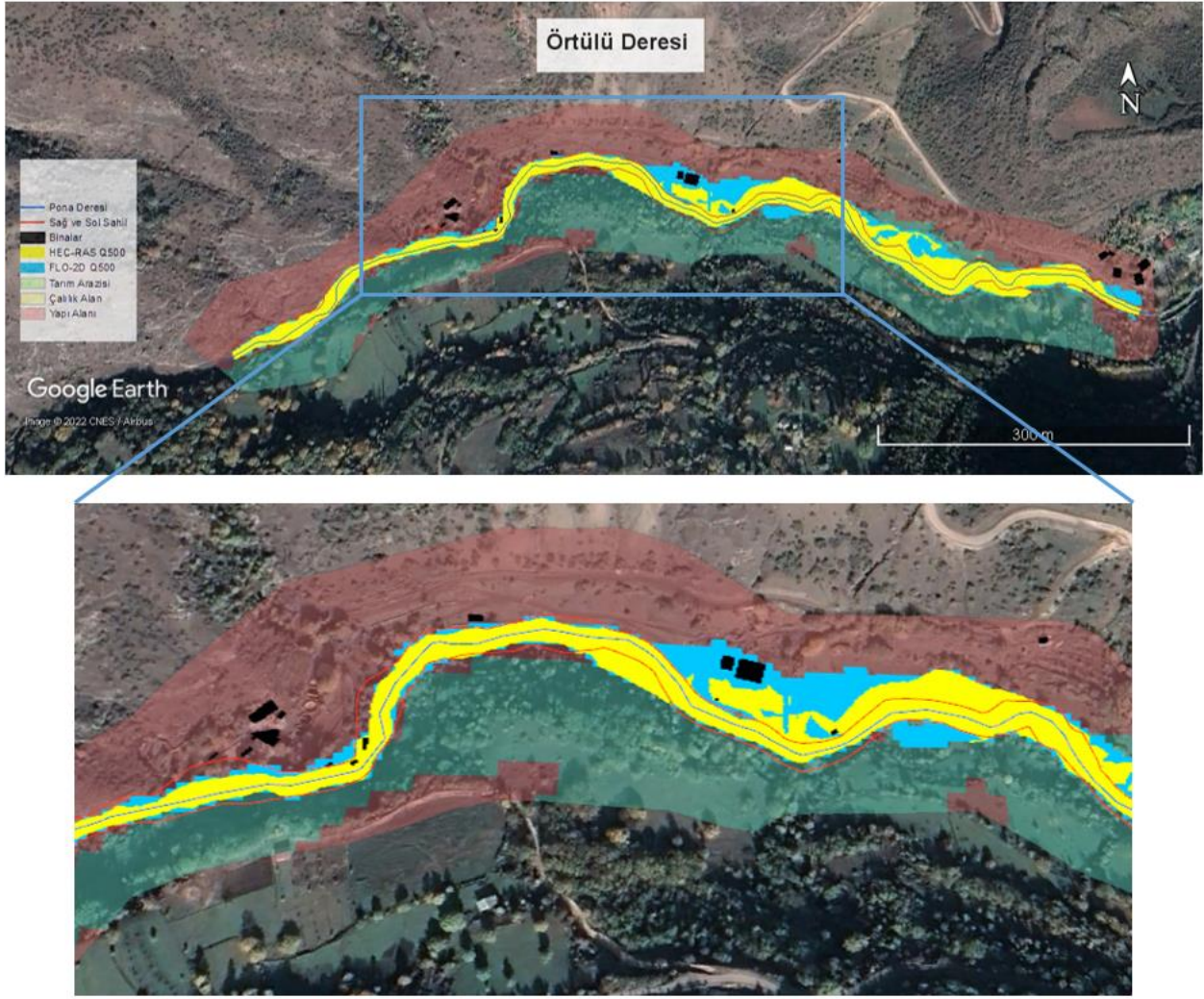
Şekil 11. Pona Deresi FLO-2D taşkın yayılım haritası ve arazi örtüsünün Google Earth gösterimi (Google Earth, 2022)



Şekil 12. Örtülü Deresi FLO-2D taşkın yayılım haritası ve arazi örtüsünün Google Earth gösterimi (Google Earth, 2022)







Şekil 14. Örtülü Deresi'nin  $Q_{500}$  tekerrür debisine göre FLO-2D ile HECRAS programının karşılaştırmalı taşkın yayılım haritası (Google Earth, 2022)

#### 4. Sonuçlar

Geçmişte Çoruh Havzası üzerinde bulunan birçok derede taşkın afetinin yaşandığı ve bu afetlerin de önemli kayıplara neden olduğu bilinmektedir. Olası bir taşkın afetini afet yaşanmadan önce görebilmek ve zarar azaltıcı önlemleri alabilmek, kayıpların yaşanmasını engelleyebilecek ya da afetin etkilerini azaltacaktır. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre yaşanması muhtemel aşırı yağış durumunda, özellikle Örtülü Deresi'nde oluşabilecek taşkın afetinin önemli kayıplara neden olabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma alanı içerisinde yer alan Pona Deresi'nde taşkın sırasında suyun büyük bölümünün yatak sınırı içinde kaldığı tespit edilmiştir. Pona Deresi'nde taşkın noktalarında yapılaşma olmaması bölge halkını korumak yönünden isabetli olmuştur. Ancak sular altında kalan alanların tarım arazisi olması göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak, Pona Deresi'nin etrafındaki yerleşimlerin taşkından önemli ölçüde etkilenmediği ancak taşkın hasarının minimum düzeye indirilmesi bakımından üst havzadan taşınabilecek çakıl ve taş iriliğindeki sürüntü malzemelerinin yapılacak tersip bentleri yapıları ile tutulması önerilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Örtülü Deresi'nde taşkın sularının dere yatak sınırını çoğu yerde aştığı görülmüştür. Ayrıca bölgede 7 adet yapının taşkından etkilenecek durumda olması, taşkınların can ve mal kaybı açısından kötü sonuçlara sebep olabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle olası taşkın zararlarını azaltmak için dere ıslahı çalışmaları veya sedde gibi taşkın kontrol yapılarının yapılması önerilmektedir.

## Kaynaklar

- Acar, E., Temuçin Kılıçer, S., Akıncı, H. (2018, October). Artvin ili Kemalpaşa ilçesi Çamdere ve Karaosmaniye derelerinin taşkın risklerinin değerlendirilmesi. In *International Artvin Symposium*, 2018. 1(1). (pp. 1241-1261). IAS.
- AFAD. (2021a, Ocak 09). *2020 yılı doğa kaynaklı olay istatistikleri*, T.C İçişleri Bakanlığı Doğal Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Planlama ve Risk Azaltma Daire Başkanlığı, Retrieved from [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e\\_Kutuphane/Istatistikler/2020yilidogakaynakliolayistatistikleri.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Istatistikler/2020yilidogakaynakliolayistatistikleri.pdf)
- AFAD. (2021b, Ocak 10). *2021 afet eğitim yılı kapsamında ulaşılan kişi sayısı 10 milyonu aştı*, T.C İçişleri Bakanlığı Doğal Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Retrieved from <https://www.afad.gov.tr/2021-afet-egitim-yili-kapsaminda-ulasilan-kisi-sayisi-10-milyonu-asti---basin-bulteni-17052021>
- Akıncı, H., Temuçin Kılıçer, S., Acar, E. (2019). Sundura Deresinin (Hopa, Artvin) taşkın yayılım alanlarının belirlenmesi, *2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi*, 1(1), 825-834.
- Bacanlı, H. (2011). Meteorolojik karakterli doğal afetler ve erken uyarı sistemleri, In *Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelan ve Taşkınları Sempozyumu*, 2011. (pp. 10-11).
- Beden, N., Ülke, A., Uslu, A. (2014, October). İklim değişikliği ve yeni tasarım esasları, In *Uluslararası Katılımlı IV. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu*, 2014. (pp. 431-439).
- Cook, A., Merwade, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 131-142.
- Demir, V., Ülke, A. (2018, October). 2D taşkın modellemesi, Samsun Mert Irmağı örneği, In *International Symposium on Urban Water and Waste Water Management*, 2018. (pp. 330-335). UKSAY.
- Demir, V., Ülke Keskin, A. (2019). Manning pürüzlülük katsayısının Cowan Yöntemi ve uzaktan algılama yardımıyla belirlenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 167-177.
- Demir, V., Ülke Keskin, A. (2020). Obtaining the manning roughness with terrestrial remote sensing technique and flood modelling using FLO-2D: A case study Samsun from Turkey. *Geofizika*, 37(2), 1-26.
- Demir V. (2020). *Samsun Mert Havzasında bir ve iki boyutlu modeller ile taşkın alanlarının belirlenmesi (Doktora tezi)*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türkiye.
- DSİ. (2016). *Dere yatakları için pürüzlülük katsayısı belirleme kılavuzu*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- DSİ. (2021, Ocak 10). *Görev Alanı ve Tarihçe*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, DSİ Çoruh Projeleri 26. Bölge Müdürlüğü, Retrieved from <https://bolge26.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/926>
- Ekinci, R., Büyüksaraç, A., Ekinci, Y. L., Ercan, I. (2020). Bitlis ilinin doğal afet çeşitliliğinin değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(1), 1-11.
- Elçi, Ş., Tayfur, G., Haltas, İ., Kocaman, B. (2017). Baraj yıkılması sonrası iki boyutlu taşkın yayılımının yerleşim bölgeleri için modellenmesi. *Teknik Dergi*, 28(3), 7955-7975.
- Ertürk, E., Kaya, N. (2019). Taşkın tehlike alanlarının oluşturulması: Trabzon ili Vakfıkebir ilçesi Kirazlı Deresi örneği. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 337-344.
- ESRI. (2022, Şubat 15). *ESRI Land Cover*, ESRI 10 m Land Cover 2020, Retrieved from <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>
- Google Earth. (2022, Ocak 12). *Google Earth Pro*, Retrieved from <https://www.google.com/intl/tr/earth/>
- Gülbas, S. (2019). Sayısal modeller ile taşkın yayılım haritasının oluşturulması ve risk altında olan alanların belirlenmesi: Türkköse Deresi örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 335-349.
- Hsu, S. M., Chiou, L. B. F., Chao, C. H., Wen, H. Y., Ku, C. Y. (2010). Applications of simulation technique on Debris-Flow Hazard Zone Delineation: A case study in Hualien County, Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(3), 535-545.
- Karakhanyan, A. S., Trifonov, V. G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., ... & Adilkhanyan, A. (2004). Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. *Tectonophysics*, 380(3-4), 189-219.
- Kınacı, C., Akbaş, H., Aras, M., Fındık, S. B., Özalpın, A. M., Sakın, I., Girayhan, T. F., Bozkurt Hüyüktepe, P., Özcan, S., Yılmaz, M., Yılmaz, C., Doğan, M., Demirel, M., Altın, O., Doğanay, E. (2017). *Taşkın Yönetimi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, 248ss.
- Marim, G., Aklan, G., Akkuş, Ç. (2016, April). Tek boyutlu (HEC-RAS) ve iki boyutlu (FLO-2D) hidrolik modelleri ile baraj yıkılma analizleri ve taşkın risk haritalarının oluşturulması, In *Ulusal Heyelan Sempozyumu Tebliğler*, 2016. (pp. 505-518).
- O'Brien, K. (2006). *FLO-2D pocket guide pro model*, FLO-2D Software, Inc., Nutrioso.
- Oğraş, S., Önen F. (2019). Dicle Nehri'nin taşkın analizinin HEC-RAS programı ile yapılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1087-1098.
- Onuşluel Gül, G., Gül, A. (2010). İzmir Bostanlı Havzası için taşkın alanlarının HEC-HMS ve HEC-RAS modelleri ile belirlenmesi, In *II. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, 2010. (pp. 267-274).

- Özşahin, E. (2013). Türkiye’de yaşanmış (1970-2012) doğal afetler üzerine bir değerlendirme, In 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 2013. (pp. 1-8). UDMSK.
- Öztürk, D., Yılmaz, İ., Kırbas, U. (2017, May). Çorum ili taşkın tehlikesinin analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak incelenmesi, In *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 2017. (pp. 1-5).
- Şahin, C., Şipahioğlu, Ş. (2002). Doğal Afetler ve Türkiye. *Gündüz Eğitim ve Yayıncılık*, Ankara, 478ss.
- Saral, A., Özcan, O., Musaoglu, N. (2010, June). Flood risk analysis using information diffusion theory-a case study Ayamama Creek, In *30th European Association of Remote Sensing Laboratories Symposium*, 2010. (pp. 403-408). EARSEL.
- Sunkar, M., Tonbul, S. (2010, March). Batman’da 31 Ekim-1 Kasım 2006 tarihinde yaşanan taşkın nedenleri, In *II. Ulusal Taşkın Sempozyumu Tebliğler Kitabı*, 2010. (pp. 349-361).
- Sönmez, O. (2013). *Nehirlerde 2 boyutlu taşkın modellemesi ve taşkın haritalarının oluşturulması (Doktora tezi)*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Taş E., İçağa Y., Zorluer İ. (2016). Taşkın yayılım haritalarının oluşturulması ve taşkın zarar analizi: Akarçay Afyon Alt Havzası örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 711-721.
- Tektaş Y. (2021). *Diyarbakır ili Çınar ilçesi Çakmak Deresinin HEC-RAS ile taşkın modellemesi* (Yüksek lisans tezi), Harran Üniversitesi, Türkiye, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Temiz, N., Aksoy, H., Ercanoğlu, M. (2004). Batı Karadeniz Bölgesi’nde potansiyel taşkın alanlarının belirlenmesine yönelik bir çalışma. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 47(2).
- USACE. (2005). HEC-GeoRAS GIS Tools for support of HEC-RAS using ArcGIS User’s Manual. Davis: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- USACE. (2021). HEC-RAS river analysis System, User’s Manuel, Version 6.0., US Army Corps of Engineers. Davis: Institute of Water Resources, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, CA.
- Uslu, G., Sesli, F. A., Uzun, B. (2018). Coğrafi bilgi sistemleri ile taşkın tehlike haritalarının belirlenmesi. *Kent Akademisi*, 11(4), 545-558.

## TKGM CityGML Veri Modelinin 3B WebCBS Uygulamaları Açısından İrdelenmesi

### Investigation of the TKGM CityGML Data Model in the Context of 3D WebGIS Applications

Ziya Usta<sup>1\*</sup>, Alper Tunga Akın<sup>2</sup>, Çetin Cömert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin/Türkiye.

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon/Türkiye.

#### ARAŞTIRMA MAKALESİ

##### \*Sorumlu yazar:

Ziya Usta  
ziyausta@artvin.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1059389

##### Yayın süreci

Geliş tarihi: 18.01.2022  
Kabul tarihi: 01.03.2022  
Basım tarihi: 14.03.2022

#### Özet

CityGML, kent modellerinin depolanması ve transfer edilmesi için tasarlanmış, açık bir veri modeli ve veri formatıdır. CityGML, 3B CBS uygulamalarında en çok kullanılan veri modeli ve veri formatıdır. TKGM tarafından gerçekleştirilen 3B Kent Modelleri ve 3B Kadastro Projesi kapsamında da CityGML veri modeli ve formatı kullanılmaktadır. Bu proje kapsamında, CityGML veri modeli, veri modelinde tanımlı olmayan 3B kadastro çalışmalarında gerekli verilerin tutulması için genişletilmelidir. Bu bağlamda TKGM, örnek "TKGM CityGML" adlı bir veri modeli tasarlayarak, geliştiriciler için kullanılmak üzere bu veri modeline uygun olarak hazırlanmış örnek bir dosya oluşturmuştur. Bu çalışmada TKGM CityGML veri modeli ve örnek CityGML dosyası incelenmiştir. Böylece TKGM CityGML veri modeline göre gerçekleştirilecek 3B CBS projelerinde veri modeli ve veri formatından dolayı oluşabilecek sorunlar irdelenmiştir. Bu veri modelinin, veri tekrarına sebep olduğu, içerisindeki verilerin ayrıştırılmasının zor olduğu görülmüştür. Özellikle web uygulamaları için TKGM CityGML veri modeli ve formatının uygun olmadığı görülmüş, bu çalışma kapsamında tespit edilen sorunları gideren yeni bir veri modeli ve formatı önerilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** 3B CBS, 3B WebCBS, CityGML, TKGM CityGML, CityJSON

#### Abstract

CityGML is designed as an open data model and XML-based format for the storage and exchange of 3DCMs. CityGML is the most used data model and data format for 3D GIS applications. It is also used by nationwide 3D cadastre project called 3D City Models and 3D Cadastre Project by General Directorate of Land Registry and Cadastre. In the context of this project, CityGML data model should be extended to store city objects that are not defined in the existing CityGML data model. For this purpose, General Directorate of Land Registry and Cadastre designed a new data model called "TKGM CityGML" and prepared a sample CityGML file for TKGM CityGML data model to be used by developers. In this work, TKGM data model and sample CityGML file has been investigated. The problems that may arise in the 3D applications that use TKGM CityGML data model have been determined. This work indicates that this data model causes data duplication, and this data format is not easy to parse, just like the data model itself. Particularly, this data model and format was not suitable for web applications and in this study a new data model and format have been suggested to eliminate aforementioned problems.

**Keywords:** 3D GIS, 3D WebGIS, CityGML, TKGM CityGML, CityJSON

## 1. Giriş

3B Kent Modeli (3BKM), başta binalar olmak üzere, kent objelerinin 3B geometrilerinin ve özniteliklerinin dijital bir temsildir. 3BKM'leri 3B temsiline gerektiği, kentsel altyapı yönetimi, navigasyon, simülasyon, planlama, acil durum yönetimi, kent planlama, turizm, taşınmaz değerlendirme gibi pek çok alanda, silüet analizi, bina cephelerinin güneş potansiyellerinin belirlenmesi, kentteki gürültü dağılımının tespiti gibi 3B geometrik temsil gerektiren analizlerde kullanılmaktadır. 3BKMlerin kullanım alanları ile ilgili daha detaylı bir literatür taraması (Biljecki vd. 2015b)'te bulunmaktadır.

Konunun daha iyi anlaşılması bakımından 3B ve 2.5B temsil farkına değinmek gerekir. Konumsal bilgi işlemede pek çok uygulamanın temelini oluşturan Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) 2.5B bir temsile işaret eder. SYM, topoğrafik yüzeyin bir fonksiyon (f) ile temsil edilerek, matematik olarak tanımlı hale getirilmesi ilkesine dayanır. "f" fonksiyonunun belirlenmesi bir "yüzey uydurma" problemidir. Matematik olarak tanımlı bir yüzey ile artık bu tanımın elverdiği bir çok uygulama ya da analiz yapılabilir duruma gelir; Ancak bu tür bir tanımlamada, herhangi bir noktanın yüksekliği,  $z = f(x,y)$  bağıntısı ile hesaplanacağından, aynı noktaya ait tek bir z değeri elde edilebilir. Böyle bir tanımlama ya da "temsil" 2.5B olarak adlandırılır. 3B temsilde ise aynı noktaya ait birden çok "z" değeri temsil edilebilir. Diğer bir anlatımla, 3B temsil 2.5B'nin aksine yalnızca "yüzey" in değil, yüzeyin altı ve/veya üstünün de tanımlanabildiği bir temsildir. Dolayısıyla 3B temsil gerektiren analizlerde, SYM temsili yetersiz kalacaktır. Çeşitli amaçlı görülebilirlik analizleri, hava akımı analizleri, gölge analizleri, çeşitli jeolojik analizler gibi yüzey üstü ve altında tanımlı hale getirilmesi gereken nesnelere içeren analizler 3B temsil gerektirecektir.

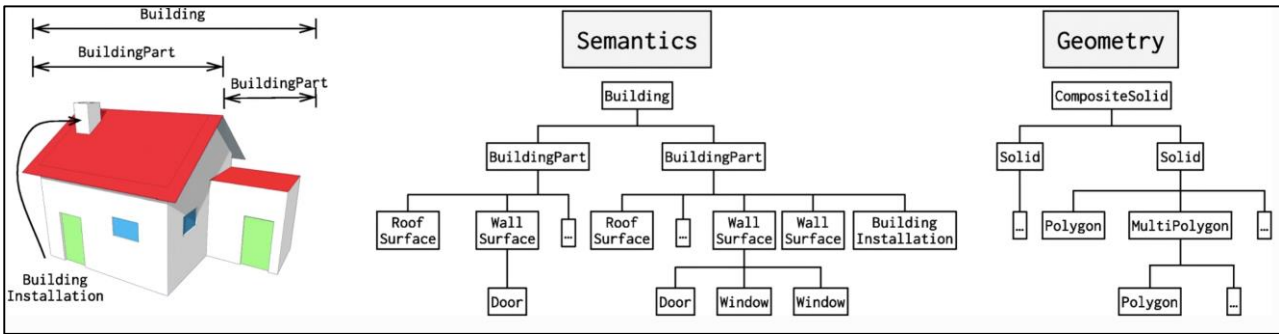
3BKM'leri ile web üzerinden etkileşime girebilmek, 3B kent modellerinin hedef kitesini, coğrafi bilgi konusunda uzman olmayan fakat çalışmalarında 3BKM'lerinden faydalanabilecek olan kitlelere genişletebilir (Prandi vd. 2015). Bu nedendir ki günümüzde pek çok kent modeli web üzerinden kullanıcılara sunulmaktadır. 3BKM'lerinin web teknolojileri ile entegrasyonu önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir.

Bu çalışmada TKGM CityGML veri modeli ve örnek veri formatı web teknolojileri göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Bulunan sonuçlara karşın yeni bir veri formatı önerilmiştir.

## 2. 3B Kent Modelleri için Veri Modelleri ve Formatları

### 2.1 CityGML

CityGML, 3BKM'nin depolanması ve aktarılması için tasarlanmış XML tabanlı açık bir veri modeli ve veri formatıdır. CityGML, geometrik, semantik, topolojik ve görsel özelliklerine göre kentlerdeki en alakalı topoğrafik objeler için sınıfları ve ilişkileri tanımlar (OGC CityGML 2.0, 2012). CityGML, bir kenti temsil etmek için onu daha küçük objelere böler. Kentte yaygın olarak bulunan objeler için sınıflar tanımlar ve ayrıca bu sınıflar arasındaki hiyerarşik ilişkileri tanımlar (Şekil 1).



Şekil 1. Bina objesi ve onu oluşturan daha küçük objeler (Ledoux vd. 2019)

CityGML, Special Interest Group (SIG 3D) üyeleri tarafından 2002 yılından itibaren geliştirilmeye başlandı (OGC CityGML 2.0, 2012). 2008 yılından itibaren de OGC Standardı olarak kabul edilmiştir. Kısa bir süre öncesine kadar da 3BKM'nin depolanması ve aktarılması için tek standart veri modeli ve format olması sebebiyle, bugün endüstri tarafından üretilen 3BKM'nin pek çoğu CityGML formatındadır.

CityGML, 3BKM'nin yönetilmesi noktasında yaygın bir format olsa da bu formatı destekleyen ticari ya da açık kaynak kodlu yazılımların sayısı oldukça azdır. "QGIS2Three.js" adlı bir QGIS eklentisi ile CityGML verisi QGIS'te görüntülenebilir. Bu eklenti ile CityGML okunarak Three.js adlı 3B JavaScript kütüphanesinin veri tiplerine dönüştürülerek görüntülenmektedir.

Başka pek çok çalışmada da CityGML verisi görüntüleneceği zaman öncelikle glTF, kml, collada gibi başka formatlara çevrilmiştir (Chaturvedi vd. 2015). Bunun nedeni CityGML veri yapısının doğrudan 3B veriyi görüntülemek için uygun olmamasıdır. Neden uygun olmadığı ilerleyen bölümlerde daha detaylı açıklanmıştır.

CityGML veri modelinin 3 versiyonu bulunmaktadır. Bunlar, CityGML 1.0, CityGML 2.0 ve CityGML 3.0'dır. CityGML 3.0 bu makalenin yazımı sırasında yeni standart olmuş ve geliştiriciler için kavramsal modeli yeni yayınlanmıştır. CityGML 3.0 modülü, mevcut veri modeli üzerinde pek çok büyük yenilik getirmiştir. En büyük yeniliklerden biri zamana bağlı olarak değişen verilerin temsil edilmesini sağlayan yeni "Dynamizer" modülüdür. Diğer önemli bir yenilik de yeni "Versioning" modülüdür. Bu modül ile 3BKM'de yapılan değişiklikler ve versiyon kontrolü yönetilebilecektir. CityGML 3.0 ile ilgili yenilikler için daha detaylı bilgi (Chaturvedi vd. 2017), (Chaturvedi ve Kolbe, 2017), (Kutzner ve Kolbe, 2018) ve (Kutzner vd. 2020) çalışmalarından edinilebilir.

Şüphesiz CityGML'in ön tanımlı sınıfları tüm kullanıcı senaryolarını kapsamamaktadır bu nedenle de bazı uygulamalarda, uygulamanın gerektirdiği, CityGML veri modelinde tanımlı olmayan, kullanıcı tanımlı verilerin temsil edilebilmesi için CityGML veri modelinin genişletilmesi gerekmektedir. Bu anlamda CityGML 2 mekanizma sunmaktadır. Birinci mekanizma CityGML'in "Generics" modülüdür. Bu modül sayesinde yeni 3B objeler "Generic City Objects" olarak ve kullanıcı tanımlı özneliklerde "Generic Attributes" olarak temsil edilir. İkinci mekanizma ise yeni bir Uygulama Şeması (Application Domain Extension) yani kısaca ADE geliştirmektir. ADE'lerin "Generics" modülünden farkı ise kullanıcı tanımlı obje ve özneliklerin ayrı bir XML şema tanımına sahip olmasını gerektirir. Kullanıcı tanımlı objeler, öznelikler be bunların diğer sınıflarla ilişkileri XML şema tanımlama dosyasında (XSD) tanımlanır. Böylece bu mekanizma, bu ek obje ve özneliklerim şemaya karşı validasyonuna imkan sağlamaktadır ve bu ek obje ve öznelikleri yeniden kullanılabilir yapmaktadır. ADE tanımlamasına örnek olarak gürültü ile ilgili obje ve özneliklerin tanımlandığı "noise ADE" örnek olarak verilebilir.

## 2.2 CityJSON

CityJSON, 3BKM'lerin depolanması ve aktarılması CityGML veri modeline dayanan, JSON ile kodlanmış yeni bir veri modeli ve formatıdır. Ayrıca bir OGC Standardıdır (OGC document 20-072r2). CityJSON veri modelinde Objeler hiyerarşisi ve geometrik veri birbirinden ayrılmıştır. Tüm objelere ait koordinatlar global bir dizide tutulmaktadır ve her bir obje için ilgili veriye, objenin indis verileri kullanılarak erişilmektedir (Şekil 2). Böylece, veri modeli minimuma indirilmiştir.

```
{
  "CityObjects": {
    "B-201391182746-80FE6BE00A9C": {
      "type": "Building",
      "geometry": [
        {
          "type": "MultiSurface",
          "boundaries": [[0,1,2],[2,3,4],[0,2,5],[4,1,7],[8,9,10],[11,12,13]
        }
      ]
    },
    "B-201391182746-80FE6BE00A9D": {
      "type": "Building",
      "geometry": [
        {
          "type": "MultiSurface",
          "boundaries": [[13,14,15],[15,16,17],[13,15,18],[17,14,20],[8,9,10]
        }
      ]
    }
  },
  "vertices": [[300762.679,5041624.941,14.274],[300749.896,5041617.688,14.274],[300755.943,5041628.123,14.274],[300769.697,5041653.169,14.274],[300762.009,5041641.543,14.274],[300760.033,5041646.854,14.274],[300779.945,5041646.854,14.274],[300779.553,5041646.725,14.274],[300779.753,5041646.725,14.274],[300780.026,5041646.431,14.274],[300780.202,5041646.694,14.274 ]],
}
```

Şekil 2. CityJSON dosyasının bir bölümü

CityJSON formatının CityGML'e göre üstünlükleri:

- JSON tabanlı olmasından ötürü XML tabanlı CityGML'e göre daha az yer kaplaması ve daha kolay, daha hızlı ayrıştırılabilmesi
- Geometrik verinin olarak sadece bir yerde global olarak tutulmasından ötürü veri tekrarını önlemesi
- JSON yapısının programlama dilleriyle, harici kütüphaneler kullanmadan ayrıştırılabilmesi
- CityJSON'ın CityGML'e göre daha web uyumlu bir format olması
- CityGML'in derin hiyerarşik yapısının CityJSON'da olmaması

### 3. Web Teknolojileri ve 3B Kent Modelleri ile İlişkisi

HTML5 ve WebGL gibi internet teknolojilerinin gelişmesiyle, 3B konumsal verinin herhangi bir eklenti ya da yazılım kurulumu gerektirmeden web üzerinden görselleştirilmesi mümkün hale gelmiştir. HTML5, internetin çekirdek teknolojilerinden HTML işaretleme dilinin 5. versiyonudur (Wikipedia, 2022) ve platform bağımsız web uygulamaları geliştirmek için bir açık standarttır. HTML5'in 3B WebCBS kapsamında getirdiği en büyük yenilik, web sayfalarına grafiksel içeriği eklemek ve işlemek için kullanılan yeni 'canvas' elementidir. WebGL, HTML5'in canvas elementi üzerinden koşan, telifsiz, platform bağımsız, tarayıcı bağımsız, OpenGL ES 2.0 'a dayanan bir düşük seviyeli grafik API dir (Khronos, 2014). WebGL, programcıya tarayıcı üzerinden javascript ile GPU'ya erişim imkânı vermektedir (Parisi, 2015). Böylece 3B veriyi görselleştirmek, 3B veri üzerinde operasyonlar gerçekleştirmek için GPU tarafından hızlandırılmış algoritmaların kullanımını sağlamakta ve performansı arttırmaktadır (Taraldsvik, 2011).

HTML5 ve WebGL'in birlikte kullanımıyla, bu teknolojilerden önceki uygulamaların aksine, platform ve tarayıcı bağımsız herhangi bir eklenti kurulumu gerektirmeyen pek çok web tabanlı uygulama geliştirilmiştir ve 3BKM'lerin web üzerinden görselleştirilmesi WebCBS alanında önemli bir konu başlığı haline gelmiştir. Öncelikle pek çok sanal küre uygulaması geliştirilmiştir (Chaturvedi, 2014). Cesium (Analytics Graphics Inc., 2015), WebGL Earth (Klokantech Technologies, 2011), Open Web Globe (Christen ve Nebiker, 2011) bunlardan bazılarıdır.

Sanal küreler dışında, 3BKM'lerinin web üzerinden görselleştirilmesi kapsamında da pek çok çalışma yapılmıştır. x3DOM (x3DOM, 2022) ve WebGL kullanılarak 3BKM'leri herhangi bir eklenti olmadan tarayıcıda görüntülenmiştir (Rodrigues vd. 2013). Bir başka çalışmada Java tabanlı Nasa World Wind sanal küresi 3BKM'lerini görüntüleyebilecek şekilde genişletilmiştir (Prandi vd. 2013). Mao ve Ben (2011) tarafından yapılan çalışmada, 3BKM, bina, cadde gibi kent objelerini temsil eden Java sınıflarına dönüştürülmüş ve x3DOM kullanılarak görüntülenmiştir. Prieto vd. (2012), bu çalışmayı genişleterek Java sınıfları yerine W3DS gibi 3B web servisleri kullanarak 3BKM tarayıcı üzerinden görüntülenmiştir. Bu kapsamdaki benzer çalışmalar için ilgili diğer kaynaklara bakılabilir (Schilling vd. 2012; Gesquiere ve Manin, 2012; Chaturvedi, 2014; Prandi vd. 2013; Prandi vd. 2015; Chaturvedi vd. 2015; Pispidikis ve Dimopolou, 2016).

### 4. 3B Kadastro Çalışmaları ve TKGM CityGML Veri Modeli

#### 4.1 3B Kadastro Çalışmaları

3B kadastro çalışmaları, ülke genelinde TKGM tarafından yürütülen "3B Kent Modelleri ve Kadastro" projesi ile yürütülmektedir. Bu çalışma kapsamında, kentlerin 3BKM'leri üretilmekte ve 3B kadastro altlıkları hazırlanmaktadır. Bu iş için ihale yoluyla özel sektör tarafından yapılmaktadır. 3B kent modelleri fotogrametrik olarak, yapılan uçuşlar ile üretilmektedir. Bağımsız bölümler, mimari projeler kullanılarak manuel olarak yüklenici firmalar tarafından çizilmekte ve oluşturulan 3B modeller 3BKM'ne yine yüklenici tarafından entegre edilmektedir. Yüklenici firmalar tarafından hazırlanan veriler TKGM'ne TKGM CityGML formatında teslim edilmektedir.

#### 4.2. TKGM CityGML Veri Modeli

TKGM, 3B Kadastro çalışmasında "Generics" modülünü kullanarak mevcut CityGML veri modelini genişletmiş, yeni veri modelinin adına da "TKGM CityGML" demiştir. Bu veri modeline göre, mevcut veri modeline eklenen objeler ve sınıf isimleri Tablo 1 de gösterilmektedir. Burada en çok dikkat çeken bağımsız bölüm objesidir. CityGML veri modelinde, bina sınıfında bağımsız bölüm olmadığı için bağımsız bölümlerin geometrileri "GenericCityObjects" olarak mevcut CityGML veri modeline eklenmiştir. Bağımsız bölümlere ait öznitelik verileri de "GenericAttributes" olarak tutulmaktadır. Bu verilerin neler olması gerektiğine ilişkin veriler Tablo 2 de yer almaktadır.



**Tablo 1.** TKGM veri modelindeki sınıflar ve isimleri (3D Kadastro, 2022)

Tür	Değer
Mimari Bina	MimariBina
Fotogrametrik Bina	FotogrametrikBina
Fotogrametrik Bina Part	FotogrametrikBinaPart
Bina Çatı Eklenti	BinaCatiEklenti
Kat	Kat
Bağımsız Bölüm	BagimsizBolum
Bağımsız Bölüm Kısım	BagimsizBolumKisim
Bağımsız Bölüm Kısım İç Yapı	BagimsizBolumKisimIcYapi
Ortak Alan İç Yapı	OrtakAlanIcYapi
Balkon	Balkon
Teras (Mimari Bina)	Teras
Ortak Alan	OrtakAlan
Mimari Bina Grup	MimariBinaGrup

**Tablo 2.** Bağımsız bölüm sınıfına ait öznitelik verileri

Özellik Adı	Generic Attribute Tipi	Zorunluluk
geometrySuitability (Geometrik Uygunluk)	<b>gen:intAttribute</b>	Evet
integrationState (Entegrasyon Durumu)	<b>gen:intAttribute</b>	Evet
independentSectionNumber (Bağımsız Bölüm Numarası)	<b>gen:stringAttribute</b>	Evet
takbisPropertyIdentityNumber (Taşınmaz Id)	<b>gen:intAttribute</b>	Evet
additionalNote (Ek Açıklama)	<b>gen:stringAttribute</b>	Hayır
independentSectionCardinalDirection (Bağımsız Bölüm Cephe Bilgisi)	<b>gen:intAttribute</b>	Evet
independentSectionUsage (Bağımsız bölüm kullanım amacı)	<b>gen:intAttribute</b>	Evet
partCount (Bağımsız Bölüm Kısım Adedi)	<b>gen:intAttribute</b>	Evet
independentSectionPlanNetArea (Bağımsız Bölüm Mimari Projede Yazan Net Alan)	<b>gen:doubleAttribute</b>	Evet
independentSectionPlanGrossArea (Bağımsız Bölüm Mimari Projede Yazan Brüt Alan)	<b>gen:doubleAttribute</b>	Evet
independentSectionCalculatedArea (Bağımsız Bölüm Çizim Alan)	<b>gen:doubleAttribute</b>	Evet
blockName (Blok Numarası)	<b>gen:stringAttribute</b>	Evet
entrance (Giriş)	<b>gen:stringAttribute</b>	Evet

### 4.3. TKGM CityGML Veri Modelinin CityGML Kaynaklı Eksiklikleri

CityGML, her ne kadar popüler olarak kullanılsa da pek çok eksiklik barındırmaktadır. Verilerin hangi şekilde depolanabileceğini, düzenlenebileceğini ve manipüle edilebileceğini belirleyen farklı veri modelleri vardır. En yaygın veri modeli yaklaşımlarından biri hiyerarşik veri modelidir. Hiyerarşik modelde veriler, her kaydın tek bir ebeveyni veya kökü olduğu ağaç benzeri bir yapı halinde düzenlenir. Her kayıt, geometrisi ve öznitelikleri ile saklanır. Ortak veriler, her kayıt için tekrar tekrar depolanır. Hiyerarşik veri modellerinde, veri aranması, gerekli veri bulunana kadar tüm modelin yukarıdan aşağıya araştırılmasını gerektirdiğinden, hiyerarşinin en altındaki verilere erişim yavaşken, hiyerarşinin en üstündeki verilere erişim hızlıdır. CityGML de hiyerarşik veri modeli yaklaşımını benimsemektedir ve hiyerarşik veri modelinin dezavantajlarına sahiptir. Öncelikle CityGML'in dolayısıyla TKGM CityGML'in çok karmaşık bir hiyerarşiye sahiptir. CityGML de bir obje pek çok alt objeden, her bir alt obje de başka objelerden oluşmaktadır. Bu durum CityGML'in ayrıştırılması için programlama dillerinde pek çok iç içe döngü yazılmasına sebep olmakta, bu durum, ayrıştırma performansını olumsuz olarak etkilemekte ve ayrıştırma işini zorlaştırmaktadır.

Diğer bir önemli sorun veri tekrarıdır. Hiyerarşik veri modellerinde olduğu gibi CityGML ve TKGM CityGML de her kayıt geometrisi ve öznitelikleriyle ayrı ayrı tutulduğu için, ortak geometriye sahip objelerin kayıtlarında geometrilerin ortak kısımları gereksiz yere tekrar etmiş olur. Şekil 3'deki örnek CityGML verisinde, aynı koordinatlara sahip farklı kayıtlar için, verilerin tekrar ettiği görülmektedir. Biljecki vd. (2015a) yaptıkları çalışmayla veri tekrarı problemini özellikle multi-LOD bağlamında çözmeye çalışmışlardır. Geliştirdikleri metodolojiyle birbiri ile ilişkili objeler kent modeli içinde belirlenerek aralarında tekrar eden veriler için xlink referansları oluşturulmaktadır. Böylece veri tekrarı minimuma indirgenmiştir. Ancak bir xlink referansı oluşturulabilmesi için öncelikle bir objenin oluşturulması gerekmektedir ve CityGML de bir objenin yüzeylerini ilk kez oluştururken bile poligon geometrilerinin koordinat dizileri içinde veri tekrarı olmaktadır (Şekil 2). Bu nedenle bu yöntem veri tekrarı problemini tamamen çözememiştir.

```
<gml:surfaceMember>
  <gml:Polygon gml:id="Wall-85c62d0c-cceb-40c2-8f59-ab31ee16aa30">
    <gml:exterior>
      <gml:LinearRing>
        <gml:posList>618499.087052122 4100087.70435038 942.359982833862 618499.087052122
      </gml:LinearRing>
    </gml:exterior>
  </gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
  <gml:Polygon gml:id="Wall-8cbd98ba-1de4-4b7b-9fc3-e4ab646c161b">
    <gml:exterior>
      <gml:LinearRing>
        <gml:posList>618499.039479032 4100087.34239665 942.359982833862 618499.039479032
      </gml:LinearRing>
    </gml:exterior>
  </gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
  <gml:Polygon gml:id="Wall-3fa074e3-d128-4d93-b0c7-350e0c754d39">
    <gml:exterior>
      <gml:LinearRing>
        <gml:posList>618496.205796972 4100085.41456071 942.359982833862 618496.205796972
      </gml:LinearRing>
    </gml:exterior>
  </gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
```

Şekil 3. CityGML veri dosyasının bir kısmı

TKGM CityGML in bir diğer önemli eksikliği de JSON yerine XML tabanlı olmasıdır (Şekil 4). Günümüzde JSON web teknolojileri tarafından kullanılan en yaygın formattır. Bunun nedeni XML'e göre çok daha kompakt olması, az yer kaplaması ve içeriğinin çok daha kolay ayrıştırılabilmesidir. Pek çok dilde yerleşik olarak JSON'daki "anahtar değer" çiftlerine karşılık gelen veri tipleri mevcuttur. Örneğin Java ve Go dillerindeki "Map" veri tipi, Python'daki "Dictionary" veri tipi buna örnek olarak gösterilebilir. Böylece, programlama dilleriyle herhangi bir harici kütüphane kullanılmadan JSON dökümanları bu veri tiplerine eşlenebilmektedir. Oysa XML de durum daha karmaşıktır. Pek çok dilde XML dökümanlarını ayrıştırabilmek için harici kütüphaneler kullanılmak zorundadır ve bir XML dökümanını ayrıştırmak için kompleks "marshalling" ve "unmarshalling" işlemleri gerekmektedir.

CityGML dokümanları da XML tabanlı olduğundan yukarıda bahsedilen eksiklikleri aynen taşımaktadırlar. TKGM CityGML veri modeli de XML tabanlı olduğundan ve CityGML e dayandığından aynı eksiklikler TKGM CityGML veri modeli için de geçerlidir.

Üçüncü önemli eksiklik de CityGML de ve dolayısıyla TKGM CityGML de objelerin geometrik, semantik ve özniteliklerinin bir arada iç içe barındırmasıdır. Örneğin bir binanın geometrisi de öznitelikleri de "Building" etiketi altında tutulmaktadır. Söz konusu bir görselleştirme uygulamasında sadece geometrik veriye ihtiyaç olmasına karşın bina etiketi altındaki tüm etiketler araştırılarak sadece geometri içerenler ayrıştırılmaktadır. Bu ekstra ayrıştırma işlemi de koşum zamanı performansını olumsuz etkilemektedir.

#### 4.4 TKGM CityGML Veri Modelinin Tasarım Açısından Eksiklikleri

Bağımsız Bölümler "generics" modülü kullanılarak CityGML veri modeline eklendiğinden, her bir bağımsız bölüm bir jenerik kent objesidir "Generic City Object" (Şekil 3). Jenerik objeler CityGML hiyerarşisinde kent objesi seviyesindedir yani bir bina objesi ile eş değerdir. Oysa bağımsız bölümler binaların içinde yer alan objelerdir ve hiyerarşide binaların altında yer almalıdırlar. Dolayısıyla bağımsız bölümler binalar ile ilişkilendirilemediğinden bir binaya ait bağımsız bölümler için sorgu yapılamamaktadır. Herhangi bir binaya ait bağımsız bölüm için tüm binaların bağımsız bölümleri araştırılmaktadır. Oysa CityGML veri modeli ADE kullanılarak genişletilmeli ve bağımsız bölümler bina sınıfının alt objeleri olarak tanımlanmalıydı, böylece binalar ile bağımsız bölümler ilişkilendirilebilecek ve sorgular çok daha etkin bir şekilde yapılabilecekti.

```
<core:cityObjectMember>
  <bldg:Building gml:id="MB_ab57b89d-349f-4b0a-a498-ed322efdbf8b">...
</bldg:Building>
</core:cityObjectMember>
<core:cityObjectMember>
  <gen:GenericCityObject gml:id="BB_f2ff4ed9-314c-45f7-87d1-ac51e4e7ebfe">
    <gml:name>Bağımsız Bölüm 21</gml:name>
    <gen:stringAttribute name="independentSectionNumber">
      <gen:value>21</gen:value>
    </gen:stringAttribute>
    <gen:stringAttribute name="takbisPropertyIdentityNumber">
      <gen:value>8FBCE29564CA9</gen:value>
    </gen:stringAttribute>
    <gen:stringAttribute name="additionalNote">
      <gen:value>-</gen:value>
    </gen:stringAttribute>
    <gen:intAttribute name="partCount">
      <gen:value>1</gen:value>
    </gen:intAttribute>
    <gen:intAttribute name="geometrySuitability">
      <gen:value>1001</gen:value>
    </gen:intAttribute>
    <gen:intAttribute name="integrationState">
      <gen:value>1001</gen:value>
    </gen:intAttribute>
  </gen:GenericCityObject>
</core:cityObjectMember>
```

Şekil 4. Örnek TKGM CityGML dosyasının bir bölümü

Bir diğer tasarım eksikliği de geometrinin depolanış şeklidir. Geometrik veri, sıralı koordinat dizileri şeklinde tutulmaktadır (Şekil 5). Bu durum veri tekrarına sebep olmakla birlikte başka sorunları da beraberinde getirmektedir.

```
</bldg:lod2Geometry>
<bldg:boundedBy>
  <bldg:FloorSurface>
    <bldg:lod2MultiSurface>
      <gml:MultiSurface srsName="EPSG:5256">
        <gml:surfaceMember>
          <gml:Polygon gml:id="Floor-1c79dd5e-7887-4c15-85b7-bbd439d6a34f">
            <gml:exterior>
              <gml:LinearRing>
                <gml:posList>618498.195370451 4100098.90219346 930.559989080429 618498.1
              </gml:LinearRing>
            </gml:exterior>
          </gml:Polygon>
        </gml:surfaceMember>
        <gml:surfaceMember>
          <gml:Polygon gml:id="Floor-49e761a1-2e8a-4bfa-b29b-2265696bfa83">
            <gml:exterior>
              <gml:LinearRing>
                <gml:posList>618496.662863508 4100103.53566018 930.359986886978 618496.6
              </gml:LinearRing>
            </gml:exterior>
          </gml:Polygon>
        </gml:surfaceMember>
        <gml:surfaceMember>
          <gml:Polygon gml:id="Floor-a35125f7-6332-42a8-95ba-05edc3b106e8">
            <gml:exterior>
              <gml:LinearRing>
```

Şekil 5. TKGM CityGML dosyasında geometrik verinin depolanması

Web uygulamalarında verinin görselleştirilmesi WebGL grafik API'si kullanılarak yapılmaktadır. WebGL, görüntülenecek veriyi "vertex" dizisi ve "index" dizisi şeklinde istemektedir. Bu sebepten ötürü, her bir objenin koordinat dizisi ayrıştırılarak indekslenmesi gerekmektedir. 2B veriler için bu durum söz konusu değildir. Örneğin GeoJSON dosyalarında da geometri sıralı koordinat dizileri olarak tutulmaktadır. Ancak, 2B verinin görselleştirilmesi için kullanılan Canvas API zaten doğrudan sıralı koordinat dizileriyle çalıştığından böyle bir işleme gerek yoktur. Oysa TKGM CityGML örneğinde verinin görselleştirilebilmesi için ek bir indeksleme işlemine ihtiyaç vardır.

## 5. Önerilen Veri Modeli ve Veri Formatı

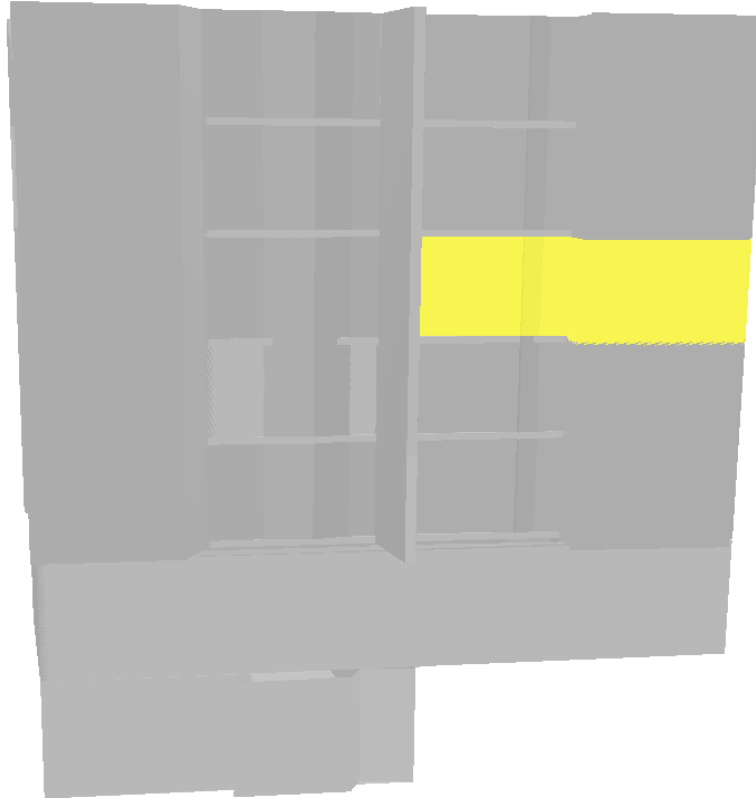
Bu çalışmada, TKGM CityGML veri modeli ve formatının eksikliklerini giderecek yeni bir veri modeli tasarlanmıştır. Öncelikle, XML tabanlı eksiklikleri gidermek için JSON tabanlı bir format önerilmiştir. Önerilen format CityJSON formatına dayanmaktadır (Ledoux vd. 2019). CityJSON, CityGML veri modeli için geliştirilmiş bir JSON tabanlı veri değişim formatıdır. Bu formatın seçilmesindeki en büyük etkenlerden biri de geometrik verinin her bir kayıt için sıralı koordinat dizileri şeklinde değil de global bir vertex dizisi ve her bir kayıt için index dizisi şeklinde tanımlanmış olmasıdır. Böylece görselleştirme aşamasında veri grafik API'lara gönderilirken ek bir indeksleme işlemi gerekmemektedir.

CityJSON doğrudan CityGML veri modelini kullandığından, CityGML veri modelinde olmayan bağımsız bölüm objeleri, CityJSON veri modelinde de bulunmamaktadır. Bağımsız bölümleri depolamak için CityJSON genişletilmiş ve bina objelerinin için bağımsız bölüm objeleri eklenmiştir (Şekil 6). Böylece hangi bağımsız bölümün hangi binaya ait olduğu bilgisi veri ayrıştırılırken kolayca elde edilebilmektedir. Şekil 6 da "B-206391182646-3B58D3D11C14" id'li bir binanın koordinatları "boundaries" anahtarının değerleri olarak verilmekte, bu binaya ait bağımsız bölümler de "condominiums" anahtarının değeri olarak geometrisi ile birlikte verilmektedir. Geometrilere, global vertex listesini gösteren indeks değerlerinden oluştuğundan, veri tekrarı olmamakta ve ek indeksleme olmadan veri grafik API'ler ile render edilebilmektedir.

```
"CityObjects": {
  "B-201391182746-80FE6BE00A9C": {
    "type": "Building",
    "geometry": [
      {
        "type": "MultiSurface",
        "boundaries": [[[0,1,2]], [[2,3,4]], [[0,2,5]], [[4,1,7]], [[8,9,10]], [[11,12,13]]
      }
    ]
    "condominiums": [
      {
        "id": "C-201391182746-80FE6BE00A9C",
        "type": "MultiSurface",
        "boundaries": [[[0,1,2]], [[2,3,4]], [[0,2,5]], [[4,1,7]]]
      },
      {
        "id": "C-201391182746-80FE6BE00A9C",
        "type": "MultiSurface",
        "boundaries": [[[8,9,10]], [[11,12,13]], [[9,14,15]]]
      }
    ]
  }
}
```

Şekil 6. Örnek CityJSON dosyası bina detayı ve bağımsız bölüm detayları

Bağımsız bölümleri de içeren CityJSON dosyası görüntülenmiş (Şekil 7) ve TKGM CityGML dosyası ile karşılaştırılmıştır. Yapılan testler sonucu örnek TKGM CityGML dosyası 4.80mb iken üretilen CityJSON dosyasının 0.91mb olduğu görülmüştür. Buradan da önerilen veri modelinin veri kaybı olmaksızın yaklaşık 5 kat daha az yer kapladığı görülmüştür.



Şekil 7. Bağımsız bölümlerin CityJSON olarak görüntülenmesi

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, ülkemizde yürütülen 3B kadastro çalışmalarına altlık teşkil eden TKGM CityGML veri modeli ve örnek veri dosyası bir ilk olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda TKGM CityGML veri modelinin önemli eksiklikler içerdiği görülmüştür. TKGM CityGML veri modelinde veriyi ayrıştırmanın zor olduğu özellikle hiyerarşik olarak aynı seviyede olmaması gereken bina ve bağımsız bölüm gibi objelerin aynı seviyede depolanmasının pek çok sorun teşkil ettiği görülmüştür. TKGM CityGML verilerinin mevcut haliyle veri tekrarı içerdiği, doğrudan görselleştirilemediği, görselleştirilmesi için ek işlemler gerektirdiği görülmüştür. Tüm bu eksikliklere karşın CityJSON veri formatına dayanan yeni bir veri formatı önerilmiştir. Ayrıca TKGM CityGML dosyasını ayrıştırmak için Go dilinde AKK bir ayrıştırıcı (parser) geliştirilmiştir. Bu ayrıştırıcı go dilinde yazılmış ilk CityGML ayrıştırıcısıdır ve açık kaynak versiyonuna github/ZiyaUsta adresinden ulaşılabilir.

## Kaynaklar

- Analytical Graphics Inc. (2015). *AGI An Ansys Company*, Retrieved from <https://www.agi.com/home>
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2015). Improving the consistency of multi-LOD CityGML datasets by removing redundancy. *3D Geoinformation Science*, (pp. 1-17). Springer International Publishing, Cham.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889.
- Chaturvedi, K. (2014). *Web based 3D analysis and visualization using HTML5 and WebGL* (Master's thesis), University of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Netherlands.
- Chaturvedi, K., & Kolbe, T. H. (2017). *Future City Pilot 1 Engineering Report* (Report No. 16-098). Lehrstuhl für Geoinformatik.
- Chaturvedi, K., Willenborg, B., Sindram, M., & Kolbe, T. H. (2017). Solar potential analysis and integration of the time-dependent simulation results for semantic 3D city models using dynamizers. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-4/W5(2017), 25-32.
- Chaturvedi, K., Yao, Z., & Kolbe, T. H. (2015). Web-based Exploration of and interaction with large and deeply structured semantic 3D city models using HTML5 and WebGL. In *Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF und Workshop on Laser Scanning Applications*. 2015. (pp. 296-306). DGPF Tagungsband 24/2015.
- Christen, M., & Nebiker, S. (2011). OpenWebGlobe SDK-An open source high-performance virtual globe SDK for open maps. In *1st European State of the Map Conference*, Vienna.
- Gesquière, G., & Manin, A. (2012). 3D visualization of urban data based on CityGML with WebGL. *International Journal of 3-D Information Modelling (IJ3DIM)*, 1(3), 1-15.
- Khronos, (2014), *Khronos Group, WebGL Specification, Version 1.0.3.*, Retrieved from <https://www.khronos.org/registry/webgl/specs/latest/1.0/>
- Klokan Technologies, (2011, Aralık 20). *WebGL Earth- open source 3D digital globe written in JavaScript*, Retrieved from <http://www.webglearth.org/>
- Kutzner, T., Chaturvedi, K., & Kolbe, T. H. (2020). CityGML 3.0: New functions open up new applications. *PFJ-Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 43-61.
- Kutzner, T., & Kolbe, T. H. (2018). CityGML 3.0: sneak preview. In *PFJK18-Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformatik-Kartographie, 37. Jahrestagung in München 2018*, 835-839.
- Ledoux, H., Arroyo Ogori, K., Kumar, K., Dukai, B., Labetski, A., & Vitalis, S. (2019). CityJSON: A compact and easy-to-use encoding of the CityGML data model. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 4(1), 1-12.
- Mao, B., & Ban, Y. (2011). Online Visualisation of a 3D City Model Using CityGML and x3DOM. *Cartographica*, 46(2), 109-114.
- OGC CityGML 2.0, (2012), *OGC city geography markup language (CityGML) encoding standard* (Report No. 12-019). Open Geospatial Consortium Version 2.0.0.
- Pispidikis, I. & Dimopoulou, E, (2016, October). Development of a 3D WebGIS system for retrieving and visualizing CityGML data based on their geometric and semantic characteristics by using free and open source technology, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, In *11th 3D Geoinfo Conference*, IV-2/W1(2016), (pp. 47-53).
- Prandi, F., De Amicis, R., Piffer, S., Soave, M., Cadzow, S., Boix, E. G., & D'Hondt, E. (2013, May). Using CityGML to deploy smart-city services for urban ecosystems. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-4/W1, 29th Urban Data Management Symposium*, 2013. (pp. 87-92).
- Prandi, F., Devigili, F., Soave, M., Di Staso, U. & De Amicis, R. (2015). 3D web visualization of huge CityGML models. In *ISPRS Geospatial Week 2015. Proceedings*, XL-3/W3(2015), 601-605.

- Prieto, I., Izkara, J. L., & Delgado del Hoyo, F. J. (2012, June). Efficient visualization of the geometric information of CityGML: application for the documentation of built heritage. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 529-544).
- Rodrigues, J. I., Figueiredo, M. J., & Costa, C. P. (2013, July). Web3D GIS for city models with CityGML and X3D. In *2013 17th International Conference on Information Visualisation* (pp. 384-388).
- Schilling, A., Hagedorn, B., & Coors, V. (2012). OGC 3D Portrayal Interoperability Experiment Final Report. *Open Geospatial Consortium Engineering Report*.
- Taraldsvik, M. (2011). Exploring the Future: is HTML5 the solution for GIS Applications on World Wide Web? Technical Report, NTNU.
- Parisi T. (2015). Programming 3D Applications with HTML5 and WebGL, O'Really Media.
- Wikipedia, (2022, Ocak 8), *HTML 5*, Retrieved from <https://tr.wikipedia.org/wiki/HTML5>
- x3DOM, (2022, Ocak 4), *x3DOM instant 3D the HTML way*. Retrieved from <https://www.x3dom.org/>
- 3D Kadastro (2022, Ocak 5), *GML ID, Name, Class Atamaları*. Retrieved from [http://cbs.tkgm.gov.tr/3d/html/gml\\_id\\_name\\_class\\_atamaları.html](http://cbs.tkgm.gov.tr/3d/html/gml_id_name_class_atamaları.html)

## Üç Boyutlu Konumsal Verinin Web Tabanlı Yönetiminde, OGC Standardı 3D Tiles'in Hiyerarşik Veri Yapılarıyla Gerçekleştirimi Implementation of the OGC Standard 3D Tiles with Hierarchical Data Structures in Web Based Management of 3D Spatial Data

Ziya Usta<sup>1\*</sup>, Çetin Cömert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin/Türkiye.

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon/Türkiye.

### ARAŞTIRMA MAKALESİ

#### \*Sorumlu yazar:

Ziya Usta  
ziyausta@artvin.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1059733

#### Yayın süreci

Geliş tarihi: 18.02.2022  
Kabul tarihi: 02.03.2022  
Basım tarihi: 14.02.2022

### Özet

3B Kent Modelleri (3BKM) pek çok kent objesinden oluşan yüksek veri hacmine sahip verilerdir. Bu durum 3BKM'lerinin web tabanlı olarak yönetilmesi ve görüntülenmesinde performans sorunları yaratmaktadır. Bu nedenle 3BKM'lerinin bölümlenerek (tiling) daha küçük bölümlere ayrılması gerekmektedir. 3D Tiles büyük boyutlardaki 3B veri kümelerinin web üzerinden transferi için tasarlanmış bir spesifikasyon ve OGC standardıdır. 3D Tiles'in temeli, yalnızca görüntüde görünecek olan bölümlerin web üzerinden transfer edilmesini sağlayan hiyerarşik detay seviyelerine dayanmaktadır. 3BKM'lerinin 3D Tiles spesifikasyonuna göre bölümlenmesini sağlayan herhangi bir açık kaynak kodlu (AKK) web tabanlı yazılım bileşeni bulunmamaktadır. Bu çalışmada 3D Tiles spesifikasyonuna uygun olarak 3B bölümlenme yapan web tabanlı açık kaynak kodlu (AKK) yazılım bileşeni geliştirilmiştir. Bölümlenme için R-Tree ve Adaptive QuadTree hiyerarşik veri yapıları kullanılmıştır. Üretilen 3B bölümler Cesium.js AKK JavaScript kütüphanesi kullanılarak görselleştirilmiştir. Adaptive Quadtree ve R-Tree veri yapıları 3B bölümlenme açısından irdelenmiş, oluşturulma süreleri, veri güncelleme süreleri ve konumsal sorgu performansları karşılaştırılmıştır. Böylelikle geliştirilecek uygulamanın genel özelliklerine göre hangi veri yapısının seçilmesi gerektiği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** 3B CBS, 3B WebCBS, 3D Tiles, Hiyerarşik veri yapıları

### Abstract

3D City Models (3DCMs) consisting of many city objects are huge in size. This situation causes performance problems in web-based management and displaying of 3DCMs. 3DCMs must be decomposed to smaller data chunks called "tiles". 3D Tiles is a specification and OGC standard designed for transferring large 3D datasets over the web. 3D Tiles is based on hierarchical detail levels that allow only the parts that will appear in the image to be transferred over the web. There is no open-source web-based component for tiling 3DCMs according to 3D Tiles. In this study, a web-based 3D Tiling component that tiles 3DCMs according to 3D Tiles has been developed. R-Tree and Adaptive QuadTree hierarchical data structures have been used to decompose 3DCM. Generated 3D tiles have been rendered using open source Cesium.js JavaScript library. Adaptive QuadTree and R-Tree data structures have been investigated in the context of tiling and their performance have been compared in terms of construction times, data update times and spatial query performances. Thus, which data structure should be selected has been determined according to the general characteristics of the application to be developed.

**Keywords:** 3D GIS, 3D WebGIS, 3D Tiles, Hierarchical data structures



## 1. Giriş

3B Kent Modelleri (3BKM) artan bir ilgi görmektedir ve web tabanlı yönetimler oldukça faydalıdır. HTML5 ve WebGL gibi teknolojilerin de gelişmesiyle yeni bir araştırma alanı ortaya çıkmıştır “3B WebCBS”. Genel olarak WebCBS uygulamaları geliştirmenin önündeki en büyük zorluk yüksek boyutlu verilerden kaynaklı performans sorunlarının üstesinden gelinmesidir. Bu durum daha fazla performans gerektirdiğinden 3B WebCBS uygulamaları için daha da önemlidir. Bölümleme (Tiling) yaklaşımı veri setini daha küçük parçalara bölerek performansı arttırmak için kullanılan etkin bir yöntemdir. Böylece sadece ihtiyaç duyulan bölümler sunucudan istenerek, transfer edilen veri hacmi azaltılır ve performans artırılır.

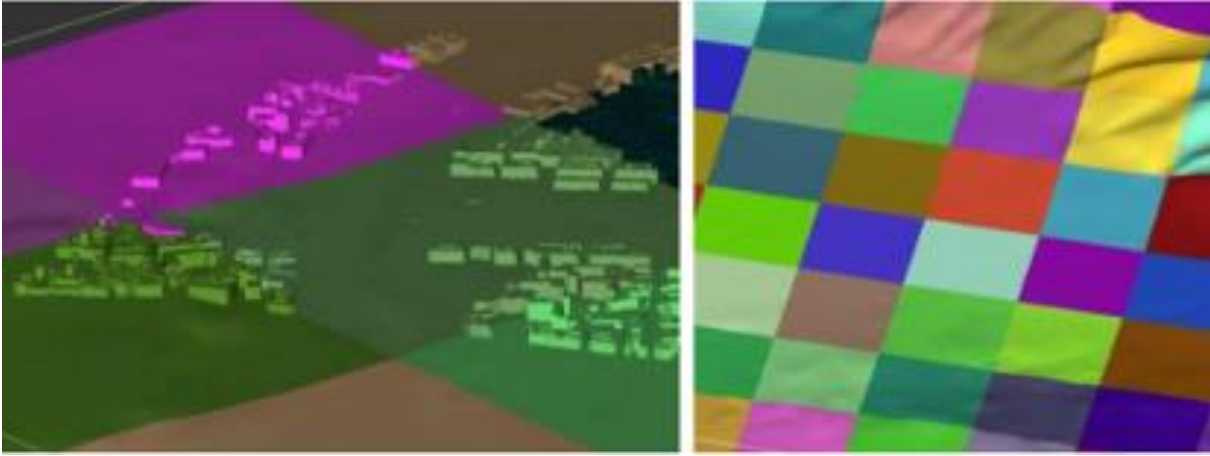
2B vektör ve raster verinin bölünmesi için pek çok çalışma yapılmıştır fakat 3B konumsal verinin bölünmesi nispeten yenidir ve bu konuda yapılan çalışmaların sayısı azdır. 3B verinin bölünmesi 2B verinin bölünmesinde çok daha karmaşıktır.

OGC 3D Tiles, 3B konumsal verinin bölünmesi ve bölünmüş verinin web üzerinden gönderimi için geliştirilmiş bir standarttır. Bu standart 2019 yılı itibarıyla OGC standardı olarak kabul edilmiştir. 3D Tiles, hiyerarşik detay seviyelerine imkan veren konumsal veri yapılarına dayanmaktadır (GitHub, 2021) böylece yalnızca ihtiyaç duyulan bölümler sunucudan istenir. 3D Tiles, R-Tree, QuadTree, Octree, Kd-Tree gibi pek çok veri yapısını desteklemektedir. Bölümlemenin hangi veri yapısına göre yapılacağı tamamen geliştiricilere bırakılmıştır.

OGC 3D Tiles önemli bir standart olmasına karşın, bu standarda göre bölümleme yapan yazılım bileşeni sayısı oldukça azdır. Web tabanlı açık kaynak kodlu bir yazılım bileşeni ise henüz yoktur. Bu çalışmada, 3D Tiles standardına göre bölümleme yapan bir yazılım bileşeni geliştirilerek test edilmiştir.

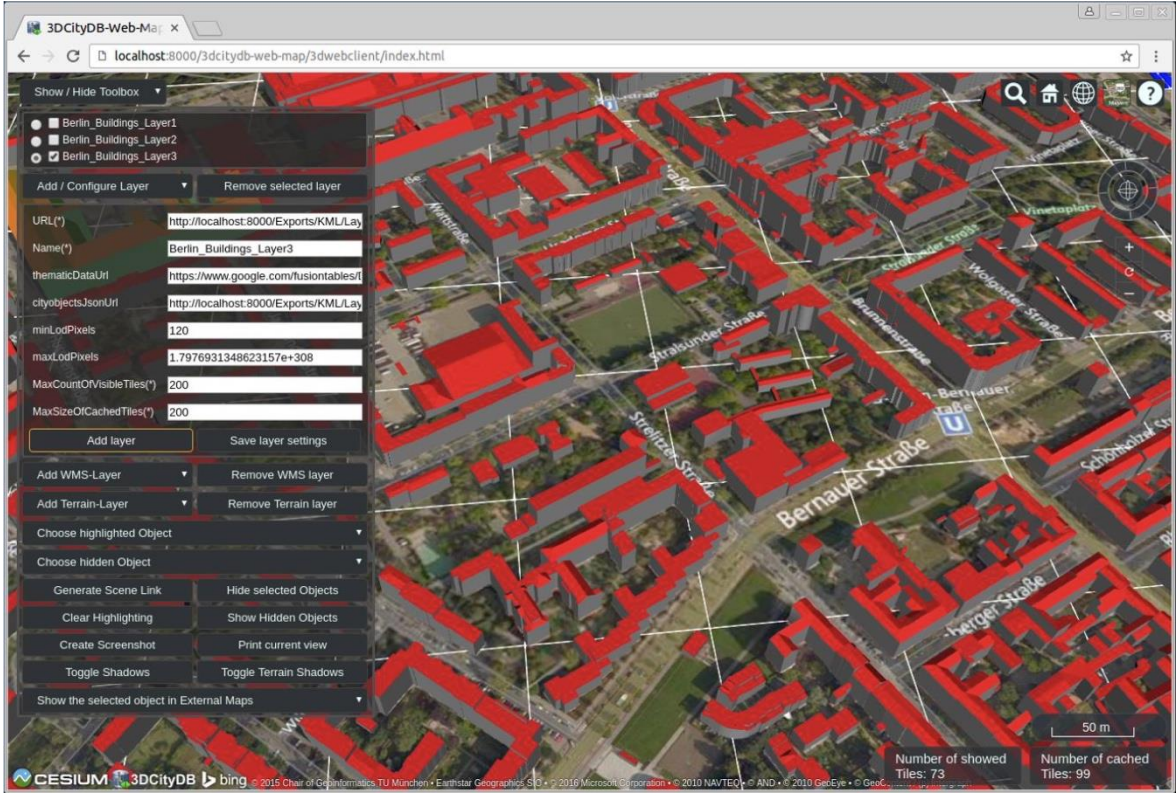
## 2. Benzer Çalışmalar

Gesquiere ve Manin (2012) bir istemci-sunucu mimarisi geliştirerek CityGML verisinin web tabanlı olarak görselleştirilmesini sağlamıştır. Bu amaçla, CityGML verisini düzenli dikdörtgen bölümlere ayırmışlardır (Şekil 1).



Şekil 1. Kent modelinin düzenli bölümlere ayrılması (Gesquiere ve Manin, 2012).

Prandi vd. (2013) bir akıllı kent platformu geliştirmişlerdir ve bu platform için pek çok web servisi geliştirmişlerdir. Bu amaçla CityGML verisini düzenli dikdörtgen bölümlere ayırmışlardır. Chaturvedi vd. (2015) 3DCityDB yazılımı için bir web istemcisi geliştirmiştir. Bu çalışmada da 3BKM düzenli dikdörtgen bölümlere ayrılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. 3DCityDB yazılımının web istemcisi ve düzenli bölüm yapısı (Chaturvedi vd. 2015)

Gaillard vd. (2015) 3BKM'lerinin web tabanlı görüntülenmesi için bir framework geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada CityGML dosyası JSON'a çevrilmiş ve 3BKM'leri düzenli yapıdaki dikdörtgen bölümlere ayrılmıştır. Bölümlerin tarayıcıda görüntülenmesi için de Three.js JavaScript kütüphanesi kullanılmıştır. Kramer ve Gutbell (2015) çalışmalarında 3B uygulamalar geliştirmiş ve WebGL kütüphanelerini test etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar kapsamında da CityGML verisini düzenli dikdörtgen bölümlere ayırmışlardır.

Buraya kadar bahsi geçen çalışmalar, düzenli bir bölümlendirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Bölümlendirme hiyerarşik değildir. Böyle bir bölümlendirmede, veri yoğunluğu dikkate alınmamakta, kent modeli eşit uzunluklu dikdörtgen alanlara bölünmektedir. Bu durum heterojen veri boyutlarına sahip bölümlerin oluşmasına yol açmaktadır.

Koukoffikis vd., (2018) hiyerarşik veri yapıları kullanarak bölümlendirme gerçekleştirmişlerdir. 3D Tiles ve 3D Portrayal Service standartları kullanılarak 3B görselleştirme gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bölümlendirme Cesiumion, FME gibi ticari yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böyle bir iş akışında, birbirleriyle entegre çalışmayan bu yazılımlar pek çok kullanıcı müdahalesini gerektirmektedir.

Gaillard vd. (2020) 3D Tiles standardını kullanarak 3BKM'nin görselleştirilmesi için çok ölçekli çözünürlüğü destekleyen bir metod geliştirmişlerdir. Bu çalışmada bölümlendirme işlemi yol ağı verisi kullanılarak hiyerarşik olarak yapılmış, ana yollara komşu binalar üst bölümlerde, yan yollara komşu binalar alt bölümlerde yer almıştır. Böyle bir bölümlendirmede bölümlendirme veri yoğunluğuna göre yapılmadığından heterojen veri boyutlarına sahip bölümler oluşmaktadır. Ayrıca bölümlerin maksimum veri yoğunluğu kontrol edilebilir değildir.

Lu vd. (2020) yaptıkları çalışmada büyük ölçekli meteorolojik verinin gerçek zamanlı olarak web tabanlı görselleştirmesini gerçekleştirmişlerdir. Bunun için nokta bulutu verisi Octree veri yapısı kullanılarak 3D Tiles standardına göre bölümlenmiştir. Bu çalışma sadece nokta bulutunun bölümlenmesini içermektedir 3BKM'ni kapsamamaktadır.

Xu vd. (2020) yaptıkları çalışmada BIM modellerinin 3D Tiles standardı kullanılarak bölümlenmesini sağlayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada BIM modelleri bölümlenmiştir ve 3BKM'lerini kapsamamaktadır. Ayrıca çalışmada otomatik bir işlem akışı sağlanamamakta, farklı yazılım bileşenleriyle, örneğin IFCShell gibi, farklı işlem adımları gerçekleştirilmiştir ve gerçekleştirilen çözüm web tabanlı değildir.

Akademik çalışmalar dışında yazılım bileşenlerine de bakacak olursak "obj23dtiles" açık kaynak kodlu bir Node.js modülüdür. En büyük eksikliği herhangi bir bölümlendirme gerçekleştirmemesi sadece obj formatındaki tüm kent modelini 3D Tiles'in veri formatı olan tek bir b3dm dosyasına çevirmesidir. Başka bir açık kaynak kodlu Node.js modülü de "citygml-to-3dtiles"tir. Bu modül de herhangi bir bölümlendirme yapmadan CityGML formatındaki veriyi tek bir b3dm dosyasına çevirmektedir.

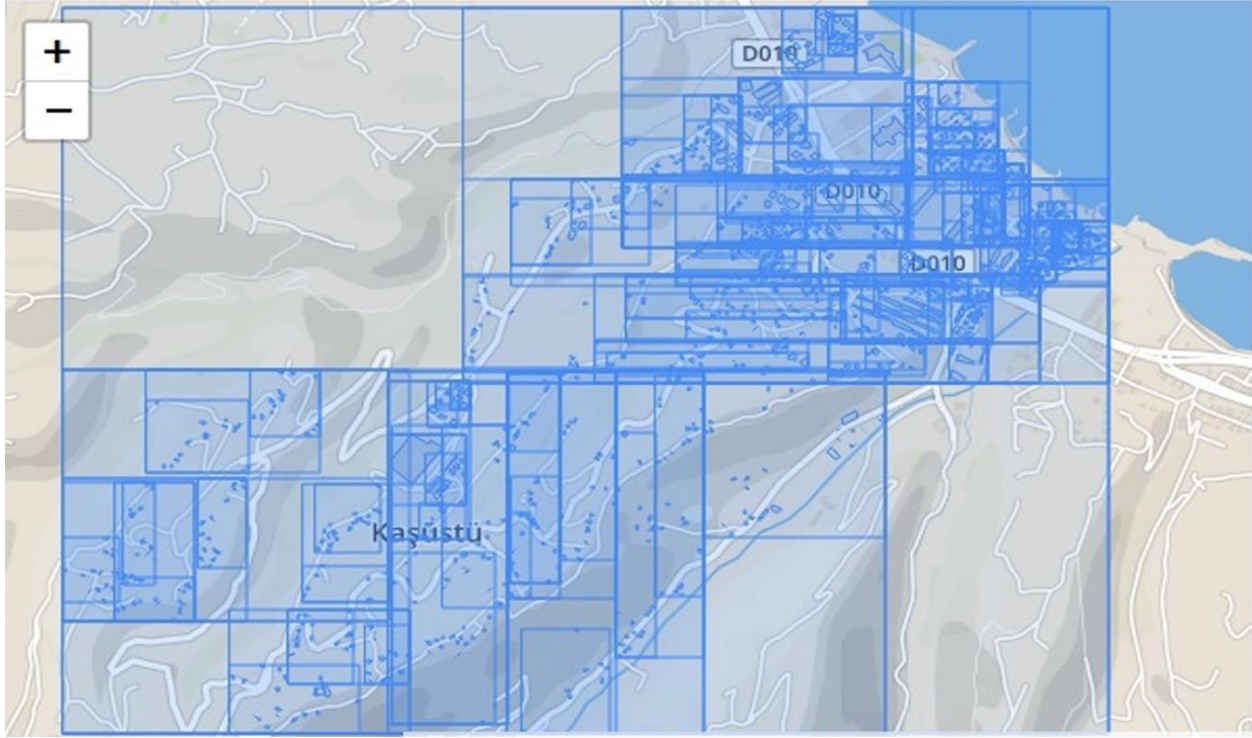
Bu anlamda en gelişmiş açık kaynak kodlu bileşen "py3dtiles"tır. Py3dtiles, CityGML datasını 3D Tiles standardına göre hiyerarşik olarak bölümlenmektedir. En büyük eksikliği ise web tabanlı bir bileşen olmamasıdır. Yapılan bu çalışmayla bu eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır.

Literatürdeki çalışmalar ve mevcut yazılım bileşenleri incelendiğinde bazı eksiklikler görülmüştür. İlk olarak, pek çok çalışmada düzenli bir bölümlenme uygulanmış, veri yoğunluğu gözetilerek hiyerarşik bir bölümlenme yapılmamıştır. Geliştirilen pek çok metodoloji pek çok kez kullanıcı müdahalesini gerektirmekte, otomatik olarak çalışmamaktadır. Ayrıca pek çoğu web tabanlı olarak çalışmamaktadır. Üretilen bölümler web tabanlı olarak gösterilmekte, bölümlenmenin kendisi web tabanlı yapılmamaktadır.

### 3. Yöntem

#### 3.1. R-Tree Veri Yapısı Kullanılarak Bölümlenme

R-Tree, verinin yinelemeli olarak her bir bölümde istenen veri boyutundan daha fazla veri içermeyene kadar bölümlenmesi ile oluşur. R-Tree aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı olmak üzere 2 yöntemle oluşturulabilir. Yukarıdan aşağıya metodunda, R-Tree oluşturma işlemi çatı bölümün (root node) 2 alt bölüme bölümlenmesi ile başlar. Bu bölümler birbirine en uzak 2 objeyi içerirler. Daha sonra kalan objeler bu iki bölümden birine dağıtılır. Kalan objelerin hangi bölüme ekleneceği ise minimum hacim genişlemesi ile bulunur. İlgili obje, her iki bölümün sınırlayıcı kutusu ile kıyaslanarak, bu kutulardan hangisinin, objeyi içine alması için daha az genişletilmesi gerekiyorsa, o bölüme eklenir. Bu uygulamada da yukarıdan aşağıya metodu kullanılarak R-Tree oluşturulmuştur (Şekil 3).



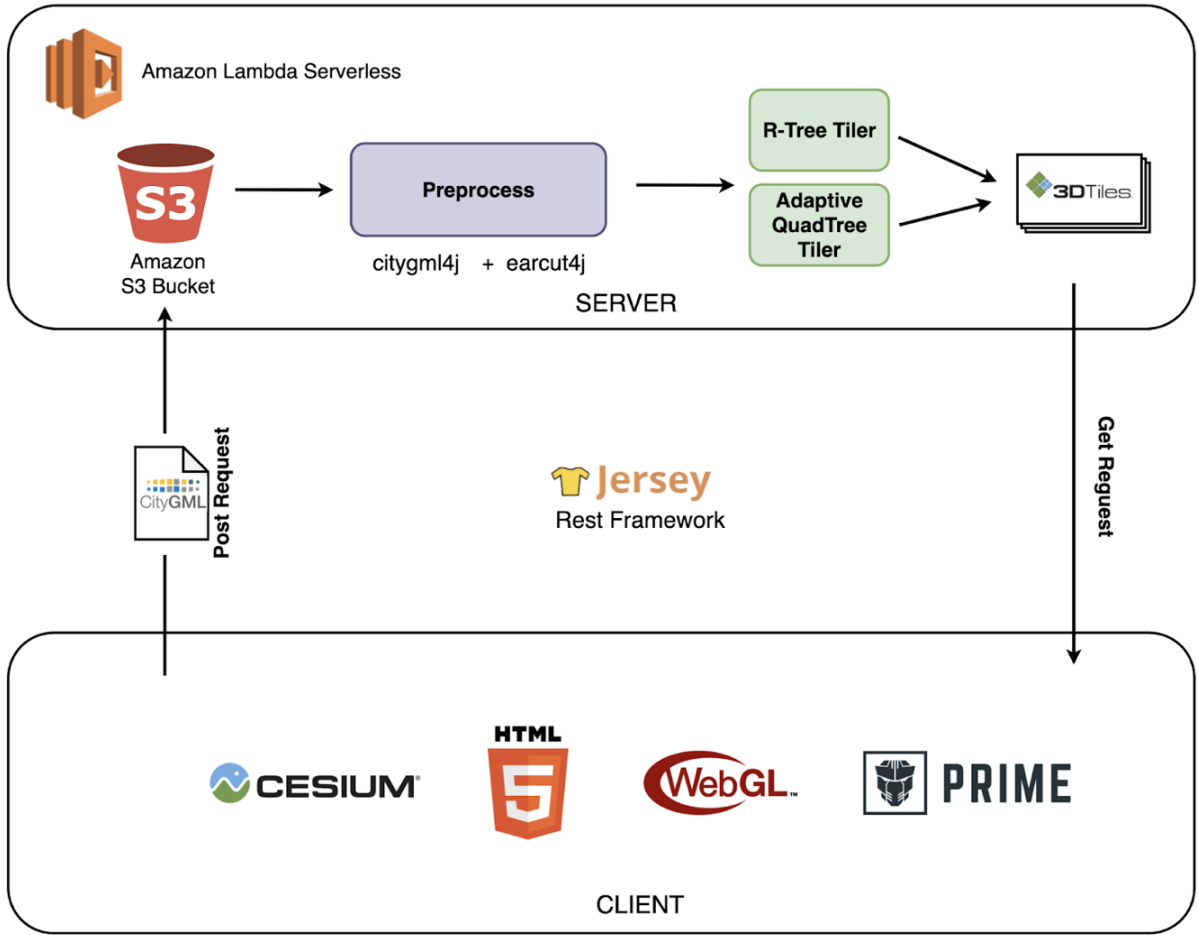
Şekil 3. 3B Konumsal verinin bölümlenmesi ile oluşan r-tree yapısı

#### 3.2. Adaptive QuadTree Yapısı Kullanarak Bölümlenme

QuadTree, verinin bir veri boyutu sınırlamasına göre 4 eşit alt bölüme yinelemeli olarak bölümlenmesi ile oluşur. QuadTree, çatı bölümün 4 alt bölüme bölümlenmesi ile başlar. Objeler bu dört bölümden hangisinin içinde yer alıyorsa o bölüme eklenirler. Sonra alt bölümler veri boyutunu aşıyorsa tekrar 4 alt bölüme bölünürler. Bu işlem tüm bölümler veri sınırını aşmayınca kadar devam eder. QuadTree'de bölüm sınırları önceden hesaplandığı için bazı objeler birden fazla bölümün sınırı ile kesişebilir. Bu durumda obje en çok hangi bölümle kesişiyorsa, o bölümün sınırları objeyi içine alacak şekilde genişletilir (Şekil 4).







Şekil 7. Genel sistem mimarisi

Geliştirilen yazılım Amazon Lambda Serverless sunucuları üzerinde çalışmaktadır. Kullanıcılar 3B konumsal verilerini sisteme yükleyebilmektedirler. Sunucuya yüklenen 3B konumsal veri Amazon S3 Bucket isimli veri depolama biriminde depolanmaktadır. Amazon Lambda fonksiyonları kullanılarak bu veri işlenmektedir. CityGML4J kütüphanesi ile CityGML formatındaki veri ayrıştırılmakta, earcut4j Java kütüphanesi ile de ayrıştırılan verideki 3B poligon yüzeyler üçgenlenmektedir. Daha sonra geliştirilen bölümlenme algoritmaları ile veri bölümlenerek 3D Tiles veri seti elde edilmekte, üretilen bölümler istemci uygulaması ile görüntülenebilmekte, kullanıcının yerel bilgisayarına indirilebilmektedir. İstemci uygulamasında da Cesium.js, HTML5, WebGL ve PrimeFaces gibi teknolojiler kullanılmıştır.

#### 4. Bulgular ve Sonuçlar

Geliştirilen metodoloji ve algoritmaların testi için Trabzon ilinin 3BKM'i kullanılmıştır (Şekil 8). Bu kent veri seti ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 8. Trabzon iline ait 3BKM'inden bir görüntü

Tablo 1. Trabzon iline ait 3BKM ile ilgili bilgiler

Veri Seti	Alanı	Obje Sayısı	Boyutu
Trabzon 3BKM	4685 km <sup>2</sup>	56602 Adet Bina Objesi	1.05 GB

Bölümlemede kullanılan R-Tree ve Adaptive QuadTree veri yapılarının performansları oluşturulma süreleri, yeni bir obje eklenmesi, mevcut bir objenin silinmesi ve konumsal sorguların süresi göz önüne alınarak değerlendirilmiştir (Tablo 2). R-Tree (Guttman, 1984) ve Adaptive QuadTree (Pajarola vd. 2002) algoritmalarının seçilmesinin sebebi hiyerarşik ve konumsal veri yapıları olmaları, PostGIS, Oracle Spatial gibi veri tabanlarının konumsal eklentileri tarafından, 2B verilerin indekslenmesinde başarıyla yaygın olarak kullanılmalarıdır. Bu sebeple 3B konumsal verinin bölümlemede de bu iki algoritma test edilmiştir. Tablo 2'de elde edilen değerler saniye birimindedir. Burada konumsal sorgu işlemi, belirli bir binaya, örneğin hastane, en yakın 100 adet diğer binaların bulunması işlemidir.

**Tablo 2.** Veri yapılarının karşılaştırılması

	R-Tree	Adaptive QuadTree
<b>Oluşturulma</b>	2513.80s	483.57s
<b>Ekleme</b>	1.12s	0.09s
<b>Silme</b>	0.90s	0.09s
<b>Konumsal Sorgu</b>	2.14s	4.18s

Tablo 2’deki değerler irdelendiğinde oluşturulma, ekleme, silme sürelerinde Adaptive QuadTree’nin çok daha iyi performans verdiği görülmektedir. Konumsal sorgularda ise R-Tree’nin çok saha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu sonuçlara dayanarak eğer sürekli güncellenmesi gerekmeyen statik bir 3B veri varsa ve konumsal analiz ve sorgular yapılacaksa R-Tree, sürekli güncellenen bir veri seti varsa ve konumsal sorgu yapılmayacaksa veri sadece görselleştirilecekse Adaptive QuadTree veri yapısı olarak seçilmelidir.

Oluşturulan bölümler görüntülenirken, özellikle objelere yaklaşırken ya da objelerden uzaklaşırken görüntü de titremeler meydana geldiği görülmüştür. Bunun sebebi, WebGL’in coğrafi koordinatları desteklememesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. WebGL de noktaların koordinatları 32 bit tek duyarlıklı ondalık sayılar olarak temsil edilmektedir. Oysa koordinatlandırılmış coğrafi koordinatlar 7 basamaktan fazladır ve 32 bit tek duyarlıklı ondalık sayıların limitini aşmaktadır. Bu nedenle koordinatlarda WebGL deki veri tiplerine eşlenirken hassasiyet kaybı yaşanmaktadır. Bu durumu önlemek için her bir bölümün ECEF koordinat sistemindeki koordinatları b3dm dosyasındaki tabloda (feature table) tutularak bu değerler objelerin koordinatlarından çıkarılarak obje koordinatları lokal koordinat sistemine çevrilmiş ve basamak olarak küçültülmüştür. Böylece bu sorun giderilmiştir.

Bu çalışma kapsamında 3D Tiles test edilmiş ve irdelenmiştir. 3D Tiles büyük ölçekli verilerin web üzerinden aktarımı için tasarlanmıştır ve içerisinde barındırdığı pek çok konsepti “Bilgisayar Grafikleri” çalışma alanından almıştır. Bir CBS geliştiricisi için, bu kavram ve konseptleri anlamının ve uygulamanın kolay olmadığı ve zaman gerektirdiği görülmüştür. Dahası spesifikasyondaki bazı kavram ve tanımlamalar net değildir ve standardın uygulamasını zorlaştırmaktadır. Örneğin “geometrik hata” tanımı sözel olarak yapılmış ancak her bir bölüm için geometrik hata değerinin nasıl hesaplanacağı matematiksel olarak belirtilmemiştir.

3D Tiles standardını uygulayabilmek için her ne kadar Cesium.js, Three.js gibi JavaScript kütüphanelerinden yararlanılsa da temel seviyede WebGL bilgisini gerektirdiği görülmüştür. Bunun sebebi uygulama geliştirilirken tarayıcının WebGL ile ilgili döndürdüğü hata mesajlarının sorunların çözümü için anlaşılmasını gerektirmesidir.

3D Tiles’in kullandığı glTF kaynaklı formatların kompakt ve etkin oldukları, az yer kapladıkları ve tarayıcı tarafından hızlıca işlenebildikleri görülmüştür ancak bu formatlar ikili olmaları sebebiyle doğrudan insan tarafından okunamamakta, hata ayıklamayı ve kodlamayı zorlaştırmaktadırlar.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada OGC 3D Tiles standardı, 2 farklı hiyerarşik veri yapısıyla test edilerek uygulanmıştır ve bunun sonucunda web tabanlı açık kaynak kodlu bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılım ile kullanıcılar, herhangi bir yazılım bileşeni kurmadan web tabanlı olarak 3BKM’lerini bölümleyebilir, bölümlenen veri setini web tabanlı olarak görüntüleyebilir ve 3B bölüm setini lokal bilgisayarına indirebilir. Bölümlenme için R-Tree ve Adaptive QuadTree veri yapıları kullanılmış, veri yapıları performans bakımından kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamada konumsal analizlerde R-Tree’nin, verinin oluşturulması ve güncellenmesinde de Adaptive QuadTree’nin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 3D Tiles standardı irdelenmiş ve bazı kavramsal eksiklikler içerdiği görülmüştür.

3D Tiles standardı incelenmiş ve geliştirilen uygulama ile test edilmiştir. 3D Tiles standardının uygulanabilmesi için Bilgisayar Grafikleri ve Bilgisayar Geometrisi alanlarına ait pek çok konsept ve kavramın bilinmesi gerektiği görülmüştür.

Mevcut haliyle geliştirilen yazılım, dokuları (texture) desteklememektedir. Oysa dokular çok fazla yer kaplamakta ve bölümlenme de dikkate alınmalıdır. Şu an yürütülen mevcut çalışmalarda bölümlenme yapılırken yüzeylerin doku kaplamalarında kullanılan resimlerinde boyutunun dikkate alınması üzerine çalışılmaktadır. Ayrıca nokta bulutu verisinin de bölümlenmesi ve görüntülenmesi yine gelecekte yapılması düşünülen çalışmalar arasındadır.

Bir diğer düşünülen geliştirme de bölümlenmenin paralelleştirilerek (multi-threading), birden fazla bölümlerle ilgili işlemlerin aynı anda yapılması sağlanarak bölümlenme performansının artırılmasıdır.



## Kaynaklar

- Chaturvedi, K., Yao, Z., & Kolbe, T. H. (2015). Web-based Exploration of and interaction with large and deeply structured semantic 3D city models using HTML5 and WebGL. In *Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF und Workshop on Laser Scanning Applications*. 2015. (pp. 296-306). DGPF Tagungsband 24/2015.
- Gaillard, J., Vienne, A., Baume, R., Pedrinis, F., Peytavie, A., & Gesquière, G. (2015, June). Urban data visualisation in a web browser. In *Proceedings of the 20th International Conference on 3D Web Technology*. 2015. (pp. 81-88). Web3D '15.
- Gaillard, J, Peytavie, A., & Gesquiere G., (2020). Visualization and perdonalization of multi-representations city models. *International Journal of Digital Earth*, 13(5), 627-644.
- Gesquiere, G., & Manin, A. (2012). 3D Visualization of Urban Data Based on CityGML with WebGL. *International Journal of 3-D Information Modeling (IJ3DIM)*, 1(3), 1-15.
- GitHub. (2021, Aralık 10). *CesiumGS 3D-Tiles*. Retrieved from <https://github.com/CesiumGS/3d-tiles>
- Guttman, A. (1984). R-trees: A dynamic index structure for spatial searching. In *Proceedings of the 1984 ACM SIGMOD International Conference on Management of data*, 1984. (pp. 47-57). SIGMOD'84.
- Koukofikis, A., Coors, V., & Gutbell, R. (2018). Interoperable visualization of 3d city models using OGC's standard 3D portrayal service. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 4(4), 113-118.
- Kramer, M, & Gutbell R., (2015). A case study on 3D geospatial applications in the Web using state-of-the-art WebGL frameworks. In *Proceedings of the 20th International Conference on 3D Web Technology*, 2015. (pp. 189-197). Web3D '15.
- Lu, M., Wang, X., Liu, X., Chen, M., Bi, S., Zhang, Y., and Lao, T. (2020). Web-based real-time visualization of large-scale weather radar data using 3D tiles. *Transactions in GIS*, 25(1), 25-43.
- Pajarola, R., Antonijuan, M., & Lario, R. (2002). Quadtree based triangulated irregular networks. In *IEEE Visualization, 2002, VIS 2002*. (pp. 395-402). IEEE.
- Prandi, F., De Amicis, R., Piffer, S., Soave, M., Cadzow, S., Boix, E. G., & D'Hondt, E. (2013). Using CityGML to deploy smart-city services for urban ecosystems. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4/W1(2013), 87-92.
- Xu, Z., Zhang, L., Li, H., Lin, Y. H., & Yin, S. (2020). Combining IFC and 3D tiles to create 3D visualization for building information modeling. *Automation in Construction*, 109, 102995, doi: 10.1016/j.autcon.2019.102995.