



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, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ZEYBEK, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.

Yabancı Dil Editörü / Language Editor

Doç. Dr. Volkan YILMAZ, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, 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. Fusun 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 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. Mustafa ÜSTÜNER, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.
Dr. Serkan URAL, ETH Zurich- Computational Physics, Switzerland.
Dr. Yasemin KUZU SINRAM, Hexagon Geospatial Ltd. USA.



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ RESEARCH ARTICLES

- İstanbul İçin Kentsel Büyüme Simülasyon Modeli Oluşturulması
Creating an Urban Growth Simulation Model for Istanbul
Yunus Yıldırım, İsmail Ercüment Ayazlı.....59 - 66
- Akıllı Şehir Uygulamaları İçin Prosedürel 3B Kent Modeli Oluşturulması ve Fotorealistik 3B Görselleştirme
Creating a Procedural 3D City Model for Smart City Applications and Photorealistic 3D Visualization
Güçlü Şenyurdusev, Ahmet Özgür Doğru.....67 - 75
- Lidar Nokta Bulutundan Ransac-Tabanlı Bina Çatı Düzlemi Çıkarımı İçin Bir Yaklaşım
An Approach for Ransac-Based Building Roof Plane Extraction from Lidar Point Cloud
Murat Güler, Mustafa Türker.....76 - 95
- İHA Görüntülerinden Yol Yüzeyinin 3B Yoğun Rekonstrüksiyonu ve SfM Tabanlı Yazılımların Performansının Karşılaştırılması
3D Dense Reconstruction of Road Surface from UAV Images and Comparison of SfM Based Software Performance
Mustafa Zeybek, Serkan Biçici.....96 - 105
- Godrahav Havzasının (Artvin) Erozyon Duyarlılığının Geo-çevresel Faktörler Kullanılarak Değerlendirilmesi
Evaluation of Erosion Susceptibility of Godrahav Basin (Artvin) Using Geo-environmental Factors
Eda Nur Çoruhlu, Halil Akıncı106 - 119

DERLEME MAKALELERİ REVIEW ARTICLES

- Çevrimiçi Alışveriş Tercihlerinin Mekânsal Dağılımında COVID-19 Pandemi Etkisi
The Impact of the COVID-19 Pandemic on the Spatial Distribution of Online Shopping Preferences
Ege İmren, Berk Anbaroğlu 120 - 132

İstanbul İçin Kentsel Büyüme Simülasyon Modeli Oluşturulması Creating an Urban Growth Simulation Model for Istanbul

Yunus Yıldırım^{1*}, İsmail Ercüment Ayazlı²

¹Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 02400, Adıyaman/Türkiye.

²Cumhuriyet Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Yunus Yıldırım
yyildirim@adiyaman.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.943391

Yayın süreci

Geliş tarihi: 26.05.2021

Kabul tarihi: 09.09.2021

Basım tarihi: 29.09.2021

Özet

Hızlı nüfus artışının kentlerde oluşturduğu kaos ortamının yönetilebilir ve kontrol edilebilir olması gerekir. Kentlerde plan kararlarının uygulanmasında önemli bir yere sahip olan kentsel büyüme ve simülasyon modelleri bu planların uygulanabilirliği açısından önem kazanmaktadır. Kentlerdeki büyümenin incelenmesinde kullanılan hücresel otomat (HO) temelli modeller ve bu modeller arasında da SLEUTH yazılımı en çok tercih edilenlerdendir. SLEUTH ile simülasyon modeli üç aşamada oluşturulmaktadır; test, kalibrasyon ve kestirim. Kalibrasyon aşamasında model için en uygun büyüme katsayısı değerlerinin Optimum Sleuth Metric (OSM) yöntemi ile hesaplanması amaçlanır. En uygun katsayı değerleri, hesaplanan 13 adet ölçüte göre Brute Force Calibration (BFC) yöntemi ile belirlenmektedir. Literatürde sıklıkla OSM ve Lee-Sallee yöntemleri kullanılmasına rağmen 13 ölçütten hangisinin veya hangilerinin kalibrasyon aşamasında katsayı belirlemede kullanılacağı konusunda henüz fikir birliği yoktur. Bu kapsamda çalışmada OSM yöntemi kullanılarak İstanbul için bir kentsel büyüme simülasyon modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar 2040 yılında tarım alanlarının %83,50'sinin orman alanlarının ise %58,30'unun kentleşme potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Kentsel büyüme, Simülasyon, Hücresel otomat, Zamansal değişim, Coğrafi bilgi sistemleri

Abstract

The chaos environment created by rapid population growth in cities must be manageable and controllable. Urban growth and simulation models which are important for applying planned changes also have a crucial role in terms of applicability of these plans. The SLEUTH programme is the mostly preferred one among the cellular automata based models that are used for analyzing urban growth. Simulations with SLEUTH are completed in 3 stages: test, calibration and prediction. During calibration period, it is aimed to calculate the optimum growth coefficient values through the Optimum Sleuth Metric (OSM). The optimum coefficient values are calculated conforming to 13 metrics by using Brute Force Calibration technique. Although the OSM and Lee-Sallee techniques are frequently encountered in literature, there is no consensus upon which one or ones of the 13 metrics are to be used for determining coefficient values during calibration. Within this scope, in this study, an urban growth simulation model for Istanbul was created by using the OSM technique. According to the results, in the year 2040, %83,50 of agricultural lands and %58,30 of forest lands will have the potential for urbanization.

Keywords: Urban growth, Simulation, Cellular automata, Temporal change, Geographical information systems

1. Giriş

Günümüzde sanayi ve endüstrinin gelişimi ile kentlerde yaşayan insanların barınma ihtiyacı artmıştır. Kentler; nüfus, sanayi, endüstri ve çevresel faktörlerin etkisi ile fiziksel olarak büyümektedir ve arazi örtüsünde değişimlerin yaşanmasına neden olmaktadır.

Kentsel büyüme kaynaklı meydana gelen bu arazi örtüsü değişimleri, denetim altına alınmadığı takdirde düşük hava ve su kalitesi, doğal kaynakların yetersizliği, her geçen gün artan enerji ihtiyacı, toprak kirliliği, çöp depolama sorunu vb. fiziksel, çevresel ve sosyal sorunlar baş gösterecektir (Ayazlı, 2022).

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine göre kentleri yönetebilmek için kentsel büyümenin hızı ve yönü belirlenmelidir. Bu kapsamda kentsel büyümeyi izleyebilmek için pek çok model geliştirilmiştir. Bu modellerin atası olarak kabul edilen "von Thünen Modeli", 1826 yılında Alman araştırmacı Johann Heinrich von Thünen tarafından üretilmiştir (Hammam vd. 2004). Sonrasında, 1926 yılında Kanadalı Kent bilimcisi Ernest Watson Burgers "Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi"ni, 1933 yılında Christaller "Merkezi Alan Teorisi"ni oluşturmuştur (Ayazlı, 2011) ve bu modelleri "Sektör Teorisi", "Tek Merkezli Kent Modeli", "Tiebout Yerel Kamusal Finans Modeli", "Çoklu Çekirdek Teorisi", "Zipf Kuralı" ve "Bid-Rent Teorisi" gibi doğrusal modeller takip etmiştir. Ancak, bu modeller kentlerin karmaşık ve kompleks yapısını modellemede yetersiz kalmıştır (Ayazlı, 2011; Ayazlı vd. 2013). Bu nedenle, dinamik ve karmaşık kent sistemlerinin modellenmesinde, sıklıkla, yapay sinir ağları (YSA), hücresel otomatlar (HO) ve çok ajanlı sitemler (ÇAS) kullanılmaktadır (Ayazlı, 2011; Yakup, 2018).

HO, basitliğinin yanında hem uzamsaldır hem de hesaplama kabiliyeti yüksektir, bu nedenle kentsel büyüme izleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir arazi kullanımı/örtüsü dinamiklerini modelleme aracıdır (White vd. 2004; Ayazlı, 2022). Keith C. Clarke tarafından üretilen ve açık kaynak kodlu bir yazılım olan SLEUTH, HO tabanlı hesaplama yapan bir kentsel büyüme simülasyon modelidir. Modelin çalıştırılmasına öncelikle düşük çözünürlüklü görüntüler ile başlanır. Her kalibrasyon aşamasında seçilen büyüme katsayısı aralıkları daralmaktadır (Dietzel ve Clarke, 2007). Kalibrasyon kaba, hassas ve son kalibrasyon olmak üzere üç adımda tamamlanmaktadır. Her kalibrasyon sonrasında on üç ölçüt hesaplanmaktadır. Literatürde SLEUTH modelinin kalibrasyon evresinde hangi metriklerin kullanılacağı ile ilgili fikir birliğine henüz varılamamıştır fakat Lee-Sallee ve OSM yöntemleri en sık kullanılan yöntemlerdir.

OSM yöntemi Dietzel ve Clarke (2007) tarafından geliştirilmiştir ve SLEUTH' ün kalibrasyon işlemi sırasında hesaplanan 13 uzamsal metrikten sadece yedi tanesi kullanılır. Arazi kullanımı kentsel büyümeye ek olarak modellenirse, arazi kullanımına özgü olduğu için F-match metriği de ancak o zaman kullanılmaktadır (Dietzel ve Clarke, 2007). Lee-Sallee yöntemiyle oluşturulan modelde ise mevcut kentsel alanlar ile simülasyonu yapılan kentsel alanların kesişiminin birbirine oranı hesaplanmaktadır (Ayazlı, 2011).

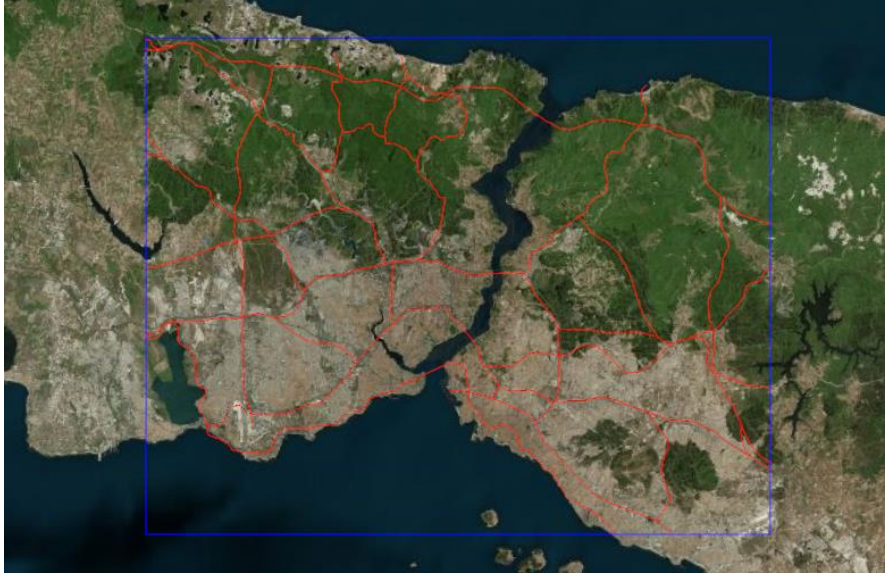
Hazırlanan bu çalışmanın amacı, İstanbul Boğaziçi köprüleri ile bağlantı yollarının kentleşme üzerindeki değişimlerin tespit edilmesi ve yapımı tamamlanan Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nün arazi örtüsü üzerindeki olası etkilerinin kestirilmesidir. Bu kapsamda, Ayazlı'nın (2011) doktora çalışmasında ürettiği 60 metre çözünürlüklü veriler, simülasyon modeli için girdi verisi olarak kullanılmıştır ve model kalibrasyonunda Optimum Sleuth Metric (OSM) yöntemi kullanılarak 2040 yılı için bir simülasyon modeli üretilmiştir.

2. Çalışma Alanı ve Yöntem

2.1 Çalışma Alanı: İstanbul

İstanbul, coğrafi konum olarak 41° 33' - 40° 28' kuzey enlemleri ile 28° 01' - 29°55' doğu boylamları ile çevrili olan yaklaşık 5712 km²'lik alana sahiptir (Kana, 2006). İstanbul, Avrupa ve Asya kıtalarını birbirine bağlayan bir köprü niteliği taşımaktadır. Kuzeyde Karadeniz, güneyde Marmara Denizi ve ortada İstanbul Boğazı'ndan oluşan kent, kuzeybatıda Tekirdağ'a bağlı Saray, batıda Tekirdağ'a bağlı Çerkezköy, Çorlu, güneybatıda Tekirdağ'a bağlı Marmara Ereğlisi, kuzeydoğuda Kocaeli'ne bağlı Kandıra, doğuda Kocaeli'ne bağlı Körfez, güneydoğuda Kocaeli'ne bağlı Gebze ilçeleri ile komşudur.

Uydu görüntüsü üzerindeki çerçeve boyutu çalışma alanı olarak ayarlanmıştır. 2083 km²'lik alana sahip uygulama alanı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

2.2 Veri Gereksinimi

Kentsel büyüme ile ilgili çalışmalarda ulaşım, eğitim, arazi kullanımı, sosyo-ekonomi, litoloji ve yapısal özellikler, idari sınırlar, plan kararları ve kısıtları gibi veriler kullanılmaktadır. Uygunluk verileri, mevcut arazi örtüsünün ilerideki süreçlerde yerleşime uygunluk durumunu belirleyen verilerdir. Bölgeleme verisi, kentsel yayılmayı sağlayan ve sınırlandıran planlardır. Tarım, ulaşım, yeşil alanlar, sit alanları gibi kısıtlayıcı verileri içermektedir. Ulaşım/erişilebilirlik verisi, demiryolları, karayolları gibi ulaşımı sağlayan veriler, kentsel yayılmaya öncülük etmektedir. Yukarıdaki verilere ek olarak arazi kullanım verisi, verinin mevcut durumu ile geçmiş arasındaki farklılıklar gözetilerek dönüşüm için uygulanacak kuralları oluşturan veri gurubu içerisinde yer almaktadır. Son olarak da kentin yapısında ciddi değişikliklere neden olan sosyo-ekonomik verilerdir (Ayazlı, 2011).

Çalışmada girdi verisi olarak 60 m çözünürlüklü ve 8 bitlik .gif formatında; yerleşme olmayacak alan, gölgeli rölyef, 1972-2009 yıllarına ait arazi örtüsü, 1972-1987-1997-2009 yıllarına ait yol verileri, eğim verisi ve uydu görüntülerinden üretilen 1972-1987-2002-2009 mevcut yerleşim verileri ve arazi örtüsü verileri kullanılmıştır.

2.3 SLEUTH ile Kentsel Büyüme Simülasyon Modeli Üretimi

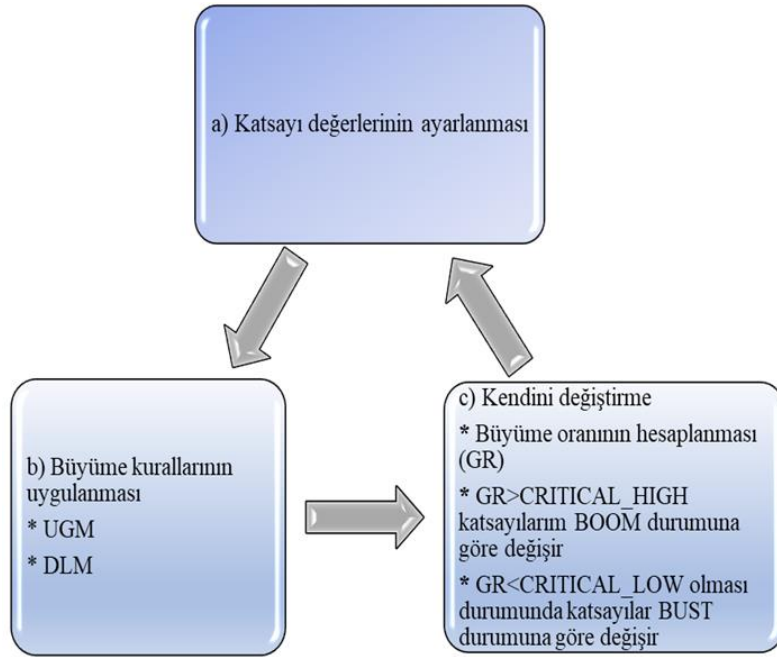
Dr. Keith C. Clarke tarafından Santa Barbara Üniversitesi Coğrafya Bölümünde geliştirilen ve birçok projede kullanılmaya devam eden UNIX tabanlı çalışan bir yazılımdır. Microsoft Windows işletim sisteminde kullanılabilmesi için, Cygwin isimli bir yazılımın kullanılması gerekmektedir. Kentsel Büyüme Modeli (UGM) UNIX tabanlı çalışan, C programlama dili ile yazılmış ve açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Microsoft Windows ta kullanımını sağlayan Cygwin programının çalıştırılması için programa "grow" komutu yazılarak başlatılır (Gigalopolis, 2019).

Sleuth üç kademeli bir yapıya sahiptir (Gigalopolis, 2019; Ayazlı, 2011).

1. Growth Cycle (Büyüme Döngüsü)
2. Basic Simulation (Temel Simülasyon)
3. Mode Process Flow (İşlem Akışı)
 - Testing Process Flow (Test Aşaması)
 - Calibration Process Flow (Kalibrasyon Aşaması)
 - Prediction Process Flow (Kestirim Aşaması)

Sleuth'un çalışma prensibi büyüme döngüsü ile sağlanmaktadır. Kullanılan katsayı değerleri, yalnızca bir değer almaktadır. Büyüme kuralları uygulanarak büyüme ile ilgili katsayı verileri değerlendirilmektedir. Eğer bu büyüme kuralında, katsayı değerleri için belirlenen değerlerin üstünde ya da altında bir değer aldığı takdirde, self modification işlemi ile bu katsayıları kendi kendini değiştirerek düzenleme işlemi yapacaktır. Bu durum Şekil 2'de gösterilen "Büyüme döngüsü"nde gösterilmiştir. Büyüme döngüsü içerisinde bulunan simülasyon kompleks bir yapıya sahip olan bir işlemdir. Bir başlangıç tarihi olan simülasyonun, bitiş tarihine kadar geçen süre içerisindeki bir dizi büyüme döngüsü ile tamamlanmaktadır. Büyüme döngüsü içerisindeki simülasyon, birtakım koşullarla sağlanmaktadır.

Başlangıç tarihi ile simülasyonun bitiş tarihi arasındaki fark büyüme döngüsü sayısını verir. Üretilen büyüme döngüsü tamamlandığında, simülasyon sona ermektedir (Gigalopolis, 2020).



Şekil 2. Büyüme döngüsü (Gigalopolis, 2019)

SLEUTH, yazılımın ihtiyaç duyduğu girdi verilerinin baş harflerinden oluşmuştur: Eğim (Slope), Arazi kullanımı (Landuse), Kentleşmeyecek alan (Excluded), Kentsel alan (Urban), Ulaşım (Transportation), Gölge rölyef (Hillshade). Burada kullanılan eğim modeli üzerinde bulunan topoğrafik kısıtlamaların olduğu bölgelerde büyüme olmayacağı için modeli daha düz ve daha az masraflı uygun alanlara yönlendirmektedir. Arazi kullanım modellenmesi yapılacak ise iki periyotluk arazi kullanım verisine ihtiyaç duyulur. Kentsel büyüme simülasyonu, modelin temelini oluşturur. Erişilebilirliğin kentleşme üzerinde etkili olduğu bilinmektedir, bu nedenle yol verisi model için önemlidir. Son olarak da modelde gölge rölyef veya topoğrafik kabartma katmanıdır. Gölge rölyefin amacı üretilen haritalara coğrafi referans sağlayarak, kentleşmenin nerelerde oluşacağına dair coğrafi bir anlayış ortaya koymaktır. Bütün bu veriler hazırlandıktan sonra, kullanıcı tarafından model kalibre edilerek oluşacak olan kentleşme ve arazi kullanımından kaynaklı değişim kestirimi yapılabilmektedir (Dietzel ve Clarke, 2006).

3. Bulgular

İlk kalibrasyon aşamasında piksel boyutu 240, hassas kalibrasyonda 120 ve son kalibrasyonda ise 60 m olan veriler kullanılmıştır. Kalibrasyonun her aşamasından sonra, çıkış dizinine indirilen program sayesinde control_stats.log dosyasını kullanarak çalıştırılan, OSM kodu “en iyi 50” uygun değerlerini hesaplamaktadır. Buradaki en iyi 50 değerinden ilk üç tanesi seçilmektedir. Tablo 1’de kalibrasyon aşamalarında kullanılacak veri aralıkları verilmiştir.

Tablo 1. Kalibrasyon için seçilen katsayı aralığı

Katsayılar	İlk Kalibrasyon MC iterasyon =5		Hassas Kalibrasyon MC iterasyon =8		Son Kalibrasyon MC iterasyon =10	
	Aralık	Adım	Aralık	Adım	Aralık	Adım
Diff (Saçılma)	0-100	25	25-75	10	45-65	5
Brd (Ortaya Çıkma)	0-100	25	0-25	5	15-25	2
Sprd (Yayıma)	0-100	25	75-75	1	75-75	1
Slp (Eğim)	0-100	25	50-75	5	50-55	1
Road (Yol Çekim)	0-100	25	0-75	15	30-60	6

OSM ve Lee-Sallee yöntemlerine göre hesaplanan metrikler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Lee-Sallee ve OSM metriklerinin karşılaştırılması

Metrik Adı	İlk kalibrasyon sonucu elde edilen metrikler			Hassas kalibrasyon sonucu elde edilen metrikler			Son kalibrasyon sonucu elde edilen metrikler		
	OSM	Lee-Sallee	+ /-	OSM	Lee-Sallee	+ /-	OSM	Lee-Sallee	+ /-
Product	0.05795	0.01798	+	0.00014	0.00001	+	0.00092	0.00087	+
Compare	0.87476	0.75534	+	0.99416	0.74086	+	0.95023	0.91313	+
Pop	0.92626	0.81534	+	0.89299	0.83451	+	0.90089	0.89999	+
Edges	0.72397	0.8355	-	0.64152	0.77136	-	0.45848	0.44557	+
Clusters	0.83413	0.97839	-	0.99991	0.25598	+	0.84238	0.80175	+
Size	0.86098	0.34907	+	0.00287	0.00177	+	0.0427	0.04496	-
Leesalee	0.39906	0.45184	-	0.38209	0.38708	-	0.34119	0.34134	-
Slope	0.99796	0.96987	+	0.98651	0.98958	-	0.91974	0.90773	+
%Urban	0.95466	0.88871	+	0.91891	0.86409	+	0.92487	0.92491	-
Xmean	0.90832	0.90942	-	0.79891	0.73453	+	0.77657	0.7813	-
Ymean	0.63837	0.50487	+	0.54055	0.41866	+	0.50749	0.51241	-
Rad	0.90302	0.80253	+	0.85536	0.79042	+	0.85874	0.85897	-
Fmatch	0.69098	0.71295	-	0.67455	0.65372	+	0.66327	0.6689	-

Son kalibrasyon aşaması sonrasında oluşan katsayı aralıkları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3 Simülasyonun son kalibrasyon sonuçları

Çözünürlük: 60			İterasyon sayısı MC: 10		
OSM Katsayısı	Diff(Saçılma)	Brd(Ortaya Çıkma)	Sprd (Yayılma)	Slp (Eğim)	Road (Yol Çekim)
0.07948634	65	25	75	50	60
0.07756273	65	25	75	50	42
0.07743636	65	25	75	50	48

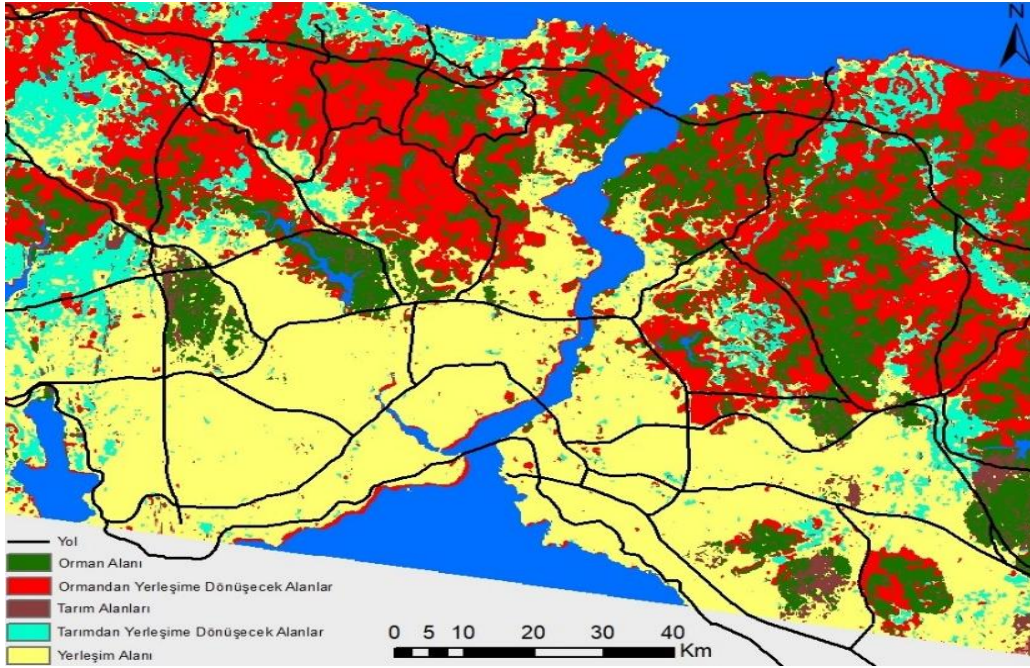
Kestirim aşamasında kullanılacak büyüme katsayıları, son kalibrasyon sonucunda üretilen “avg.log” dosyasından alınmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Kalibrasyon aşaması sonrasında seçilen katsayılar

Katsayı Adı	Kullanılacak Değerler
Diff(Saçılma)	93
Brd(Ortaya Çıkma)	36
Sprd (Yayılma)	100
Slp (Eğim)	8
Road (Yol Çekim)	66

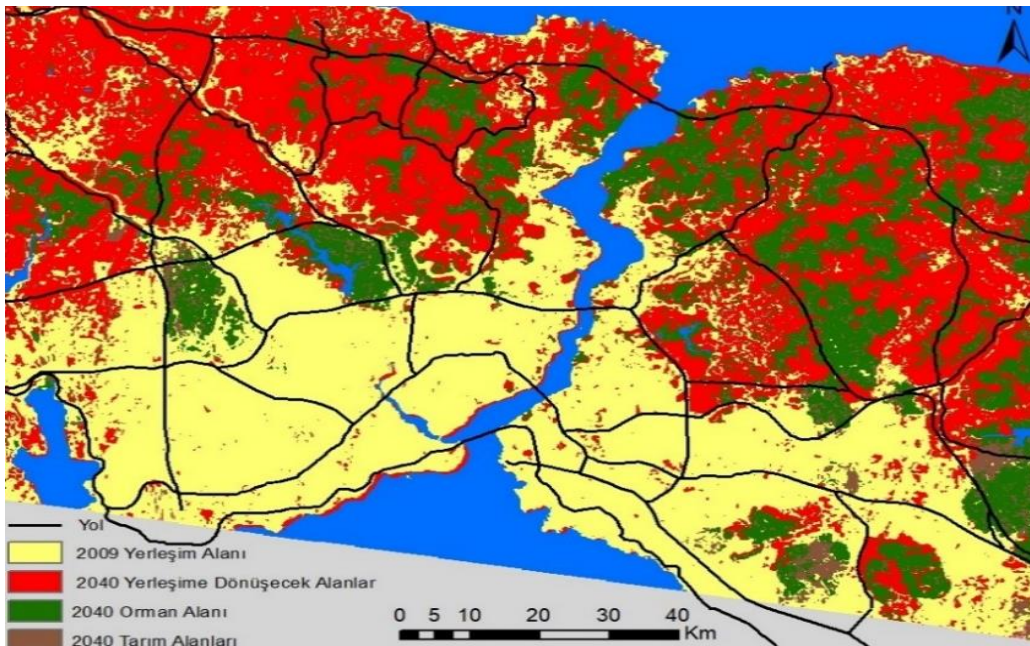
Tablo 4’teki değerler en uygun değerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yayılma katsayısı en yüksek değeri almıştır. Yol ve saçılma katsayıları oldukça yüksek bir değerdeyken ortaya çıkma katsayısı bu değerlere göre biraz daha düşük bir değer almıştır. İstanbul Boğazı ve bağlantı yollarının arazi örtüsü üzerinde yapmış olduğu değişimlerin incelenmesi adına 2040 yılına ait oluşturulan simülasyon modeli için kalibrasyon aşamasında büyüme katsayısı değerleri, OSM yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve arazi örtüsündeki değişimler belirlenmiştir.

2009-2040 yılları arasında ERDAS yazılımı ile değişim analizi yapılmıştır ve Şekil 3'te kentleşme tehdidi altındaki orman alanları, tarım arazileri gösterilmiştir. Orman alanlarının %58,30'u yerleşim alanına, %2,68'inin ise tarım arazilerine dönüştüğü belirlenmiştir. Tarım arazilerinin ise %83,50'lik kısmının da yerleşim alanlarına dönüşebileceği hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, orman alanları önce tarım arazilerine, daha sonra da yerleşim alanlarına dönüşmektedir.



Şekil 3. 2040 yılına ait sınıflar arası değişim haritası

Çalışmada üretilen kentsel büyüme simülasyon modeli için büyüme katsayı değerleri OSM yöntemi kullanarak hesaplanmıştır ve arazi örtüsü değişimlerini belirlemek için zamansal değişim analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Ayazlı'nın 2011 yılında Lee-Sallee yöntemi ile hesapladığı değerler ile karşılaştırılmıştır. 2040 yılında tarımsal ve boş arazilerin 150,37 km²'sinin yerleşim yerine dönüşme olasılıkları hesaplanmıştır. Orman alanlarından yerleşim yerine dönüşen arazi miktarı ise 415,32 km²'dir (Şekil 4).



Şekil 4. 2040 yılında kentleşecek alanlar

2009 yılında yerleşim alanlarının yüzölçümü 677,54 km² iken 2040 yılında yerleşim alanlarının yüzölçümü %86,78 artarak 1265,63 km²'ye çıkmıştır. Ayazlı'nın (2011) çalışmasında %68 oranında yerleşim alanlarının artacağını belirlemiştir. İki çalışmadan elde edilen sonuçlara göre 2030-2040 arasındaki yerleşim alanlarının değişim miktarı ise 134,45 km² olarak ortaya çıkmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada 8 bitlik gif. formatında 60 m, 120 m ve 240 m çözünürlüğe sahip üç veri kümesi hazırlanmıştır. Her bir veri kümesi, yerleşme olmayacak alan, gölgeli rölyef, 1972-2009 yıllarına ait iki periyot arazi örtüsü, 1972-1987-1997-2009 yıllarına ait dört periyot ulaşım verileri ve 1972-1987-2002-2009 yerleşim verilerinden oluşmaktadır. Üretilen kentsel büyüme simülasyon modelinin kalibrasyon aşamasında, OSM yöntemi kullanılmıştır ve 2040 yılı için simülasyon modeli hazırlanmıştır. Kestirim aşamasında 2040 yılı için elde edilen büyüme katsayıları ile Ayazlı'nın 2011 yılında Lee-Sallee yöntemiyle, elde ettiği değerler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kestirim aşamasında iki çalışmaya ait verilerin karşılaştırılması

Katsayı Adı	OSM ile Hesaplanan Büyüme Katsayı Değeri	Lee-Sallee ile Hesaplanan Büyüme Katsayı Değeri (Ayazlı, 2011)
Diff(Saçılma)	93	7
Brd(Ortaya Çıkma)	36	100
Sprd (Yayılma)	100	100
Slp (Eğim)	8	1
Road (Yol Çekim)	66	100

Çalışma kapsamında, Boğaziçi üzerine inşa edilen Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nün tetiklediği kentsel büyümenin arazi örtüsü değişimi üzerine etkileri incelenmiştir. 2040 yılı için üretilen kentsel büyüme simülasyon modeli sonuçlarına göre İstanbul, Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nün de etkisiyle büyümeye devam etme eğilimindedir ve 415,32 km² orman arazisi ile 150,37 km²'lik tarımsal ve boş arazilerin yerleşim yerine dönüşmesi beklenmektedir.

Her iki yöntem de de aynı veriler kullanılarak kestirim aşaması sonrasında elde edilen ve kestirim aşamasında kullanılacak olan katsayı değerleri yorumlandığında, yayılma katsayısının her iki çalışmada en yüksek değer alırken saçılma ve eğim katsayıları OSM yönteminde daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Yol çekim katsayısı ile ortaya çıkma katsayıları ise Lee-Sallee yönteminde 100 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre sadece ulaşım ağlarının etkisinin incelenmesinde Lee-Sallee yönteminin kullanılması daha uygun olacaktır. Diğer taraftan OSM yöntemi ile elde edilen sonuçlarda demografi, makro ve mikro ekonomik etmenler, barınma tercihleri, kent içi sorunlar ve yasal etmenler gibi diğer faktörlerin de kentsel büyümeye etkilerinin modellendiği düşünülmektedir. Bu kapsamda ileride yapılacak çalışmalarda parametre sayısının artırılarak yeni bir model üretilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- Ayazlı, İ. E (2011). *Ulaşım ağlarının etkisiyle kentsel yayılmanın simülasyon modeli: 3. boğaz köprüsü örneği (Doktora Tezi)*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Ayazlı, İ. E., Kılıç, F., & Demir, H. (2013). The determining of the Bosphorus bridges effects on urban growth using simulation. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 31(2), 235-245.
- Ayazlı, İ. E., (2022). Hızlı büyüyen yerleşim yerlerinde kentsel büyümenin yüksek doğruluklu simülasyon modelleri ile izlenmesi: Model kalibrasyonu için T-AFA yöntemi önerisi. *Geomatik*, 7(1), 1-9. doi: 10.29128/geomatik.764579.
- Dietzel, C., & Clarke, K. (2006). The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(1), 78-101.
- Dietzel, C., & Clarke, K. C. (2007). Toward optimal calibration of the SLEUTH land use change model. *Transactions in GIS*, 11(1), 29-45.
- Gigalopolis. (2019, Aralık 27). Project Gigalopolis. Retrived From <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>
- Gigalopolis. (2020, Ocak 8). Project Gigalopolis. Retrived From <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>
- Hammam, Y., Moore, A., Whigham, P., & Freeman, C. (2004, November). Irregular vector-agent based simulation for land-use modelling. In *16th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre (SIRC 2004: A Spatio-temporal Workshop)*, 2004. *Proceedings*. (pp. 103-116). Dunedin, New Zealand.
- Kana, D. (2006). *İstanbul'da kentleşme ve değişim* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- White, R., Straatman, B., & Engelen, G. (2004). Planning scenario visualization and assessment: a cellular automata based integrated spatial decision support system. In G. Goodchild, M. F. & D: Janelle (Eds.), *Spatially integrated social science* (pp. 420–442). New York, NY: Oxford University Press.
- Yakup, A. E. (2018). *Mülkiyet yapısının kentsel büyümeye etkisinin simülasyon ile araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.

Akıllı Şehir Uygulamaları İçin Prosedürel 3B Kent Modeli Oluşturulması ve Fotorealistik 3B Görselleştirme **Creating a Procedural 3D City Model for Smart City Applications and Photorealistic 3D Visualization**

Güçlü Şenyurdusev^{1*}, Ahmet Özgür Doğru²

¹*İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, Coğrafi Bilgi Sistemleri Şube Müdürlüğü, 34060, İstanbul/Türkiye.*

²*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul/Türkiye.*

ARAŞTIRMA MAKALESİ

***Sorumlu yazar:**

Güçlü Şenyurdusev
gsenyurdusev@iski.istanbul

doi: 10.48123/rsgis.950887

Yayın süreci

Geliş tarihi: 11.06.2021

Kabul tarihi: 27.08.2021

Basım tarihi: 29.09.2021

Özet

Prosedürel modelleme teknikleri kullanılarak gerekli öznitelik bilgilerini barındıran 2 boyutlu coğrafi bilgi sistemi verilerinin gerçekçi bir şekilde 3 boyutlu olarak görselleştirilebilmesi mümkündür. Prosedürel modelleme tekniğinin sağladığı önemli avantaj; vektör verilerde depolanan öznitelik verilerinin kullanılarak modelin gerekli olduğu anda yeniden türetilmesidir. Bu şekilde; hem kapsamlı ve detaylı bir modelin coğrafi veri tabanına depolanmasından kaynaklanan yüksek veri boyutu azalmakta, hem de doğru şekilde kodlanmış bilgisayar algoritmaları ile gerçekleştirilen model üretim süreçlerinde kişisel hataların önüne geçilebilmektedir. Ayrıca önerilen yöntem ile modeller en uygun sayıda poligon ve standart uygulanan çizim teknikleri ile oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada 2 boyutlu ve açık kaynaklı OpenStreetMap vektör verileri, "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) sayısal yükseklik model verileri ve farklı kaynaklardan sağlanan uydu görüntüleri kullanılarak 3 boyutlu kent modeli oluşturulmasına olanak sağlayan yaklaşım açıklanmış ve bu yaklaşımın farklı dünya kent merkezlerinin modellenmesinde kullanılması ile elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada açık coğrafi bilgi sistemi verileri kullanılarak prosedürel modelleme tekniklerinin etkin bir şekilde uygulanması ve bu verilerden 3 boyutlu kent modeli üretimi sağlanmıştır. Akıllı şehir yönetimi ve karar destek çalışmalarında kullanılabilecek ve dijital ikiz uygulamalarında da belirli ölçüde kullanılabilecek modelleme teknikleri açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: 3B kent modeli, Dijital ikiz, Prosedürel modelleme

Abstract

By using procedural modeling techniques, it is possible to visualize 2D geographic information system data containing necessary attribute information in a realistic 3D manner. The important advantage of the procedural modeling technique is that it enables the regeneration of the model whenever it is needed using the attributes stored in the vector data. In this way; The high data size resulting from storing a comprehensive and detailed model in a geographic database is reduced, and personal errors can be avoided in model production processes carried out with correctly coded computer algorithms. In addition, with the proposed method, models can be created with the most appropriate number of polygons and standard drawing techniques. In this study, the approach that enables the creation of a 3D city model using 2D and open source OpenStreetMap vector data, "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) digital elevation model data and satellite images obtained from different sources is explained. In this study, effective application of procedural modeling techniques was ensured by using open geographic information system data and 3D city model is produced using these data. Modeling techniques that can be used in smart city management and decision support studies and that can be used in digital twin applications to a certain extent are explained.

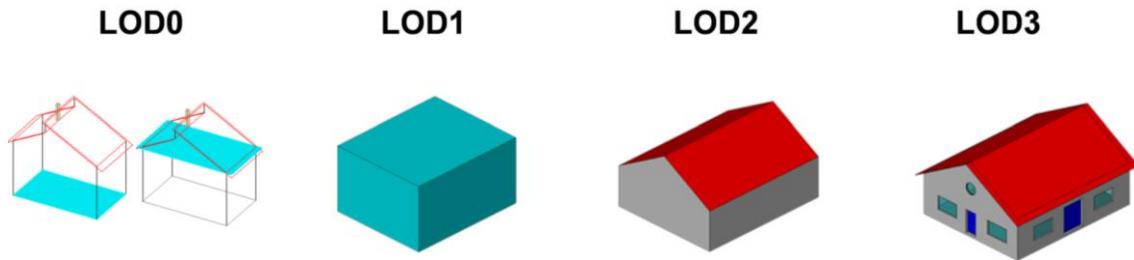
Keywords: 3D city model, Digital twin, Procedural modeling

1. Giriş

Uzun yıllar boyunca oldukça yaygın bir şekilde kullanılmakta olan 2 ve 2,5 boyutlu haritalar, gelişen teknolojiler ile birlikte artık yerlerini hızla yaygınlaşan 3 boyutlu (3B) uygulamalara bırakmaktadır. Yerel yönetimler başta olmak üzere pek çok kamu kurum ve kuruluşunun yanı sıra özel sektör temsilcileri, son yıllarda dünyanın gündemine yerleşen “akıllı şehircilik” kavramını ve bu alandaki en yeni çalışmaları yakından takip etmektedir. Bu kapsamda kentsel planlama çalışmalarından kent yönetimine kadar pek çok alanda mekânsal verilerin etkin bir şekilde kullanımına duyulan ihtiyaç önceki yıllara oranla daha çok artmıştır (Erving vd. 2009; Moser vd. 2010; Albrecht ve Moser, 2010).

Ayrıca kentsel dönüşüm çalışmalarından değişim analizlerine, kent silüetini korumaya dayalı çalışmalardan, güneş enerji potansiyeli, gölge, gürültü, rüzgâr ve taşkın analizlerine kadar pek çok çalışma günümüzde “dijital ikiz” kavramı altında üretilen, şehrin bire bir ölçekli 3 boyutlu modelleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Sengul, 2010; Aliaga, 2012; Prandi vd. 2013; Prandi vd. 2014; Biljecki vd. 2016; Yastıklı vd. 2017; Slade, 2018). Bu sayede gerçek hayatta yaşanması olası pek çok durum sanal ortamda bilgisayar grafikleri ile simüle edilebilmekte ve gerekli önlemler alınarak istenmeyen olayların meydana gelmeden önce engellenebilmesi mümkün olabilmektedir. Benzer şekilde kent içerisinde gerçekleştirilmesi planlanan büyük projelerin yapımına başlanılmadan önce 3B kent modeli içerisinde konumlandırılması ile projenin çevreye ve vatandaşlara olan olası etkileri çok daha önceden tespit edilebilmektedir. Gerekli pek çok mekânsal analizlerin sanal simülasyonlar içerisinde uygulanabiliyor olması, henüz proje aşamasındaki bir çalışmanın olası sonuçlarının öngörülmesine olanak vermekte, böylece gerçekleşmesi olası risklere ilişkin önlemlerin daha yaşanmadan alınabilmesine ve karar destek sistemlerine farklı alternatif çözümler sunulabilmesine imkân vermektedir. 3 Boyutlu kent modellerin oluşturulması süreçleri uluslararası düzeyde tanımlanmış standartlar dikkate alınarak planlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu kapsamda “Open Geospatial Consortium” (OGC) tarafından belirlenen CityGML standardı temel kaynaklar arasında değerlendirilmektedir.

CityGML, 3B şehir modellerinin semantik olarak modellenmesi, depolanması ve veri paylaşımı alanında OGC tarafından yayınlanan uluslararası bir standarttır. Standardın 2.0 sürümü Mart 2012’de OGC tarafından kabul edilmiştir. Bu standart üzerinde geliştirme çalışmalarının uzun yıllardır devam etmekte olup, 2020’nin sonunda tamamlanacağı bildirilen bir sonraki büyük CityGML 3.0 sürümüyle sonuçlanması öngörülmektedir. Yeni sürüm ile birlikte mevcut standartlara daha güncel veri uzantıları, bir dizi iyileştirme ve yeni işlevler getirilmesi beklenmektedir. CityGML 3.0 sürümüyle getirileceği açıklanan önemli yeniliklerden biri yapı detay seviyelerinde (Levels of Detail - LOD) olacaktır. Mevcut CityGML 2.0 standardında yapılar LOD0, LOD1, LOD2, LOD3 ve LOD4 olarak 5 farklı seviyede depolanmaktaydı. Yeni getirilecek olan değişikliğe göre yapı içi detaylarını da içeren LOD4 seviyesi kaldırılarak nesnelerin içi artık 0-3 seviyeleri arasında farklı LOD’larda ifade edilebilir hale getirilmiştir. Şekil 1’de sunulan CityGML 3.0 detay seviyesi yaklaşımı ile LOD2 veya LOD3 seviyesinde yapı içini temsil ederken, bir binanın dış kabuğunu LOD1’de modellemek mümkün olabilecektir (OGC, 2021).



Şekil 1. CityGML 3.0 standardına göre yapı detay seviyeleri (OGC, 2021)

Bu amaçla gerçekleştirilen çalışma kapsamında; üretimi zaman alan ve yüksek maliyetler gerektiren üç boyutlu kent modeli üretimine alternatif olarak, 2 boyutlu ve farklı kaynaklardan açık veri olarak paylaşılan ve kolaylıkla erişilebilen mekânsal veriler kullanılarak, dünya üzerindeki bir kent merkezinin prosedürel modelleme teknikleri ile 3 boyutlu olarak üretilmesi ve yüksek kalitede görselleştirilmesine yönelik bir dijital ikiz üretim yaklaşımı anlatılmıştır.

2. Veri ve Yöntemler

Son yıllarda 3B kent modellerinin üretimi çeşitli üniversitelerde, kartografik ve fotogrametrik çalışmalar gerçekleştiren kurumlarda hala devam eden araştırma konularından biridir (Brenner vd. 2001; Flamanc ve Jibrini, 2003; Tunc vd. 2004). Çağın getirdiği hız ve güncellik gereksiniminin yanı sıra görece yüksek maliyetler hesaba katıldığında, ihtiyaç duyulan 3 boyutlu güncel verilerin gerekli zamansal ve mekânsal çözünürlükte ve tüm kent ölçeğinde üretilebilmesine her zaman imkân olmamaktadır.

Oluşturulan tüm kent modelleri belirli bir veri üretim süreci geçirdiği için hep geçmişi yansıtmaktadır (Fan vd. 2008). Geleneksel ölçme yöntemlerine oranla büyük alanların ölçülmesi ve modellenmesi için en etkin yöntemlerden olan ve son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşan fotogrametrik çalışmalar ve LiDAR gibi ölçme teknikleri dahi büyük bir kent ölçeğinde düşünüldüğünde ürünlerini çok kısa sürelerde sunamamakta ve ancak belirli işlem süreleri beklenerek sonuç alınabilmektedir (Weissenberg, 2014). Bu alanda geliştirilen ve bina modeli üretimini otomatikleştiren güncel yazılımlar kullanılmasına rağmen sonuç ürünlerin bireysel olarak incelenmesi, düzeltilmesi ve iyileştirilmesi insan müdahalesi gerektiren ve oldukça zaman alan işlemlerdir (Ennafii vd. 2019).

Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın gerçekleştirilen pek çok çalışma sonrası elde edilen veriler hızla eskimekte ve güncelliğini yitirmektedir (Fan vd., 2008). Son dönemde yaşanan gelişmeler farklı yöntemlerle üretilen ya da hâlihazırda mevcut bulunan mekânsal veriler kullanılarak bir kentin tamamının 3 boyutlu olarak hızlı bir şekilde üretilebilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu nedenle 2 boyutlu mekânsal verilerin hızlı bir şekilde 3 boyutlu kent modeline dönüştürülebilmesini mümkün kılan bazı prosedürel modelleme teknikleri geliştirilmiştir.

Prosedürel modelleme teknikleri kullanılarak gerekli öznitelik bilgilerini barındıran 2 boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) verilerinin gerçekçi bir şekilde 3 boyutlu olarak görselleştirilmesi mümkündür (Merrell ve Manocha, 2011; Weissenberg, 2014; Dobraja, 2015; Biljecki vd. 2016; Adão vd. 2016). Prosedürel modelleme tekniğinin en büyük avantajı; vektör verilerin içerisine depolanan sözel öznitelik verilerinin kullanılarak modelin gerekli olduğu anda yeniden türetilmesidir. Bu şekilde kapsamlı ve detaylı bir modelin sayısal ortamda depolanması yerine, basit bir referans poligonunun ve gerektiğinde 3 boyutlu modelin nasıl oluşturulacağı bilgisinin tutulması veri boyutunu düşürmektedir. Ayrıca model üretimi önceden kodlanan bilgisayar algoritmaları ile oluşturulduğu için operatör ve model üretiminden kaynaklı çizim ve topolojik hataların bulunmasını engellemektedir (Biljecki vd. 2016). Bu sayede ihtiyaç duyulan modeller en az poligon sayısı ve en doğru çizim tekniği ile ihtiyaç duyulduğu anda oluşturulabilmektedir.

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsünde devam etmekte olan ve prosedürel modellemenin 3B Kent modellerinin üretim süreçlerine katkılarını araştıran doktora çalışması kapsamında, prosedürel tekniklerin kullanım olanaklarını araştırmak üzere gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada OpenStreetMap verilerinde bulunan öznitelikler kullanılarak uygulama alanındaki yapılar prosedürel modelleme yöntemi ile LOD2 seviyesinde 3 boyutlu olarak modellenmiştir.

2.1 Veri Setleri

Bu çalışmada 2 boyutlu ve açık veri kapsamında kolaylıkla erişilebilen OpenStreetMap verileri, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından sağlanan "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) verileri ve çeşitli uydu görüntüleri kullanılarak dünya üzerindeki bir kent merkezinin yüksek kalitede 3 boyutlu olarak görselleştirilmesine yönelik bir yaklaşım anlatılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada açık CBS verileri kullanılarak prosedürel modelleme tekniklerinin etkin bir şekilde uygulanması ve bu verilerden 3 boyutlu kent modeli üretimi sağlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan veriler Tablo 1'de sunulmuştur.

Ayrıca, yapılan uygulamada açık olarak sunulan kentsel sembolik yapı modellerinin de ilave edilmesi ile oluşturulan modelde gerçeğe olabildiğince yakın bir görsellik elde edilmesi amaçlanmıştır. Akıllı kent yönetimi ve karar destek çalışmalarında kullanılabilecek olan bir dijital ikiz uygulaması için elde edilen sonuç ürününün fotoğraf gerçekliğine olabildiğince yakın "fotorealistik" görselleştirilmesine yönelik bazı teknikler de uygulanmıştır.

Tablo 1. 3B kent modeli üretiminde kullanılan veriler

Veri	Kaynak
Sayısal Yükseklik Modeli	SRTM
Uydu Görüntüsü	ESRI "World Imagery"
Coğrafi Bilgi Sistemi Verileri	OpenStreetMap bina verileri
Landmark Modelleri	Google 3D Warehouse

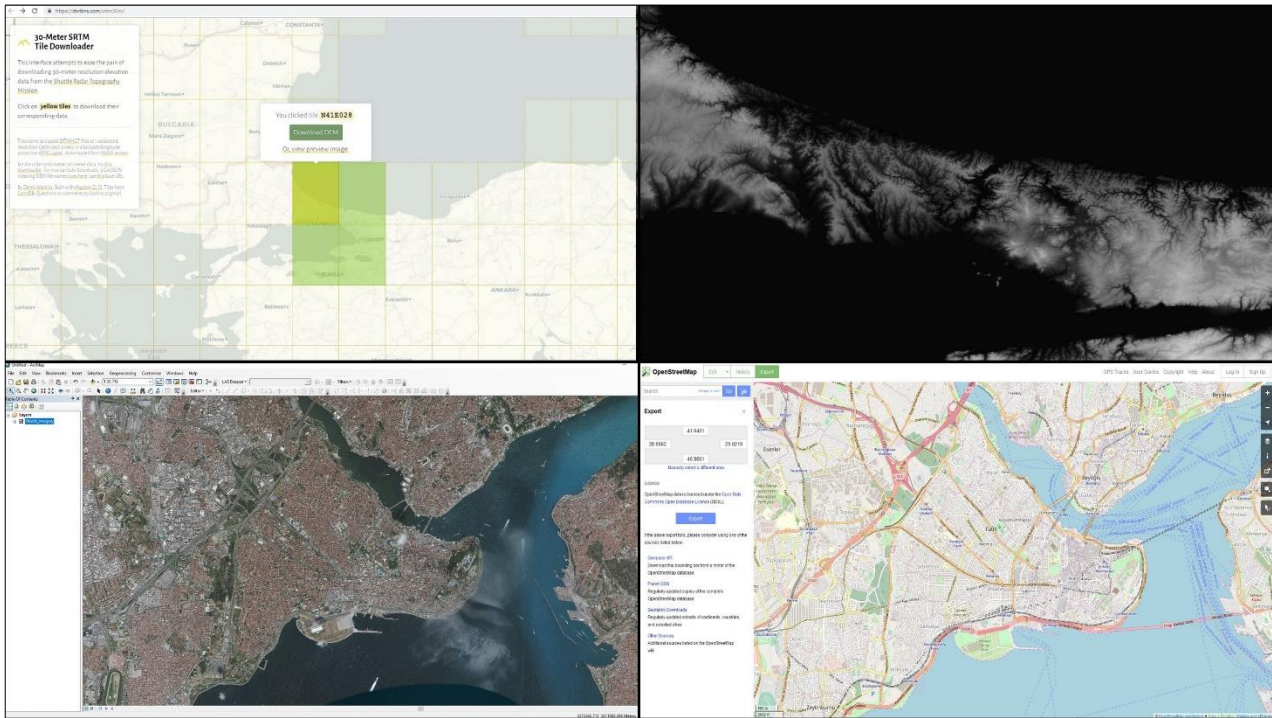
NASA ve Ulusal Mekansal Zeka Ajansı (NGA) tarafından Şubat 2000 tarihinde ortaklaşa gerçekleştirilen SRTM projesi ile Amerika Birleşik Devletleri için 1 sn (~30 metre), küresel kaplama için ise 3 sn (~90 metre) çözünürlüğünde sayısal yükseklik verisi üretilmiştir. Günümüzde pek çok web haritacılığı uygulamasının arka planında kullandığı küresel yükseklik modeli bu verilere dayanmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan verilere Şekil.1'de görülen çevrimiçi platform üzerinden erişim sağlanmıştır.

Arazi modelinin sayısal ortamda oluşturulması için İstanbul'u içerisine alan 4 pafta seçilerek veri sağlayıcı site üzerinden indirilmiş ve sayısal ortamda birleştirilerek tek bir raster mozaik yükseklik modeli oluşturulmuştur.

Bu veriden pilot çalışma alanı olan Fatih ilçesinin Tarihi Yarımada bölümü kesilerek 3 boyutlu arazi modeli oluşturulması için kullanılan sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Şekil 2’de SRTM verilerinden elde edilen Tarihi Yarımada bölgesi sayısal yükseklik modeli gösterilmiştir.

ESRI; DigitalGlobe, GeoEye ve Earthstar Geographics gibi farklı birçok kaynaktan sağlanan verileri derleyerek ücretsiz olarak sunduğu “World Imagery” adlı veri servisine pek çok CBS yazılımı ile kolaylıkla erişilebilmektedir. Gerçekleştirilen çalışma kapsamında üç boyutlu modellenmesi planlanan bölgenin temin edilen uydu görüntüsü Şekil 2’de sunulmuştur.

2004 yılında İngiltere’de başlatılan bir proje kapsamında herkesin özgür erişim sağlayabildiği ve kullanabildiği bir harita olarak geliştirilmeye başlanan OpenStreetMap projesi, bugün pek çok kişi tarafından yaygın olarak kullanılan bir mekânsal açık veri platformu haline almıştır (Ünen vd. 2013). 3 boyutlu kent modeli oluşturmak istenilen alan içerisinde binaların prosedürel teknikler kullanılarak 3 boyutlu yapı modeline dönüştürülmesi ve otomatik olarak oluşturulması için ihtiyaç duyulan mekânsal veriler OpenStreetMap (OSM) kaynağından temin edilmiştir. Şekil 2’de çevrimiçi harita platformundan çalışma bölgesi için sağlanan veriler görülmektedir.

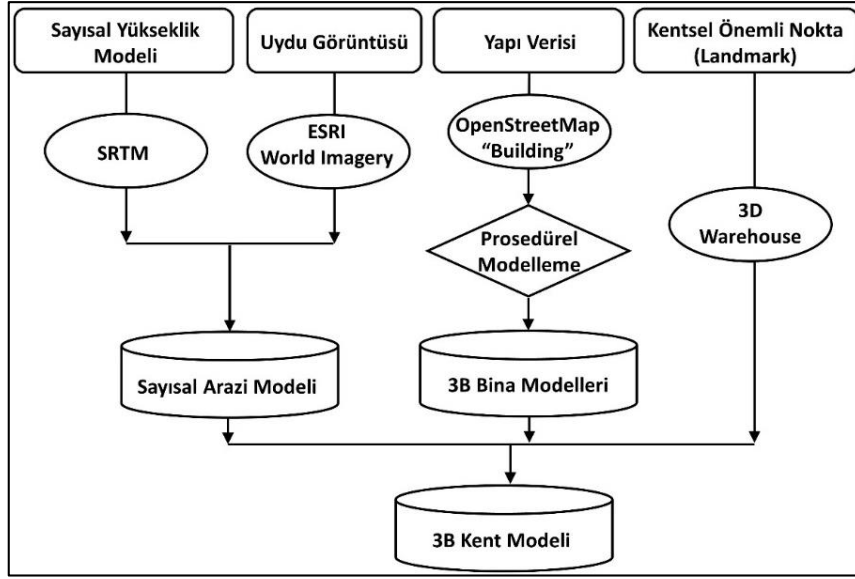


Şekil 2. SRTM çevrimiçi veri platformu (sol üst); İstanbul’un SRTM sayısal yükseklik modeli (sağ üst); ESRI World Imagery veri servisi (sol alt); OpenStreetMap çevrimiçi veri platformu (sağ alt)

2.2 Yöntem

Prosedürel modelleme teknikleri klasik modelleme yöntemlerine göre başlangıçta daha uzun süren işlemler ve kodlama çalışmaları içermesine rağmen gerçekte çok daha hızlı ve performanslı çözüm üretmek için geliştirilmiş etkili bir modelleme tekniğidir. Belirli bir planlama çalışması sonrası istenilen modellemeyi sağlayacak olan kodlama süreci başlatılır. Bu süreç başlangıçta normal modellemeden daha uzun gibi görünse de modellenecek binaların sayısı ve sonrasında tasarım üzerinde gerçekleştirilecek olan tüm olası değişiklikler modele anında uygulanabilmektedir. Bu da çalışmanın bütünü temel alındığında modelleme sürecini çok büyük oranda kısaltmaktadır.

Çalışmada 3 boyutlu kent modeli oluşturulması için izlenen yöntem ve işlemlerin bir bütün olarak sunulduğu akış diyagramı Şekil 3’te paylaşılmıştır. İşlemlerin adım adım uygulanması ile önce gerçekçi arazi modeli, sonrasında ise bina modellerinin de üretilmesi ile 3 boyutlu kent modeli elde edilir. Eğer bulunuyorsa o bölgedeki bazı önemli yapıların modelleri de kullanılarak gerçeklik algısı daha da artırılmaktadır.



Şekil 3. İş akış şeması

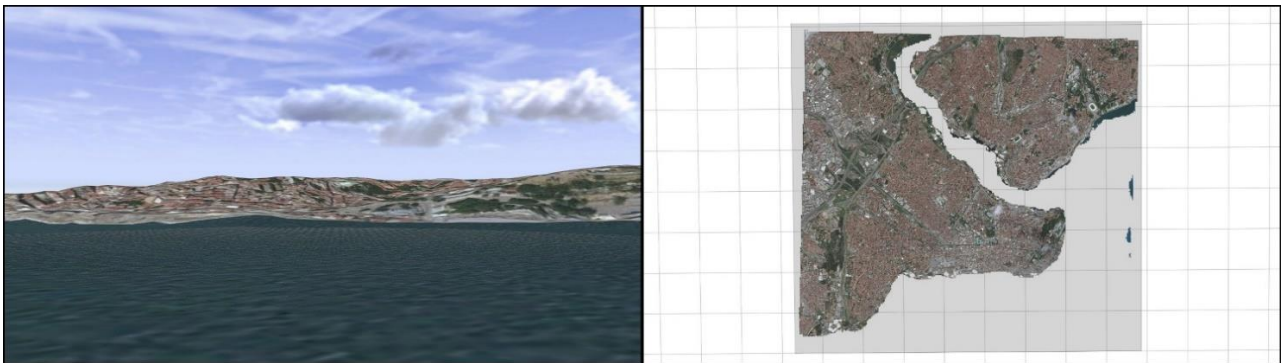
3. Uygulama

Bu bölümde açık veri olarak paylaşımına sunulan tüm mekânsal verilerin birleştirilerek 3 boyutlu bir kent modeli oluşturulması için gerçekleştirilen çalışmalar ve fotorealistik görselleştirme sonuçları sunulacaktır.

3.1 Üç Boyutlu Tasarım Aşamaları ve Bulgular

SRTM yükseklik modelinin her bir hücresinde, o hücrenin fiziksel yeryüzündeki eşlenik noktasının yaklaşık yükseklik değeri bulunur. Bu değerler kullanılarak pek çok yazılım ile üç boyutlu bir yüzey modeli oluşturulabilir. Tarihi Yarımada için oluşturulan yüzey modeline o bölgeye ait uydu görüntüsü kaplanarak Şekil 4'teki arazi modeli elde edilmiştir.

Üç boyutlu bir sahne tasarlanırken içerisinde deniz, göl ve benzeri büyük su kütleleri bulunduruyor ise bunların daha gerçekçi sunulabilmeleri için materyal ayarlarının uygun şekilde yapılması gerekir. Üç boyutlu sahne içerisine eklenen uydu görüntüleri üzerine materyal ayarları yapılması uygun olmadığı için yeni bir deniz poligonu oluşturmak görselleştirmede gerçekçi deniz görünümü için daha etkilidir. Bu çalışmada proje alanı ve çevresindeki deniz yüzeylerini yaklaşık olarak kapsayacak şekilde tanımlanan poligon Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Tarihi Yarımada sayısal arazi modeli (sol); Proje alanı çevresini kaplayan deniz poligonu (sağ)

Çalışmada prosedürel modelleme teknikleri kullanılarak 2 boyutlu verilerin 3 boyutlu olarak yeniden oluşturulması sağlanmıştır. Bu amaçla OpenStreetMap "Bina" verileri kullanılmıştır. OpenStreetMap içerisinde bulunan "Bina" (ing. Building) katmanı yapılarla ait taban alanı (yapı ayak izleri) bilgisini barındırmaktadır ve bu bilgiler prosedürel tekniklerle üç boyutlu modele dönüştürülebilir. Buradan hareketle çalışma kapsamında OpenStreetMap "Bina" verilerinin içerisinde bulunan Tablo 2'deki öznetelik verileri kullanılarak 45.469 adet LOD2 seviyesinde 3 boyutlu bina modeli prosedürel olarak oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5).

Bina üretiminde Çevresel Sistemler Araştırma Enstitüsü'nde (Environmental Systems Research Institute - ESRI) geliştirilen kural temelli bir üç boyutlu kodlama dili olan "Computer Generated Architecture" (CGA) kodlama dili kullanılmıştır.

Tablo 2. Prosedürel modelleme tekniği ile 3 boyutlu bina modellerini oluşturmak için kullanılan öznelik verileri.

Tanım	Bina Öznelik Verileri
Kat Adedi	getLevels
Çatı Yüksekliği 1	getEaveHeight
Çatı Yüksekliği 2	getRidgeHeight
Bina Tipi	getBuildingForm
Çatı Tipi	getRoofForm
Kat Yüksekliği	getFloorHeight
Bina Rengi	getBuildingColor
Çatı Rengi	getRoofColor

Prosedürel olarak üç boyutlu model üretiminin bir avantajı da oluşturulan modellere otomatik olarak kaplama yapılabilmesidir. Bu kaplamalar binanın gerçek fotoğrafı olabileceği gibi sembolik olarak hazırlanmış bir kaplama kütüphanesinden de çağrılabilir. Bu çalışmada oluşturulan tüm poligonlara kat adetleri uygun olacak şekilde benzer bina resimlerinden hazırlanmış rastgele cephe kaplaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te cephe kaplaması uygulanan bina modelleri paylaşılmıştır.



Şekil 5. Tarihi Yarımada bölgesine ait: Prosedürel olarak üretilen LOD2 seviyeli bina modelleri (sol üst); Prosedürel olarak rastgele cephe kaplamalı üretilen LOD2 seviyeli bina modelleri (sağ üst); Proje alanı ve yakınlarında bulunan kentsel sembolik yapı modelleri (sol alt); Entegre edilen tüm veriler ile Tarihi Yarımada bölgesi tasarımı (sağ alt)

Kullanılan sayısal yükseklik modeline göre bazı binaların havada, bazılarının fazla yerin içerisinde kalması ve benzeri durumları önlemek için bina taban alanlarının araziye tam olarak oturtulması gerekir. OpenStreetMap "Building" verilerinin içerisinde belirli yükseklik değerleri bulunmaktadır ancak oluşturulan bina modellerinin tam olarak arazi yüzeyine oturtulması daha sorunsuz bir görselleştirme sağlar. Arazi modeli ve bina modelleri oluşturulduktan sonra şehirdeki önemli yapıların modelleri eklenerek üç boyutlu sahnedeki canlandırma gerçeğine yaklaştırılabilir. Çalışmada Google 3D Warehouse içerisinde modellenmiş olarak sunulan İstanbul - Tarihi Yarımada bölgesi ve yakınlarındaki karakteristik yapı modelleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen prosedürel model üretimi 64-bit Windows 10 işletim sistemi, Intel Core i7-8700K CPU, 3.70Ghz, 64GB RAM, 2x 8GB GDDR5x NVIDIA GeForce GTX 1080 ekran kartına sahip bir donanım üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu şartlarda elde edilen model üretim süreleri Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. Prosedürel modelleme tekniği ile 3 boyutlu bina modellerini oluşturmak için harcanan süre bilgileri

Tip	Adet	Süre (sn)
Katı Model	45469	46”
Kaplamalı Model	45469	53”

Sembolik yapı modelleri, üreticilerin uzmanlık seviyelerine göre çoğunlukla Google 3D Warehouse içerisinde gerçek koordinatlarında tutulur ve modelleme çalışmalarında kolaylıkla konumlandırılabilir. Söz konusu modellerin herhangi bir mekânsal referansının bulunmaması durumunda ise kent modeline bütünleştirilmeden önce mekânsal referansının sağlanması gerekmektedir. Çalışma kapsamında internet platformundan indirilen 43 ayrı model koordinatlı olarak temin edilmiş ve doğrudan arazi modeli üzerine yerleştirilmiştir (bkz. Şekil 5).

3.2 Fotorealistik 3 Boyutlu Görselleştirme

Verilerin etkili bir şekilde işlenmesi, analiz edilmesi ve 3 boyutlu olarak görselleştirilmesi günümüzün önemli çalışma alanlarından biri olarak ortaya çıkmaya başlamıştır. Günümüzde pek çok disiplin üç boyutlu veriler ile çalışmakta ve bu alanla yakından ilgilenmektedir. Üç boyutlu uygulamalar, karmaşık mekânsal analizlerin, dinamik simülasyonların en doğru şekilde anlaşılabilmesi ve modellenebilmesi için oldukça önemli araçlardır (Aalbersberg vd. 2014).

Üç boyutlu görselleştirmenin en önemli aşamaları ışık, gölge ve ortam emilim değerlerinin kullanılmasıdır. Ayrıca objelerin materyal ayarlarının da doğru belirlenmesi bu yansıma etkilerinin göz ile algılanan gerçekliğe daha yakın olmasını sağlamaktadır. Tüm bu değerlerin doğru şekilde ve uygun oranlarda kullanımı ile modellerin çok daha gerçekçi görselleştirilebilmesi mümkün olmaktadır. Sektörde bu alanda yaygın olarak kullanılan StudioMax, Maya, Blender, Cinema4D, Rhino ve Houdini gibi tüm üç boyutlu tasarım yazılımları ya da Unity ve Unreal gibi oyun motorları ile modellerin sonuç görselleştirilmesi aşamalarında bu etki ve değerler kullanılarak çıktı üretilir.

Işık ve çevresel ayarlar kullanılan programın kendi özellikli menülerine ve ayar pencerelerine göre farklılık gösterse de bu işlemler tüm programlarda rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Piyasada benzer amaçlarla üretilmiş pek çok üç boyutlu tasarım programı bulunmaktadır. Yazılımlar birbirinden farklı olarak tasarlanmış olsalar da çevresel ışık, gölge ve ortam emilim değerleri tümünde ayarlanabilmektedir. Gerçekleştirdiğimiz çalışma kapsamında kullanılan oyun motoru içerisinde ilgili parametre ayarlarının en uygun birleşimi deneysel olarak belirlenmiş ve Şekil 6’da sunulan Tarihi Yarımada bölgesinin fotorealistik 3B görselleştirme sonucu elde edilmiştir.

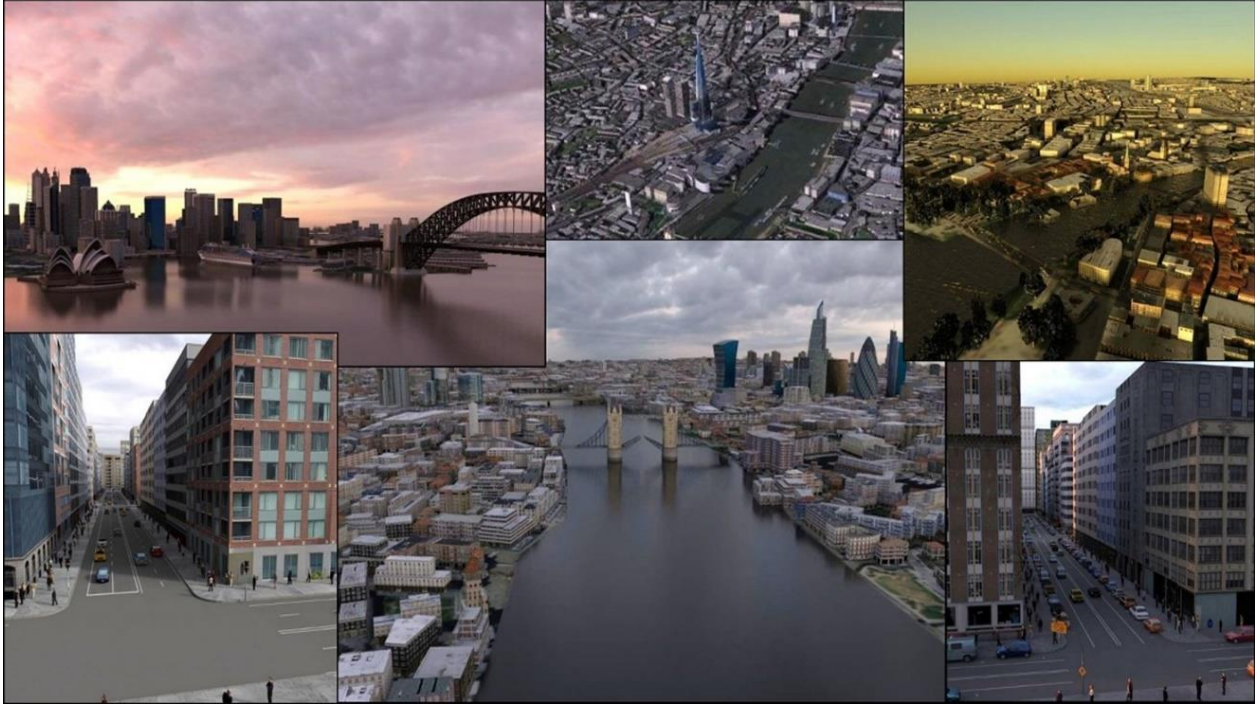


Şekil 6. Tarihi Yarımada bölgesinin fotorealistik modeli görüntüsü

3. Sonuçlar ve Öneriler

Günümüzde pek çok akıllı şehir uygulamasına altlık teşkil edebilecek bir 3B kent modeli üretimi için tamamen ücretsiz veriler kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada; prosedürel modelleme teknikleri kullanılarak büyük alanların hızlı ve etkili bir şekilde 3B modellenmesi ve görselleştirilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. 3B kent modeli üretiminde farklı kaynaklardan elde edilen mekânsal verilerin birleştirilmesi 3 boyutlu görselleştirmenin çok daha gerçekçi olmasını sağlamıştır. Ayrıca diğer çevresel ışık ve atmosfer etkileri gibi görselleştirme tekniklerinin kullanılması ile oluşturulan dijital ikiz fotoğraf gerçekliğine yaklaştırılmıştır.

Çalışmanın önemli çıkarımlarından biri de akıllı şehircilik, 3B kent planlama ve yönetimi için esas olanın son teknolojik cihazlar ve yüksek maliyetler ile gerçekleştirilebilen işler olmadığını kanıtlanmasıdır. Esas olan, öncelikle yerel yönetimlerde akıllı kent yönetimi bilincinin oluşturulması ve mevcut mekânsal verilerin birbirleri ile bütünleşmiş, en verimli şekilde kullanılmasının sağlanmasıdır. Gerçekleştirilen çalışma, sadece genel kullanıma sunulan ücretsiz ve açık verilerin kullanılması ile bu çalışmaların belirli bir seviyede yapılabileceğini göstermiştir. Kullanılan yöntem kamu kurumlarının ve yerel yönetimlerin elinde bulunan resmi ve daha hassas şekilde üretilmiş mekânsal veriler ve 3 boyutlu modeller ile uygulandığında çok daha hassas sonuçları aynı sürede elde edilebilecektir. Bu çalışma kapsamında ayrıca önerilen yaklaşım benzer veri kaynakları kullanılarak dünyanın farklı anakentlerinin merkezlerinin 3B modellenmesi için uygulanmıştır. Açık kaynaklardan sağlanan verinin çeşitliliği ve kalitesine bağlı olarak İstanbul Tarihi Yarımada örneğine benzer niteliklerde elde edilen sonuç gösterimler Şekil 7'de paylaşılmıştır. Dijital ikiz kapsamında değerlendirilebilecek bu sonuçlar sınırlı doğruluk gereksinimleri içeren bir çok planlama, kentsel tasarım, kentsel dönüşüm vb. analiz ve diğer tüm simülasyon çalışmalarına hazır gerçekçi bir şehir modeli elde edilmiştir.



Şekil 7. Çalışma kapsamında önerilen yaklaşım kullanılarak üretilen diğer 3B kent modellerine ilişkin örnek gösterimler

3B görselleştirmenin sunduğu en önemli kolaylıklardan biri de tek bir perspektif ya da bakış yönü etkisi nedeniyle diğer veriler tarafından görülemeyen alanların bulunmaması, tüm verilerin 3 boyutlu ortam içerisinde her açıdan rahatlıkla görüntülenebilmesine ve değerlendirilebilmesine imkân vermesidir. Ayrıca günümüzde giderek kullanımı yaygınlaşmaya başlayan sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) görüntüleme sistemlerinin mekânsal verilerin görselleştirilmesi amacı ile de kullanılmaya başlanmış olması coğrafi bilgi sistemlerinin geleceğini ve yönünü ciddi bir şekilde etkileyecektir. Böylece mekânsal verilerin 3 boyutlu olarak görselleştirilmesi ve deneyimlenmesi yakın gelecekte oldukça sık karşılaşılan ve ihtiyaç duyulan bir çalışma alanı olacaktır.

Kaynaklar

- Aalbersberg, I. J., Cos Alvarez, P., Jomier, J., Marion, C., & Zudilova-Seinstra, E. (2014). Bringing 3D visualization into the online research article. *Information Services & Use*, 34(1-2), 27-37.
- Adão, T., Magalhães, L. & Peres, E. (2016). *Ontology-based procedural modelling of traversable buildings composed by arbitrary shapes*. SpringerBriefs in Computer Science. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Albrecht, F., & Moser, J. (2010). Potential of 3D City Models for Municipalities – The User-Oriented Case Study of Salzburg. In *Geospatial Crossroads @ GI_Forum '10* (pp. 1-10). Wichmann Verlag / VDE.
- Aliaga, D. G. (2012). 3D Design and modeling of smart cities from a computer graphics perspective. *International Scholarly Research Network, ISRN Computer Graphics*, 2012, 728913, doi: 10.5402/2012/728913.
- Biljecki, F., Ledoux, H. & Stoter, J. (2016, August). Generation of multi-LOD 3D city models in CityGML with the procedural modelling engine Random3Dcity. *ISPRS 1st International Conference on Smart Data and Smart Cities, 2016. Volume IV-4/W1* (pp. 51-59). Copernicus GmbH.
- Brenner, C., Haala, N., & Fritsch, D. (2001). Towards fully automated 3D city model generation. In E.P. Baltsavias, A. Gruen & L. Van Gool (Eds), *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III)*, (pp. 47-57), ETH Zurich: A.A. Balkema Publishers.
- Dobraja, I. (2015). *Procedural 3D modeling and visualization of geotypical Bavarian rural buildings in Esri CityEngine software* (Master's thesis), Technische Universität München, Faculty of Civil, Geo and Environmental Engineering, Department of Cartography, München, Germany.
- Ennafii, O., Le Bris, A., Lafarge, F., & Mallet, C. (2019, July). Scalable evaluation of 3D city models. In *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2019. Proceedings* (pp. 3400-3403). IEEE.
- Erving, A., Rönnholm, P., & Nuikka, M. (2009). Data Integration from Different Sources to Create 3D Virtual Model. In F. Remondino, S. El-Hakim, & L. Gonzo (Eds.), *3D-ARCH 2009: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures"*, Trento, Italy, 25-28 February 2009. ISPRS Commission V - WG 4; FBK-IRST, Trento, Italy; NRC-CNRC; ETH Zurich, Switzerland.
- Fan, H., Meng, L & Stilla, U. (2008). A concept for integrating time-dependent features in 3d building models. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Geoinformation Sciences*, 37(2), 45-50.
- Flamanc, D. & Jibrini, H. (2003). 3D city models: An operational approach using aerial images and cadastral maps. *ISPRS Archives*, 34(3/W8), 53-58.
- Merrell, P. & Manocha, D. (2011). Model synthesis: A general procedural modeling algorithm. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(6), 715-728.
- Moser, J., Albrecht, F., & Kosar, B. (2010). Beyond visualisation - 3D GIS analyses for virtual city models. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(4/W15), 143-146.
- OGC (2021). Open Geospatial Consortium City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard. Retrieved from <http://docs.ogc.org/DRAFTS/20-010.pdf>
- 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, 87–92.
- Prandi, F., Soave, M., Devigili, F., Andreolli, M., & De Amicis, R. (2014). Services oriented smart city platform based on 3D city model visualization. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(4), 59-64.
- Sengul, A. (2010). *Extracting semantic building models from aerial stereo images and conversion to CityGML* (Master's Thesis), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Slade, J. (2018). *Automatic semantic and geometric enrichment of CityGML 3D building models of varying architectural styles with HOG-based template matching* (Doctoral dissertation), Cardiff University, Cardiff, UK.
- Tunc, E., Karsli, F & Ayhan, E. (2004, July). 3D city reconstruction by different technologies to manage and recognize the current situation. In *ISPRS Congress Istanbul 2004. Proceedings* (pp. 443-448). İstanbul, Turkey.
- Ünen, H. C., Yılmaz, O. M., & Güngör, O. (2013, Kasım). Özgür harita: OpenStreetMap. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara, Türkiye.
- Weissenberg, J. (2014). *Inverse Procedural Modelling and Applications* (Doctoral dissertation), ETH Zürich, Switzerland.
- Yastıklı, N., Çetin, Z., Üçok, U., & Koçdemir, K. H. (2017, Mayıs). Fotogrametrik Harita ve LiDAR Verileri ile 3B Kent Modeli Üretimi. *TMMOB HKMO 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

Lidar Nokta Bulutundan Ransac-Tabanlı Bina Çatı Düzlemi Çıkarımı İçin Bir Yaklaşım

An Approach for Ransac-Based Building Roof Plane Extraction from Lidar Point Cloud

Murat Güler^{1*}, Mustafa Türker²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, İznik Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Harita ve Kadastro Programı, 16860, Bursa/Türkiye.

²Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Murat Güler
muratguler@uludag.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.970893

Yayın süreci

Geliş tarihi: 13.07.2021
Kabul tarihi: 27.08.2021
Basım tarihi: 29.09.2021

Özet

Son yıllarda önemi hızla artan 3B şehir modellerinde bina modellemesi LiDAR verisinin en yaygın uygulama alanları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, hava LiDAR verisinden 3B RANSAC (RANdom SAmple Consensus) algoritması ile çatı düzlemlerinin çıkarımı ve geriçatımı için veri odaklı bir yaklaşım önerilmiş ve iki farklı alanda (A1 ve A2) test edilmiştir. İlk olarak yer filtreleme yapılmıştır. Sonra, sınıflandırma ile tespit edilen bina sınıfı nokta bulutundan her bir binaya ait nokta kümesini çıkarmak için bölge büyüme bölütleme algoritması uygulanmıştır. Çıkarılan çatı düzlemsel yüzeylerde bulunan gürültü, DBSCAN (Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise) algoritması kullanılarak tespit edilmiş ve silinmiştir. Doğruluk analizleri için, duyarlık (precision-p), bütünlük (recall-r) ve F-skor (F-score) değerleri hesaplanmıştır. A1 çalışma alanı için ortalama p, r ve F-skor değerleri sırasıyla, %86, %87 ve %85 olarak bulunmuştur. A2 çalışma alanı için bu değerler sırasıyla, %92, %93 ve %92 olarak bulunmuştur. Nokta yoğunluğunun daha yüksek olması ve bina çatı geometrisinin daha düzgün olması, A2 çalışma alanı sonuçlarını olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca, A2 çalışma alanında gürültünün daha başarılı bir şekilde tespiti sağlanmış ve dolayısıyla bu da doğruluk oranlarını artırmıştır.

Anahtar kelimeler: 3B şehir modeli, LiDAR, RANSAC, Yer filtreleme, Bölütleme, Geriçatma

Abstract

In 3D city modelling, the importance of which has increased rapidly in recent years, building modelling is among the most frequently used application areas of LiDAR data. In this study, a data-driven approach was proposed for the extraction and reconstruction of roof planes from aerial LiDAR data using 3D RANSAC (RANdom SAmple Consensus) algorithm and tested in two areas (A1 and A2). First, ground filtering was performed. Then, region growing segmentation algorithm was applied to extract point set of each building from the building class detected through classification. The noise that exists on the extracted planar surfaces were detected and removed using the DBSCAN (Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise) algorithm. For accuracy assessment, precision (p), recall (r), and F-score values were calculated. For study area A1, the mean values for p, r and F-score were computed as 86%, 87% and 85%, respectively. For study area A2, these values were computed as 92%, 93% and 92%, respectively. The higher density of point cloud and smoother roof geometry appear to have affected the results positively in study area A2. Besides, the noise was more successfully detected in study area A2, which increased the accuracy rates.

Keywords: 3D city model, LiDAR, RANSAC, Ground filtering, Segmentation, Reconstruction

1. Giriş

Bir şehri oluşturan ana nesne binedir. Binalar üç boyutlu (3B) şehir modellemesinde en çok talep gören nesnelere (Wei, 2008). Kentsel alanlar insan faaliyetleri nedeniyle hızla değişmektedir (Morgan ve Tempfli, 2000). Ayrıca, kentsel alanlarda yapılaşmanın hızlı bir şekilde artmasından dolayı, bina verileri güncel olmayabilir. Bu nedenle, güncel bina verilerini elde etmek için hızlı ve doğru veri toplama teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. 3B kent verilerinin elde edilmesinde, geleneksel fotogrametriye karşın Işık Algılama ve Mesafe Ölçme (Light Detection and Ranging-LiDAR) teknolojisini kullanmanın avantajları arasında yüksek hız, yüksek dişey doğruluk, yüksek yoğunluk ve düşük maliyet ön plana çıkmaktadır. LiDAR, bina, ağaç, zemin, yol ve enerji hatlarının özellik çıkarımı ve 3B gerichatımında kullanılmaya uygun bir veri toplama yöntemidir (Wei, 2008).

Binaların hava görüntülerden ve / veya LiDAR verilerinden otomatik olarak gerichatımı, 3D bina modelleme gibi birçok Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uygulaması için bir ön koşuldur. Literatürde yarı otomatik ve otomatik olmak üzere iki tür bina gerichatımı tekniğı vardır (Awrangjeb ve Lu, 2013; Awrangjeb ve Fraser, 2013). Küçük bir yerleşim yerinde bile yarı otomatik teknikler, binaların gerichatımı için çok fazla manuel müdahale gerektirdiğinden otomatik teknikler daha ön planda tutulmuştur (Awrangjeb ve Lu, 2013).

Bina çatılarının gerichatımı için literatürde farklı yaklaşımlar tanımlanmıştır (Awrangjeb ve Fraser, 2013). Parametrik yaklaşım olarak da bilinen model odaklı yaklaşımda, önceden tanımlanmış çatı türleri katalogu kullanılarak verilere en iyi uyum model seçilmektedir (Awrangjeb ve Lu, 2013; Awrangjeb ve Fraser, 2013). Bu yaklaşımın bir avantajı, sonuç çatı şeklinin her zaman topolojik olarak doğru olmasıdır. Dezavantajı ise karmaşık çatı şekillerinin önceden tanımlanmış katalogda bulunmadığı durumlarda gerichatımının yapılamamasıdır (Awrangjeb ve Fraser, 2013). Genel veya çok yüzlü yaklaşım olarak da bilinen veriye dayalı yaklaşımda çatı, bölütleme algoritmalarından yani düzlem algılama tekniklerinden türetilen düzlemsel yapılardan gerichatılır (Awrangjeb ve Lu, 2013; Awrangjeb ve Fraser, 2013). Bu yaklaşımdaki zorluk komşu düzlemsel segmentleri ve bunların ilişkilerini belirlemektir. Bu yaklaşımın temel avantajı ise, rastgele şekle sahip binaların gerichatımının yapılabilmesidir. Kullanılan verinin LiDAR verisi olması durumunda bu yaklaşımda düşük nokta yoğunluğu bir dezavantaj olabilmektedir. Bu nedenle, küçük çatı pencereleri ve bacalar gibi bazı çatı özellikleri verinin çözünürlüğü düşükse, temsil edilememektedir. Yüksek yoğunluklu LiDAR ve görüntü verilerinin varlığında ise eğimli yüzeyler iyi bir şekilde tahmin edilebilmektedir (Awrangjeb ve Fraser, 2013). Bir diğere yaklaşım olan küresel strateji veya hibrit yaklaşım olarak da bilinen yapısal yaklaşım, hem model hem de veri odaklı özellikler sergiler (Awrangjeb ve Lu, 2013; Awrangjeb ve Fraser, 2013). 3B nokta bulutundan otomatik düzlem tespiti, 3B modelleme, 3B kadastr vb. uygulamalarda çok faydalı olduğundan talep gören bir araştırma konusudur (Maltezos ve Ioannidis, 2016).

3B nokta bulutundan düzlem tespitine yönelik yaygın kullanılan yöntemler arasında Bölge Büyüme (Region Growing), Hough dönüşümü ve RANdom SAmple Consensus (RANSAC) yer almaktadır (Maltezos ve Ioannidis, 2016; Tarsha-Kurdi vd. 2007). Bölge büyüme teknikleri bazen çok şeffaf değildir ve homojen olarak uygulanamazlar. RANSAC tekniğı, Hough dönüşümü tekniğine kıyasla daha kısa sürede ve daha iyi sonuçlar sağlamaktadır (Tarsha-Kurdi vd. 2007).

Vosselman ve Dijkman (2001) tarafından yapılmış çalışmada, bina çatılarında düzlem noktalarını çıkarmak için Hough dönüşümü kullanılmıştır. Düzlem çatı yüzeyleri başlangıç segmentleri uzatılarak ve birleştirilerek elde edilmiştir. Geliştirilen algoritmada, tespit edilen noktaların aynı çatı düzleminde olup olmadığının kontrolü için ek kriterler kullanılmıştır. Dorninger ve Nothegger (2007) tarafından yapılmış olan çalışmada, parametre uzayında kümelenerek başlatılan bölütleme algoritması, görüntü eşleştirme ve lazer taraması ile elde edilen nokta bulutları üzerinde uygulanmış ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Costantino ve Angelini (2011) tarafından yapılan çalışmada, binaların çatı düzlemlerini çıkarmak için RANSAC yöntemi uygulanmıştır. Düzlemlerin tanımlanması için RANSAC algoritmasının uygulanması, binaların çatılarını oluşturan noktaların tespit edilmesine ve çıkarılmasına olanak sağlamıştır. Chen vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada hava LiDAR verilerinde bina çatılarını bölütleme için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Öncelikle morfolojik filtreleme ile zemin ve zemin üstü noktalar ayrılmış, ardından düzlem uydurma tekniğine dayalı bölge büyüme algoritması ile bina noktaları bitki örtüsü noktalarından ayrılmıştır. Son olarak, RANSAC yaklaşımı kullanılarak tespit edilen bina çatıları iyileştirilmiştir. Karsli ve Pfeifer (2012) tarafından yapılmış olan çalışmada, yalın yer yüzeyi veya herhangi bir bina vb. detayın çıkarımı için, diğere yöntemlere göre daha etkili olan RANSAC (RANdom SAmple Consensus) algoritması uygulanarak, binaları ve arazi yüzeyini tespit eden olası en iyi düzlemler belirlenmiştir. RANSAC algoritması ile tatmin edici sonuçlar elde edildiğı belirtilmiştir. Çömert ve Avdan (2014) tarafından yapılmış olan çalışmada, 3B yersel lazer tarayıcı nokta bulutu verisinden düzlem, koni, silindir ve küre gibi şekillerin yüzeylerinin RANSAC algoritması ile otomatik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Sonuçların doğruluğunu incelemek için elle ve otomatik çıkarılan yüzeyler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 3B yersel lazer tarayıcı nokta bulutu verisinden otomatik yüzey çıkarım işleminde RANSAC algoritmasının oldukça başarılı olduğu belirtilmiştir. Canaz vd. (2015) tarafından göl sınırlarının LiDAR verisinden otomatik tespiti için yapılmış olan bir çalışmada, su yüzeyi RANSAC algoritması kullanılarak çıkarılmıştır. Göl alanlarının düzlemsellik özelliğı göstermesinden dolayı bu alanların RANSAC algoritmasıyla kolay bir şekilde çıkarıldığı belirtilmiştir. Demir (2016) tarafından yapılmış olan bir çalışmada, yalnız LiDAR verisi kullanılarak çatıların 3B modellemesi yapılmıştır.

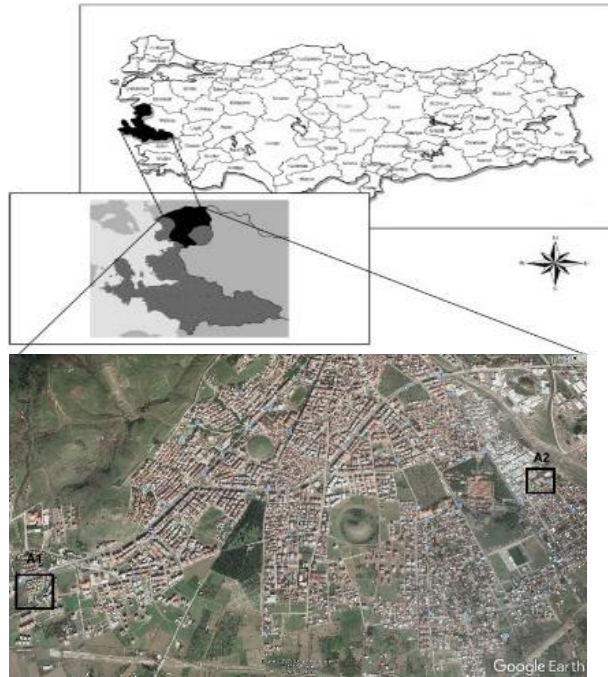
Çalışmada ayrıca görüntüden elde edilen 3B çizgilerin de kullanılmasıyla, daha kaliteli sonuçların üretilebileceği belirtilmiştir. Fan vd. (2018) tarafından yapılmış olan bir çalışmada, bölge büyüme algoritmasının aşırı bölütleme ve tutarsızlık gibi problemlerini gidermek için, farklı nokta bulutu modellerine kendinden uyarlanır (self-adaptive) bölütleme algoritması uygulanarak % 96 bölütleme doğruluk oranı elde edilmiştir. Güncel çalışmalardan olan Gönültaş vd. (2020) tarafından yapılmış olan bir çalışmada, LiDAR ve hava fotogrametrisi arasında karşılaştırma yapmak için elde edilen 3B nokta bulutu verilerine RANSAC algoritması uygulanmıştır. Hava fotogrametrisi yüksek yoğunluklu verilere sahip olmasına rağmen gürültülü verilere sahip olduğundan, RANSAC algoritması model içindeki tamlik açısından bakıldığında, hava LiDAR'dan elde edilen nokta bulutu verilerinde bina çatılarını daha iyi tespit ettiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada, hava LiDAR nokta bulutu verisinden RANSAC algoritması ile bina çatı düzlemlerinin çıkarımını ve geriçatımını gerçekleştirmek için, otomatik ve veri odaklı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım iki temel adımdan oluşmaktadır: (i) Bina tespitinin yapılması, (ii) binalara ait çatı düzlemlerinin çıkarılması. Ayrıca bu çalışmada, temel çatı düzlemleri yalnız 3B hava LiDAR nokta bulutu verisine uygulanan bölge büyüme bölütleme, RANSAC ve DBSCAN algoritmaları ile çıkarılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak, öncelikle bina sınıfı nokta bulutu verisine uygulanan bölge büyüme bölütleme algoritması ile çalışma alanlarında, her bir binaya ait nokta bulutu verisinin başarılı bir şekilde ayrılması sağlanmıştır. RANSAC algoritması ile bina çatı düzlemlerinin çıkarılması sonrasında gürültü olarak tanımlanan aykırı noktaların ayıklanması için üstün küme oluşturma özelliğine sahip yoğunluk tabanlı kümeleme algoritmalarından DBSCAN algoritması, düzlemi temsil eden her bir nokta bulutuna uygulanarak literatüre katkıda bulunulmuştur. Sonuçların doğruluk analizleri için, duyarlık (precision-p), bütünlük (recall-r) ve F-skor (F-scor) değerleri hesaplanmıştır.

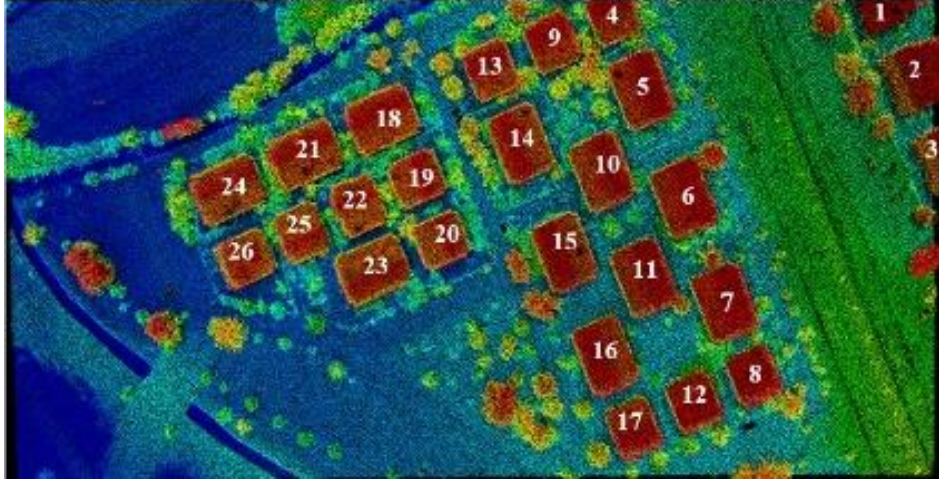
2. Çalışma Alanı ve LiDAR Nokta Bulutu Verisi

2.1 Çalışma Alanı

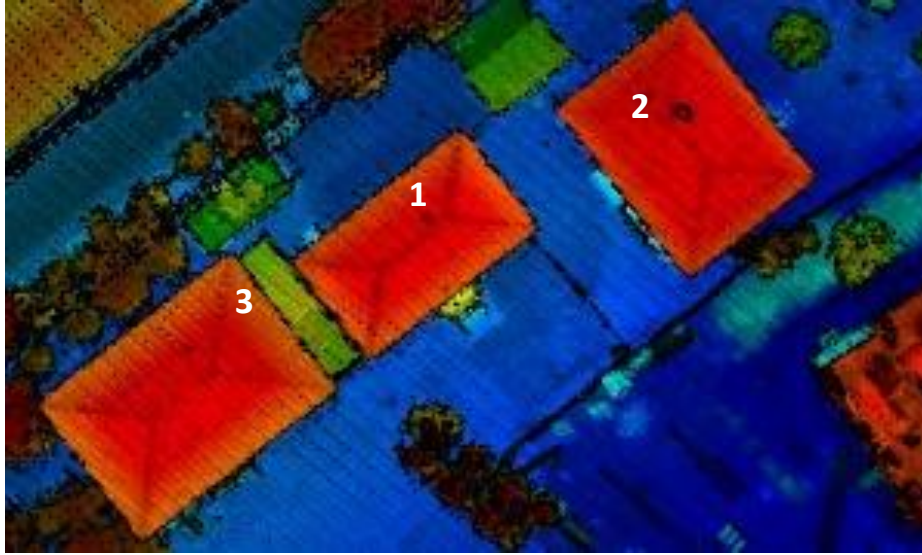
Yöntemin testleri için İzmir, Bergama'dan farklı özelliklere sahip iki çalışma alanı seçilmiş ve bu alanlar çalışmada A1 ve A2 olarak adlandırılmıştır. Seçilen çalışma alanları Şekil 1'de gösterilmiştir. Çalışma alanlarına ait projeksiyon bilgileri şu şekildedir: UTM 6 Derece WGS-84 Zone 35. Yaklaşık 109 m x 224 m boyutlarında ve 2.44 hektar büyüklüğünde olan A1 çalışma alanının koordinatları X: 513639.313 m – Y: 4327873.985 m (Kuzey doğu) ve X: 513530.237 m – Y: 4327649.844 m (Güney batı) dır. Bu çalışma alanında toplam 26 bina ile birlikte binalara yakın konumda ağaçlar ve düz alanlar bulunmaktadır. A1 çalışma alanına ait LiDAR nokta bulutu verisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Yaklaşık 91 m x 71 m boyutlarında ve 0.65 hektar büyüklüğünde olan A2 çalışma alanının koordinatları X:516922.621 m – Y:4328832.454 m (Kuzey doğu) ve X: 516831.428 m – Y: 4328760.999 m (Güney batı) dır. Bu çalışma alanında toplam 3 bina, düzlük alanlar ve binalara yakın konumda sıralı ağaçlar bulunmaktadır. A2 çalışma alanına ait LiDAR nokta bulutu verisi Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İzmir, Bergama'dan seçilen çalışma alanları



Şekil 2. A1 çalışma alanına ait LiDAR nokta bulutu verisi



Şekil 3. A2 çalışma alanına ait LiDAR nokta bulutu verisi

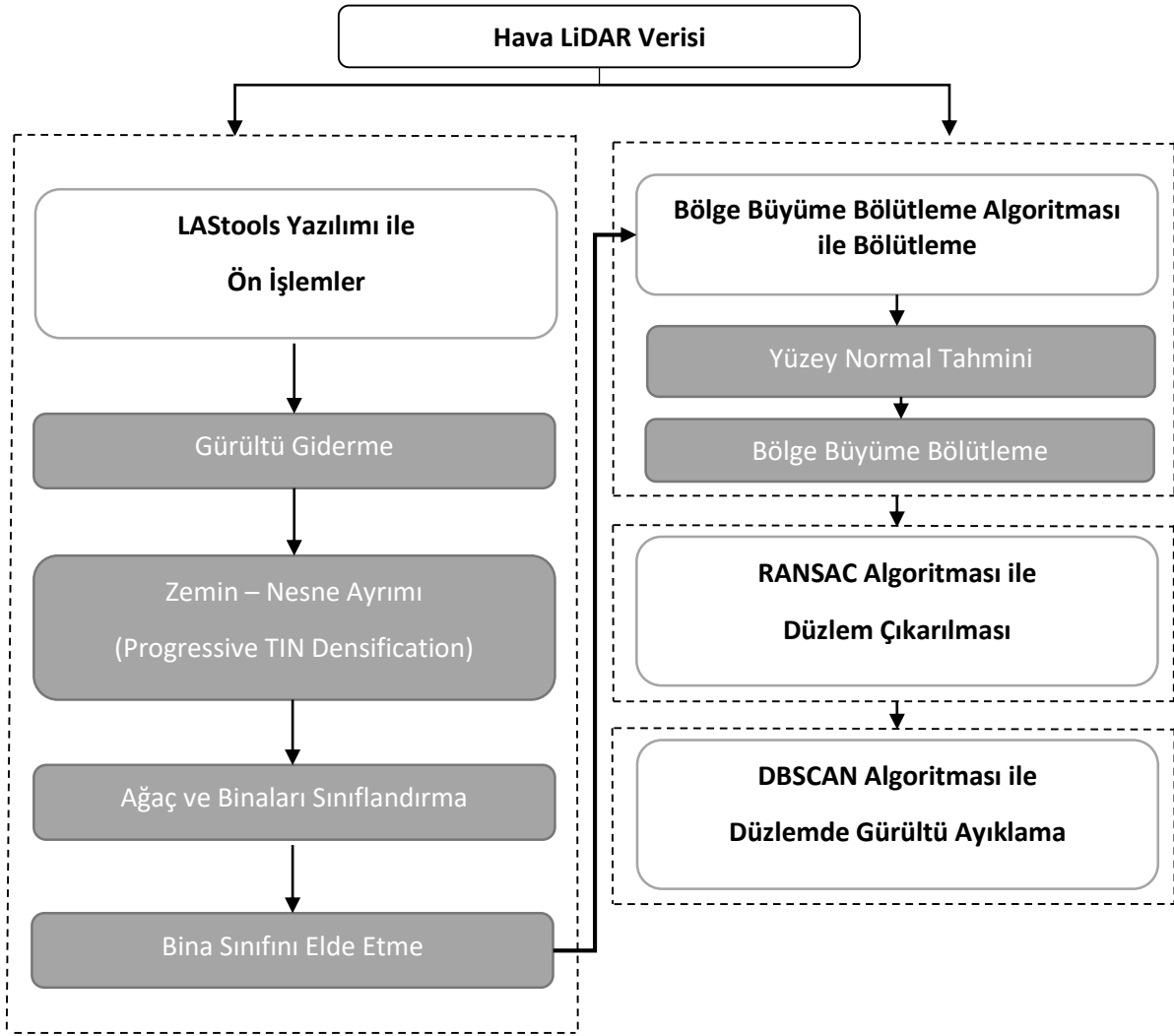
2.2 Lidar Verisi

Çalışmada kullanılan hava LiDAR verisi Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından temin edilmiştir. A1 çalışma alanına ait hava LiDAR verisi Riegl firmasının LMS-Q1560 LiDAR sistemi ile A2 çalışma alanına ait hava LiDAR verisi Optech firmasının Pegasus HA-500 LiDAR sistemi ile Ekim 2014 tarihinde ve 1200 metre yükseklikten çekilmiştir (Kayı vd. 2015). A1 ve A2 çalışma alanlarına ait nokta verisi yoğunlukları sırasıyla 18.8 nokta/m² ve 22.6 nokta/m² dir.

3. Yöntemler

Yöntem, Şekil 4'deki akış şemasında gösterildiği üzere dört temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar:

- 1) LAStools Yazılımı ile Ön İşlemler,
- 2) Bölge Büyüme Bölütleme Algoritması ile Bölütleme,
- 3) RANSAC Algoritması ile Düzlem Çıkarılması,
- 4) DBSCAN Algoritması ile Düzlemde Gürültü Ayıklama.



Şekil 4. Yöntemin akış şeması

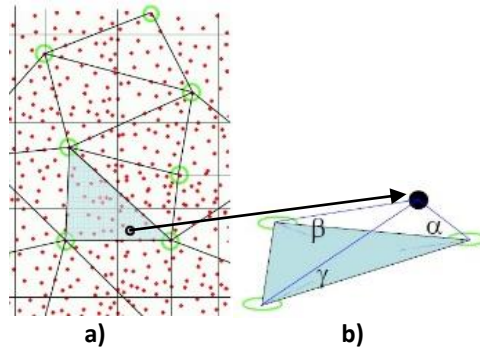
3.1 Gürültü Noktalarının Kaldırılması

Bu çalışmada, çalışma alanlarını da kapsayan tüm veri görüntülediğinde gürültü içerdiği ve herhangi bir sınıflandırma yapılmadığı görülmüş olup bu nedenle filtreleme işlemine geçilmeden önce veri gürültüden arındırılmıştır. Bunun için LAStools yazılımının Lasnoise modülü kullanılmıştır.

3.2 Yer Filtreleme ve Zemin Üstü Noktaların Sınıflandırması

Yer filtreleme ile zemin üstü noktalar zemin noktalarından ayrılmış ve etiketlenmiştir. Bu işlem için Lastools nokta bulutu yazılımının Lasground modülü kullanılmıştır. Lasground modülü yer filtreleme için ilerleyen Üçgenlenmiş Düzensiz Ağ Yoğunlaştırma (Progressive Triangular Irregular Network (TIN) Densification - PTD) yöntemini kullanmaktadır (LAStools, 2021a). Bu yöntemde, tohum noktalarından, önce kaba bir TIN yüzeyi oluşturulup aşamalı olarak TIN yüzeyi yoğunlaşma işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 5). Filtreleme işlemine başlarken, alan belirlenen boyutta karelalara bölünür (Şekil 5a). Kareler boyutu alanda bulunan en büyük nesne boyutundan daha büyük olacak şekilde belirlenmelidir. Karelere bölünen alanda, her kareler içerisinde yükseklik değeri en düşük olan nokta seçilerek, en az bir zemin noktası (tohum noktası) alma garantisi olacak şekilde filtreleme işlemi başlatılır. Kareler içerisinde yükseklik değeri en küçük olan bu noktalar birleştirilerek Delaunay üçgenleme yöntemi ile TIN oluşturulur. Sonra, her aşamada, hesaplanan üçgen ile noktanın birleştirildiği kenarlar arasındaki açı ve nokta ile yakınında bulunan üçgen düzlemine olan mesafe eşik değer parametrelerine dayalı kriterler karşılanırsa, üçgen sınırında bulunan noktalardan bir nokta her seferinde üçgenlemeye dahil edilir. Eşik değer parametreleri her iterasyonda yeniden hesaplanır.

Üçgen sınırı dahilindeki seçilen tek nokta (Şekil 5b), oluşan üçgene belirtilen mesafeden yakın ve açılar belli bir sınırın altında ise zemin noktası olarak kabul edilir ve üçgen sıklaştırılarak TIN yoğunlaştırılır. TIN yoğunlaştırma işlemi tüm noktalar zemin veya nesne olarak sınıflandırılana kadar devam eder (Axelsson, 2000; Meng vd. 2010; Sithole, 2003; DSM / DTM Filtering, 2021).

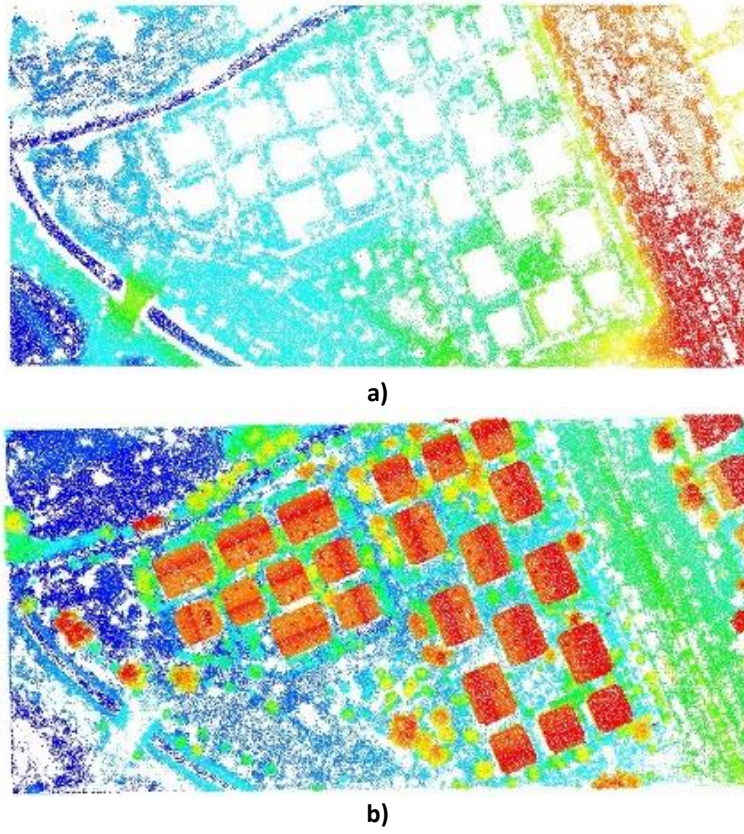


Şekil 5. İlerleyen TIN Yoğunlaştırma filtreleme yöntemi a) Alanın karelajlara bölünmesi b) Üçgen sınırında bulunan bir nokta ile üçgen kenarlarına olan açı eşik değeri parametresinin gösterimi

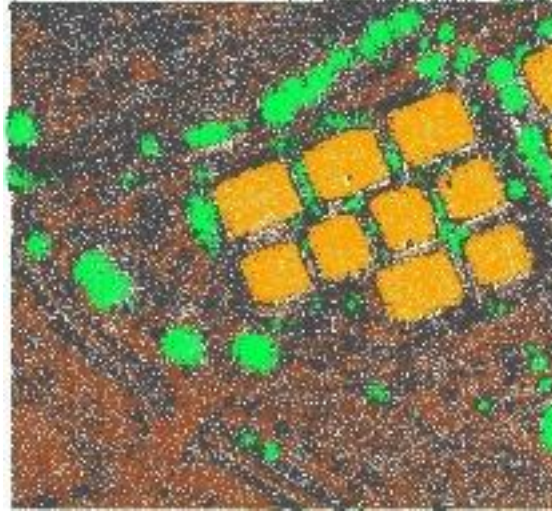
Lasground modülünün temel parametreleri arasında step size, spike, bulge, standart sapma ve maksimum offset yer almaktadır (LAsTools, 2021b). Lasground temelde step size parametresine dayanmaktadır ve bu parametre değerinin alandaki en büyük nesnenin büyüklüğünden küçük olması durumunda başarı oranı düşmektedir. Yerleşim alanlarındaki en büyük nesnelerin binalar olması nedeniyle, parametre değerinin binalardan küçük alınması sonucu etkilemektedir. Bu çalışmada step size parametre değeri, A1 ve A2 çalışma alanlarındaki binalar dikkate alınarak belirlenmiştir (LAsTools, 2021c). En uygun parametre değerlerinin belirlenmesinde deneme yanılma yöntemi tercih edilmiş ve çok sayıda deneme yapılmıştır. Bunun için, step size, standart deviation ve bulge parametreleri değerleri sabit tutulmuş, maksimum offset ve spike parametre değerleri için ise sırasıyla 0.01 ve 0.05 artırım uygulanmıştır. Sırasıyla step size, standart sapma ve bulge parametre değerleri için, Lastools yazılımında önerilen 10 m, 1cm ve 1m, sabit alınıp, maksimum offset ve spike parametresi değerleri değiştirilmiştir. Deneme yanılma yoluyla elde edilen her parametre seti kullanılarak gerçekleştirilen yer filtreleme sonuçları görsel olarak değerlendirilmiş ve en uygun parametre değeri olarak step size için 10 m, standart deviation için 1 cm, bulge için 1 m, maksimum offset için 0.05 m ve spike için 1 m alınmıştır. A1 çalışma alanının bir bölümüne ait yer filtreleme sonucu Şekil 6'da gösterilmiştir.

Binaları ve yüksek bitki örtüsünü (ağaçlar) temsil eden zemin üstü nokta kümesinden, binaları ayırmak için sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sınıflandırma işlemi için Lastools yazılımının Lasclassify modülü kullanılmıştır. Sınıflandırma için önce zemin üstündeki her bir noktanın yüksekliği hesaplanmıştır. Lasclassify modülü, metre cinsinden zeminden en az verilen değer kadar yükseklikte bulunan komşu noktaları bulmaktadır (LAsTools, 2021d). Zemin noktalarından en az verilen değer kadar yukarı mesafedeki çatı ve bitki örtüsünün komşu noktalarının, standart sapma değeri ile bulunması sağlanarak, bina ve yüksek bitki örtüsü sınıflandırması yapılmıştır. Lasclassify modülünün parametreleri ground offset, search area size, building planarity ve forest ruggedness'dir. Ground offset, zeminden belirlenen eşik değeri kadar yükseklikteki komşu noktaların bulunmasını sağlar. Search area size ile nxn boyutlu kareli hücre boyutu tanımlanır. Building planarity, belirlenen standart sapmaya kadar kareli hücre noktalarından potansiyel çatıları bulmaktadır. Forest ruggedness, belirlenen standart sapmaya kadar kareli hücre noktalarından potansiyel bitki örtüsünü bulmaktadır.

Sınıflandırma için uygun parametre değerleri çok sayıda deneme yapılarak belirlenmiştir. Search area size parametresi için 1 m, 2 m ve 3 m değerleri, building planarity ve forest ruggedness parametreleri için 0.1 m artışla 0.1 m'den 1 m'ye kadar değerler ve ground offset parametresi için 1 m, 2 m, 3 m, 4 m ve 5 m değerleri uygulanmıştır. Ground offset parametre değerinin belirlenmesinde çalışma alanındaki en alçak binanın yüksekliği dikkate alınmıştır. Çünkü algoritma, komşu noktaların tespit edilmesinde, bu yükseklik değerinden daha yüksek noktaları dikkate almaktadır. Yapılan denemeler neticesinde çalışma alanları için en uygun parametre değeri; search area size için 2 m, building planarity için 0.7 m, forest ruggedness için 0.5 m ve ground offset için 4 m olarak belirlenmiştir. Şekil 7'de A1 çalışma alanının bir bölümüne ait sınıflandırma sonucu gösterilmiştir. Şekil 7'de sarı renkli noktalar binaları, yeşil renkli noktalar yüksek bitki örtüsünü göstermektedir. Sınıflandırma işleminden sonra Lastools yazılımının Las2las modülü kullanılarak sınıflandırılmış veriden bina sınıfına ait noktalar seçilmiştir.



Şekil 6. A1 çalışma alanının bir bölümüne ait yer filtreleme sonucu a) zemin noktaları b) zemin üstü noktalar



Şekil 7. A1 çalışma alanının bir bölümüne ait yüksek bitki örtüsü (ağaç) ve binalarının sınıflandırması. Sarı renkli noktalar binaları, yeşil renkli noktalar yüksek bitki örtüsünü göstermektedir.

3.3 Bina Sınıfı Nokta Bulutu Verisinin Bölütlenmesi ve RANSAC Algoritması İle Çatı Düzlemlerinin Çıkarılarak Gürültünün Ayıklanması

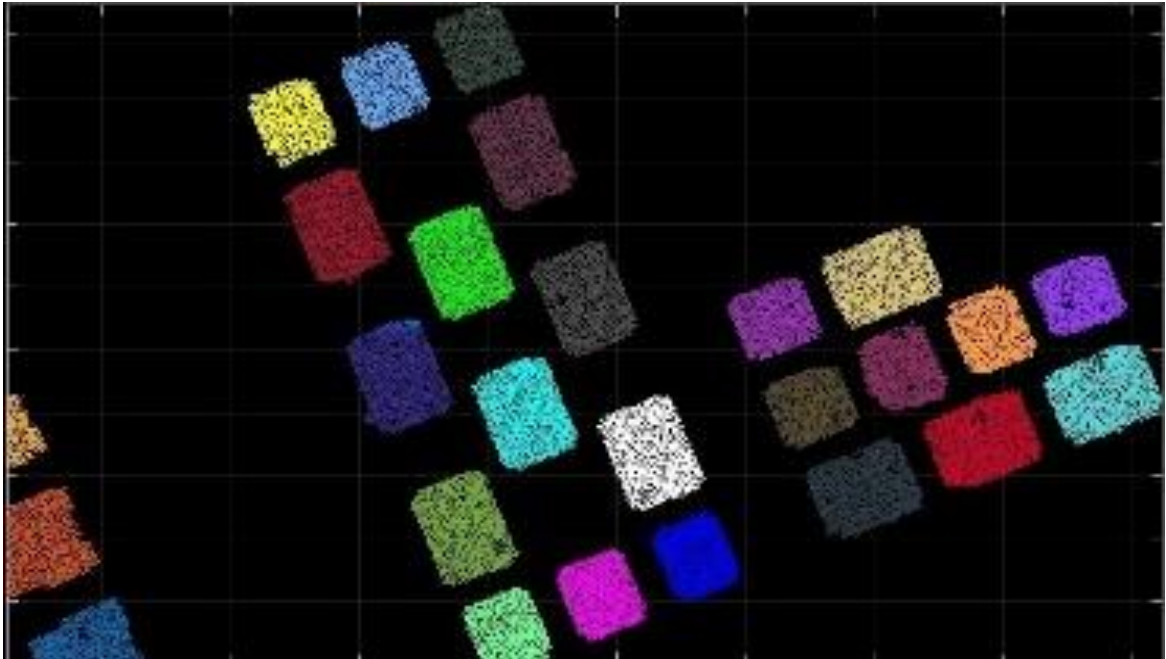
Sınıflandırma işleminden sonra, bina sınıfı nokta bulutu verisinden binalara ait nokta kümelerini ayırmak için bölütleme işlemi yapılmıştır. Bölge büyüme bölütleme (Region Growing Segmentation - RGS) algoritması kodları ticari ve araştırma amaçlı ücretsiz açık kaynak Nokta Bulutu Kütüphanesi'nden (PCL: Point Cloud Library) temin edilmiştir. RGS algoritması, binalara ait benzer özellikteki noktaların gruplandırmasını, eğrilik ve yüzey normalleri arasındaki açı değerleri kriterlerine göre gerçekleştirmektedir (PCL, 2021a).

Dolayısıyla, öncelikle bütün noktalarda yüzey normalleri hesaplanmıştır. Yüzey normallerinin hesaplanması, sorgu noktasının en yakın komşularının Kovaryans Matrisi analizine dayanmaktadır (PCL, 2021b). Sorgu noktasının k-komşuluğunda bulunan nokta setinin belirlenmesi için sorgu noktasının en yakın k komşularının belirlenmesi (K-Search: K-Arama) seçimi yapılmıştır (Rusu, 2010). Yüzey normallerinin hesaplanmasının ardından RGS algoritması ile bölütleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

RGS algoritması için en uygun parametre değerlerinin belirlenmesinde deneme yanılma yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan parametreler ve değerleri şu şekildedir: K-Search = 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 50,100, Number of Neighbours = 4, 6, 8, 15, 22, 30, Angle Threshold (derece cinsinden) = 0.3, 0.5, 1, 3, 3.3, 3.7, 4, 5.5, Curvature Threshold = 0.5, 1, 3. Elde edilen sonuçlar görsel olarak incelenmiş ve çalışma alanları için en uygun parametre değerleri K-Search = 50, Number Of Neighbours = 22, Angle Threshold = 3 ve Curvature Threshold = 1 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Şekil 8 bu parametre değerleri kullanılarak bölütlenen binalara ait nokta kümelerini göstermektedir.

Tablo 1. A1 ve A2 çalışma alanları için kullanılan yüzey normali tahmini ve RGS algoritması parametre değerleri

	Çalışma Alanı	
	A1	A2
Yüzey Normali Tahmini		
Arama Yöntemi	k-d tree	k-d tree
K-Arama	50	50
Bölge Büyütme Bölütleme (RGS)		
En Düşük Küme Büyüklüğü	500	5000
En Yüksek Küme Büyüklüğü	15000	10800
Arama Yöntemi	k-d tree	k-d tree
Komşu Sayısı	22	22
Açı Eşik Değeri (derece)	3	3
Eğrilik Eşik Değeri	1	1



Şekil 8. A1 çalışma alanında RGS algoritması ile bölütlenmiş binalara (26 adet) ait nokta bulutu kümeleri. Her renk ayrı bir binayı temsil etmektedir

Çatı düzlemlerinin çıkarılması için RANSAC (RANdom Sample Consensus) algoritması kullanılmıştır (Zaman, 2018). RANSAC, ilk olarak Fischler ve Bolles (1981) tarafından model parametrelerinin kestirimi için geliştirilmiştir. Algoritmanın esası 3B nokta bulutu verisinden en uygun düzlemin belirlenmesine dayanmaktadır. Algoritma nokta bulutundan rastgele 3 nokta seçer ve düzlem parametrelerini hesaplar. Sonra, belirlenen bir t eşik değerine göre nokta bulutu verisinden hesaplanan düzleme ait olan tüm noktaları belirler.

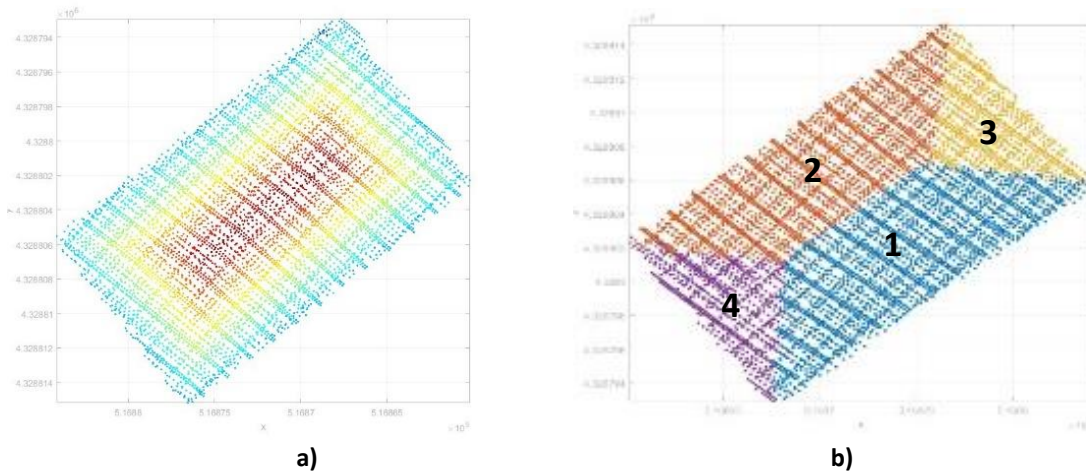
Bu işlemleri N kere tekrarlar ve her defasında, elde edilen sonucu bir önceki ile karşılaştırır. Yeni sonucun daha iyi olması durumunda, öncekinin yerine yenisi alınır. Algoritma için gerekli olan girdi verileri şunlardır: 3B nokta bulutu verisi, tolerans eşik değeri (t), bir düzlemde olası maksimum nokta sayısı (d) ve maksimum iterasyon sayısı (N). Bu çalışmada A1 ve A2 çalışma alanları için belirlenen parametre değerleri Tablo 2' de verilmiştir. Tolerans eşik değeri (t) 0.10 m olarak belirlenmiştir. Bu değer, bina çatılarında bulunan bacalara, çatı pencerelerine vb. ait noktalar ile bina çatılarından aşağıda bulunan duvarlara ait noktaların düzlem noktalarına dahil edilmemesi için, en uygun değer olarak bulunmuştur. Algoritma tarafından izin verilen maksimum iterasyon sayısı (N) Eşitlik 1' e göre 168 olarak hesaplanmıştır.

$$N = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - w^m)} = \frac{\log(1 - 0.99)}{\log(1 - 0.3^3)} \approx 168 \quad (1)$$

Eşitlik 1'de, m düzlem modelini tanımlamak için gerekli minimum nokta sayısını, w modele uygun olan bir noktanın seçilme olasılığını ve p başarılı bir işlemin çalışma olasılığını göstermektedir (RANSAC, 2018). Genellikle 0.90 ile 0.99 arasında alınan p değeri bu çalışmada 0.99 olarak alınmıştır (Bretar, 2008). Bu değer sabit tutularak w değeri deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Bir düzlemde olası maksimum nokta sayısı parametresi (d) değeri, çatı düzlemlerine ait maksimum sayıda noktanın çıkarımı için minimum olacak şekilde belirlenmiştir. Bu nedenle, d parametresi değeri binalardaki çatı düzlemlerine göre farklılık göstermektedir. Düzlemlere ait noktalar tespit edildiğinde bu parametre değeri ile çatı düzlemine yakın sonuçlar veren düzlem noktaları kabul edilmiş ve düzlemsellik özelliği olmayan noktalar ise düzlem dışı noktalar olarak göz ardı edilmiştir. RANSAC algoritması ile çıkarılan A2 çalışma alanı, 1 no'lu binaya ait çatı düzlemleri Şekil 9'da gösterilmiştir.

Tablo 2. RANSAC algoritması parametre değerleri

Parametre	Değer
Düzlem modeli için gerekli en az nokta sayısı	3 (adet)
Algoritmada izin verilen iterasyon sayısı (N)	168
Tolerans eşik değeri (t)	0.10 m
Bir modelin verilere iyi uyduğunu ileri sürmek için gereken yakın veri noktalarının sayısı (d)	Çalışma alanına göre değişmektedir



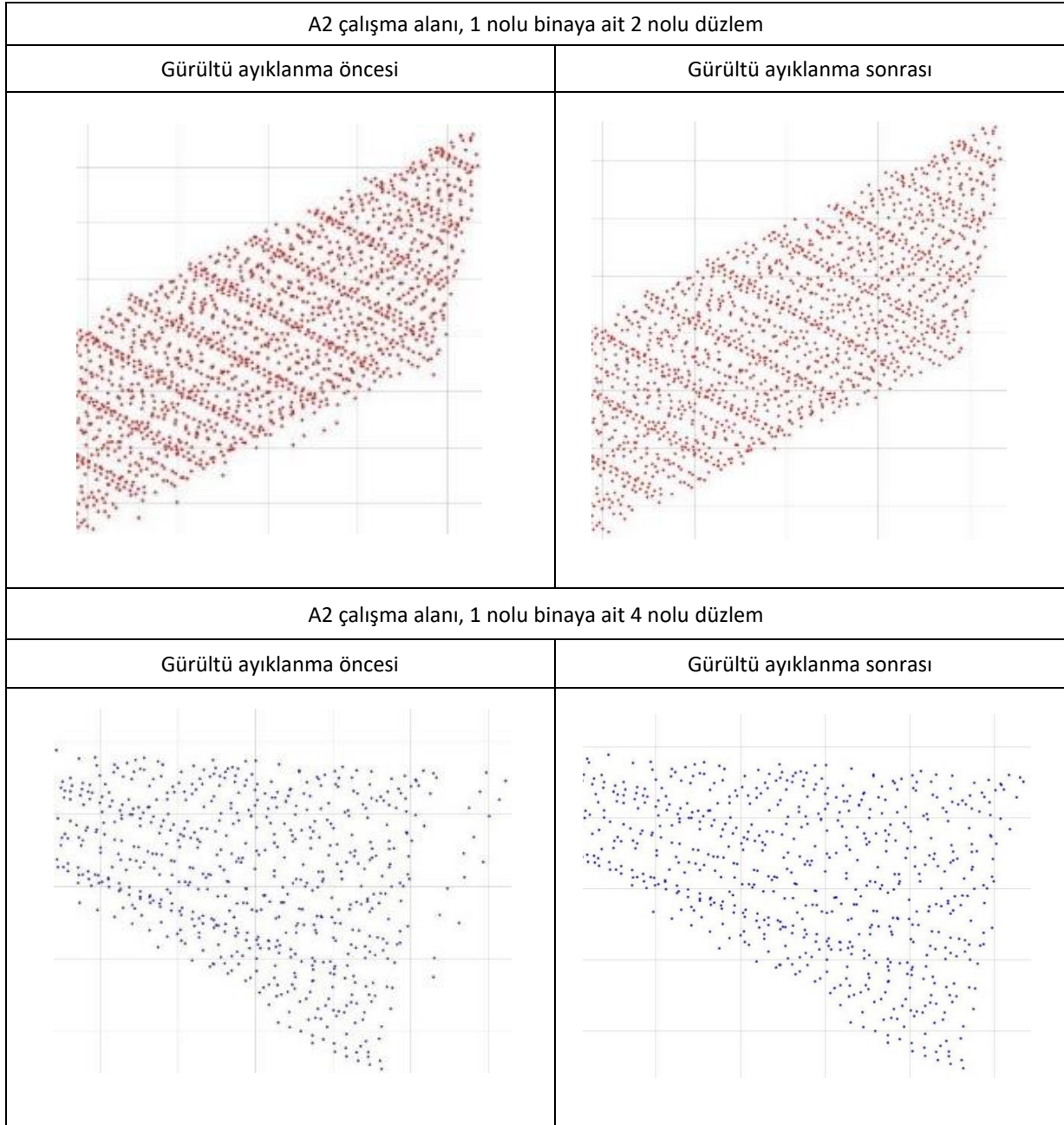
Şekil 9. A2 çalışma alanı 1 no'lu binaya ait; (a) nokta bulutu verisi, b) RANSAC algoritması ile çıkarılan çatı düzlemleri (4 adet)

Çatı düzlemlerinin çıkarılmasından sonra, başka düzlemlere ait ve gürültü olarak nitelendirilen aykırı noktalar Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) algoritması ile ayıklanmıştır (Yarpiz, 2021). DBSCAN algoritması düzlem temsil eden her bir nokta bulutu kümesine uygulanmıştır. Bu algoritma, nesnelerin komşuları ile olan mesafelerini hesaplayarak, belirli bir bölgede belirlenmiş bir eşik değerden fazla nesne bulunan alanları gruplandırmak suretiyle kümeleme işlemini gerçekleştirmektedir (Al-Zand, 2013). DBSCAN algoritmasının iki temel parametresi Eps (ϵ) ve MinPts dir (Bilgin ve Çamurcu, 2005). Eps (ϵ) komşu nesnelerin belirlenmesi için yakınlık mesafesini, MinPts ise Eps (ϵ) komşuluğunda bulunması gerekli minimum komşu sayısını göstermektedir (Al-Zand, 2013). Bu çalışmada en uygun parametre değerlerinin belirlenmesi için, MinPts parametresi değerleri 3, 5, 8 ve 15 olarak seçilmiş ve Eps (ϵ) parametresi değerleri 0.3 ile 1.2 arasında 0.1 artışla değiştirilmiştir.

Yapılan analizler neticesinde, A1 çalışma alanı için, MinPts ve Eps (ϵ) parametre değerleri sırasıyla 15 ve 0.7 ve A2 çalışma alanı için sırasıyla 5 ve 0.4 olarak belirlenmiştir (Tablo 3). A2 çalışma alanı, 1 no'lu binaya ait 2 ve 4 no'lu düzlemlerin gürültü ayıklanması öncesi ve sonrası yakın görüntüleri Şekil 10'da gösterilmiştir.

Tablo 3. A1 ve A2 çalışma alanları DBSCAN algoritması parametre değerleri

A1 Çalışma Alanı		A2 Çalışma Alanı	
MinPts	ϵ	MinPts	ϵ
15	0.7	5	0.4



Şekil 10. A2 çalışma alanı 1 nolu binaya ait düzlemlerin gürültü ayıklanma öncesi ve sonrası gösterimi

4. Doğruluk Analizleri

Önerilen yöntemle çıkarılan çatı düzlemleri doğruluk analizleri, 0.30 m çözünürlüklü ortofoto üzerinden manuel olarak sayısallaştırılmış referans çatı düzlemleri ile karşılaştırılmak suretiyle yapılmıştır. Bunun için, referans düzlemler ile iki boyuta indirgenmiş yöntemin çıkardığı düzlemlere ait nokta bulutu verisi karşılaştırılmış ve Eşitlik 2’de verilen Duyarlık (Precision-p), Bütünlük (Recall-r) ve F-skor (F-skor) değerleri hesaplanmıştır (Carrilho vd. 2017; Chen vd. 2019).

$$p = \frac{TP}{TP + FP} \quad r = \frac{TP}{TP + FN} \quad f - skor = \frac{2}{1/p + 1/r} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de TP (True Positive) Doğru Pozitif, FN (False Negative) Yanlış Negatif, FP (False Positive) Yanlış Pozitif olarak ifade edilmektedir. TP, çıkarılan ve referans düzlem sınırları içerisinde bulunan nokta sayısını, FN, referans düzlem sınırları içerisinde bulunan ancak çıkarılmayan nokta sayısını ve FP, referans düzlem sınırları içerisinde olmayan çıkarılan nokta sayısını ifade etmektedir (Chen vd. 2019).

5. Bulgular

Yer filtreleme işleminden önce, zeminden aşağıda bulunan gürültü noktaları ayıklandığından ve Lasground modülünün step size parametresi değeri alandaki en büyük nesne olan bina büyüklüğüne göre 10 m olarak belirlendiğinden, filtreleme işlemi ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yer filtreleme işlemiyle ayrılan zemin üstü noktalarının temsil ettiği bina ve ağaç sınıflarının tespit edilmesi için Lasclassify modülü ground offset parametresi değeri, çalışma alanlarındaki en alçak bina yüksekliği dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu yükseklik değerinin üzerinde hangi noktaların çatıya dahil olduğunu belirten building planarity standart sapma parametresi değeri, diğer parametreler sabit tutulurken artırıldığında, çatıya daha fazla nokta dahil olmaktadır. Bu nedenle, ağaçların bina üzerine sarkması ve arazide yükseklik farklarının olması durumlarında sınıflandırma işlemi hatalı sonuçlar üretebilmektedir. Dolayısıyla, bina sınıfına ait nokta bulutunun başarılı bir şekilde çıkarılabilmesi için yukarıdaki hususların da dikkate alınarak en uygun parametre değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. A1 ve A2 çalışma alanları için hesaplanan TP, FP, FN, p, r ve F-skor değerleri sırasıyla Tablo 4 ve 5’te verilmiştir.

Tablo 4. A1 çalışma alanı için hesaplanan TP, FP, FN, p, r ve F-skor değerleri

BİNA	DÜZLEM	TP	FP	FN	p	r	F-skor
4	1	478	97	120	83%	80%	82%
	2	544	20	14	%96	%97	%97
	3	111	111	79	%50	%58	%54
5	1	497	184	139	%73	%78	%75
	2	605	106	0	%85	%100	%92
	3	385	106	176	%78	%69	%73
6	1	511	208	83	%71	%86	%78
	2	481	89	0	%84	%100	%92
	3	379	10	206	%97	%65	%78
7	1	899	105	0	%90	%100	%94
	2	804	24	43	%97	%95	%96
	3	552	44	100	%93	%85	%88
8	1	693	71	0	%91	%100	%95
	2	510	22	20	%96	%96	%96
	3	255	16	19	%94	%93	%94
9	1	777	57	6	%93	%99	%96
	2	518	3	49	%99	%91	%95
	3	203	55	31	%79	%87	%83

Tablo 4'ün devamı

10	1	791	75	0	%91	%100	%95
	2	589	240	63	%71	%90	%80
	3	324	15	227	%96	%59	%73
11	1	781	67	79	%92	%91	%91
	2	567	89	0	%86	%100	%93
	3	523	6	50	%99	%91	%95
12	1	650	35	0	%95	%100	%97
	2	518	64	25	%89	%95	%92
	3	338	5	63	%99	%84	%91
13	1	511	179	1	%74	%100	%85
	2	532	21	137	%96	%80	%87
	3	284	49	46	%85	%86	%86
14	1	1208	34	29	%97	%98	%97
	2	393	294	87	%57	%82	%67
	3	253	86	265	%75	%49	%59
15	1	1126	26	7	%98	%99	%99
	2	576	59	3	%91	%99	%95
	3	499	4	44	%99	%92	%95
16	1	1168	47	0	%96	%100	%98
	2	569	132	22	%81	%96	%88
	3	479	0	131	%100	%79	%88
17	1	309	274	59	%53	%84	%65
	2	524	54	52	%91	%91	%91
	3	290	65	252	%82	%54	%65
18	1	1077	77	9	%93	%99	%96
	2	461	261	24	%64	%95	%76
	3	18	36	241	%33	%7	%12
19	1	747	96	0	%89	%100	%94
	2	582	7	57	%99	%91	%95
	3	251	47	2	%84	%99	%91
20	1	702	115	0	%86	%100	%92
	2	542	16	52	%97	%91	%94
	3	192	9	4	%96	%98	%97
21	1	1135	36	64	%97	%95	%96
	2	648	150	0	%81	%100	%90
	3	555	32	79	%95	%88	%91
22	1	866	17	39	%98	%96	%97
	2	274	209	0	%57	%100	%72
	3	211	15	168	%93	%56	%70
23	1	1167	15	10	%99	%99	%99
	2	525	243	7	%68	%99	%81
	3	396	33	233	%92	%63	%75
24	1	1124	42	32	%96	%97	%97
	2	651	213	3	%75	%100	%86
	3	307	2	178	%99	%63	%77

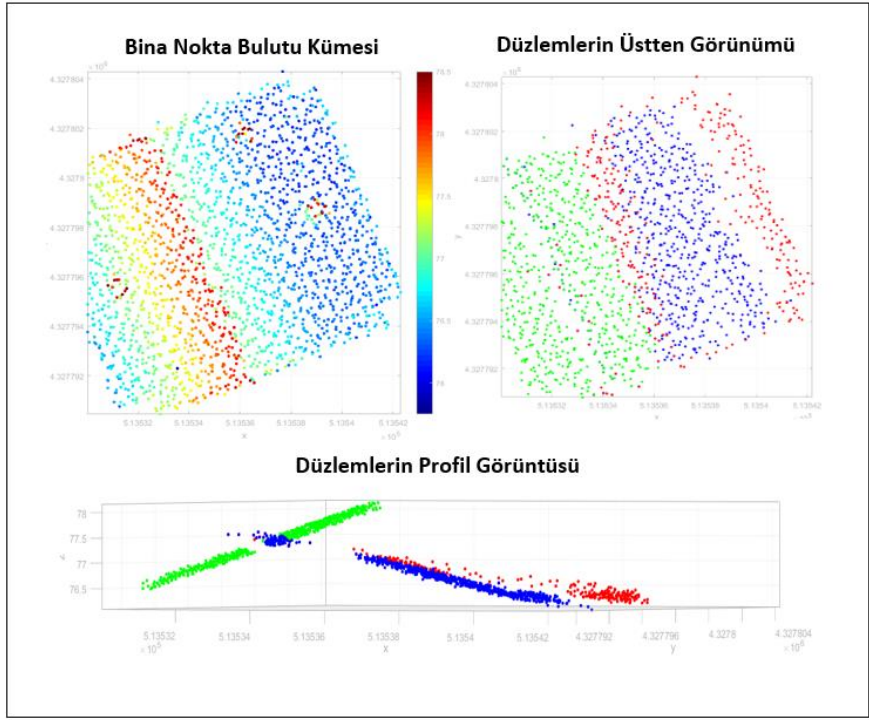
Tablo 4'ün devamı

25	1	908	22	12	%98	%99	%98
	2	463	140	15	%77	%97	%86
	3	149	25	130	%86	%53	%66
26	1	917	1	0	%100	%100	%100
	2	211	177	19	%54	%92	%68
	3	172	36	177	%83	%49	%62
ORTALAMA		554.42	77.10	62.06	%86	%87	%85

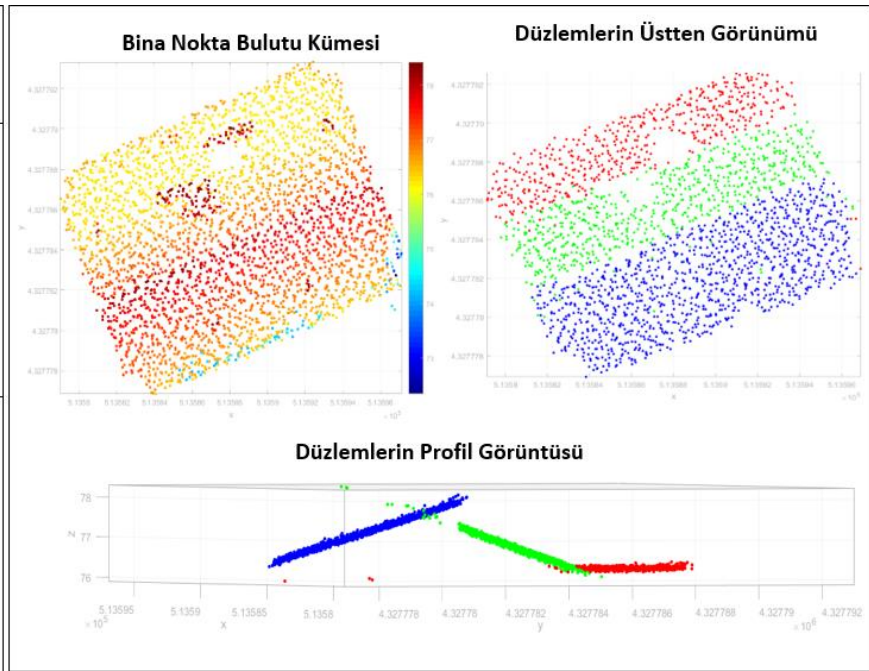
Tablo 5. A2 çalışma alanı için hesaplanan TP, FP, FN, p, r ve F-skor değerleri

BİNA	DÜZLEM	TP	FP	FN	p	r	F-skor
1	1	1853	458	0	%80	%100	%89
	2	2071	143	156	%94	%93	%93
	3	751	81	79	%90	%90	%90
	4	673	81	214	%89	%76	%82
2	1	2275	288	5	%89	%100	%94
	2	2145	197	121	%92	%95	%93
	3	1227	12	109	%99	%92	%95
	4	1137	60	34	%95	%97	%96
3	1	2877	608	16	%83	%99	%90
	2	3323	113	246	%97	%93	%95
	3	1612	53	182	%97	%90	%93
	4	1483	83	198	%95	%88	%91
ORTALAMA		1785.58	181.42	113.33	%92	%93	%92

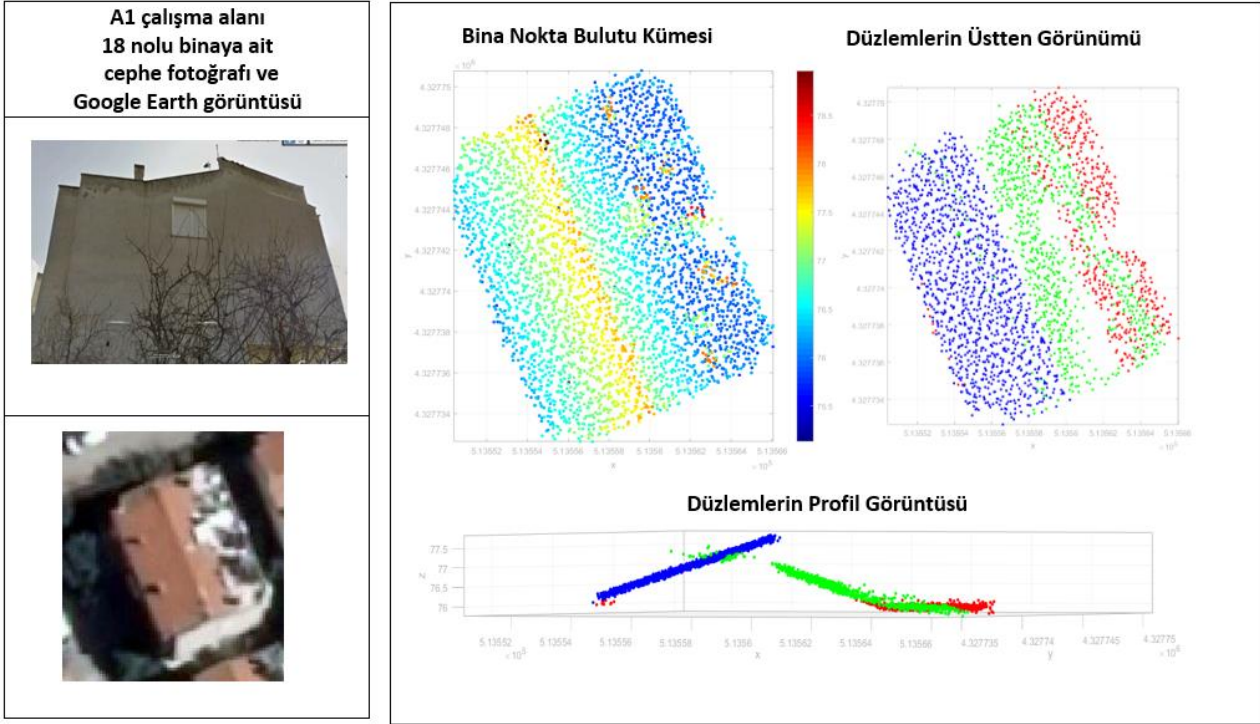
A1 çalışma alanı için ortalama p, r ve F-skor değerleri sırasıyla, %86, %87, %85 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4). Bu değerler A2 çalışma alanı için sırasıyla, %92, %93 ve %92 olarak hesaplanmıştır (Tablo 5). F-skor değerinin daha kullanışlı bir ölçü olduğu belirtilmektedir (Carrilho vd. 2017). Dolayısıyla, hesaplanan doğruluk değerleri F-skor değerine göre gruplandırılmıştır. Gruplandırma, Kötü (0-50), Orta (50-70), İyi (71-85) ve Çok İyi (86-100) şeklinde yapılmıştır. A1 çalışma alanındaki binaların neredeyse tamamında 3 çatı düzlemi (1 ve 3 no'lu binalarda 2 çatı düzlemi vardır) bulunurken, A2 çalışma alanındaki binalarda 4 çatı düzlemi bulunmaktadır. Binalara ait nokta bulutu kümelerine RANSAC algoritması uygulandığında, önce mavi (1 no'lu düzlem), sonra yeşil (2 no'lu düzlem) ve son olarak da kırmızı (3 no'lu düzlem) çatı düzlemlerine ait noktalar çıkarılmıştır (Şekil 11). Sonuçlar doğruluk değerlerinin gruplamasına göre analiz edildiğinde, Şekil 11a'da gösterilen A1 çalışma alanı 4 no'lu binaya ait 1. düzlem iyi, 2. düzlem çok iyi ve 3. düzlem ise orta düzey grubunda yer almaktadır. Şekil 11b'de gösterilen 15 no'lu binaya ait tüm düzlemler çok iyi düzey grubunda yer almaktadır. Şekil 11c'de gösterilen 18 no'lu binaya ait 1. düzlem çok iyi, 2. düzlem iyi ve 3. düzlem ise kötü düzey grubunda yer almaktadır. Yine, Şekil 11d'de gösterilen 25 no'lu binaya ait 1. ve 2. düzlemler çok iyi, 3. düzlem ise orta düzey grubunda yer almaktadır. Şekil 9'da gösterilen A2 çalışma alanı 1 no'lu binaya ait 4. düzlem iyi diğer düzlemler ise çok iyi düzey grubunda yer almıştır. Bu çalışma alanındaki 2 ve 3 no'lu binalara ait tüm düzlemler ise çok iyi doğruluk düzeyi grubunda yer almışlardır.



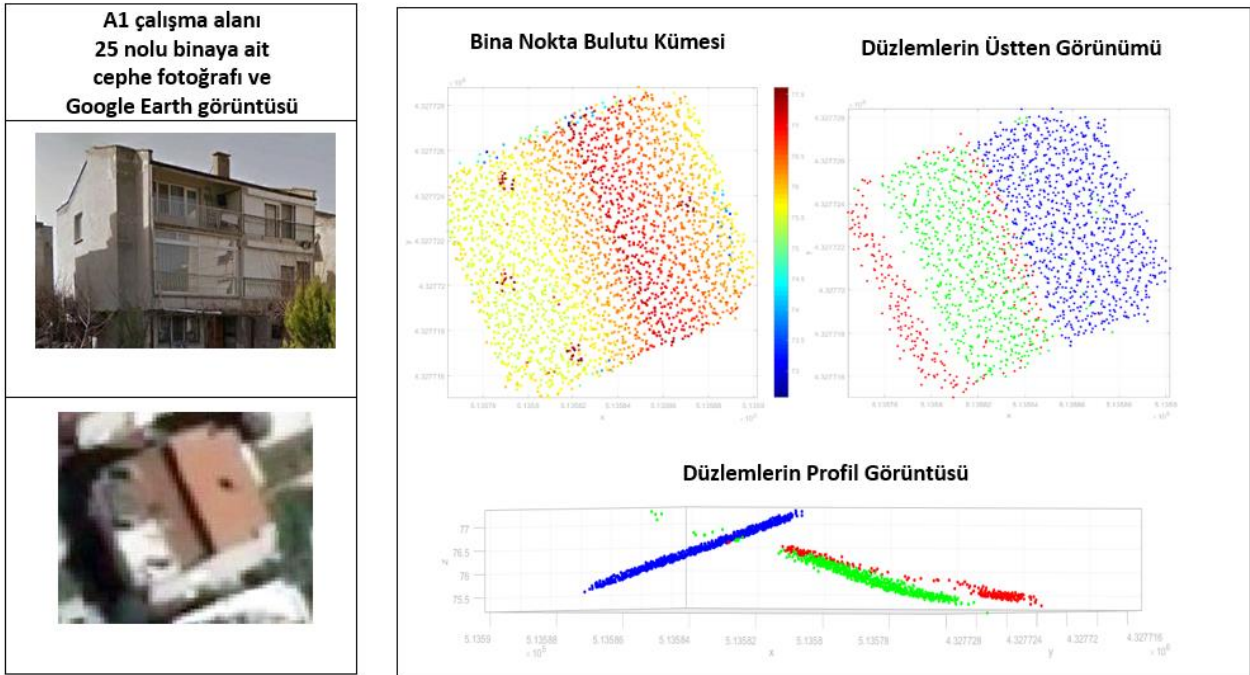
a)



b)



c)



d)

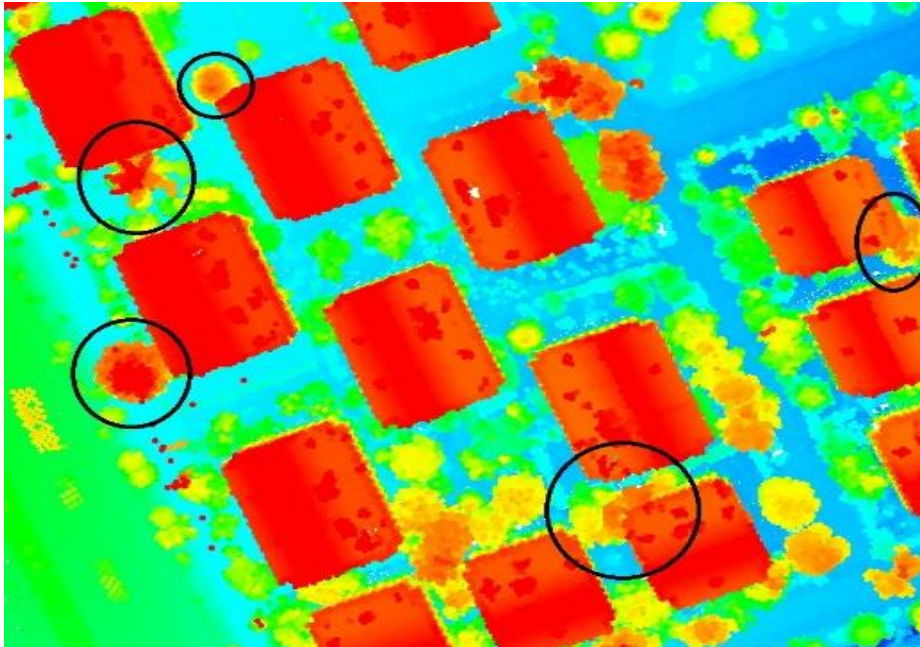
Şekil 11. A1 çalışma alanından seçilen binalara ait bina cephesi fotoğrafları, Google Earth görüntüsü ve nokta bulutu görüntüsü. a) 4 nolu bina b) 15 nolu bina c) 18 nolu bina d) 25 nolu bina. Mavi, yeşil ve kırmızı renkleri sırasıyla 1, 2 ve 3 nolu düzlemleri göstermektedir

A1 çalışma alanında bazı binalara ait çatı düzlemlerinde başarı oranının göreceli daha düşük çıkmasının nedeni, RANSAC algoritmasının komşu düzlemlere ait bazı noktaları çıkarılan düzleme dahil etmesidir. Bir düzlemin sınırsız büyüklükte olmasından dolayı bu tür noktaların olması aslında beklenen bir durumdur.

Nokta yoğunluğunun daha yüksek olması ve bina çatı geometrisinin daha düzgün olması nedeniyle, A2 çalışma alanında tüm düzlemler için p, r ve F-skor değerleri %80 üzerinde hesaplanmış ve dolayısıyla, yöntem bu çalışma alanında daha başarılı sonuçlar üretmiştir.

Bu çalışma alanında, 1 no'lu binadan çıkarılan düzlemlerden; 1 no'lu düzlem için hesaplanan p değeri %80 iken, diğer düzlemler için hesaplanan p değeri %90 mertebesindedir. Bu binaya ait düzlemlerden; en düşük r değerine (%76) 4 no'lu düzlem sahipken, diğer düzlemler için hesaplanan r değerleri %90 ve üzerindedir. Dolayısıyla, en düşük F-skor değeri de (%82) 4 no'lu düzleme ait olup diğer düzlemler için hesaplanan F-skor değerleri %90 mertebesindedir. Bu çalışma alanındaki 2 no'lu binadan çıkarılan tüm düzlemler için hesaplanan p değerleri %89 üzerindedir. Benzer şekilde, tüm düzlemler için hesaplanan r ve F-skor değerleri de %90 üzerinde olup yöntem bu binaya ait düzlemlerin çıkarılmasında oldukça başarılı sonuçlar üretmiştir. Bu çalışma alanındaki 3 no'lu binadan çıkarılan düzlemlerden 1 no'lu düzlem 83% ile en düşük p değerine sahiptir. Diğer düzlemler için hesaplanan p değerleri %95 üzerindedir. Bu binaya ait düzlemler için hesaplanan r değerleri %88 üzerinde, F-skor değerleri de %90 üzerinde hesaplanmış olup yine yöntemin başarısını göstermektedir.

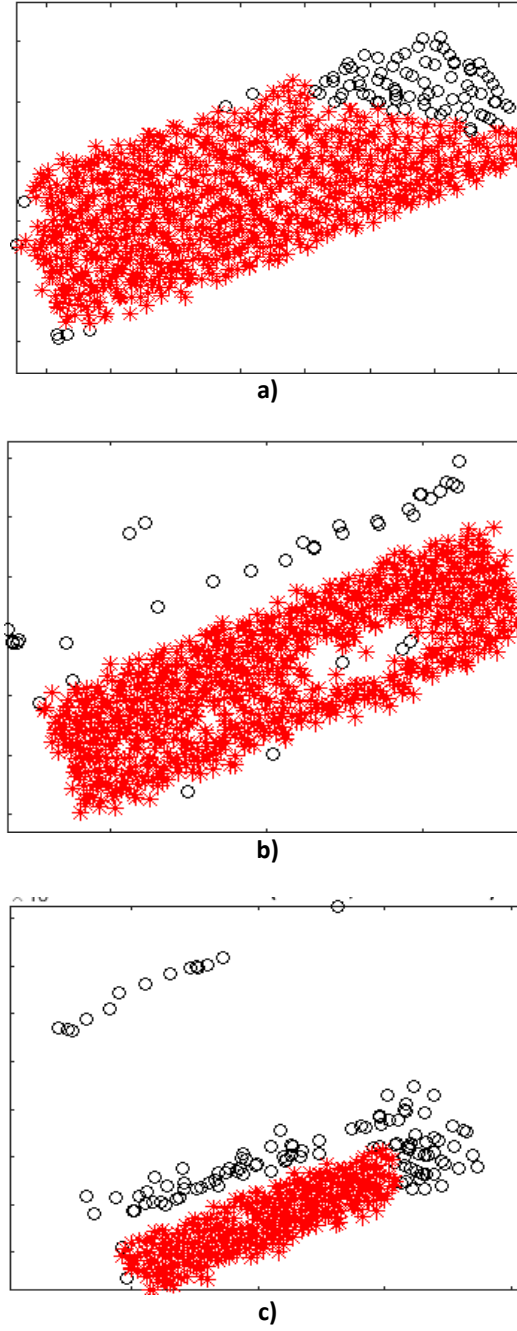
RANSAC algoritması ile çıkarılan bir düzleme ait noktaların arasında ve düzlemin kenarlarında boşluklar oluşabilmektedir. Bu boşlukların oluşmasında temel etkenlerden birisi, bu çalışmada tüm binalar için tek değer olarak alınmış olan mesafe eşik değeri parametresi değeridir. Tüm binalar için aynı parametre değerinin kullanılması gürültü noktalarına neden olmuştur. Çatılardaki baca, güneş paneli, TV anteni vb. nesnelere de düzlem noktaları arasında boşlukların oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, yer filtreleme işlemi sonrası ayrılan yüksek bitki örtüsü (ağaçlar) sınıfına ait noktaların binaların üzerlerine sarkan kısımları da (Şekil 12) çıkarılan çatı düzlemlerinde boşluklar oluştururken, binaların çok yakınında ve/veya binalar ile aynı yükseklikte olan bazı ağaçlara ait noktaların da bina sınıfına katıldığı görülmüştür.



Şekil 12. A1 çalışma alanında binalara bitişik konumda olan ağaçların gösterimi

A2 çalışma alanında bulunan binaların çatı geometrisinin daha düzgün olması, çatılarda daha az sayıda baca bulunması, güneş paneli olmaması ve yüksek bitki örtüsü yoğunluğunun daha düşük olmasından dolayı, yöntem bu alanda daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Diğer taraftan, A1 çalışma alanında yer alan binaların üç düzlemden oluşması ve üçgen bir yapıya sahip olmaması (Şekil 11), çatılardaki bacaların yüksek olması, TV antenlerinin çatı üzerlerine konumlandırılmış olması ve çatıların daha karmaşık bir geometriye sahip olmasından dolayı yöntem bu alanda daha düşük doğrulukta sonuçlar üretmiştir.

Çıkarılan düzlemlerde yer alan gürültünün DBSCAN algoritması ile ayıklanması adımıyla, çalışma alanlarındaki tüm binalar için aynı parametre değeri kullanılmıştır. Bu nedenle, A2 çalışma alanına göre farklı şekil ve büyüklükte daha fazla binanın bulunduğu ve nokta yoğunluğunun daha düşük olduğu A1 çalışma alanında, düzlem nokta bulutu verisindeki gürültü noktalarının tespit başarısı beklentinin altında kalmıştır. A1 çalışma alanındaki 10 no'lu binaya ait çatı düzlemlerinde yer alan gürültü noktaları örnek olarak Şekil 13'de gösterilmiştir. Diğer taraftan, A2 çalışma alanındaki tüm binalara ait düzlemlerdeki (toplam 12 adet) gürültünün ayıklanması için aynı parametre değerinin kullanılması neticesinde ise daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu alanda başarı oranını olumlu yönde etkileyen bir diğer etken, bina çatılarının daha düzgün bir geometriye sahip olmasıdır.



Şekil 13. A1 çalışma alanında 10 no'lu binaya ait çatı düzlemlerinde yer alan gürültü noktalarının DBSCAN algoritması ile tespit edilmesine bir örnek

A1 çalışma alanında, algoritmanın düzlem noktaları olarak çıkaramadığı çatıdaki bacaların sebep olduğu boşluklar (Şekil 13b) ve yukarıda bahsedilen diğer nedenlerden kaynaklı oluşan boşluklar (Şekil 13a ve 13c), gürültü noktalarının tespitinde sonuçları olumsuz yönde etkilemiştir. Çatı düzlemlerindeki gürültü noktalarının tespitinde her bir çalışma alanında bulunan tüm binalar için aynı parametre değerlerinin kullanılmasından dolayı, bazı binalarda gürültü olmayan noktaların (çıkarılan düzlemde olması gereken) gürültü noktaları olarak, gürültü noktalarının (çıkarılan düzlemde olmaması gereken) ise gürültü olmayan noktalar olarak tespit edildiği görülmüştür. Çıkarılan düzlemlerdeki gürültünün DBSCAN algoritması ile daha başarılı bir şekilde tespiti için, her bir düzleme ait nokta bulutu verisine ayrı parametre değerlerinin uygulanması gerekir. Ancak, bu yapılan işlemin süresini artıracaktır. Bu nedenle, bu çalışmada kullanılan parametre değerleri farklı iki çalışma alanı için farklı olup her bir çalışma alanında bulunan tüm bina düzlemleri için aynı olarak belirlenmiştir. Yöntemin çıkardığı düzlemlerin doğruluk analizleri, gürültünün temizlenmesi sonrası elde edilen düzlemler üzerinden yapılmıştır. Algoritmanın çıkardığı her bir düzlem için, ayrı DBSCAN algoritma parametre değerlerinin kullanılmaması olmasının sonuçları olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

6. Sonuçlar

Binalar 3B şehir modellerinde önemli rol oynamaktadır. Şehir alanlarında nüfusa dayalı olarak, yeni yerleşim alanlarının belirlenmesi, kentsel dönüşüm vb. yapılaşmalardan dolayı bina nesnelere güncelliğini yitirmektedir. Bu çalışmada, bina çatı düzlemlerinin hızlı, doğru ve güncel çıkarımı için hava LiDAR nokta bulutu verisi kullanılmıştır.

Çalışmada, binalara ait nokta bulutu verisi başarılı bir şekilde ayrılmıştır. Bir binayı temsil eden farklı geometrilere sahip çatı düzlemlerine ait düzlem noktalarını tespit etmek için, her bir binaya ait nokta bulutu kümesine MATLAB ortamında RANSAC algoritması uygulanarak temel büyük çatı düzlemlerinin doğru olarak tespiti sağlanmıştır.

Çalışmada kullanılan LiDAR nokta bulutu verisinin nokta yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı, çatılardaki bacalar üzerine düşen nokta sayısı yüksektir. Ancak, RANSAC algoritması genellikle bacalara ait noktaları, çıkarılan düzlem noktalarına dahil etmemiştir. Bu da elde edilen düzlem çıkarımı sonuçlarının doğruluğunu artırmıştır.

A1 çalışma alanında bazı çatı düzlemlerine ait başarının düşük çıkmasının nedenleri arasında, bu alanda kullanılan veri nokta yoğunluğunun daha düşük olması ve çatıların çok düzgün geometriye sahip olmaması yer almaktadır. A2 çalışma alanında RANSAC algoritması daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu çalışma alanında tüm çatı düzlemleri için p, r ve F-skor değerleri %80 üzerinde hesaplanmış olup yöntemin bu çalışma alanında daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür. A2 çalışma alanı 1 no'lu bina Şekil 9'da ve A1 çalışma alanı 4, 15, 18 ve 25 no'lu binalar Şekil 11'de örnek olarak gösterilmiştir. Bazı binalara ait çatı düzlemlerinde başarısız sonuçların elde edilmesinin ana sebepleri arasında, bina çatı düzlemleri üzerinde boşlukların olması ve bu boşlukların konumsal olarak geniş yer kaplaması, çıkarılan düzlem noktalarının aynı hizada olmaması (bir başka deyişle düzlem sınırlarının zig-zag'lı yapıda olması), her iki çalışma alanındaki tüm bina düzlemleri için aynı RANSAC parametre değerinin (Tablo 2) kullanılmış olması ve DBSCAN algoritması parametre değerlerinin (Tablo 3) her bir çalışma alanında bulunan tüm bina düzlemleri için aynı olması yer almaktadır.

Yöntemin bir avantajı, çatı düzlemi çıkarımının bölge büyüme bölütleme, RANSAC ve DBSCAN algoritmalarının entegrasyonu ortamında gerçekleştirmesidir. Yöntemin bir diğer avantajı binalara ait nokta bulutu veri kümelerinin öncelikle ayrıştırılması ve sonrasında RANSAC algoritmasının her binaya ait veriye ayrı ayrı uygulanması ve böylece çok karmaşık yapıda olmayan çatılardaki düzlemlerin çıkarılmasında oldukça yüksek performans sağlamasıdır. Dezavantajı: Bölge Büyütme Bölütleme, RANSAC ve DBSCAN algoritmaları parametre değerlerinin kullanıcı tarafından girilmesidir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan LiDAR verilerini sağlayan Harita Genel Müdürlüğü'ne çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Al-Zand, H. A. R. (2013). *Bölümleyici kümeleme algoritmalarının farklı veri yoğunluklarında karşılaştırması* (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara.
- Awrangjeb, M., & Lu, G. (2013, November). Building roof plane extraction from LiDAR data. In *International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), 2013. Proceedings.* (pp. 1-8). IEEE.
- Awrangjeb, M., & Fraser, C. S. (2013). Rule-based segmentation of LiDAR point cloud for automatic extraction of building roof planes. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-3/W3, 1-6. doi: 10.5194/isprsannals-II-3-W3-1-2013.
- Axelsson, P. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 23(B4), 110–117.
- Bilgin, T. T., & Çamurcu, Y. (2005). DBSCAN, OPTICS ve K-Means kümeleme algoritmalarının uygulamalı karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 8(2), 139–145.
- Bretar, F. (2008). Feature extraction from LiDAR data in urban areas. J. Shan & C. K. Toth (Eds.), *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing* (pp. 403-418), CRC Press.
- Canaz, S., Karsli, F., Guneroglu A., & Dihkan, M. (2015, Mayıs). LiDAR verileri kullanılarak göl sınırlarının otomatik olarak belirlenmesi. *TUFUAB III. Teknik Sempozyumu*, 2015. (pp. 287–293).
- Carrilho, A., Ivanova, I., & Galo, M. (2017). Quality assessment for automatic LiDAR data classification methods. In *XVIII SBSR—Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos—SP, Proceedings.* (pp. 6772-6779).
- Chen, B., Shi, S., Sun, J., Gong, W., Yang, J., Du, L., Guo, K., Wang, B., & Chen, B. (2019). Hyperspectral lidar point cloud segmentation based on geometric and spectral information. *Optics Express*, 27(17), 24043-24059. doi: 10.1364/OE.27.024043.
- Chen, D., Zhang, L., Li, J., & Liu, R. (2012). Urban building roof segmentation from airborne LiDAR point clouds. *International Journal of Remote Sensing*, 33(20), 6497-6515. doi: 10.1080/01431161.2012.690083.

- Costantino, D., & Angelini, M. G. (2011). Features and ground automatic extraction from airborne lidar data. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-5/W12, 19–24. doi : 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W12-19-2011.
- Çömert, R., & Avdan, U. (2014, Ekim). Yersel lazer tarayıcı verilerinden basit geometrik yüzeylerin otomatik olarak çıkarılması. 5. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*. 14-17 Ekim, İstanbul.
- Demir, N. (2016, Ekim). LiDAR Verisinden Çatı Düzlemlerinin Otomatik Çıkarılması. 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, Proceedings. (pp. 133-138).
- Dorninger, P., & Nothegger, C. (2007). 3D Segmentation of unstructured point clouds for building modelling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(3/W49A), 191–196.
- DSM/DTM Filtering. (2021, June 6). International school on LiDAR Technology. Retrieved from http://home.iitk.ac.in/~blohani/LiDARSchool2008/Downloads/DTM_pfeifer.pdf
- Fan, Y., Wang, M., Geng, N., Hu, S., Chang, J., & Zhang, J. J. (2018). A self-adaptive segmentation method for a point cloud. *Visual Computer*, 34(5), 659–673. doi: 10.1007/s00371-017-1405-6
- Fischler, M. A., & Bolles, R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Graphics and Image Processing*, 24(6), 381-395.
- Gönültaş, F., Atik, M. E., & Duran, Z. (2020). Extraction of roof planes from different point clouds using ransac algorithm. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(2), 165-171. doi:10.30897/ijgeo.715510
- Karsli, F., & Pfeifer, N. (2012, Ekim). Ransac algoritması ile LiDAR verilerinden otomatik detay çıkarımı. IV. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*. 16-19 Ekim, Zonguldak.
- Kayı, A., Erdoğan, M., & Eker, O. (2015). Optech HA-500 ve Riegl LMS- Q1560 ile gerçekleştirilen LiDAR test sonuçları. *Harita Dergisi*, 153, 42–46.
- LAStools. (2021a, Haziran 6). *ALS Filtering*. Retrieved from <http://lbi-archpro.org/als-filtering/lbi-project/results/lastools/filtering-algorithm-2>
- LAStools. (2021b, Haziran 6). *ALS Filtering. Guidelines*. Retrieved from <http://lbi-archpro.org/als-filtering/lbi-project/results/lastools/guidelines-2>
- LAStools. (2021c, Haziran 6). *Rapidlasso GmbH. lasground*. Retrieved from <https://rapidlasso.com/lastools/lasground/>
- LAStools. (2021d, Haziran 6). *Rapidlasso GmbH. lasclassify*. Retrieved from <https://rapidlasso.com/lastools/lasclassify/>
- Maltezos, E., & Ioannidis, C. (2016). Automatic extraction of building roof planes from airborne lidar data applying an extended 3d randomized hough transform. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, III-3, 209-216. doi: 10.5194/isprs-annals-III-3-209-2016.
- Morgan, M., & Tempfli, K. (2000). Automatic building extraction from airborne laser scanning data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII-B3, 616–623.
- Meng, X., Currit, N., & Zhao, K. (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing*, 2(3), 833–860. doi: 10.3390/rs2030833.
- PCL. (2021a, Haziran 6). *Point Cloud Library (PCL) tutorials. Region growing segmentation*. Retrieved from https://pcl.readthedocs.io/projects/tutorials/en/latest/region_growing_segmentation.html#region-growing-segmentation
- PCL. (2021b, Haziran 6). *Point Cloud Library tutorials. Estimating Surface Normals in a PointCloud*. Retrieved from https://pcl.readthedocs.io/projects/tutorials/en/latest/normal_estimation.html#normal-estimation
- RANSAC. (2018, Ocak 22). *RANdom SAmple Consensus (RANSAC)*. Retrieved from <http://www.math-info.univ-paris5.fr/~lomn/Cours/CV/SeqVideo/Material/RANSAC-tutorial.pdf>
- Rusu, R. B. (2010). Semantic 3D Object Maps for Everyday Manipulation in Human Living Environments. *Künstl Intell*, 24, 345–348. doi: 10.1007/s13218-010-0059-6.
- Sithole, G., & Vosselman, G. (2003). *Report: ISPRS Comparison of Filters*. Retrieved from <https://www.itc.nl/isprs/wgIII-3/filtertest/report05082003.pdf>
- Tarsha-Kurdi, F., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2007). Hough-transform and extended ransac algorithms for automatic detection of 3d building roof planes from LiDAR data. *ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Systems*, XXXVI, 3/W52, 407-412.
- Vosselman, G., & Dijkman, S. (2001). 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIV-3/W4, 37-43.
- Wei, S. (2008). Building boundary extraction base on LiDAR point clouds data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII-B3b, 157–161.
- Yarpiz. (2021, Haziran 6). Implementation of Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) in MATLAB. Retrieved from <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52905-dbscan-clustering-algorithm>

Zaman, T. (2018, Ocak 22). 3D RANSAC (get planes from point clouds). Retrieved from <http://www.timzaman.com/2011/03/3d-ransacplanaire-oppervlakken-uit-puntwolken/>

3D Dense Reconstruction of Road Surface from UAV Images and Comparison of SfM Based Software Performance İHA Görüntülerinden Yol Yüzeyinin 3B Yoğun Rekonstrüksiyonu ve SfM Tabanlı Yazılımların Performansının Karşılaştırılması

Mustafa Zeybek^{1*}, Serkan Biçici²

¹Selçuk University, Guneysinir Vocational High School, Architecture and Urban Planning, 42490, Konya, Turkey.

²Artvin Çoruh University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, 08100, Artvin, Turkey.

ORIGINAL PAPER

*Corresponding author:

Mustafa Zeybek
mzeybek@selcuk.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.983251

Article history:

Received: 15.08.2021

Accepted: 16.09.2021

Published: 29.09.2021

Abstract

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology is one of the fastest-growing technologies especially used in image processing. Structure-from-Motion (SfM) based software are usually used to convert two-dimensional UAV-based images into three-dimensional (3D) data. Then, objects such as buildings, trees, and roads can be classified from the 3D data for further analysis. In this study, the road surface generated from 3D data was evaluated. There are several factors that affect the accuracy of the 3D data. In this study, two factors, namely UAV flight altitude and SfM based software, were evaluated. Two different flight altitudes, which were 35 meters and 50 meters, were used. It was found that the lower flights with closer altitudes did not make a significant difference on the results and produced similar results. Another factor is different SfM based software. Two well-known SfM based software were used in this study, which were the Agisoft Metashape and Pix4D Mapper. In this case study, it was found that the Agisoft Metashape software produced more accurate and faster results than Pix4D Mapper software.

Keywords: UAV, 3D, Road surface, SfM, Software

Özet

İnsansız Hava Aracı (İHA) teknolojisi, özellikle görüntü işlemede kullanılan en hızlı büyüyen teknolojilerden biridir. Yapıdan Hareket (SfM) tabanlı yazılımlar genellikle iki boyutlu İHA tabanlı görüntülerin üç boyutlu (3B) verilere dönüştürülmesinde kullanılır. Daha sonra binalar, ağaçlar ve yollar gibi nesnelere daha fazla analiz için 3B verilerden sınıflandırılabilir. Bu çalışmada, 3 boyutlu verilerden yol yüzeyi değerlendirilmiştir. 3B verilerin doğruluğunu etkileyen birkaç faktör vardır. Bu çalışmada, İHA uçuş yüksekliği ve SfM tabanlı yazılım olmak üzere iki faktör değerlendirilmiştir. 35 metre ve 50 metre olmak üzere iki farklı uçuş irtifası kullanıldı. Alçak ve birbirine yakın uçuş irtifalarının sonuçlar üzerinde önemli bir fark yaratmadığı ve yakın sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Diğer bir faktör ise farklı SfM tabanlı yazılımlardır. Bu çalışmada Agisoft Metashape ve Pix4D Mapper olmak üzere iki iyi bilinen SfM tabanlı yazılım kullanılmıştır. Bu çalışmada, Agisoft Metashape yazılımının Pix4D Mapper yazılımına göre daha doğru ve hızlı sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İHA, 3B, Yol yüzeyi, SfM, Yazılım

1. Introduction

The mapping of road surface and its surroundings is important for various applications ranging from road safety and planning to road comfort (Biçici and Zeybek, 2021; Zeybek and Şanlıoğlu, 2019). Therefore, several methods and technologies have been introduced to obtain road surface and its environment. One common way is to extract road surfaces from three-dimensional (3D) data (Biçici and Zeybek, 2021; Jiménez-Jiménez et al. 2021; Zeybek and Şanlıoğlu, 2019).

There are several technologies to collect 3D data. For example, the mobile LiDAR scanning (MLS) system is one of them. In the MLS surveying technique, a laser scanner is usually mounted on the vehicle. The vehicle travels along the road and obtains 3D data of the road surface and its surroundings by sending and receiving a signal. In this way, MLS systems provide a highly dense 3D point cloud with fast and high precision, providing accurate 3D data. Several studies from different fields have proven its effectiveness and accuracy in 3D mapping applications along with corridors (Guan et al. 2016; Tepeköylü, 2016). However, LiDAR technology is expensive. In addition, obstacles in front of the laser, such as the trees and vehicles, might cause a gap in the 3D data.

The development of smaller and lower cost sensors such as sensors on unmanned aerial vehicle (UAV) is also seen as the potential of these surveying tools to develop 3D data with high resolution and accuracy. Therefore, UAV is one of the fastest-growing technologies used in many disciplines (Biçici and Zeybek, 2021; Zeybek and Biçici, 2021). In this method, images taken from UAV flights are converted into 3D data using Structure-from-Motion (SfM) based software. However, there are several factors that affect the accuracy of the 3D data. In this study, two factors, namely UAV flight altitude and SfM based software, were evaluated.

The remainder of this manuscript is organized as follows: First, the proposed pipeline is summarized. Then, the results and discussion are presented in the next section. Finally, the manuscript ends with the conclusion section.

2. Material and Methods

The overall study is presented in Figure 1. First, the UAV flew over 35 and 50 meters above the study area and took several images. Then, two-dimensional images were converted into a 3D point cloud using two commercial SfM based software, namely, *Agisoft Metashape* and *Pix4D Mapper*. Two flight altitudes and two commercial software led to four 3D point clouds of the same interested region. For the rest of this manuscript, these four-point clouds are referred to as *Agisoft-35m*, *Agisoft-50m*, *Pix4D-35m*, and *Pix4D-50m*. Then, the road surface was extracted manually from these four-point clouds. Finally, the road surfaces clipped from four-point clouds were compared with the road surface extracted via the MLS technology to assess the effect of the UAV flight altitude and SfM based software. For this purpose, road surface extracted from the MLS technology was used as reference data since MLS technology produces more accurate 3D data than UAV image-based point clouds.

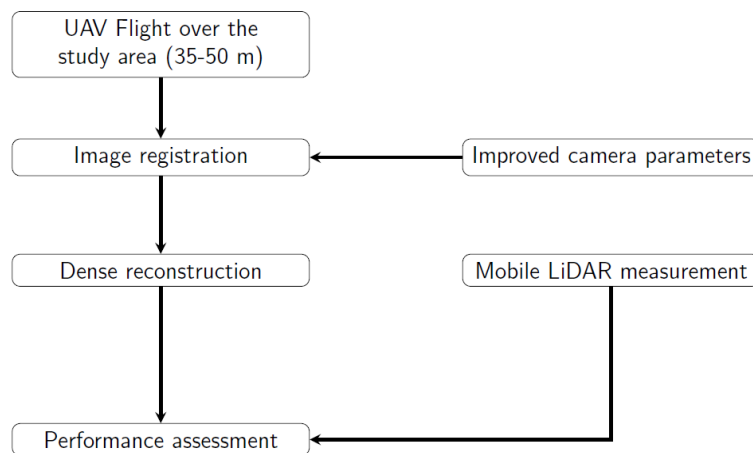


Figure 1. Flowchart of the overall study

The study area is located in Konya, a city in the middle-south of Turkey (see Figure 2). The MLS trajectory can also be seen in Figure 2. The MLS system collected data for the road in the study area and the roads in the other area for another mapping service. However, this study focuses only on the road in the study area, which is shown in the blue rectangle in Figure 2. The road focused on in this study is a local road without raised curb with one lane in each direction. Approximately 310 meters of the road was inspected in this study.

2.1 UAV Image Acquisition

The UAV used in this study was a DJI Phantom 4 RTK (P4RTK), which is an accurate low-altitude UAV platform used in many fields (Biçici and Zeybek, 2021; Nex and Remondino, 2013; Ruzgiene et al. 2015). This device was preferred because of its advantages, such as appealing to the end-user, ease of planning, durability, and compactness. Further details on its technical specifications can be found in DJI web page (<https://www.dji.com/phantom-4-rtk>).

P4RTK has the DJI FC6310R camera, Global navigation satellite system (GNSS), and inertial measurement unit (IMU) sensors. With these tools, camera locations with centimetre-level accuracy are obtained. The UAV flew over the study area on February 4, 2020, and 121 and 127 images were taken from 35 and 50 meters, respectively. Since congested traffic might affect the accuracy of the data, data were collected during light traffic hours of the day.

The difference between the images is due to the application of different covering areas during the measurement. Under normal circumstances, more images from 35 meters should be taken at the same area boundaries. However, no image deficiency will affect the road surface.

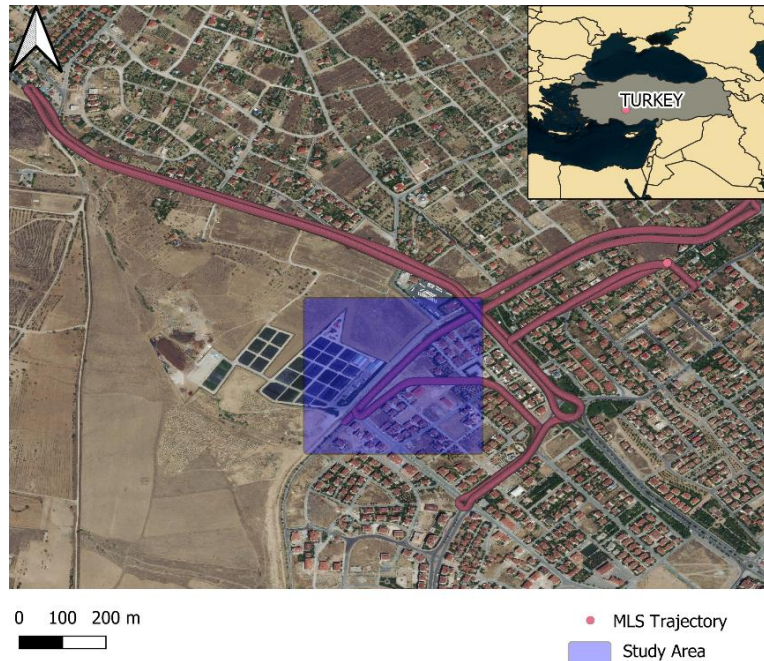


Figure 2. The location of the study area

2.2 Image Processing

In recent years, computer vision technology has made significant contributions to 3D modelling research (Biçici and Zeybek, 2021; Wang et al. 2018; Zeybek and Şanlıoğlu, 2019). High-resolution digital images are transformed into high-accurate 3D models. For this, it is possible to generate dense point clouds with multi-image stereo (MVS) and Structure-from-Motion (SfM) algorithms. A detailed explanation of the SfM algorithm can be found in several studies (Wang et al. 2018; Zeybek and Şanlıoğlu, 2019). In this study, two different commercial SfM based software were used to produce a 3D point cloud.

The first software used in this study was *Agisoft Metashape*. PhotoScan, later called Metashape, is a software package developed by the Russian company called Agisoft for 3D model reconstruction from images. It contains algorithms for processing digital images to produce 3D models. Specifically, it uses terrestrial photogrammetry and SfM-based algorithms from multiple locations to process images captured by a non-metric camera. In addition to 3D models, dense point clouds, Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM), and orthomosaics can also be created in this software.

Agisoft Metashape automatically aligns all images and generates 3D models without the need for any pre-processing step. It only needs ground control points (GCP) to convert the models to the geographic coordinate system. Otherwise, there is no need for direct georeferencing. It was produced for the end-user, and it is not needed to be a very skilled photogrammetry specialist. For this reason, many previous studies reported in the literature used this software for 3D modelling applications (Li et al. 2016). It is sufficient that the images with regular or irregular overlap ratios with each other are taken in good light conditions. This data is imported into the software, and 3D models are produced for further analyses.

Pix4D Mapper is another SfM software package that is widely used in the processing of photogrammetric data (Elkhrachy, 2021; Spreitzer et al. 2019). The software interface is user-friendly, and 3D model products are simple to obtain. *Pix4D Mapper* improves the 3D model accuracy using the camera calibration values in its library. It also generates point clouds, Mesh models, DSM, DTM, and orthomosaics.

In addition, it allows to make distance, area, and volume measurements. Finally, it provides a detailed and comprehensive technical report on each stage of 3D data production. This two software follow two basic steps to generate point clouds. The first step is sparse key-point detection and matching. Specifically, after the raw data is imported, the interior and exterior orientation camera parameters are iteratively adjusted. This automatically calculates camera locations and orientations with high accuracy, based on matching key points produced after evaluation and optimization. The second step is the dense point matching between images. Multi-view stereo image matching algorithms are applied to increase the density of the sparse point cloud created by key points and create a dense 3D point cloud model. There must be theoretical differences between the point cloud production procedures employed by these two software. Since they are commercial black-box software, the details on the theory behind the point cloud production is not discussed in this study. In addition, different quality parameters are available in *Agisoft Metashape* and *Pix4D Mapper* software. These parameters affect the accuracy, density, and resolution of the 3D model to be created. The lower the parameter or range, the lower the spatial resolution and accuracy of the created 3D model. 3D models of high accuracy and resolution can be produced by setting high parameter values, which increases the processing time. Therefore, the optimum solution range should be provided. Table 1 and Table 2 presents the parameters used to produce the 3D point cloud in the *Agisoft Metashape* and *Pix4D Mapper* software, respectively.

Table 1. Agisoft Metashape processing parameters

Alignment parameters	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	Yes
Adaptive camera model fitting	No
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild

Table 2. Pix4D Mapper processing parameters.

Processing Options	
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Geolocation Based Internal Parameters Optimization: All prior External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes
Point Cloud Densification details	
Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no

Converting images to a 3D model using SfM based software is very efficient and low cost compared to LiDAR and terrestrial laser scanners, which provide similar measurements and geometry in appropriate conditions for image acquisition moment. In addition to these advantages, software usage has also some disadvantages. It requires a high-performance computer because it is processed graphically as a post-process in office and computer environments. The processing time depends on the number of images and other relevant hardware capabilities such as RAM and high-performance graphic cards. In addition, the accuracy obtained with image-based methods is lower than the accuracy values obtained from terrestrial laser scanners. Table 3 shows the processing times and densities of the point clouds produced with each software on a system with Windows 10 OS, 64-bit processor, 32GB RAM, i9-10850K CPU @3.60GHz NVIDIA GeForce GTX 1660 SUPER graphic card.

It is found that *Agisoft Metashape* software was faster than *Pix4D Mapper* software in producing 3D data. Different computer specifications may lead to different processing times when using this two software to produce a 3D point cloud. Table 3 also presents the average grid density for two software and two flight altitudes. As expected, images from 35 meter-altitude flight produced a denser point cloud than those from 50 meter-altitude flight.

Table 3. Processing time performance of the software.

Point Clouds Groups	Image	Initial Processing Time	Dense Reconstruction of Point Cloud	Average Grid Density (per m ²)
Pix4D-35m	121 (100%)	6 minutes 56 seconds	25 minutes 59 seconds	1908
Agisoft-35m	121 (100%)	58 seconds	19 minutes 51 seconds	2318
Pix4D-50m	127 (100%)	6 minutes 41 seconds	20 minutes 57 seconds	1064
Agisoft-50m	127 (100%)	2 minutes 42 seconds	21 minutes 01 seconds	1166

The accuracy is directly related to the quality of the camera since digital images are used to produce the 3D model. Cameras used both in daily use and for measurement purposes are generally in the class of non-metric cameras. These cameras are not actually manufactured for photogrammetric purposes but are widely used because their calibration values are detectable and cost-effective. In addition, the camera calibration used in both software is one of the most important factors that directly and greatly affect the 3D model accuracy. The correct determination of the focal length and image distortion parameters are ensured in two basic ways. The first one is to determine by the preliminary (field) calibration or the self-calibration technique. The self-calibration technique is commonly applied in SfM software. However, ground control points independent of adjustment are of great importance for optimizing and verifying these calibration values. Pre-calibration values were used in this study. Before these measurements, the calibration parameters supported by dense images and viewing angles and obtained using dense ground control points were recorded in *Agisoft Metashape* and *Pix4D Mapper* software formats. These calibration values were obtained with 100 m and 75 m. This method is explained in detail by Zeybek (2021). In this way, high accuracy 3D models were produced from both software.

There are four-point clouds generated from two UAV flight altitudes and two software. Then, road surfaces were extracted manually from these four-point clouds. There are several methods to automatically extract the road surface from the point cloud (Zeybek and Biçici, 2021). However, this study does not focus on the automatic extraction of the road. So, the road extraction was done manually. Finally, four extracted road surfaces were compared with road surfaces extracted from the MLS technique to assess the effect of the UAV flight altitude and software.

2.3 Accuracy Analysis of Point Clouds

The coordinate information of the images provides spatial accuracy to have a certain level of accuracy in 3D digital models with the UAV measurement technique (Jiménez-Jiménez et al. 2021). This may require the collection of ground control points (GCPs) commonly used in practice. These GCPs should obtain true geographic coordinates and be detectable on images. GCPs should be distributed evenly over the measured area. The resulting data quality and spatial accuracy depend on this created reference network. In addition, additional control points (CPs) must be integrated to evaluate the created overhead triangulation pattern and compensation.

GCPs provide a geographic reference to the 3D point cloud while optimizing internal and external orientation parameters in the SfM process. In addition to its advantages, making field measurements brings extra time and cost. Therefore, direct georeferencing techniques are a hot research topic recently. These systems integrate sensitive GNSS receivers and antennas into UAV systems and transition to systems that give GCP accuracy and even better results with RTK or post-process (PPK) algorithms. With direct georeference and good calibration parameters, very high spatial accuracy values are obtained. In this way, the number of GCPs is minimized, and there is almost no need for field measurements. However, an external control measurement must always be performed to check the obtained positional accuracy. Instead of using CP, this study used MLS point cloud data of the test area. Thanks to this dense data, it was possible to analyse better whether the UAV system is sufficient in road surface extraction.

Applications for MLS accuracy studies are available in the literature. MLS systems are today's most effective and high-performance measurement technique to rapidly obtain dense point clouds with high spatial accuracy (Che and Olsen, 2019; Fryskowska and Wróblewski, 2018). In this study, the laser scanner distance measurement accuracy is around 8 mm and the absolute accuracy measures is ± 5 cm. The accuracy test between the point clouds was carried out based on the differences and comparisons between the point clouds.

Another analysis in literature is the digital elevation (DEM) of Difference (DoD) method, which is carried out using the differences in the DEM models in the vertical axis, i.e. the Z direction. Due to this analysis has a limitation and gives information for the only single-axis investigation of deviations, point cloud comparisons were applied in this study.

2.4 Point Cloud Comparison

There are several ways to compare two 3D point clouds (Barnhart and Crosby, 2013; DiFrancesco et al. 2020; Girardeau-Montaut et al. 2005). Point-to-point comparison is one of them. In this method, the closest distance between the point in one point cloud and the point in the other. However, outliers and different point cloud density levels might affect the accuracy of the results. In addition, similar problems might occur for mesh point cloud comparison (Lague et al. 2013). Lague et al. (2013) proposed the Multiscale Model to Model Cloud Comparison (*M3C2*) algorithm, which takes into account the roughness according to the surface normals in the point cloud comparison, detects the average change occurring in this direction, and also calculates the statistical significance of the changes. In this study, point clouds were compared by applying the *M3C2* algorithm. Please note that all point cloud distances/resolutions between points were reduced to 3 cm intervals before comparing point clouds to increase point densities and performance.

3. Results and Discussion

To assess the accuracy of point clouds obtained from two UAV flights and two software, four-point clouds were compared with point clouds obtained from Mobile LiDAR data, which was collected on January 27, 2020. To make the comparison, 1000 points were randomly selected in the MLS point cloud. When selecting these points, it is important to distribute them evenly over the point cloud. Therefore, the distance between these 1000 points was not less than 15 cm. Finally, the deviation from one point cloud to reference point cloud at these 1000 randomly selected points was calculated. Table 4 presents the mean, median, interquartile range (IQR), and standard deviation of the difference across four-point clouds.

Table 4. Statistics results for four-point clouds.

Point Clouds Groups	Sample Size	Mean	Median	IQR	Std
Agisoft-35m	1,000	0.0646	0.0696	0.0209	0.0228
Pix4D-35m	1,000	0.0721	0.0762	0.0239	0.0233
Agisoft-50m	1,000	0.0159	0.0210	0.0265	0.0238
Pix4D-50m	1,000	0.0376	0.0414	0.0247	0.0251

The mean and median of the *Agisoft-35m* and *Agisoft-50m* are lower than the mean and median of the *Pix4D-35m* and *Pix4D-50m*, respectively, as seen in Table 4. This means that the deviations are smaller in *Agisoft Metashape* software than *Pix4D Mapper* software. A similar conclusion can also be observed when comparing the boxplots in Figure 3(e) and Figure 4(e). The boxplots of the *Agisoft-35m* and *Agisoft-50m* are lower than the *Pix4D-35m* and *Pix4D-50m*. This indicates that smaller deviations were obtained in *Agisoft Metashape* software.

In addition, a hypothesis test was used to test if the mean of the two distributions is the same or not. It is important to select the appropriate hypothesis test. Therefore, whether the distributions are parametric or non-parametric needs to be determined. To do that, Shapiro-Wilk and QQplots graphs for the normality test were plotted. Specifically, on the top of Figure 3 and Figure 4, there are histogram diagrams on the left and QQplots on the right. Please note that the data should be distributed around the 45-degree line in QQplots if the data is normally distributed. It was found that the deviations obtained from *Agisoft-35m* and *Pix4D-35* were not normal since they are not distributed around the 45-degree line, as visually seen in Figure 3. Similarly, it was found that the deviations obtained from *Agisoft-50m* and *Pix4D-50* were not normal since they are not distributed around the 45-degree line, as seen visually in Figure 4. Thus, deviations obtained from four-data are not normally distributed samples which means that they are non-parametric. Therefore, the mean comparisons were evaluated using the non-parametric Wilcoxon test.

The p-value is lower than the alpha (which is 0.05) comparison value, and the hypothesis is rejected. This means that both sample groups have different characteristics from each other in 35 meters and 50 meters data.

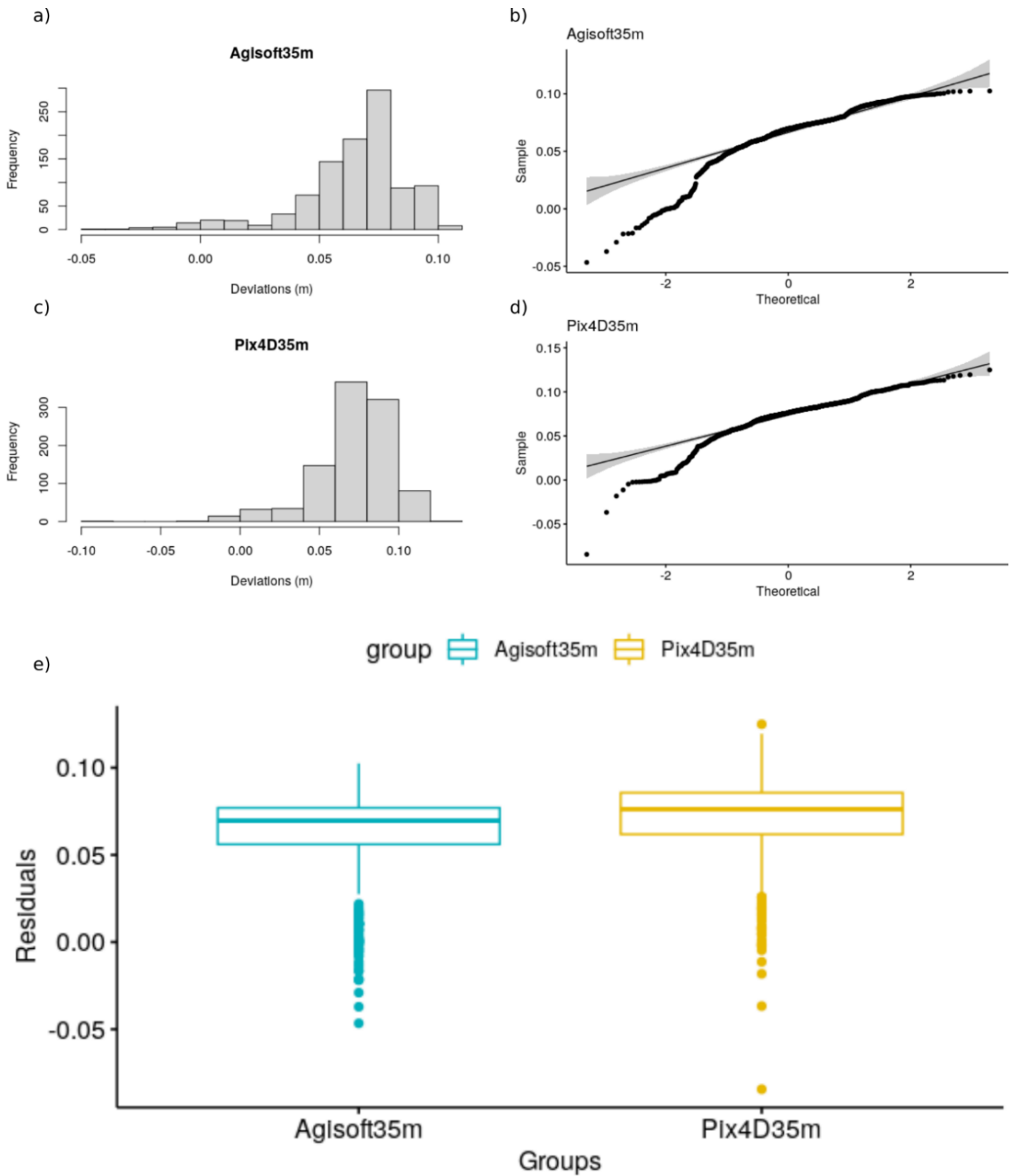


Figure 3. Comparisons of Agisoft and Pix4D from 35 meters altitude.

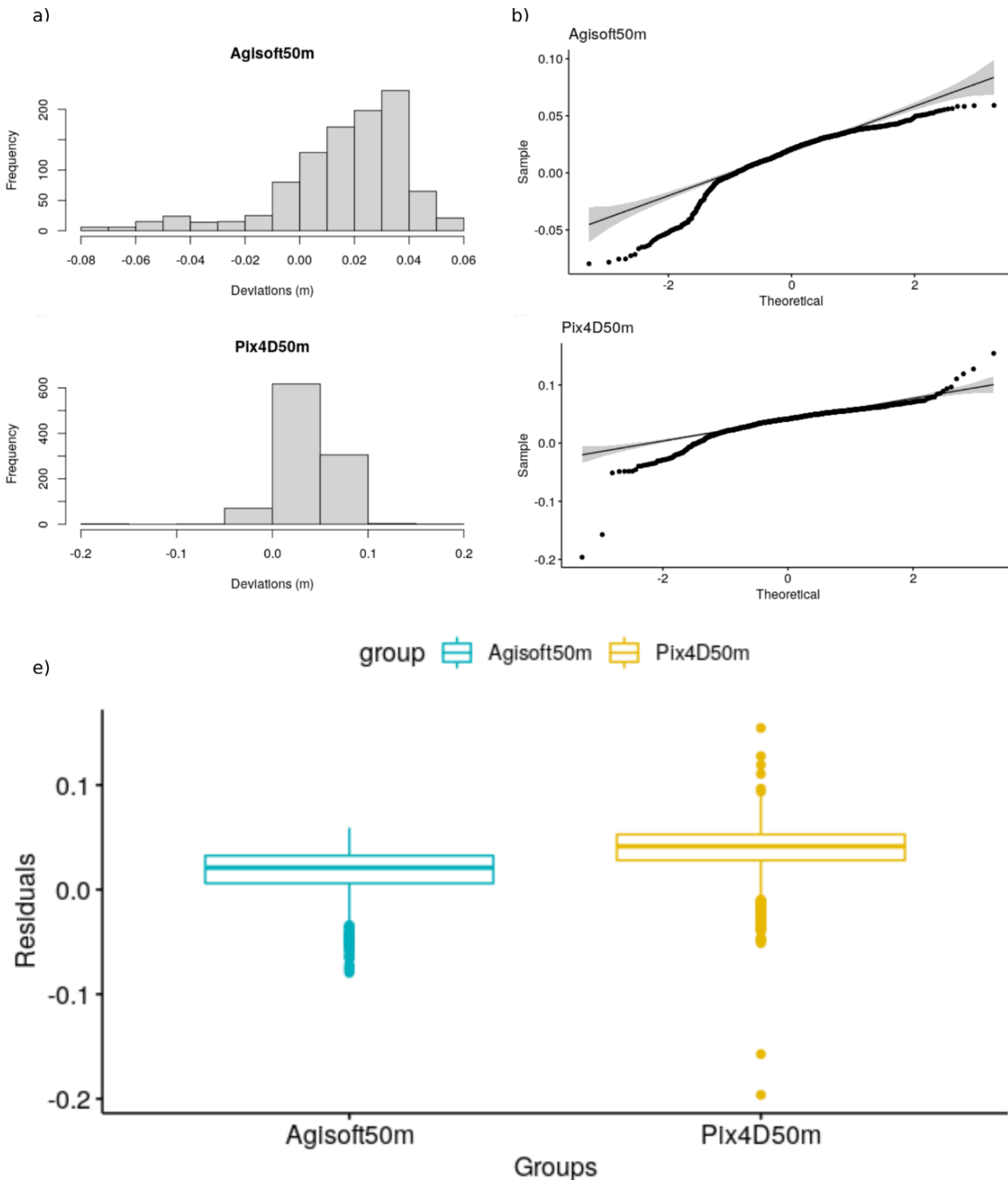


Figure 4. Comparisons of Agisoft and Pix4D from 50 meters altitude.

Finally, it was found that *Agisoft Metashape* software has lower standard deviation values in both 35 m and 50 m data than *Pix4D Mapper* software. The main reason for this difference is that the filtering results between the software may be different. It was also found that the point clouds obtained by the *Pix4D Mapper* software have more scattering. *Agisoft Metashape* results were found to be smoother. It was seen that the descriptive statistics were close to each other in the 35 meters and 50 meters data. However, it was seen that the standard deviation values were slightly better for the 35 meters data. However, it was also found that the mean and median of the Agisoft-50m and Pix4D-50m were lower than those of the Agisoft-35m and Pix4D-35m, respectively, as seen in Table 4. This is because UAV had low-quality GNSS signals at 35 meters since there were tall buildings around and UAV flew close to the ground. This leads to less accurate 3D data at 35 meters than 50 meters.

4. Conclusion

UAV technology is one of the fastest-growing technologies especially used in image processing. Images taken from a UAV flight can be converted into 3D data using Structure-from-Motion (SfM) based software. Then, several objects can be classified from 3D data. In this study, the road surface was extracted from 3D data. However, there are several factors that affect the accuracy of the 3D data. In this study, two factors, namely UAV flight altitude and SfM based software, were evaluated. Two different flight altitudes, which are 35 meters and 50 meters, were used. It was found that the flight altitudes do not make a significant difference to the results and produce close results. In this study, UAV flights were conducted from a low altitude, and there were only 15 meters between two UAV flights. Different conclusions might have been obtained if there were UAV flights at higher altitudes. Another factor evaluated in this study is different SfM based software. Two well-known SfM based software were used in this study, which were the Agisoft Metashape and Pix4D Mapper. It was found that Agisoft Metashape software produced more accurate results than Pix4D Mapper software. In addition, Agisoft Metashape software was found to be faster than Pix4D Mapper when producing 3D data.

Acknowledgement

This research was funded by Artvin Coruh University Scientific Research Projects Coordinatorship, grant number 2019.F40.02.02.

References

- Barnhart, T., & Crosby, B. (2013). Comparing Two Methods of Surface Change Detection on an Evolving Thermokarst Using High-Temporal-Frequency Terrestrial Laser Scanning, Selawik River, Alaska. *Remote Sensing*, 5(6), 2813-2837.
- Biçici, S., & Zeybek, M. (2021). An approach for the automated extraction of road surface distress from a UAV-derived point cloud. *Automation in Construction*, 122, 103475. doi:10.1016/j.autcon.2020.103475
- Che, E., & Olsen, M. (2019). An Efficient Framework for Mobile Lidar Trajectory Reconstruction and Mo-norvana Segmentation. *Remote Sensing*, 11(7), 836. doi:10.3390/rs11070836
- DiFrancesco, P.-M., Bonneau, D., & Hutchinson, D. J. (2020). The Implications of M3C2 Projection Diameter on 3D Semi-Automated Rockfall Extraction from Sequential Terrestrial Laser Scanning Point Clouds. *Remote Sensing*, 12(11), 1885. doi:10.3390/rs12111885
- Elkhrachy, I. (2021). Accuracy Assessment of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry. *Alexandria Engineering Journal*, 60(6), 5579-5590.
- Fryskowska, A., & Wróblewski, P. (2018). Mobile Laser Scanning accuracy assessment for the purpose of base-map updating. *Geodesy and Cartography*, 67(1), 35-55.
- Girardeau-Montaut, D., Roux, M., Marc, R. e., I., & Thibault, G. (2005). Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(part 3), 30-35.
- Guan, H. Y., Li, J., Cao, S., & Yu, Y. T. (2016). Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review. *International Journal of Image and Data Fusion*, 7(3), 219-242.
- Jiménez-Jiménez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., Marcial-Pablo, M., & Enciso, J. (2021). Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5), 285. doi:10.3390/ijgi10050285
- Lague, D., Brodu, N., & Leroux, J. (2013). Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82, 10-26.
- Li, X. q., Chen, Z. a., Zhang, L. t., & Jia, D. (2016). Construction and Accuracy Test of a 3D Model of Non-Metric Camera Images Using Agisoft PhotoScan. *Procedia Environmental Sciences*, 36, 184-190.
- Nex, F., & Remondino, F. (2013). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1-15. doi:10.1007/s12518-013-0120-x
- Ruzgiene, B., Aksamitauskas, C., Daugela, I., Prokopimas, S., Puodziukas, V., & Rekus, D. (2015). Uav Photogrammetry for Road Surface Modelling. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 10(2), 151-158.
- Spreitzer, G., Tunnicliffe, J., & Friedrich, H. (2019). Using Structure from Motion photogrammetry to assess large wood (LW) accumulations in the field. *Geomorphology*, 346, 106851. doi:10.1016/j.geomorph.2019.106851
- Tepeköylü, S. (2016). Mobil Lidar Uygulamaları, Veri İşleme Yazılımları ve Modelleri. *Geomatik*, 1(1), 1-7. doi:10.29128/geomatik.294065
- Wang, J. A., Ma, H. T., Wang, C. M., & He, Y. J. (2018). Fast 3D reconstruction method based on UAV photography. *Etri Journal*, 40(6), 788-793.

- Zeybek, M. (2021). Accuracy assessment of direct georeferencing UAV images with onboard global navigation satellite system and comparison of CORS/RTK surveying methods. *Measurement Science and Technology*, 32(6), 065402. doi:10.1088/1361-6501/abf25d
- Zeybek, M., & Biçici, S. (2021). Geometric Feature Extraction of Road from UAV Based Point Cloud Data. In Ben Ahmed, M., Karaş, İ.R., Santos, D., Sergeyeva, O. & Boudhir, A.A. (Eds.), *Innovations in Smart Cities Applications Volume 4* (pp. 435-449). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Zeybek, M., & Şanlıoğlu, İ. (2019). Point cloud filtering on UAV based point cloud. *Measurement*, 133, 99-111.

Godrahav Havzasının (Artvin) Erozyon Duyarlılığının Jeo-çevresel Faktörler Kullanılarak Değerlendirilmesi Evaluation of Erosion Susceptibility of Godrahav Basin (Artvin) Using Geo-environmental Factors

Eda Nur Çoruhlu¹, Halil Akıncı^{2*}

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 08100, Artvin/Türkiye.

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

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Halil Akıncı
halil.akinci@artvin.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.983373

Yayın süreci

Geliş tarihi: 16.08.2021
Kabul tarihi: 17.09.2021
Basım tarihi: 29.09.2021

Özet

Bu çalışmada, Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) yöntemi kullanılarak Godrahav havzası'nın erozyon duyarlılık haritasının üretilmesi amaçlanmıştır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Artvin il sınırları içerisinde bulunan Godrahav deresi havzası, yaklaşık 5310.12 hektarlık yüzölçüme sahiptir. Çalışma alanının erozyon duyarlılık haritasını üretmek için erozyon oluşumunda etkili olan 11 jeo-çevresel kriter (eğim, bakı, profil eğriliği, drenaj yoğunluğu, drenaj ağlarına uzaklık, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), akarsu aşındırma güç indeksi (SPI), eğim uzunluk ve eğim diklik faktörü (LS), normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI), arazi kullanımı ve litoloji) dikkate alınmıştır. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi kullanılmıştır. Kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerinin belirlenmesinde ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında literatürdeki benzer çalışmalardan ve uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, erozyon duyarlılığının havzanın %4.9'unda düşük, %9.57'sinde orta, %5.58'inde ise yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında erozyon duyarlılığının yüksek olduğu bölgeleri, tarım ve verimsiz orman alanları ile eğimin yüksek olduğu araziler oluşturmaktadır. Erozyon riskini azaltmak için bu alanlarda ayrıntılı çalışmaların yapılması ve toprak koruma önlemlerinin alınması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Erozyon, Çok kriterli karar verme, AHP, Godrahav havzası, Artvin

Abstract

This study aimed to produce the erosion susceptibility map of the Godrahav basin by using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. Godrahav stream basin, located within the borders of Artvin province in the Eastern Black Sea Region, covers an area of approximately 5310.12 hectares. In order to produce the erosion susceptibility map of the study area, 11 geo-environmental criteria which are effective in the formation of erosion (slope, aspect, profile curvature, drainage density, distance to drainage network, topographic wetness index (TWI), stream power index (SPI), slope length and slope steepness factor (LS), normalized difference vegetation index (NDVI), land use and lithology) were taken into account. The AHP method was used to determine the weights of the criteria. Similar studies in the literature and expert opinions were used to determine the importance of the criteria with respect to each other and to create the pairwise comparison matrix. According to the results obtained, it was determined that the erosion susceptibility was low in 4.9% of the basin, medium in 9.57% and high in 5.58% of the basin. The areas with high erosion susceptibility in the study area consist of agricultural and unproductive forest areas and lands with high slope. In order to reduce the risk of erosion, detailed studies and soil protection measures should be taken in these areas.

Keywords: Erosion, Multi-criteria decision making, AHP, Godrahav basin, Artvin

1. Giriş

Karaların üzerinde bir örtü tabakası olarak bulunan toprağın bulunduğu yerden yağmur, yüzey akışı, rüzgar, yerçekimi ve buzul gibi dış faktörler tarafından taşınıp götürülmesi olayı erozyon olarak tanımlanmaktadır (Yüksel ve Avcı, 2015; İkiel vd. 2020). Ciddi çevresel, ekonomik ve sosyal sonuçları olan erozyon, doğal kaynak yönetiminde önemli bir yer tutan konudur (Rahmati vd. 2016). Toprak erozyonu, tarım alanlarında arazi bozulması, toprak verimliliğinin azalması ve rezervuarlarda sediment birikmesi gibi çeşitli sorunlara yol açan evrensel bir tehditir ve doğa temelli stratejilerle çözülmesi gereken bir konudur (Arabameri vd. 2018). Son 40 yılda dünyadaki ekili alanların yaklaşık üçte biri erozyondan ciddi şekilde etkilenmiştir ve bu süreç yılda yaklaşık 10 milyon hektarda devam etmektedir (Sun vd. 2014).

Erozyon nedeniyle oluşan toprak kayıplarını azaltmak için erozyon duyarlılık haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Arabameri vd. 2018). Erozyon duyarlılık haritası, belirli bir bölgede erozyona eğilimli alanların belirlenmesi ve erozyona duyarlı olan bölgelerde toprak koruma önlemlerinin alınması için ihtiyaç duyulan önemli bir veridir. Erozyon duyarlılık haritalaması için son on yılda, dünya çapındaki araştırmacılar tarafından çeşitli istatistiksel, makine öğrenimi ve veri madenciliği yöntemleri kullanılmıştır (Akgün ve Türk, 2011; Rahmati vd. 2016; Pourghasemi vd. 2017; Arabameri vd. 2018; Arabameri vd. 2019; Ghorbanzadeh vd. 2020; Ghosh ve Mukhopadhyay, 2021). Ancak bu yöntemlerin en önemli dezavantajı, modelleri kalibre etmek için bir erozyon envanter haritasına ihtiyaç duymalarıdır (Arabameri vd. 2019). Erozyon envanter haritalarının hazırlanabilmesi için yoğun bir arazi çalışması gerekmektedir. Diğer taraftan, Arabameri vd. (2019), Analytic Hierarchy Process (AHP) ve TOPSIS gibi "Çok Ölçütlü Karar Analizi" (ÇÖKA) modellerinin erozyon envanter haritalarına ihtiyaç duymamaları nedeniyle erozyon envanter haritası gibi eksik veri bulunan alanlarda oldukça faydalı olabileceğini belirtmiştir.

Toprak erozyonu, Dünya'da tedbir alınması ve önlenmesi gereken büyük bir problem olarak görülmektedir (Pektezel, 2015). Erozyon, arazi bozulumu ve çölleşme açısından Türkiye için de önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Akgün ve Türk, 2011). Pektezel (2015), Türkiye'de toprak erozyonunu önlemek için henüz yeterli önlemlerin alınmadığını dile getirmiştir. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele (ÇEM) Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye yüzölçümünün %60,28'sinde çok hafif, %19,13'ünde hafif, %7,93'ünde orta, %5,97'sinde şiddetli ve %6,7'sinde çok şiddetli erozyon görülmektedir. Arazi kullanımı açısından değerlendirildiğinde ülkemizde erozyonun %4,17'si orman alanlarında, %38,71'i tarım alanlarında ve %53,66'sı mera alanlarında meydana gelmektedir. Diğer taraftan, ülkemizde en fazla eroziv karaktere sahip havzalar olarak Çoruh, Doğu Akdeniz ve Asi havzaları ön plana çıkmaktadır (ÇEM, 2021).

Artvin, topografik, jeolojik ve iklimsel özellikleri nedeniyle toprak kaybına ve arazi bozulmasına neden olan erozyona eğilimli bir ildir. Bu çalışmada, Artvin ilinde yer alan Godrahav deresi havzasında toprak erozyonuna karşı duyarlı alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Erozyon oluşumu ve gelişimi için kritik koşulları kontrol eden jeo-çevresel faktörler öncelikle topografya, jeoloji (litoloji), yağış, toprak ve arazi kullanımı ile ilişkilidir (Rahmati vd. 2016). Bu çalışmada; veri mevcudiyetine, çalışma alanının koşullarına ve literatür incelemesine bağlı olarak eğim, baki, profil eğriliği, drenaj yoğunluğu, drenaj ağlarına uzaklık, topografik nemlilik indeksi (Topographic Wetness Index - TWI), arazi kullanımı, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) ve litolojiden oluşan on bir (11) topografik ve çevresel faktör dikkate alınmıştır. Faktörlerin ağırlıkları AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Faktörlerin birbirlerine göre önem derecelerinin belirlenmesinde ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında literatürdeki benzer çalışmalardan ve uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Üretilen haritada erozyon duyarlılığı düşük, orta ve yüksek şeklinde 3 sınıfa ayrılarak gösterilmiştir.

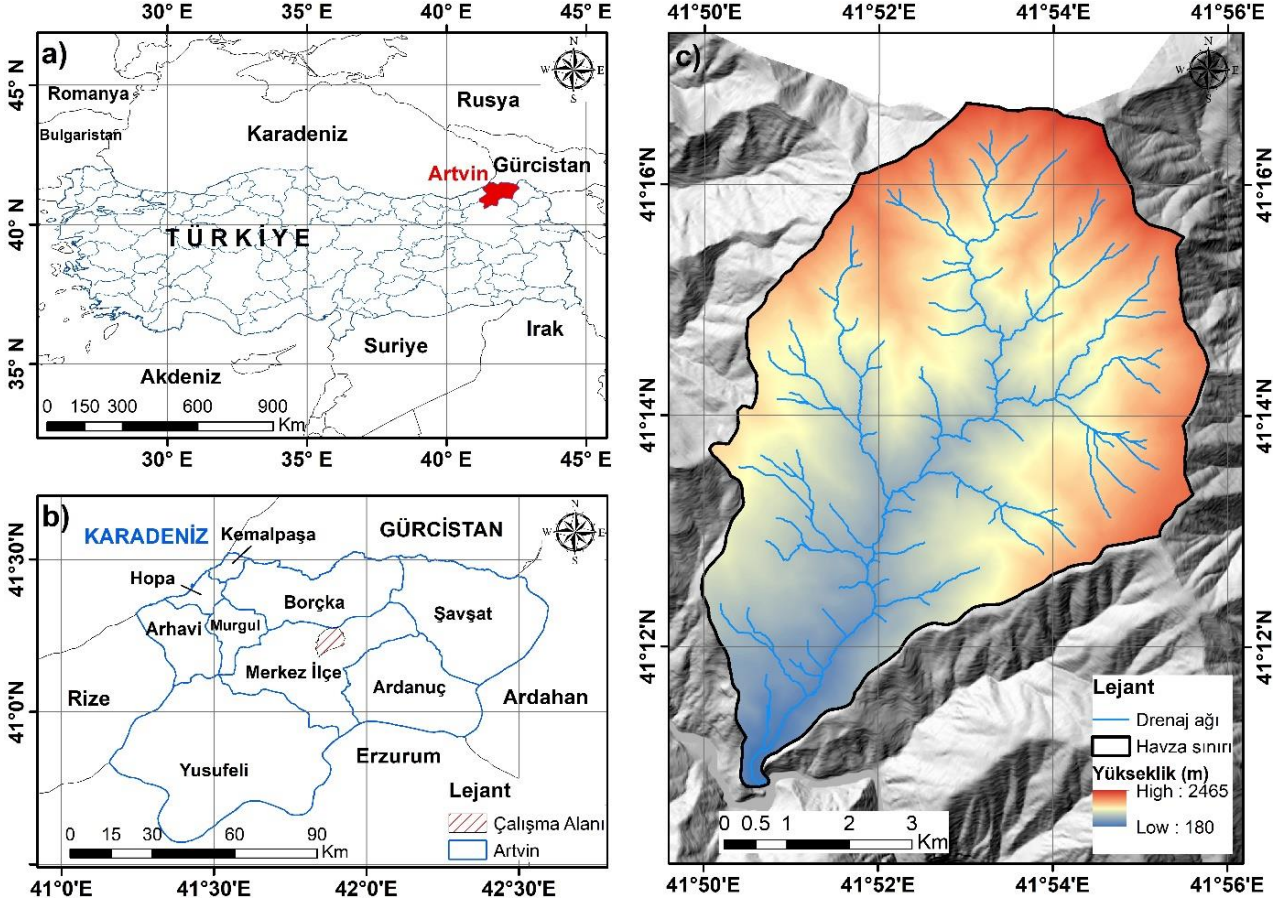
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışmanın yürütüldüğü Godrahav deresi havzası, Doğu Karadeniz Bölgesinde Artvin ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Ziraat arazilerinin çok az, bozuk orman arazilerinin ise çok fazla olduğu Artvin ili, oldukça eğimli bir topografyaya sahip olduğu için aşırı derecede erozyona duyarlıdır (Pekal ve Tilki, 2010). Ülkemizde erozyon miktarının en fazla olduğu havzalardan biri olan Çoruh Havzasının alt havzalarından biri olan Godrahav deresi havzası, 41° 10' 44"- 41° 16' 39" kuzey enlemleri ile 41° 49' 58"- 41° 55' 46" doğu boylamları arasında yer almakta ve yüzölçümü olarak 5310.12 hektarlık bir alanı kaplamaktadır. Havzada yükseklik 180-2465 m arasında değişmektedir (Şekil 1) ve ortalama yükseklik 1299.25 m'dir. Ortalama eğimin 28.92° olduğu havzada eğim ise 0° ile 70. 85° arasında değişmektedir.

Artvin ili coğrafi konum itibarıyla farklı iklim tiplerinin etkisi altında kalmakla birlikte, çalışmanın yürütüldüğü il merkezinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün uzun yıllar (1949-2020) ölçüm verilerine göre aylık toplam yağış miktarı ortalaması 689.9 mm ve ortalama sıcaklık ise 12.3 °C olarak rapor edilmektedir. Ayrıca il merkezindeki en düşük sıcaklık -16.1 °C ile Ocak ayında ve en yüksek sıcaklık ise 43 °C ile Ağustos ayında ölçülmüştür (MGM, 2021a).

Thornthwaite iklim sınıflandırma yöntemine göre Artvin'in iklim sınıfı C2,B`1,s,b`4 olarak tanımlanmaktadır. Burada C2: yarı nemli, B`1: birinci derece mezotermal, s: su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan ve b`4: yaz buharlaşma oranı %50,1 anlamına gelmektedir (Güler, 2020; MGM, 2021b).



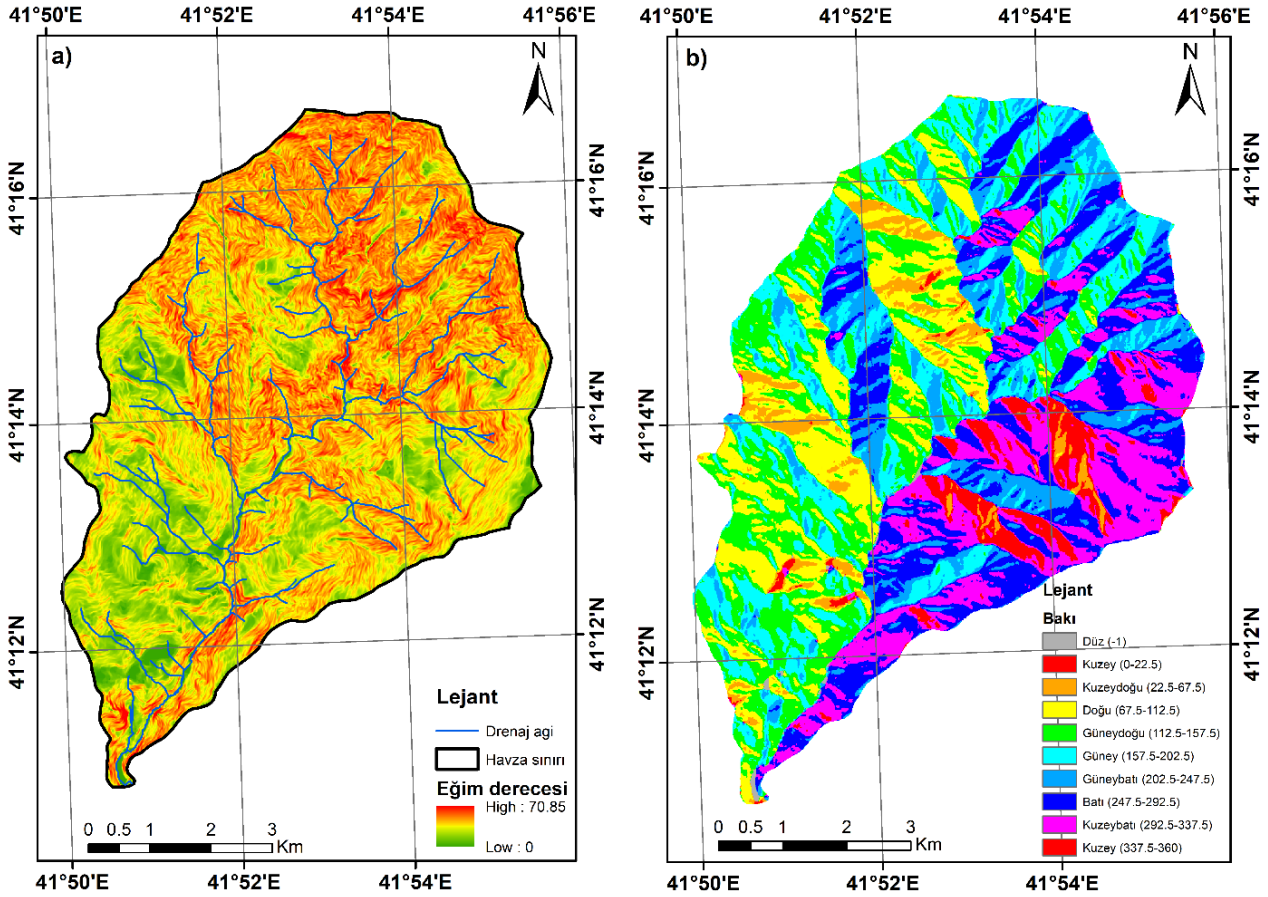
Şekil 1. a) Artvin'in Türkiye'deki konumu b) Artvin'in ilçeleri ve çalışma alanı sınırı c) Godrahav deresi havzasının sınırları ve coğrafi konumu

2.2. Çalışmada Kullanılan Faktörler

Çalışma sahasının erozyon duyarlılığını belirlemek için eğim, baki, profil eğriliği, drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına uzaklık, TWI, akarsu aşındırma güç indeksi (SPI), NDVI, arazi kullanımı, litoloji, eğim uzunluk ve eğim diklik faktörü (LS) parametreleri kullanılmıştır.

Eğim, erozyonun şiddetiyle doğrudan ilişkili olan bir topografik faktördür. Çünkü erozyonun meydana gelebilmesi, yani toprağın taşınabilmesi olayı eğim şartlarına bağlıdır (Mutlu vd. 2021). Eğimli bir sahada diğer faktörlerin aynı veya benzer olduğu kabul edilirse yalnızca eğim derecesinde meydana gelen değişimler yüzey akışının fazla olmasına ve buna bağlı olarak da erozyonun artmasına neden olmaktadır (Sönmez vd. 2013). Çalışma alanının eğim haritasını üretmek için ilk olarak ArcGIS 10.5 yazılımında eş yükseklik eğrileri kullanılarak çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. Daha sonra üretilen SYM'den 10m x 10m hücre boyutlu eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 2a). Çalışma alanında eğimin 0° ile 70,85° arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Baki parametresi de erozyon duyarlılık çalışmalarında önemli bir faktör olarak ele alınmaktadır. Çünkü bir yamacın bakışı, erozyonla dolaylı ilişkili olan birçok iklimsel özelliği (yağış yoğunluğu, güneş ışığını alma süresi, buharlaşma, nem tutma kapasitesi vs.) ve bitki örtüsü yoğunluğunu etkilemektedir (Güney, 2018). Sonuç olarak baki; infiltrasyonu, yüzeyel akışı ve sediment kaybı oranlarını ve mekanizmalarını etkilemektedir (Rouhani et al. 2021). Diğer taraftan Sönmez vd. (2013) ve Güney (2018), güney bakiya sahip yamaçların güneş ışınlarını alma sürelerinin fazla olması nedeniyle, güney bakiya sahip yamaçlarda ısı ve buharlaşmanın kuzey yamaçlara oranla daha fazla olduğunu ve bu nedenle güney bakiya sahip yamaçların ayrışma ve erozyona daha elverişli olduğunu vurgulamışlardır. Çalışma alanının baki haritası SYM'den üretilmiş ve 9 alt sınıfa (düz, kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı, kuzeybatı) ayrılmıştır (Şekil 2b).

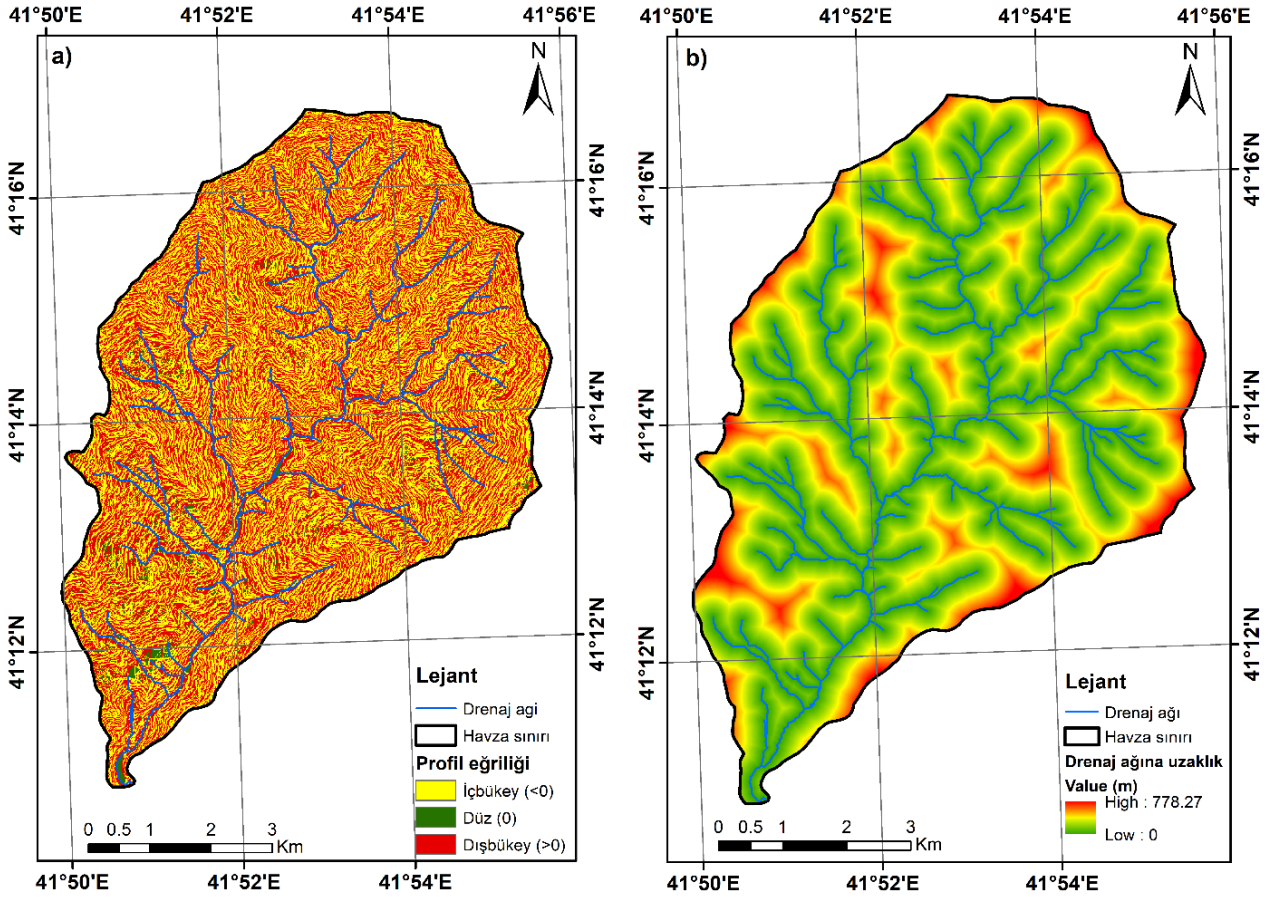


Şekil 2. a) Çalışma alanının eğim haritası, b) çalışma alanının bakı haritası

Eğrilik, bir drenaj havzasındaki erozyon ve akış süreçlerini değerlendirmek için yamaçların (ya da topografyanın) şeklini gösteren önemli morfolojik parametrelerden biridir. Profil eğriliği, bir akış hattındaki eğimin değişim oranını ifade eder ve hızlanan ya da yavaşlayan akış yoluyla erozyon ve sedimentasyon üzerinde doğrudan etkilidir (Rouhani et al. 2021). Negatif profil eğriliği değerleri yüzeyin içbükey (konkav), pozitif eğrilik değerleri ise dışbükey (konveks) yapıya sahip olduğunu ifade etmektedir. Sıfıra yakın profil eğrilik değerleri ise yüzeyin düz olduğunu göstermektedir. Dışbükey yamaçlarda su akışı daha hızlıdır ve bu yamaçlar erozyona daha duyarlıdır. İçbükey alanlarda ise yüzeyel akış daha yavaştır ve bu alanlarda erozyon duyarlılığı daha düşüktür (Güney, 2018). Çalışma alanının eğrilik haritası SYM'den üretilmiştir (Şekil 3a).

Aşınmış malzemenin tahliyesini kolaylaştırdığı için drenaj ağlarına uzaklık ile erozyon arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle, hidrolojinin erozyon üzerindeki etkisini dikkate almak için çalışma alanının erozyon duyarlılığını belirlerken drenaj ağlarına uzaklık parametresi de kullanılmıştır. Çalışma alanının drenaj ağı, SAGA GIS yazılımında SYM'den üretilmiştir. Drenaj ağlarına uzaklık haritası ise ArcGIS 10.5 yazılımda ilgili konumsal analiz rutini (Euclidean Distance) kullanılarak üretilmiştir (Şekil 3b).

Bir havzanın erozyon duyarlılığını belirlemede önemli bir parametre olan drenaj yoğunluğu, havzaların akarsular tarafından parçalanma derecesini gösteren bir ölçüdür (Verstappen, 1983; Sunkar ve Avcı, 2015). Drenaj yoğunluğunun düşük olması, jeolojik yapının dayanıklı ve akarsuların genç oluşumlu bir karakter taşıdığını göstermektedir (Özşahin, 2008). Bu sahalar topoğrafyanın nispeten daha alçak olduğu yerlerdir. Bitki örtüsü bakımından yoğundur ve alttaki ana kayanın sağlam, dirençli veya geçirgen olduğu bölgelerdir. Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu yerler ise genellikle bitki örtüsünün cılız olduğu ya da olmadığı, toprak geçirgenliğinin düşük olduğu, dirençsiz kayaların (geçirimsiz litolojik birimlerin) bulunduğu alanlardır.



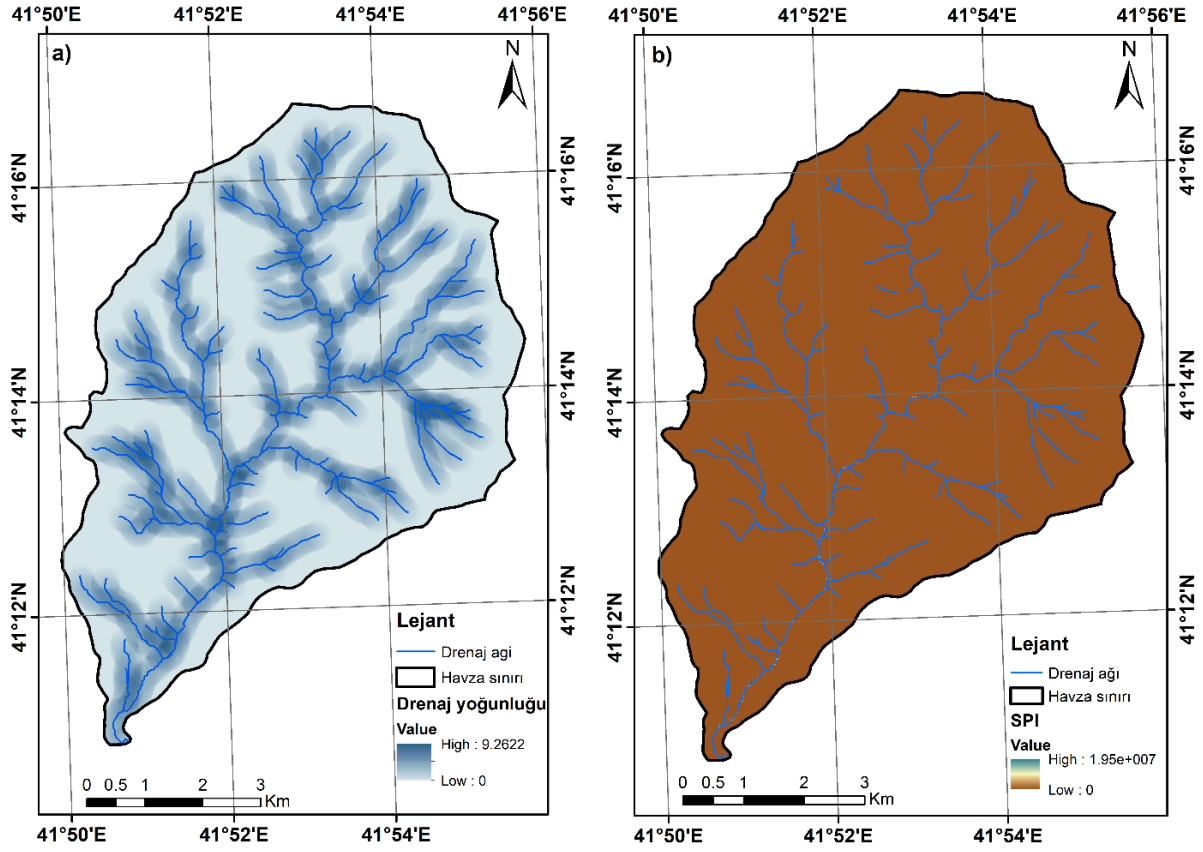
Şekil 3. a) Çalışma alanının profil eğriliği haritası, b) çalışma alanının drenaj ağlarına uzaklık haritası

Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda taşınan sediment miktarı ve verimli yüzey toprak kayıpları artmaktadır (İmamoğlu, 2020). Çalışma alanının drenaj yoğunluğu haritası ArcGIS 10.5 yazılımında çizgi yoğunluğu (line density) fonksiyonu kullanılarak üretilmiştir (Şekil 4a).

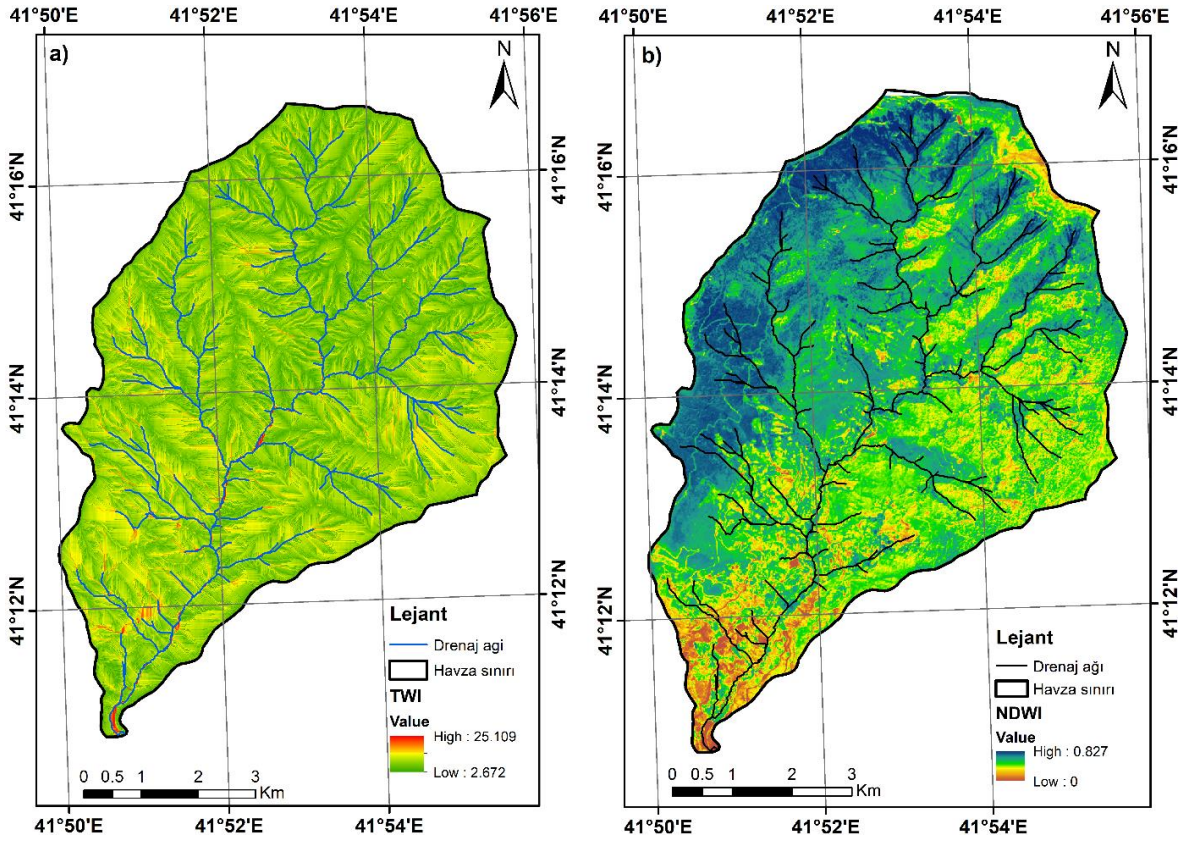
Akarsu aşındırma güç indeksi (SPI), yamaçtan akan suyun aşındırıcı gücünün bir ölçüsüdür ve yamaç erozyonu süreçlerini kontrol eden en önemli faktörlerden biridir (Arabameri vd. 2018). Genellikle akarsu aşındırma gücü yüksek olan bölgeler yüksek erozyon potansiyeline sahiptir (Gómez-Gutiérrez vd. 2015; Ghorbanzadeh vd. 2020). Çalışma alanına ait SPI haritası, SAGA GIS yazılımında SYM'den üretilmiştir (Şekil 4b).

Genellikle toprak neminin mekânsal dağılımını karakterize etmek için kullanılan bir indeks olan Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) (Catani et al. 2013), erozyon duyarlılık haritalamasında yaygın olarak kullanılan hidrolojik faktörlerden biridir (Arabameri vd. 2018). Yanar et al. (2020), TWI'nin suya doymuş bölgelerin konumlarını ve boyutunu gösterdiğini belirtmiştir. Conforti vd. (2011), TWI'nin toprak erozyonu süreçleri ile ilişkili olduğu kanıtlandığı için çalışmalarında TWI parametresini kullandıklarını belirtmiştir. Arabameri vd. (2018) ise akış erozyon gücünün, deşarj potansiyelinin ve taşıma kapasitesinin TWI kullanılarak modellendiğini belirtmiştir. Amiri vd. (2019) ile Mokarram ve Zarei (2021) tarafından yapılan çalışmalar, TWI ile erozyon arasında ters bir ilişki olduğunu, TWI değeri arttıkça erozyon duyarlılığının azaldığını göstermiştir. Bu çalışmada, çalışma alanına ait TWI haritası SAGA GIS yazılımı kullanılarak SYM'den üretilmiştir (Şekil 5a).

Belirli bir alanda bitki örtüsünün sık veya seyrek olması ile o alandaki erozyon arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır (Yüksel ve Avcı, 2015). Sönmez vd. (2013), bitki örtüsü ile kaplı alanların yağmur damlalarının toprağı parçalamasına engel olduğunu ve yüzeysel akışa geçen suları engelleyerek suyun aşındırıcı gücünü azaltıcı bir rol oynadığını belirtmiştir. Ayrıca bitki, kökleri yardımıyla toprağı tutar, üst toprak tabakalarında mikro-iklim iniş çıkışlarını azaltır, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini geliştirir ve rüzgârın hızını düşürüp toprağı korur (Değerliuyurt, 2013). Bu nedenle bitki örtüsü ve erozyon arasında ters orantı bulunmakta olup bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde erozyon riski az, bitki örtüsünün zayıf olduğu bölgelerde ise erozyon riski fazladır (Mutlu vd. 2021). Çalışma alanının bitki örtüsü yoğunluğunu değerlendirebilmek için 2017 tarihli Spot 7 uydu görüntüsü kullanılarak alanın NDVI haritası üretilmiştir (Şekil 5b).



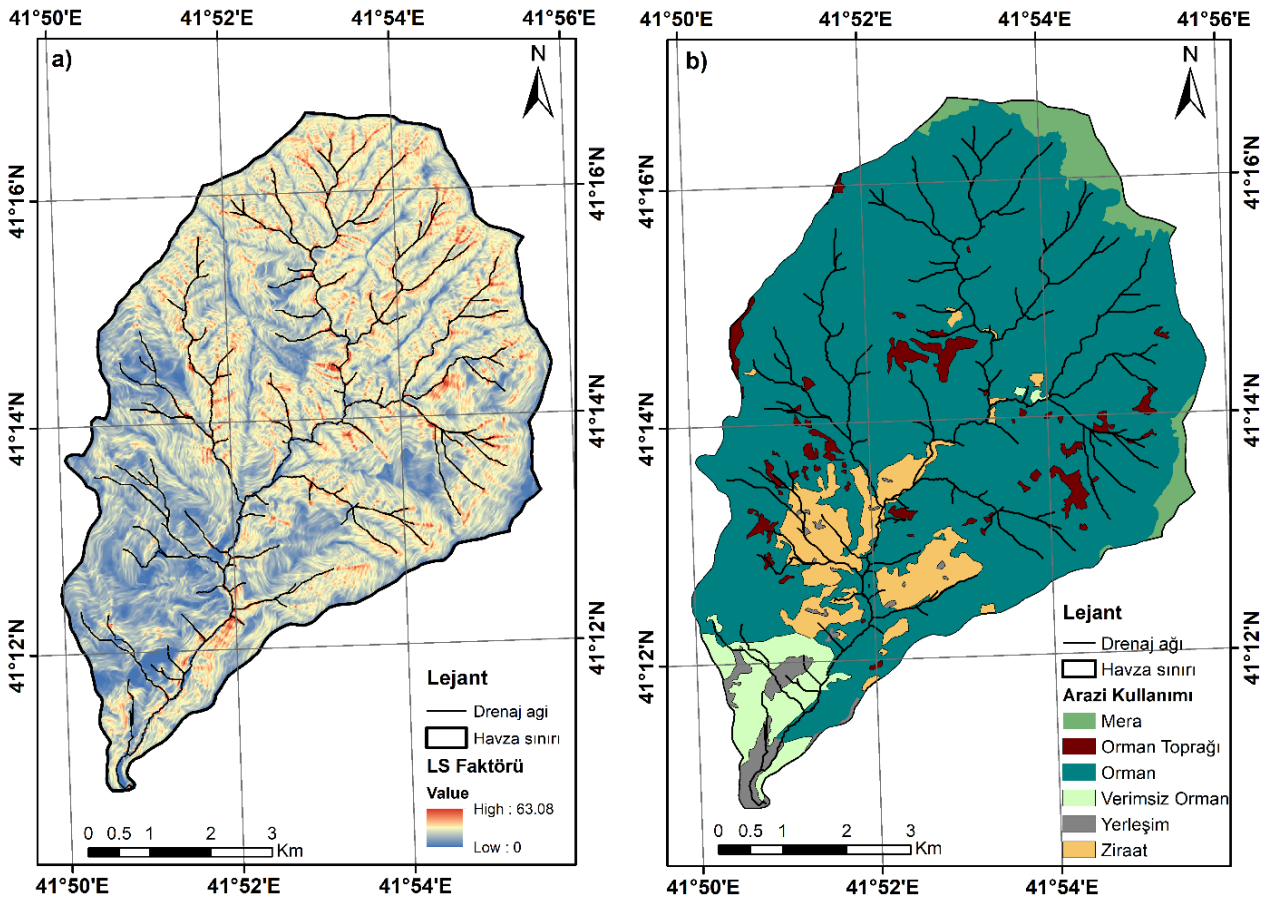
Şekil 4. a) Çalışma alanının drenaj yoğunluğu haritası, b) çalışma alanının SPI haritası



Şekil 5. a) çalışma alanının TWI haritası, b) çalışma alanının NDVI haritası

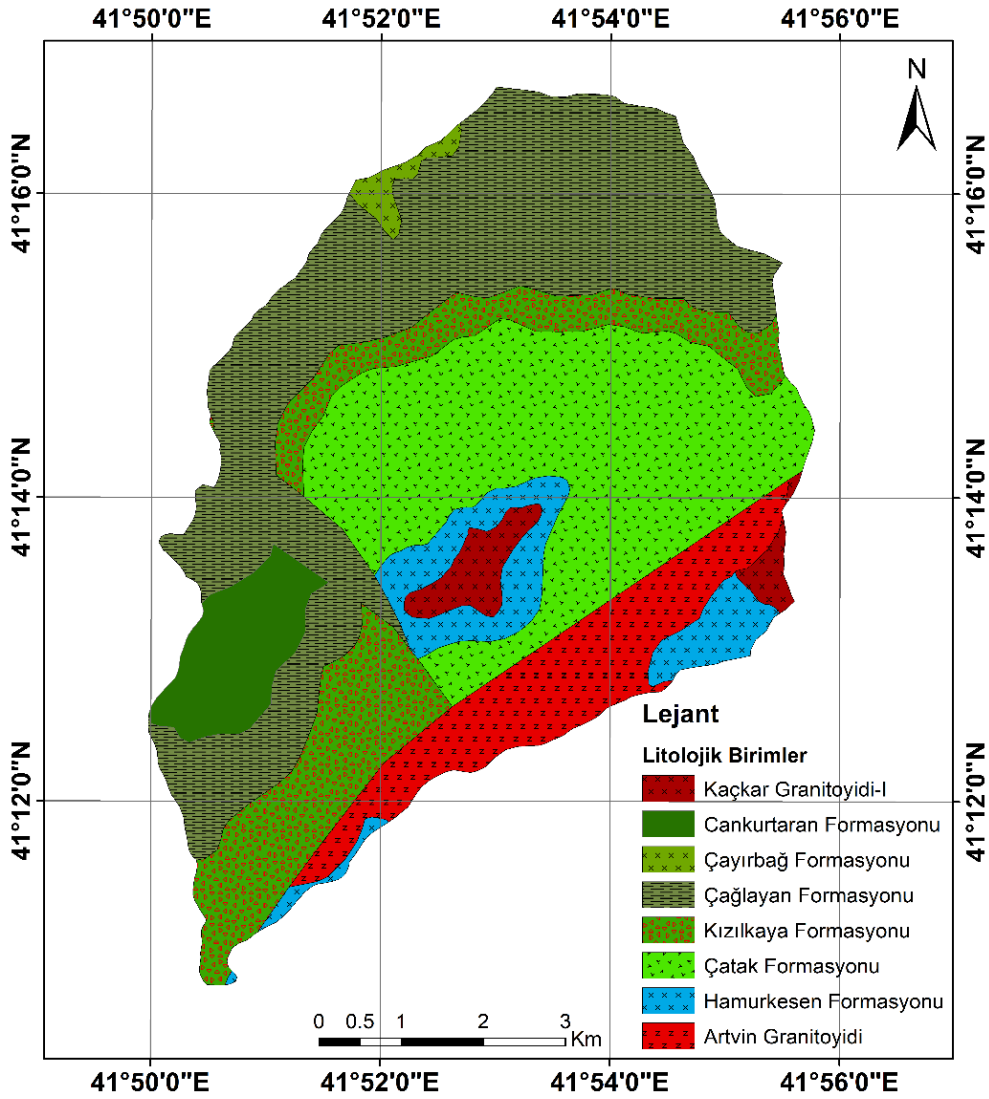
LS faktörü (eğim uzunluk ve eğim diklik faktörü, erozyonun boyutunu ve şiddetini belirleyen en önemli faktörlerden birisidir (Özşahin, 2014). Bir bölgedeki erozyonun şiddeti, LS faktörlerinin artışı veya azalışına bağlı olarak değişmektedir (Özşahin, 2014; Pektezel, 2015). Arazinin eğimi suyun akış hızını belirlediğinden topografyanın eğim derecesi ve eğim uzunluğu toprak aşınım ve taşınım miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Özdemir ve Tatar Dönmez, 2016). LS faktörü mutlak bir değer olmayıp 22,13 m uzunluğunda ve %9 eğime sahip bir arazideki toprak kaybı oranını temsil etmektedir. Bu özellikteki arazinin LS faktörü 1'dir (Değerliyurt, 2013; Pektezel, 2015; Özdemir ve Tatar Dönmez, 2016; İkiel vd. 2020). Çalışma alanına ait LS faktörü haritası SAGA GIS yazılımı kullanılarak SYM'den üretilmiştir (Şekil 6a).

Arazi kullanımı, bir yamacın jeomorfolojik stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Genel olarak, çorak ve seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar, ormanlara göre erozyondan daha fazla etkilenir. Yamaçlarda bitki örtüsünün varlığı, yüzey akışının aşındırıcı etkisini azalttığı için erozyon duyarlılığı üzerinde azaltıcı etkiye sahiptir. (Conforti vd. 2011). Dindaroğlu ve Canpolat (2013), orman alanlarının infiltrasyonun en üst düzeyde olduğu alanlar olduğunu, tarım alanlarında ise toprağın taşınma riskinin çok yüksek olduğunu belirtmiştir. Özellikle yüksek eğimli yamaçlarda yapılan tarımsal faaliyetler erozyon duyarlılığını arttırmaktadır (Güney, 2018). Çalışmada Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Havza Yönetimi Anabilim Dalı tarafından üretilen arazi kullanım haritası kullanılmıştır (Şekil 6b). Arazi kullanımı haritasına göre çalışma alanının %80.23'ü orman, %7.29'u ziraat (tarım), %7.05'i verimsiz orman ve orman toprağı (OT), %3.66'sı mera ve %1.77'si yerleşim alanları ile kaplıdır.



Şekil 6. a) Çalışma alanının LS haritası, b) çalışma alanının arazi kullanım haritası

Erozyon, kayaların genel fiziksel özelliklerini gösteren litoloji ve ayrışma ile doğrudan ilişkili olan bir süreçtir. Özellikle yeryüzüne yakın malzemelerin litolojik özellikleri, malzemelerin farklı hidrolik iletkenlikleri ve kayma dayanımı nedeniyle erozyon sürecini etkilemektedir (Ghorbanzadeh vd. 2020). Ayrışma, dayanıklı veya kısmen ayrılmış kayayı daha düşük mukavemetli ve daha fazla geçirgen yapıya dönüştüren ve erozyon süreçlerini daha etkili hale getiren önemli bir süreçtir (Akgün ve Türk, 2011). Bu çalışmada kullanılan litolojik birimler, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasından elde edilmiştir. Çalışma alanında sekiz farklı litolojik birim bulunmaktadır (Şekil 7). Çalışma alanının %33.7'sini bazaltik, andezitik lav ve piroklastikleri ile çamurtaşı ve kumtaşından oluşan Çağlayan formasyonu, %27.2'sini ise bazaltik, andezitik lav ve piroklastikleri ile killi kireçtaşı, marn, kumtaşı, silttaşı ve kiltası ara düzeylerinden oluşan Çatak formasyonu (Keskin, 2013) kaplamaktadır.



Şekil 7. Çalışma alanının jeoloji haritası

2.3. Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Proses (Analytic Hierarchy Process - AHP), Saaty (1977) tarafından geliştirilen bir "Çok Ölçütlü Karar Verme" metodudur. AHP'nin sadeliği ve gücü, dünyanın her yerinde farklı birçok alanda yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır (Bhushan and Rai, 2004). İyi bilinen ve yaygın kullanılan çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarından biri olan AHP yöntemi, birden çok kritere bağlı olan bir problemin çözümünde, kullanıcıların kriterlerin ağırlıklarını belirlemesine olanak sağlamaktadır. AHP yönteminde bir problemin çözümü için genel olarak 3 adım izlenir: (1) karar verme problemi; amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir yapıya dönüştürülür (2) uzman yargıları dikkate alınarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur ve kriterlerin ağırlıkları hesaplanır (3) ikili karşılaştırma yargılarının tutarlılık oranı (CR) hesaplanır.

Karmaşık karar problemi hiyerarşik bir yapıya dönüştürüldükten sonra uzmanlardan ya da karar vericilerden yargılar (kriterlerin ikili karşılaştırmaları) toplanır. Kriterlerin ikili karşılaştırılmasında Saaty (1980) tarafından önerilen tercih ölçeğinden (Tablo 1) yararlanılır. Daha sonra uzmanların yargıları bir kare matris halinde düzenlenir. Matrisin köşegen elemanları 1'dir. Eğer matrisin (i, j) elemanının değeri 1'den büyükse, i. satırdaki kriter j sütunundaki kriterden daha önemlidir; aksi takdirde j sütunundaki kriter, i. satırdaki kriterden daha önemlidir. Matrisin (j, i) elemanı, (i, j) elemanının karşılığıdır (Bhushan and Rai, 2004). İkili karşılaştırmaları yapılan ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesi, ikili karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bunun için, matrisin sütun elemanları her bir sütun toplamına bölünerek "normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi" elde edilir. Elde edilen matristeki satır elemanları toplanır ve toplam değer satırdaki eleman sayısına bölünür. Böylelikle öncelik vektörü ya da ağırlık vektörü elde edilmiş olur (Tomuş, 2005). Ağırlıklar 0-1 aralığındadır ve toplamı 1'dir (Malczewski, 1999; Öztürk ve Batuk, 2010).

Tablo 1. İkili karşılaştırma tercih ölçeği (Saaty, 1980)

Önem Derecesi	Açıklama
1	Ölçütler eşit öneme sahip
3	1. ölçüt 2. ölçüte göre biraz daha önemli
5	1. ölçüt 2. ölçüte göre fazla önemli
7	1. ölçüt 2. ölçüte göre çok fazla önemli
9	1. ölçüt 2. ölçüte göre en kuvvetli (aşırı derecede fazla) öneme sahip
2, 4, 6, 8	Ara değerler

AHP yönteminde ölçütlerin ikili karşılaştırmaları yapılırken belirli bir derecede tutarsızlık oluşabilir. Bunun için ikili karşılaştırmaların mantıksal tutarlılığı kontrol edilmelidir (Öztürk ve Batuk, 2010). İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty (1980) tarafından önerilen tutarlılık oranı (Consistency Ratio) kullanılmaktadır. İkili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı Denklem 1 kullanılarak hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

Denklemdaki CI tutarlılık endeksi, RI ise rastgele indeks olarak adlandırılmaktadır. Farklı matris boyutları için kullanılan RI değerleri Tablo 2’de verilmiştir. CI’nın hesaplanması için kullanılan formül ise Denklem 2’de verilmiştir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Burada λ_{max} maksimum özdeğer (maximum eigenvalue) ve n ise ikili karşılaştırmada matris boyutudur ($n \times n$). CR için Saaty (1980) tarafından önerilen üst limit 0.10’dur. CR 0.10’un altında ise yargıların tutarlı olduğu ve hesaplanan ağırlıkların kullanılabilmesi kabul edilmektedir. Aksi takdirde, ikili karşılaştırma matrisindeki yargıların ya da kriterlerin göreceli önem değerlerinin yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tablo 2. Farklı matris boyutları için RI değerleri (Donegan ve Dodd, 1991)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

3. Bulgular

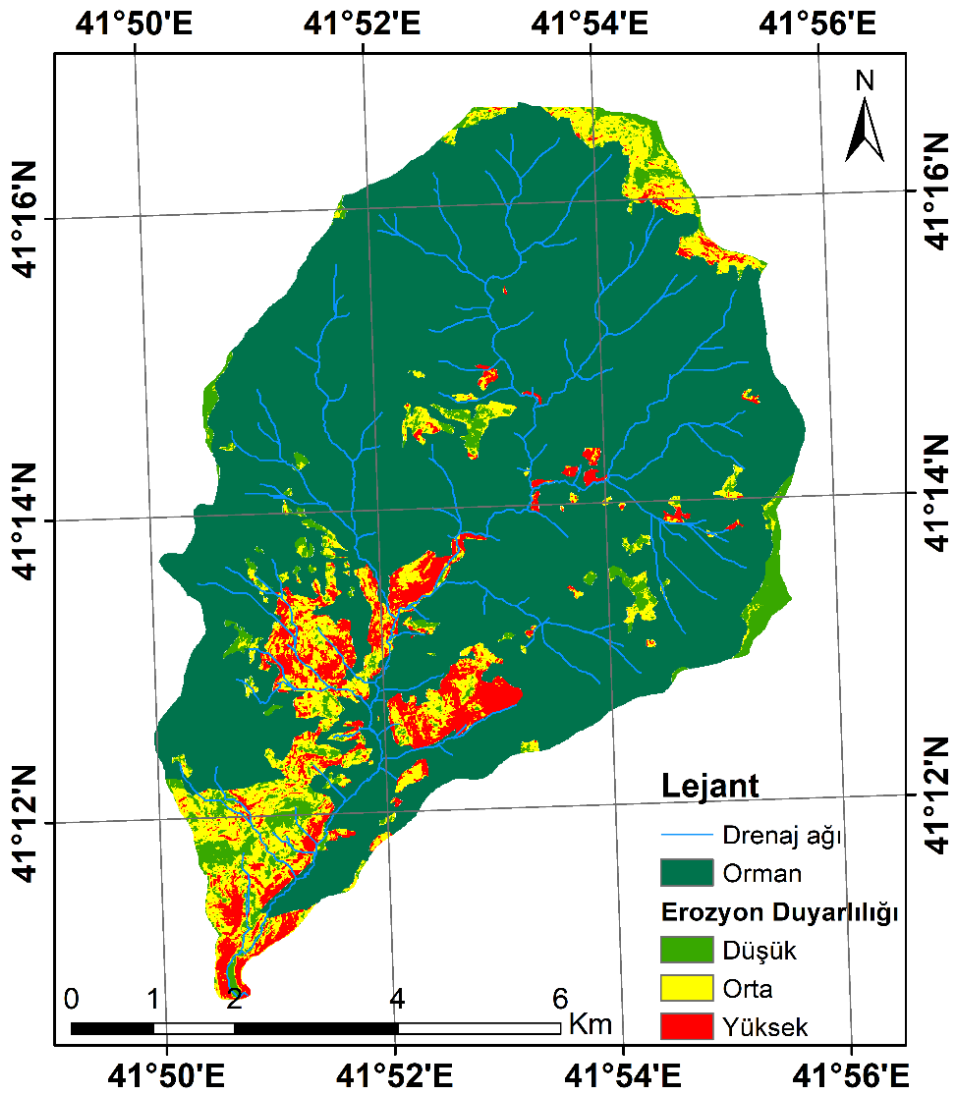
Çalışma kapsamında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve parametrelerin ağırlıklarının belirlenmesinde literatürdeki benzer çalışmalardan (Tomuş ve Ozulu, 2007; Sönmez vd. 2013; Sunkar ve Avcı, 2015; Yüksel ve Avcı, 2015; Avcı, 2016; Avcı ve Yüksel, 2016; Arabameri vd. 2018; Güney ve Turoğlu, 2018; Arabameri vd. 2019; Aslam vd. 2021; Demirağ Turan ve Uzun, 2021; Ghosh ve Mukhopadhyay, 2021; Mokarram ve Zarei, 2021; Sinshaw vd. 2021) ve erozyon konusunda uzman akademisyenlerin görüşlerinden yararlanılmıştır. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra tutarlılık oranı hesaplanmış ve bu oranın 0.10’un altında (0.081) olduğu görülmüştür (Tablo 3).

Çalışmada kullanılan parametreler, alt sınıflara ayrılmış ve her bir alt sınıfa erozyon duyarlılıkları dikkate alınarak 1 ile 10 arasında (alt sınıfın erozyona karşı duyarlılığı çok yüksek ise 10 puan, erozyona karşı duyarlılığı çok düşük ise 1 puan olacak şekilde) puanlar verilmiştir. Alt sınıfların puanlandırılmasında yine konu ile ilgili literatürden ve uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Daha sonra ArcGIS 10.5 yazılımında ağırlıklı toplam (weighted sum) bindirme analizi kullanılarak “Erozyon Duyarlılık İndeksi (EDI)” hesaplanmıştır. Çalışma alanında erozyon duyarlılık indeks değeri 1.45 ile 8.83 arasında değişmektedir. ArcGIS 10.5 yazılımında EDI değerleri “natural breaks (jenks)” sınıflandırma yöntemine göre 3 alt sınıfta (düşük, orta, yüksek) yeniden sınıflandırılmış ve çalışma alanının erozyon duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 8).

Tablo 3. İkili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar

Ölçütler	Eğim	NDVI	AK	Litoloji	DY	DAU	SPI	TWI	PE	Bakı	LS	Ağırlık
Eğim	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	9	0.2732
NDVI		1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	0.2056
AK			1	2	3	4	5	6	7	8	8	0.1515
Litoloji				1	2	3	4	5	5	6	7	0.1079
DY					1	2	3	3	4	5	6	0.0759
DAU						1	2	3	3	4	4	0.0547
SPI							1	2	3	3	4	0.0419
TWI								1	2	3	3	0.0316
PE									1	2	3	0.0248
Bakı										1	2	0.0182
LS											1	0.0147

AK: Arazi Kullanımı, DY: Drenaj Yoğunluğu, PE: Plan Eğriliği, LS: Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik Faktörü
 $\lambda_{max} = 12.2231$
 $CI = 0.12231$
 $CR = 0.081$



Şekil 8. Çalışma alanının erozyon duyarlılık haritası

Buna göre çalışma alanının %4.9'unun düşük, %9.17'sinin orta ve %5.58'inin ise yüksek derecede erozyona duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanının %80.23'ünün verimli orman alanları ile kaplı olmasının, yüksek derecede erozyona duyarlı alanların oranının düşük çıkmasında etkili olduğu değerlendirilmiştir.

Yüksek derecede erozyona duyarlı alanlar eğim açısından değerlendirildiğinde, erozyona duyarlı alanların yaklaşık %95 gibi yüksek bir oranla 15° ve üzerindeki eğim sınıfları arasında toplandığı tespit edilmiştir. Erozyona en duyarlı eğim sınıfları ise %20.18'lik oranla 20° ile 25° eğime sahip alanlar ile %19.89'luk oranla 25° ile 30° eğime sahip alanlar olmuştur.

Üretilen erozyon duyarlılık haritası çalışma alanının bakı haritası ile karşılaştırıldığında, yüksek derecede erozyona duyarlı alanların, sırasıyla, %27.72'lik oranla güney bakıya, %24.72'lik oranla güneydoğu bakıya, %14.15'lik oranla güneybatı bakıya ve %13.99'luk oranla da doğu bakıya sahip bölgelere denk geldiği belirlenmiştir. Bakı ile erozyon arasındaki ilişki çalışmada kullanılan parametrelerin açıklandığı bölümde açıklanmıştır. Bu bakımdan, bakı açısından elde edilen bulguların güncel literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. Örneğin, Amiri vd. (2019) tarafından İran'ın Maharloo havzasında yapılan çalışmada erozyonların çoğunlukla güney bakıya sahip alanlarda meydana geldiği belirtilmiştir. Arabameri vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada da güneydoğu, doğu ve güneybatı bakıya sahip yamaçların erozyona karşı daha duyarlı olduğu görülmüştür.

Profil eğriliği ile erozyon duyarlılığı arasındaki ilişki incelendiğinde yüksek derecede erozyona duyarlı alanların %52.66'lık oranla dış bükey yüzeylerde ve %46'lık oranla da içbükey yüzeylerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Güney (2018), dışbükey yamaçlarda su akışının daha hızlı olması nedeniyle dışbükey yamaçların erozyona daha duyarlı olduğunu belirtmiştir.

Literatürde TWI ile erozyon arasında ters bir ilişki olduğu, TWI değeri arttıkça erozyon duyarlılığının azaldığı belirtilmiştir (Amiri vd. 2019; Mokarram ve Zarei, 2021). Bu çalışmada da TWI açısından benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma alanında yüksek derecede erozyona duyarlı bölgelerin yaklaşık %96 gibi büyük bir oranla TWI değerinin düşük olduğu bölgelerde yer aldığı tespit edilmiştir.

Diğer taraftan, arazi kullanımı açısından sırasıyla tarım (ziraat) alanları (%64.57) ile verimsiz orman (%20.03) alanlarının erozyona en duyarlı alanlar oldukları tespit edilmiştir. Literatürde bu bulguyu destekleyecek çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin; Değerliyurt (2013) tarafından Hatay ilinde bulunan Arşuz Çayı Havzası'nın erozyon duyarlılık haritasının üretildiği çalışmada, erozyon duyarlılık derecesi yüksek çıkan alanların önemli bir kısmının tarım alanlarına karşılık geldiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde Pektezeli (2015) tarafından Gelibolu Yarımadası'nda gerçekleştirilen erozyon duyarlılık analizinde, ekili - dikili tarım arazilerinin erozyon şiddetinin en yüksek olduğu yerler olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, Demirağ Turan ve Uzun (2021) tarafından Orta Karadeniz Bölgesinde yer alan Çorum Çayı Havzası'nda gerçekleştirilen erozyon risk değerlendirmesinde de havzada kuru tarım yapılan yüksek eğimli yamaçlarda erozyon riskinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Jeolojik açıdan değerlendirildiğinde erozyona yüksek derecede duyarlı alanların %32.68'lik oranla Kızılkaya formasyonu, %20.77'lik oranla Çağlayan formasyonu ve %14.87'lik oranla Çatak formasyonuna denk geldiği tespit edilmiştir.

Yüksek derecede erozyona duyarlı alanların yaklaşık %79 oranla drenaj ağlarına 0-250 m mesafede bulunduğu tespit edilmiştir. Mosavi vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada da akarsulara ya da drenaj ağlarına yakın bölgelerin toprak erozyonuna daha duyarlı olduğu belirtilmiştir.

Çalışma sahasında yüksek derecede erozyona duyarlı alanların yaklaşık %75'lik oranla drenaj yoğunluğunun nispeten düşük olduğu bölgelerde bulunduğu tespit edilmiştir. Literatürdeki çalışmalara göre erozyona duyarlı alanların drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde olması beklenmektedir (Rahmati vd. 2016; Rahmati vd. 2017; Arabameri vd. 2020). Ancak çalışma alanında drenaj yoğunluğunun düşük olduğu kesimler, arazi kullanımı açısından çoğunlukla ziraat ve verimsiz orman alanlarına tekabül etmektedir. Bu durumun çalışma alanında drenaj yoğunluğu düşük bölgelerin erozyona daha duyarlı çıkmasında etkili olduğu değerlendirilmiştir. Nitekim Güney (2018) tarafından Selendi çayı havzasında yapılan erozyon duyarlılık çalışmasında da araştırma alanındaki erozyon yüzeylerinin yarısından fazlasının drenaj yoğunluğunun düşük olduğu alanlara tekabül ettiği tespit edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP yöntemi kullanılarak Artvin ilinde bulunan Godrahav Deresi Havzasının erozyon duyarlılık haritası üretilmiştir. Godrahav Deresi Havzası, ülkemizde erozyon miktarının en fazla olduğu havzalardan biri olan Çoruh Havzası'nın alt havzalarından biridir. Erozyon duyarlılık analizinde; akarsu aşındırma güç indeksi (SPI), arazi kullanımı, bakı, eğim, eğim uzunluk ve eğim diklik faktörü (LS), drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına uzaklık, litoloji, NDVI, profil eğriliği ve TWI'yi içeren 11 jeo-çevresel faktör dikkate alınmıştır. Üretilen erozyon duyarlılık haritasında çalışma alanı üç duyarlılık sınıfına (düşük, orta, yüksek) ayrılmıştır. Bu haritaya göre çalışma alanının sadece %5.58'inin yüksek derecede erozyona duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Duyarlı alanların bu denli küçük çıkmasında çalışma sahasının yaklaşık %80'inin orman alanları ile kaplı olması etkili olmuştur. Çalışma sahasında tarım alanlarının yaklaşık %65'inin, verimsiz orman alanlarının ise yaklaşık %20'sinin erozyona karşı duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Bu nedenle, çalışma sahasında erozyon duyarlılığın yüksek olduğu alanlarda, erozyon önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Ayrıca, erozyon duyarlılık çalışmalarında ihtiyaç duyulan önemli verilerden biri olan toprak haritalarının güncellenmesi ve çalışmalarda kullanılması kaçınılmazdır. Diğer taraftan, kapsamlı arazi çalışmaları yapılarak erozyon envanter haritalarının üretilmesi ve makine öğrenme teknikleri gibi doğruluğu yüksek modellerin kullanılarak bölgenin erozyon duyarlılığının belirli periyotlarla yeniden değerlendirilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

- Akgün, A., & Türk, N. (2011). Mapping erosion susceptibility by a multivariate statistical method: A case study from the Ayvalık region, NW Turkey. *Computers&Geosciences*, 37, 1515–1524.
- Amiri, M., Pourghasemi, H. R., Ghanbarian, G. A. & Afzali, S. F. (2019). Assessment of the importance of gully erosion effective factors using Boruta algorithm and its spatial modeling and mapping using three machine learning algorithms. *Geoderma*, 340, 55–69.
- Arabameri, A., Rezaei, K., Pourghasemi, H. R., Lee, S. & Yamani, M. (2018). GIS-based gully erosion susceptibility mapping: a comparison among three data-driven models and AHP knowledge-based technique. *Environmental Earth Sciences*, 77, 628. doi: 10.1007/s12665-018-7808-5.
- Arabameri, A., Pradhan, B., Rezaei, K. & Conoscenti, C. (2019). Gully erosion susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis techniques. *Catena*, 180(2019), 282–297.
- Arabameri, A., Pradhan, B. & Tien Bui, D. (2020). Spatial modelling of gully erosion in the Ardebil River Watershed using three statistical-based techniques. *Catena*, 190(2020), 104545. doi: 10.1016/j.catena.2020.104545.
- Aslam, B., Maqsoom, A., Alaloul, W. S., Musarat, M. A., Jabbar, T. & Zafar, A. (2021). Soil erosion susceptibility mapping using a GIS-based multi-criteria decision approach: Case of district Chitral, Pakistan. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 1637–1649.
- Avcı, V. (2016). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Gökdere Havzası ve Çevresinin (Bingöl) Erozyon Duyarlılık Analizi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(26), 170-193.
- Avcı, V. & Yüksel, A. (2016). Büyükçay Havzası'nın (Elazığ) Erozyon Risk Haritasının Hazırlanması. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2), 319-335.
- Bhushan, N. & Kai, K. (2004). *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*. London, UK: Springer-Verlag.
- Catani, F., Lagomarsino, D., Segoni, S. & Tofani, V. (2013). Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2013, 13(11), 2815-2831.
- Conforti, M., Aucelli, P. C., Robustelli, G. & Scarciglia, F. (2011). Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). *Natural Hazards*, 56, 881–898.
- ÇEM. (2021, Ağustos 6). Erozyon Kontrolü. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü. Retrieved from <https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Menu/32/Erozyon-Kontrolu>
- Değerliyurt, M. (2013). Arsuz Çayı Havzası'nın Erozyon Duyarlılık Analizi. *International Journal of Social Science*, 6(7), 321-344.
- Demirağ Turan, İ. & Uzun, A. (2021). Analitik Hiyerarşik Süreç ve CBS Teknikleri Kullanılarak Çorum Çayı Havzasında Toprak Erozyonu Riskinin Modellenmesi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2021(6), 41-55.
- Dindaroğlu, T. & Canbolat, M. Y. (2014). Erzurum İli Kuzgun Baraj Gölü Havzasında Gerçek ve Potansiyel Erozyon Risk Alanlarının CORINE Yöntemiyle Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 16(4), 8-15.
- Donegan, H. A. & Dodd, F. J. (1991). A note on Saaty's random indexes. *Mathematical and Computer Modelling*, 15(10), 135-137.
- Ghorbanzadeh, O., Shahabi, H., Mirchooli, F., Kamran, K. V., Lim, S., Aryal, J., Jarihani, B. & Blaschke, T. (2020). Gully erosion susceptibility mapping (GESM) using machine learning methods optimized by the multi-collinearity analysis and K-fold cross-validation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1653–1678.
- Ghosh, B. & Mukhopadhyay, S. (2021). Erosion susceptibility mapping of sub-watersheds for management prioritization using MCDM-based ensemble approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 36, doi: 10.1007/s12517-020-06297-4.
- Gómez-Gutiérrez, A., Conoscenti, C., Angileri, S. E., Rotigliano, E., Schnabel, S. (2015). Using topographical attributes to evaluate gully erosion proneness (susceptibility) in two mediterranean basins: advantages and limitations. *Natural Hazards*, 79(1), 291–314.
- Güler, S. (2020). *Godrahav Havzasında Toprak Bozulma Katsayısındaki Değişimin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Artvin, Türkiye.
- Güney, Y. (2018). Frekans Oranı Yönteminin Erozyon Duyarlılık Analizinde Kullanımı: Selendi Çayı Havzası (Manisa) Örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 73-85.
- Güney, Y. & Turoğlu, H. (2018). Çok Ölçütlü Karar Analizi İle Erozyon Duyarlılık Çalışmalarında Erozyon Yüzeyleri Envanter Verisinin Kullanımı: Selendi Çayı Havzası Örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16(1), 105-119.

- İkiel, C., Ustaoglu, B. & Koç, D. E. (2020). Trakya Yarımadası'nda Erozyon Duyarlılık Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2020(4), 1-14.
- İmamoğlu, A. (2020). Alaca Çayı Havzası Erozyon Durumunun Morfometrik Ölçümler ile İlişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 868-878.
- Keskin, İ. (2013). *1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. No: 179: Artvin E47 ve F47 Paftaları*. Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley and Sons.
- MGM. (2021a, Ağustos 6). Resmi İstatistikler. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Retrieved from <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ARTVIN>
- MGM. (2021b, Ağustos 6). Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Retrieved from https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/Thornthwaite.pdf
- Mokarram, M. & Zarei, A. R. (2021). Determining prone areas to gully erosion and the impact of land use change on it by using multiple-criteria decision-making algorithm in arid and semi-arid regions. *Geoderma*, 403, 115379, doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115379.
- Mosavi, A., Sajedi-Hosseini, F., Choubin, B., Taromideh, F., Rahi, G. & Dineva, A.A. (2020). Susceptibility Mapping of Soil Water Erosion Using Machine Learning Models. *Water*, 12, 1995. doi: 10.3390/w12071995.
- Mutlu, Y. E., Soykan, A. & Fıçıcı, M. (2021). Kille Çayı (Balıkesir) Havzasında Erozyon Risk Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2021(6), 98-111.
- Özdemir, M. A. & Tatar Dönmez, S. (2016). CBS Tabanlı RUSLE Yöntemiyle Işık Gölü Havzasının Erozyon Risk Analizi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 1-21.
- Öztürk, D. & Batuk, F. (2010). Konumsal Karar Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması. *Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124-137.
- Özşahin, E. (2008). Keçi Dere (Gönen Çayı'nın Bir Kolu) Havzasının Hidrografik Özelliklerine Sayısal Yaklaşım. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5(10), 301-317.
- Pekal, K. & Tilki, F. (2010, Mayıs). Artvin Çoruh Nehri Su Havzasında Erozyon Kontrolü Amaçlı Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi. *III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi, 2010*. Bildiri Kitapları (pp. 656-667).
- Pektezel, H. (2015). Gelibolu Yarımadası'nda CBS Tabanlı Rusle (3d) Yöntemiyle Erozyon Duyarlılık Analizi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(17), 131-151.
- Pourghasemi, H. R., Yousefi, S., Kornejady, A. & Cerdà, A. (2017). Performance assessment of individual and ensemble data-mining techniques for gully erosion modeling. *Science of the Total Environment*, 609, 764-775.
- Rahmati, O., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H. R. & Noormohamadi, F. (2016). Gully erosion susceptibility mapping: the role of GIS-based bivariate statistical models and their comparison. *Natural Hazards*, 82, 1231-1258.
- Rahmati, O., Tahmasebipour, N., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H. R. & Feizizadeh, B. (2017). Evaluation of different machine learning models for predicting and mapping the susceptibility of gully Erosion. *Geomorphology*, 298, 118-137.
- Rouhani, H., Fathabadi, A. & Baartman, J. (2021). A wrapper feature selection approach for efficient modelling of gully erosion susceptibility mapping. *Progress in Physical Geography*, 45(4), 580-599.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 57-68.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York, NY: McGraw-Hill International.
- Sönmez, M.E., Çelik, M.A. & Seven, M. (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yardımıyla Kilis Merkez İlçesinin Erozyon Risk Alanlarının Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1), 1-21.
- Sun, W., Shao, Q., Liu, J. & Zhai, J. (2014). Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China. *Catena*, 121, 151-163.
- Sunkar, M. & Avci, V. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) ile Hasret Dağı ve Çevresinin (Elazığ) Erozyon Duyarlılık Analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13(1), 17-40.
- Tombuş, F. E. (2005). *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Risk Belirlemesine Yeni Bir Yaklaşım, Çorum İli Örneği* (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Tombuş, F. E. & Ozulu, İ. M. (2007, Ekim). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Risk Belirlemesine Yeni Bir Yaklaşım, Çorum İli Örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 30 Ekim - 02 Kasım, KTÜ, Trabzon.
- Sinshaw B. G., Belete A. M., Tefera A. K., ... & Moges, M. A. (2021). Prioritization of potential soil erosion susceptibility region Using fuzzy Logic and Analytical Hierarchy process, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Water-Energy Nexus*, 4, 10-24.

- Verstappen, H. Th. (1983). *Applied geomorphology*. ITC, Enschede: Elsevier.
- Yanar, T., Kocaman, S. & Gokceoglu, C. (2020). Use of Mamdani Fuzzy Algorithm for Multi-Hazard Susceptibility Assessment in a Developing Urban Settlement (Mamak, Ankara, Turkey). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 114, doi: 10.3390/ijgi9020114.
- Yüksel, A. & Avcı, V. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama ile Yamaç Havzası'nın (Bingöl) Erozyon Duyarlılık Analizi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 116-128.

Çevrimiçi Alışveriş Tercihlerinin Mekânsal Dağılımında COVID-19 Pandemi Etkisi

The Impact of the COVID-19 Pandemic on the Spatial Distribution of Online Shopping Preferences

Ege İmren¹, Berk Anbaroğlu^{1*}

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

DERLEME MAKALE

*Sorumlu yazar:

Berk Anbaroğlu
banbar@hacettepe.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.944468

Yayın süreci

Geliş tarihi: 28.05.2021

Kabul tarihi: 13.07.2021

Basım tarihi: 29.09.2021

Özet

Günümüzde bilgi iletişim teknolojileri (BİT) altyapılarındaki gelişmeler ve mobil cihaz kullanımının yaygınlaşmasıyla internet kullanımı artmıştır. İnternetin ticaret kanalı olarak kullanılmasıyla yüz yüze yapılan alışveriş sanal ortamlara doğru kaymış, bireylerin alışveriş yapma alışkanlıkları da değişmeye başlamıştır. İlgili literatür incelendiğinde; çevrimiçi alışveriş yapan bireylerin mekânsal dağılımını açıklayan iki hipotez belirtilmektedir; verimlilik ve yenilik hipotezleri. Verimlilik hipotezi; çevrimiçi alışverişe olan talebin ticari alanlara erişilebilirliğin düşük olmasından kaynaklandığını belirtirken, yenilik hipotezi teknolojik altyapının daha fazla olduğu bölgelerde bireylerin çevrimiçi alışveriş yapmaya daha eğilimli olduğunu savunmaktadır. Bu hipotezlerle kentsel ve kırsal alanlardaki çevrimiçi alışveriş tercihlerinin sebepleri ve coğrafya(mekân) ile nedensel ilişkileri bilimsel olarak ortaya konmaktadır. Çevrimiçi alışverişe olan talebin uzun vadede kentteki ulaşım planlaması ve perakende sektörüne etkileri olacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, COVID-19 salgını nedeniyle getirilen kısıtlamalar ve "evde kal" önlemleri nedeniyle internet kullanımı artmıştır. Bu çalışmada çevrimiçi alışverişin mekânsal dağılımıyla ilgili pandemiden önce ve sonra olmak üzere yapılan çalışmaların incelenerek, pandeminin çevrimiçi alışveriş ve mekân kullanımına etkisi ortaya çıkarılacaktır.

Anahtar kelimeler: Çevrimiçi alışveriş, BİT, Çevrimiçi alışverişin mekânsal dağılımı, COVID-19 coğrafi yansımaları

Abstract

Today, internet usage has increased with the developments in information communication technologies (ICT) infrastructures and the widespread use of mobile devices. With the use of the Internet as a commercial channel, face-to-face shopping has shifted to virtual environments, and individuals' shopping habits have begun to change. When the relevant literature is examined; Two hypotheses are stated to explain the spatial distribution of individuals who shop online; efficiency and innovation hypotheses. While the efficiency hypothesis states that the demand for online shopping is due to low access to commercial areas, the innovation hypothesis argues that individuals are more likely to shop online in regions with more technological infrastructure. With these hypotheses, the reasons for online shopping preferences in urban and rural areas and their causal relationships with geography (place) are scientifically revealed. It is thought that the demand for online shopping will have long-term effects on the transportation planning and retail sector in the city. Along with these, internet usage has increased due to the restrictions imposed due to the COVID-19 outbreak and "stay at home" measures. In this study, the effects of the pandemic on online shopping and space use will be revealed by examining the studies on the spatial distribution of online shopping, both before and after the pandemic.

Keywords: Online shopping, ICT, Spatial distribution of online shopping, Geographical reflections of COVID-19

1. Giriş

Günümüz kentlerinde artan bilgi iletişim teknolojileri (BİT) altyapıları sayesinde bireylerin günlük hayatlarında internete ve sosyal ağlara erişimleri kolaylaşmıştır. Mobil cihaz sahipliliğinin hız kazanmasıyla bireylerin interneti ve sosyal ağları kullanma oranları artmıştır. İletişim ve haberleşme teknolojilerindeki hızlilik sayesinde bireyler gün içerisinde dünyanın birçok farklı yerinden bilgi ve haber alabilir, iş ve çalışma şekillerini internete entegre edebilir, boş vakitlerini de yine aynı şekilde sosyal ağlar ve mobil uygulamalar üzerinde değerlendirebilir hale gelmişlerdir.

Elektronik ticaret (e-ticaret) kavramı ise özellikle 1990'lı yıllarda internetin ticaret ve pazarlama aracı olarak kullanılmasıyla ortaya çıkmış bir kavramdır. Ülke ve şehirlerin mobil geniş bant hizmeti, BİT altyapısı, mobil cihaz ve internet abone sayısı, bireylerin kredi kartı sahipliliği gibi birden farklı değişkene göre e-ticaret kullanım alışkanlığı farklılık göstermektedir. İnternetin bir ticaret kanalı olarak keşfedilmesiyle özellikle alışveriş eyleminin zamansal ve mekânsal olarak sınırları belirsizleşmiş ve hem üretici hem de tüketiciler için çevrimiçi alışveriş platformları önem kazanmıştır. Buna bağlı olarak da internet üzerinden sipariş edilebilen ürünlerin çeşitliliği her geçen gün artmaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) Türkiye'deki hane halkı bilişim teknolojileri kullanımına ilişkin temel göstergeler araştırmasında 2009 yılında %4,5 olan internet üzerinden ürün alışverişi 2020 yılında 8 kat artarak %36,5 değerine ulaşmıştır. Aynı araştırmada hanelerin %90,7'sinin internete erişim sağladığı ve bireylerin %79'unun internet kullanımını olduğu gösterilmiştir. Bireylerin çevrimiçi alışveriş tercihlerinin %60,9'u giyim, ayakkabı ve aksesuar, %26,1 ile basılı kitap, dergi, gazete; %22,5 ile çevrimiçi yemek ve süpermarket siparişleri takip etmektedir (TÜİK, 2020).

2020 yılında çevrimiçi alışverişe olan talebin artmasındaki en önemli etken kuşkusuz ki Dünya Sağlık Örgütü'nün, Mart 2020'de COVID-19 (koronavirüs) salgınına pandemi olarak ilan etmesi ve devletlerin salgını önlemek adına kısıtlayıcı tedbirler getirmeleri olmuştur. Bu tedbirlerin başında bireylerin birbirleriyle temasını ve virüsün yayılmasını azaltmaya yarayacak olan; farklı kademedeki okulların örgün eğitime ara vererek uzaktan eğitime geçmesi, yurtdışı ve yurtiçi seyahat kısıtlamaları, eğlence ve sosyo-kültürel mekanların geçici süreyle kapatılması, "kontrollü sosyal hayat" dönemi ve ilki 11 Nisan 2020 tarihinde olmak üzere düzenli olarak sokağa çıkma yasaklarının getirilmesi bulunmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, 2020).

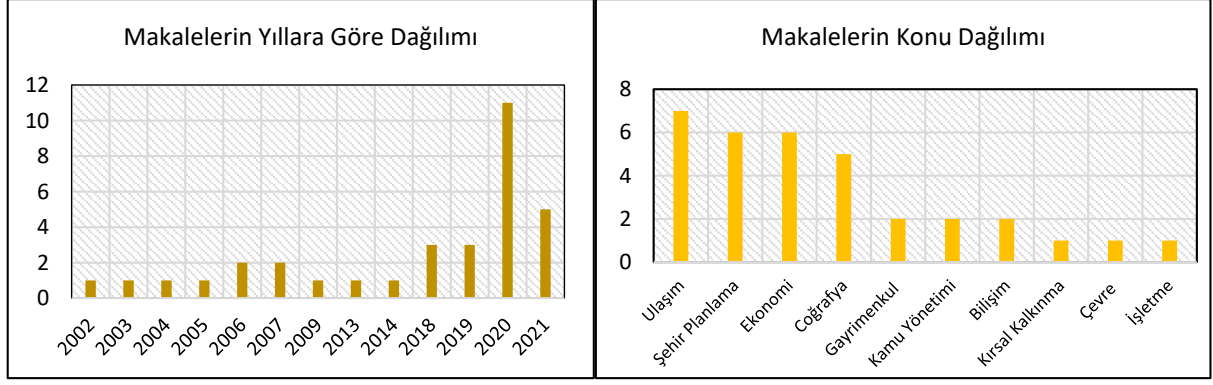
2020 yılının tamamını kapsayan ve belli zaman aralıklarında sıklığını arttıran bu kısıtlamaların da etkisiyle bireylerin birbirleriyle ve kamusal alanlarda geçirdikleri vakitlerin yerini evde vakit geçirmeler, evden çalışma (home-office) durumları, yalnızca acil olan durumlarda ve özel araçlarla toplum içine karışma gibi süreçler yaşanmakta ve yaşanmaya devam etmektedir. Evde "zorunlu" olarak geçirilen vakitlerin artmasıyla dışarıdan karşılanan birçok ihtiyaç evden minimum düzeyde çıkararak temin edilmeye çalışılmaktadır. Bu sebeple de, Ticaret Bakanlığı'nın açıkladığı 2020 yılı içerisindeki e-ticaret verilerinde "evdekal" süreçleri ve kısıtlama tedbirlerinin etkilerine bakıldığında geçen yıla kıyasla e-ticaret hacminin %66'lık bir artışla 136 milyar TL'den 226,2 milyar TL'ye ulaştığı görülmektedir (Ticaret Bakanlığı, 2020).

Çevrimiçi alışverişin sağladığı, sipariş edilecek ürün hakkındaki bilgilere, fiyat karşılaştırmalarına, tüketici yorumlarına ve benzer ürünlere ulaşarak tüm alışveriş sürecini internet üzerinden kolayca ve zaman kaybetmeden halledebilmek önemli bir avantaj olarak görülmektedir. Çevrimiçi alışverişe olan ilginin ve talebin artması sonucunda, şüphesiz ki bireylerin geleneksel perakende olarak nitelendirilen "fiziksel" alışveriş mekanlarını tercih etmelerini de etkileyecektir (Cao vd. 2013; Weltevreden ve Rietbergen, 2007). Perakende sektörünün, bireylerin internet kullanımı ve internet üzerinden yaptıkları alışverişlerden etkileneceği Anderson vd. (2003) tarafından yapılan "E-ticaret, Ulaşım ve Ekonomik Coğrafya" isimli çalışmada ortaya konmuştur. Bu konuda yapılan bu ilk çalışma ile çevrimiçi alışverişin coğrafya ve kent üzerindeki etkisi daha detaylı olarak araştırılmaya başlanmıştır.

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde; çevrimiçi alışveriş yapan bireylerin mekânsal olarak dağılımını ve mekandaki değişkenleri açıklayan; verimlilik ve yenilikçilik hipotezleri olmak üzere iki farklı hipotez bulunmaktadır. Verimlilik hipotezi; çevrimiçi alışverişe olan talebin ticari kullanımlara erişilebilirliğin düşük olmasından kaynaklandığını öne sürerken, yenilikçilik hipotezi ise teknolojik altyapının daha fazla olduğu bölgelerde kişilerin çevrimiçi alışveriş yapmaya daha fazla eğilimli olduğunu savunmaktadır (Cao vd. 2013; Farag vd. 2006; Hood vd. 2020; Maat ve Konings, 2018; Ren ve Kwan, 2009). Ancak çevrimiçi alışveriş tercihinin coğrafya ve kent ile ilişkisi üzerinde duran çalışmaların henüz yeterince yaygın olmadığı görülmektedir (Kirby-Hawkins vd. 2019).

Bu kapsamda, yürütülecek olan bu çalışmada pandemi öncesi ve sonrası dönemlerde çevrimiçi alışverişin coğrafya ve kent ile ilişkisini konu alan araştırmaların amaç, yöntem ve sonuç kısımları incelenerek; özellikle pandemi dönemindeki çevrimiçi alışverişte yaşanan aşırı talebin kente yansımalarının nasıl olduğu belirlenecektir. İncelenen akademik çalışmalar için temel anahtar kavramlar "e-ticaret (e-commerce)", "çevrimiçi alışveriş (çevrimiçi shopping)", "eve sipariş (home-delivery)", "tüketici davranışı (consumer behaviour)", "mekânsal analiz (spatial analysis)", "perakende coğrafyası (retail geography)" ve "COVID-19" olmakla birlikte, konunun çok disiplinli bir yapıda olması sebebiyle özellikle kent ve coğrafi yapı üzerine yapılan çalışmalara odaklanılmıştır.

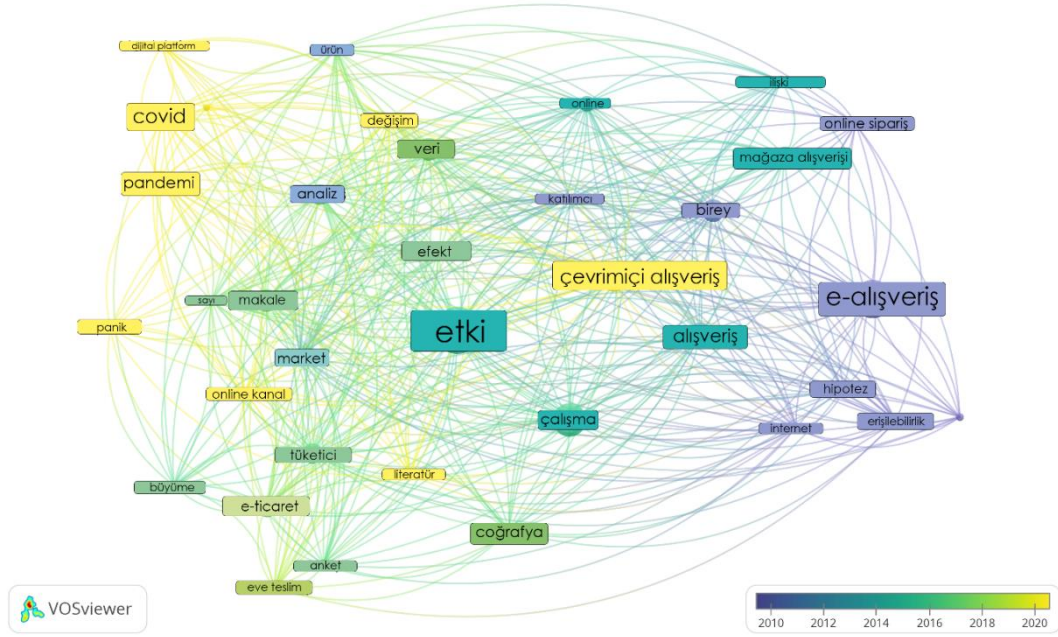
2000 yılı ile 2021 yılları arasında yapılmış toplam 33 farklı bilimsel dergi makalesi ile konferans bildirisi incelenmiştir. İncelenen akademik yayınların yıllara göre dağılımları ve konu başlıkları aşağıda yer alan Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Akademik yayınların yıllara göre dağılımı

Şekil 2. Akademik yayınların konu dağılımı

İncelenen yayınlar için VOSviewer programı aracılığıyla bibliyometrik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu yayınlar içerisinde minimum 5 defa ve üzerinde yer alan kelimeler için bir kelime ağı haritası üretilmiştir. Üretilen kelime ağı haritasında akademik yayınlarda geçen kelimelerin sayıları ile aynı oranla gösterim büyüklükleri verilerek görselleştirmeleri sağlanmıştır. Bu yayınlarda en çok geçen beş kelime “etki”, “e-alışveriş”, “çevrimiçi alışveriş”, “COVID” ve “pandemi” olmuştur. Kelime ağı haritasının yıllara göre dağılımı Şekil 3’de yer almaktadır. Özellikle “panik” ve “değişim” gibi döneme özgü anahtar kelimelerin pandemi dönemiyle birlikte bu konuda yapılan akademik yayınlara girdiği görülmektedir.



Şekil 3. Akademik yayınlardaki kelimelerin ilişki haritasının yıllara göre dağılımı

Çalışmanın kurgusu şu şekilde planlanmıştır; çevrimiçi alışveriş ile ilgili genel bilgilerin ve literatür incelemelerinden elde edilen çevrimiçi alışveriş ve fiziksel mekan arasındaki ilişkilerin makalenin ikinci bölümünde anlatılması, COVID-19 ile gelen pandemi döneminin bu bahsedilen ilişkilerdeki etkisinin detaylı olarak üçüncü bölümde ele alınması ve son bölüm olan sonuç bölümü de pandemiyle birlikte kentsel hayatın ve çevrimiçi alışveriş ilişkisinin kısa/uzun vadede olası değişimleri ve gelecek çalışmalar için öneriler şeklindedir.

2. Çevrimiçi Alışverişin Coğrafi Dağılımı

Alışveriş, birçok toplum için boş vakit değerlendirme ve eğlence etkinliği olarak hem para hem de zaman tüketiminin sağlandığı faaliyetlerden biridir (Ercoskun ve Özöduru, 2013; Erkip, 2005). Bireylerin gündelik yaşamlarında bir araya gelerek sosyalleşmeleri ve ticari faaliyet gerçekleştirmelerine olanak sağlayan alışveriş mekanları da, sosyal ve ekonomik canlılık sağlamasından dolayı kentin önemli kamusal alanlarından biri olmaktadır (Gürün, 2005).

Geleneksel alışveriş mekanlarının değişimi, kent merkezlerinin dönüşümü ve alışveriş merkezi (AVM) kavramının ortaya çıkarak hızla yaygınlaşmasının kent üzerindeki etkileri şehir planlama literatüründe güncelliğini hala koruyan konulardır. Salomon (1986) e-ticaret üzerindeki artan talebin fiziksel mağazaların varlığı ve devamlılığı için önemini vurgularken, literatürdeki tartışmaların üzerine alışverişin çevrimiçi platformlarda hız kazanması kentteki perakende ve pazarlama coğrafyasının geleceği üzerine düşünülmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Bireylerin çevrimiçi alışverişini tercih etmelerinde yaşadıkları coğrafyanın da bir etkisi olması ve bu tercihten yine yaşadıkları coğrafyanın da doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmesi Anderson vd. (2003) tarafından dile getirilmiştir. Bu ifadeyle aslında sanal ortamdaki alışveriş ile gerçek dünyadaki ticari faaliyetlerin/perakende coğrafyasının arasında bir neden-sonuç ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Anderson vd. 2003; Cao vd. 2013; Hood vd. 2020; Maat ve Konings, 2018; Ren ve Kwan, 2009; Weltevreden ve Rietbergen, 2007; Xi vd. 2020).

Bireylerin yaşadıkları kentin çevrimiçi alışveriş alışkanlığına ne gibi etkisi olduğu ve bu alışkanlığın sonucunda kenti somut olarak nasıl etkiledikleri 2.1 ve 2.2 bölümlerde sunulmaktadır.

2.1. Çevrimiçi Alışverişe ve Çevrimiçi Alışveriş Tercihine Genel Bir Bakış

Günümüzde çevrimiçi alışveriş platformları satışı yapılan ürün çeşitlerine göre ikiye ayrılmaktadır. Teknolojik cihaz, kıyafet, ayakkabı gibi acil teslimat gerektirmeyen ürünlerin satışını kapsayan uygulamalar için haftalık/aylık alışveriş uygulaması kavramı kullanılmaktadır. BİT altyapısının son yıllarda hız kazanması neticesinde internet üzerinden verilen siparişler günlük olarak da teslim edilmeye başlanmıştır. Birçok e-ticaret uygulaması "Anında Teslimat" kapsamına girebilecek ürün siparişlerinin satışını gerçekleştirmeye yönelmişlerdir. Yemek siparişi, süpermarket alışverişi gibi gıda temelli alışverişler de internet ve mobil uygulamalar üzerinden sıklıkla gerçekleştirilmektedir. Farklı türlerdeki uygulamaların Türkiye'de yaygın örnekleri Şekil 4'te belirtilmiştir.

Günlük Alışveriş Uygulamaları

- Talep Bazlı Market Sipariş Uygulamaları
- Anında Teslimat Servisleri
- Online Market Hizmetleri
- Anlık Tüketim Alışveriş Siteleri



Haftalık / Aylık Alışveriş Uygulamaları

- Online Alışveriş Uygulamaları
- Çevrimiçi Alışveriş Platformları
- İkinci El Alışveriş Siteleri



Şekil 4. Çevrimiçi alışverişteki uygulama türleri

Çevrimiçi alışveriş, satın alınması planlanan ürünün ve/veya hizmetin sanal ortamlardan temin edilmesine olanak sağlayan bir sistemdir. Alışveriş yapacak olan bireyin, alışveriş eylemini gerçekleştirmek için fiziksel olarak bulunduğu ortamı değiştirme gerekliliğini ortadan kaldırır. Tüketiciler için geleneksel perakendecilikten çevrimiçi alışverişe geçişin en önemli getirilerinden biri de zaman ve maliyet kayıplarını önlemeleri olmuştur (Anderson vd. 2003; Bjørgen vd. 2019; Ms K Susmitha, 2021).

Sarkar ve Das (2017) yaptığı çalışmada bireylerin alışveriş yapma sürecini internet üzerinden ve geleneksel perakende mağazalardan olmak üzere 10 farklı başlık altında karşılaştırmıştır. Kolaylık, çeşitlilik, müşteri görüşü, farklı ürünlerle karşılaştırma, indirim, özel üretim ürün alma, ürüne dokunmak/denemek, gezinti amaçlı alışveriş yapma, ürünlerin teslimi ve iade başlıklarında iki farklı alışveriş ortamını da kıyaslamışlardır. Bu başlıklardan dördünde; birçok farklı sayıda ve çeşitlilikte ürüne ulaşma, bu ürünleri vakit ve enerji kaybı olmadan fiyat ve performans olarak farklı ürünlerle karşılaştırma ve indirim seçeneklerinin daha fazla olması sebebiyle çevrimiçi alışveriş sürecinin daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Geriye kalan altı başlık içinse geleneksel alışverişin bireyler için daha tercih edilebilir olduğunu belirtmişlerdir (Sarkar ve Das, 2017).

Bireylerin çevrimiçi alışveriş yapma tercihini etkileyen araştırmalar incelendiğinde bu durumu tetikleyen farklı etmenlerin olduğu gözlenmektedir. Genel olarak çalışmalarda ortak olarak bahsedilen ve bireylerin çevrimiçi alışverişe yönelmeleriyle ilişkili olan özellikler; bireylerin sosyo-demografik özellikleri (yaş, cinsiyet, medeni durum, gelir, eğitim düzeyi, çocuk sahipliği vb.) ile internete erişim rahatlığı ve internet kullanım alışkanlığı/sıklığı olarak belirtilmiştir (Lubis, 2018; Sim ve Koi, 2002; Sinai ve Waldfogel, 2004; Xi vd. 2020; Zheng ve Ma, 2021). Bunlara ek olarak geleneksel alışverişe yatkınlığı olan bireylerin de internet üzerinden alışverişini tercih etmelerinin ve benimsemelerinin kolay olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Cao vd. 2010; Xi vd. 2020).

Farag ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yayınlanan “Hollanda’da e-alışveriş: coğrafya önemli mi?” başlıklı makale ile çevrimiçi alışverişin coğrafi/kentsel/mekânsal özellikler ile doğrudan ilişkili olduğu yapılmış oldukları mekânsal analizlerle ilk kez bilimsel olarak ortaya konmuştur (Farag vd. 2006; Ren ve Kwan, 2009). Literatüre sağlanan bu katkı ile birlikte bireylerin çevrimiçi alışverişini tercih etmelerinde rol alan üç temel etken olduğu belirlenmiştir (Alaimo vd. 2020; Bjørgen vd. 2019; Cao vd. 2013; Farag vd. 2006; Hood vd. 2020; Kirby-Hawkins vd. 2019; Krizek vd. 2005; Maat ve Konings, 2018; Ren ve Kwan, 2009):

- Bireylerin sosyo-demografik özellikleri,
- İnternet kullanım alışkanlıkları,
- Yaşadıkları fiziksel çevrenin/coğrafyanın özellikleri

Bunlar dışında satın alınacak ürünün özellikleri (fiyatı, nitel/nicel özellikleri vb.), tercih edilecek çevrimiçi alışveriş sitesinin güvenilirliği ve bireylerin alışveriş sırasındaki ruh halleri de çevrimiçi alışveriş yapımını etkilemektedir (Farag vd. 2006; Maat ve Konings, 2018; Visser ve Lanzendorf, 2004).

2.2. Çevrimiçi Alışveriş ve Coğrafya İlişkisi

Literatürde, coğrafyanın çevrimiçi alışverişini nasıl etkilediği ile ilgili iki farklı hipotez bulunmaktadır (Anderson vd. 2003):

- Verimlilik hipotezi (Efficiency hypothesis)
- Yeniliğin yayılması hipotezi (Diffusion of innovation hypothesis)

Verimlilik hipotezi; ticari arazi kullanımının az olduğu, bireylerin perakende sektörüne erişim sorunu yaşadığı yerlerde çevrimiçi alışverişe yönelmelerinin ve alışveriş ihtiyaçlarını internet üzerinden sağlamalarının daha olası olduğunu açıklamaktadır. Bu hipoteze göre kentleşmenin ve ticari canlılığın yüksek olduğu bölgelerde yaşayan bireylerin çevrimiçi alışverişini daha az kullandıkları savunulmaktadır.

Yeniliğin yayılması hipotezine (bundan sonra “yenilik hipotezi” olarak bahsedilecektir) göre ise çevrimiçi alışverişini tetikleyen en önemli unsur; bireylerin BİT altyapısına, yeni teknolojik uygulamalara ve internete yakın olmalarıdır. Bu hipotezin temel görüşü; teknoloji kullanımına adaptasyonun yüksek olduğu bölgelerde bireylerin de internetten alışveriş yapma ihtimallerinin daha yüksek olduğudur. Bu sebeple de kentsel alanlardaki çevrimiçi sipariş verilerinin kırsal alanlara veya BİT altyapısı yeteri kadar olmayan alanlara göre daha fazla olduğu iddia edilmektedir.

Anderson vd. (2003) bu iki hipotezin de birbirlerinin zıttı olmadığı ve farklı coğrafyalar için geçerli olabileceğini belirtmişler ve bu durumu şöyle açıklamışlardır; kent merkezinde yaşayan bireylerin internet kullanmaya daha yatkın olmaları, ticari faaliyetlere erişilebilirlik sorunu yaşamaları bile çevrimiçi alışverişini tercih etme ihtimallerinin yüksek olabileceğini, kent çeperlerinde yaşayan bireylerin ise ticari kullanımlara erişememelerinden dolayı internet kullanımlarını arttırarak çevrimiçi alışveriş ile alışverişlerini yerine getirebileceklerini ifade etmişlerdir.

2.2.1. Çevrimiçi Alışveriş ve Coğrafya Arasındaki “Neden” İlişkisi

Çevrimiçi alışveriş tercihinde coğrafyanın etkisinin saptanması ile ilgili yapılan çalışmalarda önceki bölümde bahsedilen iki hipotezin doğruluğunu ölçmek için, farklı kentleşme durumundaki alanların karşılaştırılarak ampirik çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bunlardan ilki Farag ve arkadaşları (2006) tarafından Hollanda’daki internet kullanıcıları ve çevrimiçi alışveriş yapan bireylerin 1996-2001 yılları arasındaki mekânsal dağılımları ile yaşadıkları bölgedeki fiziksel değişkenlerin (farklı şehirleşme yapıları ve ticari kullanımlara erişim) çevrimiçi alışveriş üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmadır. Bu çalışmada Hollanda’nın 5 farklı şehirleşmeye sahip bölgesi (çok yoğun, yoğun, orta, seyrek ve şehirleşmemiş bölge) ve ülkede yaygın olarak kullanılan çevrimiçi alışveriş sitesindeki kullanıcı verileri kullanılmıştır. Yöntem olarak bireylerin sosyo-demografik özellikleri ve interneti kullanım süreleri ile belirlenen bölgelerdeki konutlara araçla 5-45 dk yakınlıktaki ticari dükkanların sayısı kullanılarak bir analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda çalışma bölgesinin hem yenilik hipotezini hem de verimlilik hipotezine uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şehirleşmenin fazla olduğu bir bölgede yaşayan insanların internette arama yapma ve internetten alışveriş yapma olasılıkları daha yüksektir. Öte yandan, daha az kentleşmiş veya kentleşmemiş alanlarda olduğu gibi ticari kullanım erişilebilirliği düşük olan bireyler, internet üzerinden daha fazla ürün satın almaktadır.

Ren ve Kwan (2009) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) Ohio eyaletinin Columbus metropoliten bölgesinde yapılan benzer çalışmada ise 2003-2004 yılları arasındaki ticari dükkanlara olan erişilebilirlik mesafelerinin bireylerin çevrimiçi alışverişini tercih etmeleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan veri seti eyaletteki farklı ürün gruplarının (kıyafet, kitap vb.) satıldığı ve 7 farklı kategori grubuna ayrılan (küçük bağımsız perakende mağazaları, indirimli mağazalar, tam kapsamlı mağazalar, mahalle alışveriş merkezleri, topluluk alışveriş merkezleri, bölgesel alışveriş merkezleri ve diğer perakende yapıları) ticari dükkanlar olmuştur. Bu ticari dükkanların sayıları ve dağılımlarını da konut alanlarına olan 6,25 dakika, 10 dakika, 12,5 dakika, 15 dakika, 20 ve 25 dakikalık araç mesafelerine göre incelemişlerdir. Araştırmacılar aynı zamanda bu bölgede yaşayan bireylerle anket yaparak, sosyo-demografik özellikler ve internet kullanım aktivitelerini de elde etmişlerdir. Çalışmada bireylerin evlerine kısa mesafede yer alan ticari kullanımların varlığı ve sayısı çevrimiçi alışveriş tercihini azaltma eğiliminde olduğu ve verimlilik hipotezinin bu çalışma alanı ve örneklem grubu için geçerli olabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Ticari dükkanlara erişilebilirliğin az olduğu konut alanlarındaki bireylerin de internet üzerinden daha fazla ürüne ulaşarak alışverişlerini çevrimiçi olarak gerçekleştirdikleri görülmüştür.

2013 yılında Cao ve arkadaşları tarafından ABD'nin Minnesota eyaleti Minneapolis ve Saint Paul şehirlerinde gerçekleştirilen bir diğer çalışmada çevrimiçi alışverişin mekânsal özellikler ile bağlantılı olup olmadığı yenilik ve verimlilik hipotezleri kıyaslanarak araştırılmıştır. Çalışmada bu iki şehirdeki bölgeler farklı kentleşme seviyesine göre kentsel alan, banliyö ve kent çeperleri olarak üç farklı araştırma alanı olarak belirleniyor ve bu bölgelerdeki 1 dakika, 2 dakika, 5 dakika, 10 ve 20 dakikalık araç mesafelerindeki ticari dükkanların sayısı saptanmıştır. Aynı zamanda bu bölgelerde yaşayan bireyler üzerinde de çevrimiçi bir anket gerçekleştirilerek bireylerin sosyo-demografik özellikleri, internet aktiviteleri ve alışveriş alışkanlıkları toplanmıştır. Araştırmanın sonucu alışveriş erişilebilirliğinin çevrimiçi alışveriş üzerindeki etkisinin tek tip olmadığı ve kentteki farklı konumlara bağlı değiştiğini göstermektedir. Ticari erişilebilirliğin yüksek olduğu konumlarda da çevrimiçi alışverişe olan talebin yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç verimlilik hipotezine ters düşse de perakende alışveriş alanlarının çokluğu çevrimiçi alışveriş için de talep yarattığı ve aralarındaki ilişkinin tamamlayıcı olduğu gözlenmiştir.

Maat ve Konings tarafından 2018 yılında gerçekleştirilen bir diğer benzer çalışmada ise Hollanda'daki Leiden ve Randstad şehirlerindeki çevrimiçi alışveriş durumunun kitap, kıyafet ve market alışverişini üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu şehirler, üç farklı kentleşme seviyesine göre kentsel alan, banliyö ve kent çeperi olacak şekilde bölgelere ayrılmış ve her bölgede yaşayan bireyler için anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Anketlerden farklı ürün grupları için çevrimiçi alışveriş tercihlerinin ve sosyo-demografi özelliklerinin elde edilmesi ve ankete katılan bireylerin posta koduna göre 5 km'lik tampon alan belirlenerek bu alanlarda kalan ticari dükkanlarının sayısı analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda ise dükkanlara erişimi düşük bireylerin daha fazla çevrimiçi alışverişe yatkın oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Fakat her ürün grubu için sonuç farklılaşmıştır. Çevrimiçi alışveriş tercihi, yeni teknolojileri kullanmaya meyilli olan bireyler tarafından daha yaygın tercih edilebilmektedir. Sonuçta ise; hem verimlilik hem de yenilik hipotezini destekleyen farklı ürün gruplarının ve farklı kentleşme bölgelerinin varlığı sonucuna ulaşılmıştır.

Hood ve arkadaşlarının (2020) İngiltere'deki Yorkshire ve Humber bölgelerinde çevrimiçi market alışverişinin geleneksel market sektörü üzerindeki ilişkisi araştırılmıştır. Veri seti olarak İngiltere'de yaygın kullanılan çevrimiçi market alışveriş sitesi kullanıcılarından alınan anket verisi ile çalışma alanlarında bulunan marketlerin konumları ve sayıları kullanılmıştır. Çevrimiçi siparişlerin kentleşmeyle ilişkisinin daha net ortaya çıkabilmesi için çalışma alanlarını kırsal alan, yarı kentsel-yarı kırsal alan, kentsel alan ve kent merkezi olarak 4 farklı kademeye ayırmışlardır. Çalışmanın sonucunda çevrimiçi market siparişlerinin mekânsal dağılımında hem yenilik hem de verimlilik hipotezini destekleyen sonuçlar elde edilmiştir. Kentleşmenin yüksek olduğu yerlerde BİT altyapısının pozitif etkisiyle, kırsal alanlarda ise fiziksel marketin eksikliği sebebiyle çevrimiçi market siparişlerine talebin arttığı görülmüştür.

Örnek olarak incelenen çalışmalara bakıldığında hepsinde ortak olan yöntemler ve kullanılan veri setleri ile karşılaşılmıştır. 2.1. bölümde de detaylı ele alınan ve bireylerin çevrimiçi alışveriş tercihinde önemli rol oynayan; sosyo-demografik özellikler, internet kullanım süreleri ve alışkanlıkları ile ikamet ettikleri çevredeki ticari alan kullanım bileşenleri literatürdeki çalışmalarda da sık sık kullanılan bileşenler olmuştur. Bireylerin kişisel özelliklerinin en kolay elde edilebildiği ve klasik veri toplama yöntemlerinden olan anket çalışması birçok makale için temel veriyi sağlamıştır.

Literatürde yer bulan yenilik ve verimlilik hipotezlerinin test edilebilmesi için alışveriş erişilebilirliği ile BİT altyapısının yoğunlaştığı farklı kentleşme dokusuna sahip bölgelerin olması önemlidir. İncelenen çalışmaların hepsinde her iki hipoteze de uygun sonuçlar elde edilmiştir. Fakat elde edilen sonuçların hem farklı ülke/bölge/kent için hem de farklı ürün grupları için değişebileceği ve genelleme yapılmaması gerektiğine dikkat çekilmiştir. Alışveriş alanları ile konut alanları arasındaki mesafe, ticari arazi kullanımı ve kent yapısı ülkelerdeki gelişmişlik seviyesine göre değişeceğinden dolayı çevrimiçi alışverişe olan yönelim de etkilenecektir (Xi vd. 2020). Bunlar dışında kentteki alışveriş alanları ve alışveriş caddelerindeki canlılık, alışverişin odağı olan kent merkezlerindeki ticari kullanımlarda çeşitlilik, bisiklet-özel araç-toplu ulaşım gibi farklı ulaşım araçlarıyla erişilebilirliğin yüksek olması ve otopark alanlarının yeterliliği gibi değişkenler de çevrimiçi alışveriş ve geleneksel alışveriş arasındaki ilişkiyi değiştirmektedir (Weltevreden ve Rietbergen, 2007).

2.2.2. Çevrimiçi Alışveriş ve Coğrafya Arasındaki “Sonuç” İlişkisi

E-ticaret firmalarının kullanmış olduklarına iş modeline göre kente bıraktığı somut etkiler de değişiklik göstermektedir. İşletmeden işletmeye (business to business) iş modelinde, üretilen ürünlerin farklı birimler (üretici ve tedarikçi firmalar, fabrikalar, dağıtım noktaları, depolar, bayiler vb.) aracılığıyla satışı, dağıtımı ve paylaşımı gerçekleşmektedir (Marangoz, 2011). Herhangi bir ürünün (beyaz eşya, mobilya, elektronik cihaz vb.) toptancı ve perakendeci arasındaki ilişkisi bu tür iş modeline örnektir. İşletmeden tüketiciye (business to consumer) iş modelinde ise üretilen ürünlerin satış işlemlerinin tamamen çevrimiçi olarak yürütüldüğü ve ürünlerin doğrudan tüketiciye ulaştığı bir sistem vardır. Trendyol, Amazon, Hepsiburada, Yemeksepeti, İdefix vb. gibi tüketiciye arada bir aracı olmadan satış yapan siteler bu iş modeline örnektir.

Kısa ve uzun süreli teslimat yapan farklı türdeki e-ticaret uygulamaların kent üzerindeki gereksinimleri de farklılaşmaktadır. Günlük teslimat gerektiren ürünler (ör: gıda ve market alışverişi vb.) için açılacak depo alanlarının bireylere hızlı ulaşabilmesi adına yerleşim yerlerine yakın olması gerekmektedir. Bu durum da perakende sektörünün yoğunlaştığı kent merkezine veya ticaret caddelerinin yakınında bile çevrimiçi alışveriş uygulama depolarının sayısının artmasına sebep olmaktadır. Daha uzun süreli temin edilebilecek ürünler (kıyafet, ayakkabı vb.) için açılacak depo merkezleri ve fabrikaların ise kent çeperlerindeki daha geniş alanlarda yoğunlaştıkları görülmektedir.

E-ticaret modellerinin sipariş ve teslimat yoğunluğunun kentteki ulaşım ve lojistik planlaması ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır (Morganti vd. 2014). Sipariş verilen ürünün üretici fabrikadan alınarak, bireylere ve/veya dağıtım noktalarına teslimatının yapılması sırasında kent içi trafikte yer alan nakliye ve dağıtım araçlarının, tedarik zinciri ve lojistik bölgeler arasındaki ulaşım ilişkisinin kurulması gibi konular çevrimiçi alışverişin kent üzerindeki olası fiziksel sonuçlarındandır. Pettersson ve arkadaşları (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada çevrimiçi alışverişin kent merkezine ve ulaşım planlamasına (nakliye, dağıtım araçları vb.) olan bu etkilerini 4 farklı boyutta ele almıştır (Visser ve Lanzendorf, 2004):

- Kent içi bireysel hareketlilik (alışveriş yolculukları, ulaşım sıklığı)
- Ticari alanların konumu, türü ve sayısı
- Lojistik bölgelerin sayısı ve konumu
- Yük taşımacılığı (nakliye mesafesi, araç türü vb.)

Çevrimiçi alışveriş tercih edenlerin sayılarının artmasıyla bireylerin geleneksel alışveriş alanları için harcadıkları sürenin ve yaptıkları yolculukların da sayısının uzun vadede azalabileceği ihtimalinden bahsedilmektedir. Fakat yine de e-ticaret ve ulaşım arasındaki ilişki hakkında çok kesin bir sonuca ulaşılmamaktadır (Bjørngen vd. 2019).

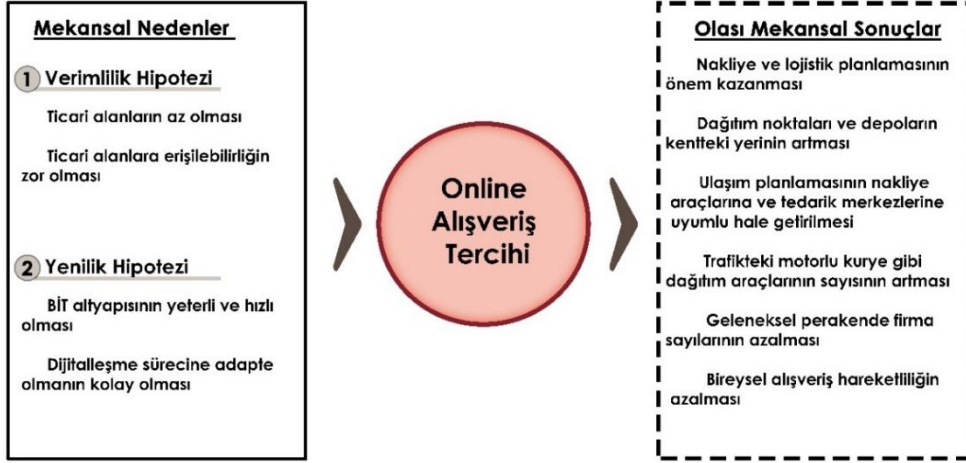
E-ticaret ve çevrimiçi alışveriş üzerindeki artan talep ve yoğun ilgi sonucunda kentteki perakende sektörü (Cao vd. 2013; Salomon, 1986) ve arazi kullanımı (Pettersson vd. 2018) üzerinde önemli değişikliklerin ortaya çıkması öngörülmektedir. Çevrimiçi alışveriş ile birlikte hem geleneksel perakendecilerin internet üzerinden alışverişe olanak sağlamaları hem de sanal mağazaların kent içerisinde fiziksel olarak dağıtım noktası (pick-up points), teslimat mağazası (click and collect) ve depo gibi kullanımlar açmaları gerçekleşmektedir (Buldeo Rai, 2021). Bu durumun da kentte yer alan ticari alanlarda uzun vadede bir değişim ve dönüşüm sürecinin yaşanacağını göstermektedir.

Dağıtım ile ilgili yeni kullanımların kentte yer bulmasının dışında, küçük ve yerel işletmelerin de internet faaliyetlerine yeterince uyum sağlayamamaları durumunda kentteki sayılarının azalma ihtimali bulunmaktadır. Çünkü zincir dükkanlar veya büyük perakende alanları, internet üzerinden sipariş alarak teknolojiyle uyum sağlayabilirken, geleneksel dükkanlar için bu durum oldukça zordur. Fakat yine de bireyler boş zaman aktivitesi olarak da alışveriş yapmayı sevdikleri için yüz yüze yapılan alışverişin tamamen ortadan kalkması da zordur.

Açılacak olan e-ticaret alanlarının büyük depo yerlerinin de kentteki arazi kullanımıyla uyumlu olabilmesi için bir lojistik bölge planlaması ile planlı bir şekilde yer seçmeleri gerekmektedir. Lojistik bölgelerin mevcut ulaşım sistemi ve trafik üzerinde fazladan yük olarak nakliye araçları, dağıtım kamyonları, motorlu kuryeler getireceği şüphesizdir. İsveç'in Malmö şehrinin gelişim planında yerleşim bölgelerindeki teslimat araçlarının artan kullanımıyla ilgili olarak; trafik güvenliği üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmesi gerektiği ve okul, hastane gibi kullanımlardan farklı bir güzergahı seçmeleri gerektiği belirtilmiştir (Pettersson vd. 2018).

Morganti ve arkadaşları (2014) ise yaptıkları benzer çalışmada konut türü ve dağıtım noktaları arasında bir ilişki olabileceğinden bahsetmişlerdir. Fransa'nın kentsel, banliyö ve kırsal alanlarındaki e-ticaret firmalarının dağıtım noktalarının dağılımını analiz ederek, yüksek katlı binalarda yaşayan bireyler ile müstakil bahçeli evlerde yaşayan bireylerin çevrimiçi alışveriş siparişleri ve buna bağlı olarak dağıtım noktalarını kullanmalarında da farklılıklar olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu bölümde anlatılanların özeti niteliğinde olan Şekil 5'te çevrimiçi alışveriş ve kent arasında bulunan neden-sonuç ilişkisi belirtilmiştir.



Şekil 5. Çevrimiçi alışveriş ve kent arasındaki ilişki şeması

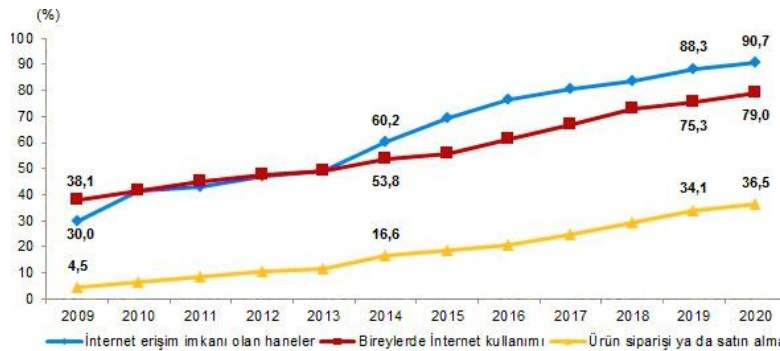
3. COVID-19 Pandemi Dönemi ve Çevrimiçi Alışveriş İlişkisi

İlk olarak 1 Aralık 2019 tarihinde Çin'in Vuhan kentinde ortaya çıkan COVID-19 virüsü (koronavirüs) Dünya Sağlık Örgütü tarafından Mart 2020'de küresel bir salgın-pandemi olarak ilan edilmiştir. Dünyanın farklı ülkelerinde artan vakalarla birlikte hükümetler halk sağlığını korumak ve virüsün yayılma seyrini azaltmak için birçok farklı düzeyde kısıtlayıcı önlem almışlardır. Çin 24 Ocak 2020 tarihinde Vuhan dahil 13 kentini karantinaya almış, ABD 13 Mart'ta ulusal acil durum ilan etmiş, 10 Mart'ta İspanya ve 14 Mart'ta İtalya'da tüm ülke genelinde karantina uygulaması başlatılmış, Fransa'da ise 17 Mart tarihinden itibaren kısmi sokağa çıkma yasakları ilan edilmiştir (Vikipedi, 2021).

Virüsün yayılma durumunun kontrol altında olabilmesi ve aşılama/test oranlarının artması adına günümüze kadar çeşitli kısıtlamalar devam etmekte ve zorunlu olmadıkça sokak ile olan temasın azaltılması istenmektedir. Farklı sektörlerdeki birçok işyerlerinin kapalı olması, örgün eğitime tamamen geçilememesi, hasta sonu sokağa çıkma yasakları ve maske-mesafe-hijyen tedbirlerinin uygulanması devam etmektedir.

Uygulanan tüm bu kısıtlamalarla birlikte yaşanan sağlık krizi önemli ölçüde ülkelerin ekonomisini ve sosyal hayatını etkilemiştir. Zorunlu olmadıkça dışarı çıkmamak, bireylerin yaşam tarzının izin verdiği ölçüde evde vakit geçirmelerini sağlamak (evden çalışma, çevrimiçi olarak derslere katılma vb.) gibi durumlar bireylerin özellikle BİT'e olan ihtiyacının ve internet kullanımının "zorunlu" olarak artmasına sebep olmuştur. Uzaktan eğitim ve evden çalışma (home-office) çalışma düzeni gibi bireylerin günlük zorunluluklarının internet üzerinden tamamlamaları gerekmesiyle bu dönem internet kullanımının hızlı bir şekilde artmasına sebep olmuştur.

TÜİK'in *Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) Kullanım Araştırması* raporunda 2009 yılında %38,1 olan bireylerin internet kullanımı 2020 yılında %89,0 seviyesine yükselmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere Türkiye genelinde internete erişim imkânı olan hanelerin oranının %90,7 olduğu belirtilmiştir. Bu hanelerin %50,8'i sabit geniş bant bağlantı (ADSL, kablolu internet, fiber vb.) ile internete erişim sağlarken %86,9'u mobil geniş bant bağlantı ile internete erişim sağlamıştır. Aynı araştırmada %4,5 olan internet üzerinden ürün alışverişi 2020 yılında sekiz kat artarak %36,5 değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bireylerin çevrimiçi alışveriş tercihlerinin %60,9'u giyim, ayakkabı ve aksesuar, %26,1 ile basılı kitap, dergi, gazete, %22,5 ile çevrimiçi yemek ve süpermarket siparişleri takip etmektedir (TÜİK, 2020).



Şekil 6. Hanehalkı bilişim teknolojileri kullanımına ilişkin temel göstergeler, 2009-2020 (TÜİK, 2020)

Pandemi dönemindeki internet kullanımındaki ve internet üzerinden alışveriş yapımındaki artış hem tüketicilerin hem de üreticilerin dijital platformları kullanımına hız kazandırmıştır. Bu durum zaten artmakta olan e-ticaret hacminin daha da hızlı bir artış göstermesine sebep olmuştur. Küresel e-ticaret hacmi 2019 yılında 3.4 trilyon \$ iken 2020 yılında %26'lık bir artış ile 4.3 trilyon \$'a yükselmiştir. Bu artışın %0.4'lük kısmının doğrudan COVID-19 etkisi olduğu öngörülmektedir. Yine bu dönemde Türkiye'deki e-ticaret hacmi ise 2019 yılına kıyasla %66 artarak 226 milyar TL'ye ulaştığı değerlendirilmektedir (TÜBİSAD, 2021).

Pandemi döneminde Türkiye'de en çok artış gösteren e-ticaret sektörleri kıyaslamasında ise %283'lük oran ile gıda ve süpermarket alışverişi 2.8 milyar TL'lik satış hacminden 5.3 milyar TL satış hacmine geldiği gözlenmektedir. %129'luk oran ile beyaz eşya ve küçük ev aletleri, %105 artış ile ev, bahçe, mobilya ve dekorasyon sektörü de sıralamada yer almaktadır. 2020 yılındaki e-ticaret verilerinin sektörel dağılımı Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. E-ticaret verilerinin sektörel dağılımı, 2020 (E-Ticaret Bilgi Platformu, 2021)

Sektörler	2019 (Milyar TL)	2020 (Milyar TL)	Artış Oranı (%)
Gıda ve Süpermarket	1.4	5.3	283
Beyaz Eşya ve Küçük Ev Aletleri	13.4	30.6	129
Ev, Bahçe, Mobilya ve Dekorasyon	2.8	5.7	105
Çiçekçilik	0.7	1.3	100
Yemek	5	8.1	61
Elektronik	8.6	13.4	56
Eğitim ve Danışmanlık Hizmetleri	2.1	3.1	43
Giyim, Ayakkabı, Aksesuar	13.9	19.3	38

COVID-19 salgınının özellikle çok hızlı yayıldığı ilk zamanlarında bireyler üzerinde panik ve korku duygusu hâkim olmuştur. Bu panik durumunda da bireylerin tüketim alışkanlıklarının doğrudan etkilendiği pandemi dönemi yapılan akademik çalışmalarda çok net gözlenmektedir (Chua vd. 2021; Dannenberg vd. 2020; Hao vd. 2020; Hobbs, 2020). Bu dönemde bireylerin panik duygusu ile "gıda stoğu yapmaya" daha meyilli hale geldikleri görülmüştür. Bu durumun en önemli sonuçlarından biri ise dünya genelindeki çevrimiçi süpermarket alışveriş uygulamalarına olan talebin çok hızlı bir şekilde artması olmuştur.

Dünya genelinde de benzer bir durum söz konusudur. ABD'de bu dönem yapılan çevrimiçi sanal süpermarket alışverişleri %450 (Thilmany vd., 2021) artmış, Hindistan'da karantina sürelerince verilen çevrimiçi siparişlerin %28'nin market alışverişi (Galhotra ve Dewan, 2020) olduğu tespit edilmiştir. Almanya (Dannenberg vd. 2020) ve Çin'de (Hao vd. 2020; Hobbs, 2020) de pandemi dönemindeki internet üzerinden gıda alışverişleri normal seyirlerinin üzerinde artmıştır.

Pandemi döneminde yaşanan çevrimiçi satış platformlarına olan talep üzerine uluslararası akademik yazında da çeşitli araştırmalar, analizler ve yayınlar yapılmaktadır. Bir sonraki bölümde bu konu daha detaylı ele alınarak, çevrimiçi alışverişte COVID-19 etkisinin coğrafya ile ilişkisi kurulan çalışmalar incelenmektedir.

3.1. Pandemi Döneminin Çevrimiçi Alışveriş Üzerindeki Coğrafi Etkisi

Pandemi dönemindeki çevrimiçi alışverişe –özellikle süpermarket alışverişi- olan talebin keskin bir şekilde artması, çevrimiçi uygulamalardaki arzın da atmasına sebep olmuştur. Kent ile ilgili en önemli sonuç ise; geleneksel perakende sektörü ile zaten yarış halinde olan çevrimiçi alışverişin sokağa çıkma yasakları, karantinalar gibi pandemi dönemine özgü kısıtlamalarla birlikte internet üzerindeki alışverişi "daha da" çok teşvik etmesi ve fiziksel alışveriş üzerindeki baskının daha hızlı artması olmuştur. Gıda sektöründeki internet üzerindeki talep artışının pandemi döneminde artmasının temel sebepleri ise;

- Perakende sektöründe salgından önce normal boyutlarda ve belirli miktarlarda gıda stoğu bulunması ve panikle alışveriş yapan bireylerin hepsine fiziksel marketlerin yeterli gelmemesi ve
- Restoran/cafè/bar gibi işletmelerin yasaklar sebebiyle kapalı olmasıyla bu mekanlardan hizmet alan kişilerin de internet alışverişine yönelmeleri olmuştur (Guo vd. 2020; Hobbs, 2020).

Çevrimiçi süpermarket alışverişlerinde yaşanan talep artışının, ülke genelinde bu tip uygulamaların fiziksel olarak da daha çok yer almasını tetiklemiştir. Günlük teslimat gerektiren uygulamaların depo ihtiyacının doğrudan nüfusun yoğunlukla yer seçtiği bölgelerde olması, zaten perakende ticari faaliyetlerinin canlı olduğu bölgelerdeki depo ve zaten yoğun olan trafik bölgelerinde ise motorlu kurye ve dağıtım araç sayılarının artmasını hızlandırmıştır.

Türkiye’de de çevrimiçi market alışverişinin öncülerinden olan Banabi uygulaması 2019 yılında 8 şehirde hizmet verirken, 2020 yılının sonunda 24 şehirde hizmet vermeye başlamış ve 100’ü aşkın yeni depo açmıştır (Webrazzi, 2021). Aynı durum benzer tipte bir uygulama olan Getir uygulaması için de geçerli olmuş ve yeni depolar açarak sanal market siparişlerindeki hizmet alanlarını arttırmıştır.

Çevrimiçi alışverişe olan talebin kent üzerinde kalıcı bir etki bırakıp bırakmayacağı ise netlik kazanmayan bir konu. Pandemi döneminde çevrimiçi market alışverişini uygulamalarını ilk kez tercih edenlerin sayısının fazla olması ve alışkanlık haline getirmeleri (Dannenberg vd. 2020; Galhotra ve Dewan, 2020; Hobbs, 2020; Shamshiripour vd. 2020) pandemi sonrası dönemde de bu tip uygulamalardaki talebin devam etmesi düşünülmektedir.

Conway ve arkadaşları (2020) tarafından ABD’de yapılan bir çalışmada bireylere online anket uygulanarak pandemi dönemindeki alışkanlıkları (evden çalışma, sosyal hayat, alışveriş, ulaşım vb.) incelenmiş ve bu alışkanlıklar pandemi önceki dönemle karşılaştırılmıştır. Anket sonuçlarına göre de pandeminin kentsel yaşamının nasıl etkileyeceği ile ilgili gayrimenkul, ulaşım ve çevresel etki başlıklarında öngörülerde bulunmuşlardır. Çalışmadan çıkan temel sonuçlar ise aşağıdaki gibidir:

- Evden çalışmanın benimsenmesi durumunda ileriki dönemlerde iş yerlerinin azalması ve konut büyüklerinin artması,
- Ulaşımındaki kargo ve teslimat hareketliliği ve dağıtım araç sayılarının artması,
- Çok sık yapılan çevrimiçi alışverişlerin ve bu alışverişlerin iadesi sebebiyle kağıt, plastik, giysi, ambalaj gibi atıkların sayılarının hızla yükselerek atık kirliliğinin daha da hızlanması (Conway vd. 2020).

Avustralya’da yapılan bir diğer çalışma ise COVID-19 ile birlikte artış gösteren çevrimiçi alışveriş platformlarının COVID-19 sonrası dönemde de aktifliğini koruyacağını öngörmüştür (Brandtner vd. 2021). Çalışmada pandemi döneminde de zincir mağazaların, geleneksel küçük ticari faaliyetlere kıyasla daha az zarar gördükleri sonucuna ulaşılarak, COVID-19 sonrası dönemde yüz yüze alışverişin tekrar sanal alışverişten daha fazla tercih edileceği belirtilmiştir.

Türkiye’de hem pandemi öncesi hem de sonrası dönemde çevrimiçi sanal alışverişlerin kente olan etkisinin incelendiği çalışmalar görülmektedir. Pandemi ve salgın durumunun hala devam ediyor olması ve fiziksel değişiklerin gerçekleşebilmesi için bir zaman aralığına ihtiyaç duyulmasından kaynaklı olarak dünya genelinde de bu konudaki çalışmaların sayıları sınırlıdır.

4. Sonuç

Teknolojik gelişmelerin hızlanması ve kentlerdeki BİT altyapılarının gelişmesiyle bireylerin farklı amaçlarla interneti kullanmayı tercih etmeleri de artmıştır. Sanal bankacılığın, kredi kartı kullanımının ve internet üzerinden güvenli ödeme sistemlerinin de yaygınlaşmasıyla, alışveriş eyleminin tüm süreçleri internet üzerinden gerçekleştirilebilmektedir.

Bireylerin internet üzerinden alışverişini tercih etmelerinde sosyo-demografik özelliklerinin, internet kullanım alışkanlıklarının ve yaşadıkları yerin doğrudan etkisi vardır. Literatürde, bireylerin ticari alanlara erişilebilir mesafede olmamaları ve yeterince ticari hizmet alamadıkları durumlarda sanal alışverişini tercih etmeleri verimlilik hipotezi, teknolojik altyapının yoğunlaştığı bölgedekilerin ise daha çok çevrimiçi alışverişe yönelmeleri de yenilik hipotezi başlığında yer almaktadır.

Bu çalışmada, çevrimiçi alışverişin kent ile ilişkisi bir neden-sonuç bağlamında ele alınmıştır. İlk aşamada çevrimiçi alışverişini tetikleyecek verimlilik ve yenilik hipotezi ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve ikinci aşamada ise bu alışverişlerin kentteki fiziksel sonuçları üzerinde durulmuştur. Üçüncü aşamada COVID-19 dönemiyle birlikte daha da artış gösteren sanal alışverişin ileri dönemlerde kentteki (olası) etkileri ifade edilmiştir.

İncelenen çalışmaların birçoğunda, yapılan sanal alışverişlerin tespiti için bireylere online bir anket uygulanarak kişisel verileri toplanmış, sonrasında ise yaşadıkları yerlerdeki kentsel yoğunluk özellikleri ve ticari alanların sayıları ve erişilebilir mesafeleri hesaplanmıştır. Bu çalışmalar sonunda iki farklı hipotezin de birbirleri ile çelişmediğini ve yaşanan yere veya satın alınan ürün türüne göre her iki hipotezin de geçerli olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçların ülkelerin gelişmişlik seviyesi ve kentlerdeki arazi kullanımına göre de değişebileceği belirtilmiş ve genelleme yapmaktan kaçınılmıştır.

Yüz yüze ve fiziksel olarak yapılan alışverişin sanal ortamlara doğru kayması ve form değiştirmesinin kentteki mevcut perakende sektörü üzerinde de değiştirici ve dönüştürücü etkilerinin olacağı öngörülmektedir. Yapılan çalışmalarda uzun vadede alışveriş zinciri firmalarına dahil olmayan küçük, yerel ve bağımsız ticari alanların sayılarının azalacağı ve internet üzerinden de satışa yönelme baskısı hissedecekleri öngörülmektedir. Bu duruma ayak uyduramayan çeşitli ticari faaliyetler kentteki mevcut yerlerini koruyamayacaklardır.

Çevrimiçi alışverişlerin kent üzerindeki doğrudan sonuçlarından biri de kuşkusuz talep edilen e-ticaret firması etmenlerinin (depo, fabrika, dağıtım noktası, tedarik merkezi vb.) kentteki sayılarının artış göstermesidir.

Geniş üretim ve depolama alanı gerektiren e-ticaret firmaları için lojistik bölge planlaması (veya mevcut bölgeye dahil edilmesi) ihtiyacı doğarken; yerleşim alanlarına yakın olması ve günlük teslimat yapması gereken e-ticaret firmalarının da gün içindeki trafik yoğunluğu üzerinde motorlu kurye teslimat araçlarıyla birlikte bir baskı oluşturdukları görülmüştür.

Son bir yıldır tüm dünyayı etkisi altına alan COVID-19 pandemisiyle birlikte çeşitli ülkeler tarafından virüsün yayılmasını önleyici tedbirler alınmış ve zaruri durumlar dışında evden çıkılmaması istenmiştir. İş, eğitim, spor gibi çeşitli faaliyetlerin evde yapılmaya başlanmasıyla da internet kullanımı birçok farklı sebep nedeniyle artış göstermiş ve bu dönem çevrimiçi alışverişe olan talebi daha hızlı bir şekilde arttırmıştır. Yapılan bu alışverişlerin kısa ve uzun vadede kenti etkileyeceği görülmektedir.

Pandeminin özellikle ilk zamanlarında gıda stoklama davranışının ve panik duygusunun egemen olmasıyla çevrimiçi süpermarket alışverişlerine olan ilgi bir anda artmıştır. Bu tip e-ticaret uygulamalarının doğrudan yerleşim yerlerine “anında teslimat” hizmeti vermesi sebebiyle kentteki yoğun bölgelerde ve mahallelerde bile bu tip depoların sayılarının hızla arttığı en azından Türkiye’deki İstanbul, Ankara ve İzmir şehirleri için söylenebilir. Depo sayılarının artmasıyla anlık sipariş teslimatlarına çıkan dağıtım araçlarının da trafikte görünürlükleri artmıştır.

COVID-19 pandemisiyle birlikte Türkiye’deki tüketici alışkanlıklarında yaşanan değişimlerle çevrimiçi alışverişe olan talebin TÜİK, Ticaret Bakanlığı ve TÜBİSAD’ın 2020 yılı raporlarında da belirtildiği gibi arttığı gözlenmektedir. TÜBİSAD raporunda özellikle Türkiye’deki bilgi ve iletişim teknolojileri gelişmişlik seviyesinin yüksek olduğu İstanbul ve Ankara başta olmak üzere diğer büyük şehirlerde pandemi sonrasında da çevrimiçi alışverişe olan talebin devam edebileceği belirtilmektedir.

Türkiye’de de bu süreçte hem dijitalleşmeye adapte olamayan hem de karantina dönemlerinde ekonomik olarak kendini sürdürmekte zorluk yaşayan küçük ölçekli ticari işletmelerin ilerleyen zamanlarda doğal seçimle kentte seçmiş oldukları yerden “elenebilecekleri” ihtimalleri artmaktadır. Kentlerdeki yerel ekonomi için önemli olan bu tip yeme-içme mekânları, yerel market ve bakkallar, geleneksel ticareti devam ettiren işletmeler için uzun vadede bir değişim ve dönüşüm sürecinin başlayacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada çevrimiçi alışveriş ve kent arasında kurulan çift taraflı ilişkinin daha net ortaya konması adına ve yalnızca son 20 yıldır literatüre geçmiş bir konu hakkında yapılmış farklı çalışmaların derlenmesi ve incelenmesi hedeflenmiştir. Ancak, özellikle örnek bir alan çalışması gerekliliği bu konu için önem arz etmektedir. Örnek alan çalışması ile “sanal” alışverişin kent üzerindeki “somut” etkilerinin daha iyi görülebileceği ve analiz edilebileceği bir gerçektir.

Kaynaklar

- Alaimo, L. S., Fiore, M., & Galati, A. (2020). How the Covid-19 Pandemic Is Changing Online Food Shopping Human Behaviour in Italy. *Sustainability*, 12(22), 9594. doi: 10.3390/su12229594.
- Anderson, W. P., Chatterjee, L., & Lakshmanan, T. R. (2003). E-commerce, Transportation, and Economic Geography. *Growth and Change*, 34(4), 415-432. doi: 10.1046/j.0017-4815.2003.00228.x.
- Björger, A., Bjerkan, K. Y., & Hjelkrem, O. A. (2019). E-groceries: Sustainable last mile distribution in city planning. *Research in Transportation Economics*, 100805. doi: 10.1016/j.retrec.2019.100805.
- Brandtner, P., Darbanian, F., Falatouri, T., & Udokwu, C. (2021). Impact of COVID-19 on the Customer End of Retail Supply Chains: A Big Data Analysis of Consumer Satisfaction. *Sustainability*, 13(3), 1464. doi: 10.3390/su13031464.
- Buldeo Rai, H. (2021). The net environmental impact of online shopping, beyond the substitution bias. *Journal of Transport Geography*, 93, 103058. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103058.
- Cao, J., Douma, F., Cleaveland, F., & Xu, Z. (2010). *The Interactions between E-Shopping and Store Shopping: A Case Study of the Twin Cities* (Report No. CTS 10-12). Minneapolis, MN: Intelligent Transportation Systems Institute, University of Minnesota.
- Cao, X. J., Chen, Q., & Choo, S. (2013). Geographic Distribution of E-Shopping: Application of Structural Equation Models in the Twin Cities of Minnesota. *Transportation Research Record*, 2383(1), 18-26. doi: 10.3141/2383-03.
- Chua, G., Yuen, K. F., Wang, X., & Wong, Y. D. (2021). The Determinants of Panic Buying during COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 3247. doi: 10.3390/ijerph18063247.
- Conway, M. W., Salon, D., da Silva, D. C., & Mirtich, L. (2020). How Will the COVID-19 Pandemic Affect the Future of Urban Life? Early Evidence from Highly-Educated Respondents in the United States. *Urban Science*, 4(4), 50. doi: 10.3390/urbansci4040050.
- Dannenberg, P., Fuchs, M., Riedler, T., & Wiedemann, C. (2020). Digital Transition by COVID-19 Pandemic? The German Food Online Retail. *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie*, 111(3), 543-560. doi: 10.1111/tesg.12453.
- Ercoskun, Ö. Y. & Özüdüdu, B. H. (2013). *Alışveriş Mekanlarındaki Değişimin Sosyal Sürdürülebilirliğe Etkisi: Ankara Örneği*. Ankara: TMMOB Şehir Plancıları Odası Ankara Şubesi Yayını.
- Erkip, F. (2005). The rise of the shopping mall in Turkey: The use and appeal of a mall in Ankara. *Cities*, 22(2), 89-108. doi: 10.1016/j.cities.2004.10.001.

- E-Ticaret Bilgi Platformu. (2021, Mayıs 3). 2020 Yılı İstatistikleri (Ocak-Aralık). Retrieved from <https://www.eticaret.gov.tr/istatistikler>
- Farag, S., Weltevreden, J., van Rietbergen, T., Dijst, M., & van Oort, F. (2006). E-Shopping in the Netherlands: Does Geography Matter? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33(1), 59-74. doi: 10.1068/b31083.
- Galhotra, B., & Dewan, A. (2020). Impact of COVID-19 on digital platforms and change in E-commerce shopping trends. In *2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC). Proceedings.* (pp. 861-866). IEEE.
- Guo, H., Liu, Y., Shi, X., & Chen, K. Z. (2020). The role of e-commerce in the urban food system under COVID-19: Lessons from China. *China Agricultural Economic Review*, 13(2), 436-455. doi: 10.1108/CAER-06-2020-0146.
- Gürün, B. A. (2005). *Alışveriş Merkezlerine Karşı Kent Merkezi*. Ankara: TMMOB Şehir Plancıları Odası Ankara Şubesi Yayını.
- Hao, N., Wang, H. H., & Zhou, Q. (2020). The impact of online grocery shopping on stockpile behavior in Covid-19. *China Agricultural Economic Review*, 12(3), 459-470. doi: 10.1108/CAER-04-2020-0064.
- Hobbs, J. E. (2020). Food supply chains during the COVID-19 pandemic. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue Canadienne d'agroeconomie*, 68(2), 171-176. doi: 10.1111/cjag.12237.
- Hood, N., Urquhart, R., Newing, A., & Heppenstall, A. (2020). Sociodemographic and spatial disaggregation of e-commerce channel use in the grocery market in Great Britain. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 55, 102076. doi: 10.1016/j.jretconser.2020.102076.
- Kirby-Hawkins, E., Birkin, M., & Clarke, G. (2019). An investigation into the geography of corporate e-commerce sales in the UK grocery market. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(6), 1148-1164. doi: 10.1177/2399808318755147.
- Krizek, K. J., Li, Y., & Handy, S. L. (2005). Spatial Attributes and Patterns of Use in Household-Related Information and Communications Technology Activity. *Transportation Research Record*, 1926(1), 252-259. doi: 10.1177/0361198105192600129.
- Lubis, A. N. (2018). Evaluating The Customer Preferences of Online Shopping: Demographic Factors and Online Shop Application Issue. *Academy of Strategic Management Journal*, 17(2), 1-13.
- Maat, K., & Konings, R. (2018). Accessibility or Innovation? Store Shopping Trips versus Online Shopping. *Transportation Research Record*, 2672(50), 1-10. doi: 10.1177/0361198118794044.
- Marangoz, M. (2011). Girişimciler İçin Sınırsız Ticaret: E-Ticaret. *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 6(1), 181-201.
- Morganti, E., Dablanc, L., & Fortin, F. (2014). Final deliveries for online shopping: The deployment of pickup point networks in urban and suburban areas. *Research in Transportation Business & Management*, 11, 23-31. doi: 10.1016/j.rtbm.2014.03.002.
- Ms K Susmitha. (2021). Impact of COVID 19 on E-Commerce. *Journal of Interdisciplinary Cycle Research*, 12(9), 1161-1165. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20236.85127>.
- Pettersson, F., Winslott Hiselius, L., & Koglin, T. (2018). E-commerce and urban planning – comparing knowledge claims in research and planning practice. *Urban, Planning and Transport Research*, 6(1), 1-21. doi: 10.1080/21650020.2018.1428114.
- Ren, F., & Kwan, M.-P. (2009). The Impact of Geographic Context on E-Shopping Behavior. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(2), 262-278. doi: 10.1068/b34014t.
- Sarkar, R., & Das, S. (2017). Online Shopping vs Offline Shopping : A Comparative Study. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 3(1), 424-431.
- Salomon, I. (1986). Telecommunications and travel relationships: A review. *Transportation Research Part A: General*, 20(3), 223-238. doi: 10.1016/0191-2607(86)90096-8.
- Shamshiripour, A., Rahimi, E., Shabanpour, R., & Mohammadian, A. (Kouros). (2020). How is COVID-19 reshaping activity-travel behavior? Evidence from a comprehensive survey in Chicago. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100216. doi: 10.1016/j.trip.2020.100216.
- Sim, L. L., & Koi, S. M. (2002). Singapore's Internet shoppers and their impact on traditional shopping patterns. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 9(2), 115-124. doi: 10.1016/S0969-6989(01)00029-7.
- Sinai, T., & Waldfoegel, J. (2004). Geography and the Internet: Is the Internet a substitute or a complement for cities? *Journal of Urban Economics*, 56(1), 1-24. doi: 10.1016/j.jue.2004.04.001.
- Thilmany, D., Canales, E., Low, S. A., & Boys, K. (2021). Local Food Supply Chain Dynamics and Resilience during COVID-19. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43(1), 86-104. doi: 10.1002/aep.13121.
- TÜBİSAD. (2021, Mayıs 3). Ekonominin dönüştürücü gücü: e-ticaret etki analizi. Retrieved from https://www.tubisad.org.tr/tr/images/pdf/tubisad-e-commerce_impact_assessment-launchpresentation.pdf
- TÜİK. (2020, Ağustos 25). Hanehalkı bilişim teknolojileri (BT) kullanım araştırması 2020. Retrieved from [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-\(BT\)-Kullanim-Arastirmasi-2020-33679](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-(BT)-Kullanim-Arastirmasi-2020-33679)

- Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı. (2021, Mayıs 3). Koronavirüs ile mücadele kapsamında - yeni kısıtlama ve tedbirler genelgesi. Retrieved from <https://www.icisleri.gov.tr/koronavirus-ile-mucadele-kapsaminda-sokaga-cikma-kisitlamalari--yeni-kisitlama-ve-tedbirler-genelgesi>
- Xi, G., Zhen, F., Cao, X. (Jason), & Xu, F. (2020). The interaction between e-shopping and store shopping: Empirical evidence from Nanjing, China. *Transportation Letters*, 12(3), 157-165. doi: 10.1080/19427867.2018.1546797.
- Webrazzi. (2021, Mayıs 3). Kullanıcı sayısı 2 milyona ulaşan Banabi'nin 2020'de öne çıkan verileri. Retrieved from <https://webrazzi.com/2020/12/28/kullanici-sayisi-2-milyona-ulasan-banabinin-2020de-one-cikan-verileri/>
- Weltevreden, J. W. J., & Rietbergen, T. V. (2007). E-Shopping Versus City Centre Shopping: The Role of Perceived City Centre Attractiveness. *Journal of Economic and Human Geography*, 98(1), 68-85. doi: 10.1111/j.1467-9663.2007.00377.x.
- Vikipedi. (2021, Mayıs 3). COVID-19 pandemisi. Retrieved from https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=COVID-19_pandemisi&oldid=26137942
- Visser, E. J., & Lanzendorf, M. (2004). Mobility and accessibility effects of B2C E-commerce: A literature survey. *Journal of Economic and Human Geography*, 95(2), 189-205. doi: 10.1111/j.0040-747X.2004.00300.x.
- Zheng, H., & Ma, W. (2021). Click it and buy happiness: Does online shopping improve subjective well-being of rural residents in China? *Applied Economics*, 53(36), 4192-4206. doi: 10.1080/00036846.2021.1897513