

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİNA ÇATI YÜZEYLERİNDEKİ YABANCI NESNELERİN OTOMATİK
TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine UZUNALİOĞLU

EKİM 2025
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNA ÇATI YÜZEYLERİNDEKİ YABANCI NESNELERİN OTOMATİK
TESPİTİ**

Emine UZUNALIOĞLU
ORCID :

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 / 09 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 09 / 10 / 2025

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin ACAR

ORCID :

Trabzon 2025

ÖNSÖZ

“Bina Çatı Yüzeylerindeki Yabancı Nesnelerin Otomatik Tespiti” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca destek, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin ACAR’a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca fikirleri, eleştirileri ve önerileri ile tezime büyük katkıları bulunan saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Fevzi KARSLI’ya ve eğitim öğretim hayatımda katkısı olan tüm hocalarıma ve asistan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bana her zaman destek olan Harita Mühendisliği Bölümü’ndeki arkadaşlarım Mustafa DURSUNOĞLU ve Yaren Nur TÜRKKÖYLÜ’ye teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda arkamda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, sevgilerini her daim hissettiren ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Neriman UZUNALIOĞLU ve babam Süleyman UZUNALIOĞLU’na, kardeşlerim Esra UZUNALIOĞLU, Furkan UZUNALIOĞLU, Hakan UZUNALIOĞLU’na ve anneannem Hayriye KESKİN’e teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Emine UZUNALIOĞLU

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bina Çatı Yüzeylerindeki Yabancı Nesnelerin Otomatik Tespiti” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin ACAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 09/10/2025

Emine UZUNALIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Problemin Tanımı.....	2
1.3. Çalışmanın Amacı	3
1.4. Literatür Taraması	3
1.5. Temel Kavramlar.....	8
1.5.1. Fotogrametri ve Matematiksel Modeli.....	8
1.5.2. Hava Görüntüleri.....	14
1.5.3. Ortofoto	16
1.5.4. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM).....	17
1.5.5. Sayısal Arazi Modeli (SAM)	17
1.5.6. Değişim Analizi	18
1.5.7. Nesne Tespiti.....	23
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	25
2.1. Çalışma Alanı	25
2.2. Metodoloji	27
2.3. Roipoly Seçimi	31
2.4. Histogram ve Boyut Eşitleme.....	34
2.5. Kullanılan Morfolojik İşlemler	38
2.5.1. Bwareaopen.....	38
2.5.2. Imclose (Closing).....	39
2.6. RGB Farkına Dayalı Değişim Analizi.....	40

2.7. Doğruluk Analizi	44
2.7.1. Doğru Pozitif (DP)	46
2.7.2. Doğru Negatif (DN)	46
2.7.3. Yanlış Pozitif (YP)	46
2.7.4. Yanlış Negatif (YN)	47
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
5. KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BİNA ÇATI YÜZEYLERİNDEKİ YABANCI NESNELERİN OTOMATİK TESPİTİ

Emine UZUNALIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin ACAR
2025, 72 Sayfa

Gelişen ve her geçen gün yenilenen teknoloji fotogrametri alanında da önemli bir ivme kazandırmıştır. İnsansız hava araçları belirlenen uçuş planı dahilinde, ürettikleri veriler sayesinde birçok disipline kaynak sağlamaktadır. Çatı yüzeylerinde zamanla biriken veya farklı nedenlerle oluşan yabancı maddeler, hem yapı güvenliği hem de bakım süreçleri açısından önemli sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, söz konusu nesnelerin hızlı ve güvenilir bir şekilde belirlenmesi, kentsel alanlarda yapı sağlığının izlenmesi ve risklerin azaltılması açısından kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Bina çatı yüzeyine ait görüntülerden yabancı cisimleri tespit etme konulu bu çalışma, İHA ile elde edilen görüntüler kullanılarak MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulguların güvenilirliği, doğruluk analizi ile test edilmiştir. Doğruluk oranı %88,66, tamlik oranı %100 ve F1 skor değeri %93,33 olarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşım ile sonuçların, özellikle değişim tespiti ve nesne analizi temelli çalışmalarda kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, geliştirilen yöntem, kentsel izleme, afet sonrası hasar tespiti, sürdürülebilir çevre düzeni ve bakım planlaması gibi farklı birçok alanda da uygulanma potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Değişim analizi, Nesne Tespiti, Ortofoto

Master Thesis

SUMMARY

AUTOMATIC DETECTION OF FOREIGN OBJECTS ON BUILDING ROOF SURFACES

Emine UZUNALIOĞLU

Karadeniz Technical University
Institute Of Science
Department of Geomatics Engineering
Supervisor: Assistant Professor Hayrettin ACAR
2025, 72 Pages

The continuously advancing and ever-evolving technology has also provided significant momentum in the field of photogrammetry. Unmanned Aerial Vehicles, through the data they produce within predefined flight plans, serve as valuable sources for numerous disciplines. Foreign objects that accumulate over time or emerge due to various factors on rooftop surfaces can lead to serious issues in terms of both structural safety and maintenance processes. Therefore, the rapid and reliable detection of such objects has become a critical requirement for monitoring building health and mitigating risks in urban areas. This study, which focuses on detecting foreign objects on building rooftops, was conducted using UAV imagery within the MATLAB environment. The reliability of the obtained results was evaluated through accuracy analysis. The accuracy rate was calculated as 88.66%, completeness rate as 100%, and the F1-score as 93.33%. These findings indicate that the proposed approach can be effectively utilized, particularly in studies based on change detection and object analysis. Furthermore, the developed method has the potential to be applied across various domains, including urban monitoring, post-disaster damage assessment, sustainable environmental planning, and maintenance scheduling.

Key Words: Change analysis, Object Detection, Orthophoto

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Fotogrametrik harita üretim süreci	8
Şekil 2. Fotogrametrinin gelişim süreci.....	9
Şekil 3. Havadan bindirmeli görüntü elde etme	10
Şekil 4. Fotogrametrinin matematiksel modeli	11
Şekil 5. Havadan görüntü elde etme süreci	15
Şekil 6. SYM ve SAM (URL3)	18
Şekil 7. Değişim analizi (URL4)	19
Şekil 8. Değişim analizi yöntemleri	20
Şekil 9. (1) Kullanılan birinci ortofoto, (2) Kullanılan ikinci ortofoto.....	25
Şekil 10. Kullanılan birinci ortofotoya ait Google Earth görüntüsü	26
Şekil 11. Kullanılan ikinci ortofotoya ait Google Earth görüntüsü	27
Şekil 12. İş akış şeması.....	29
Şekil 13. A, B ve C çalışma alanları.....	31
Şekil 14. Birinci çalışma alanı (A1) için bina çatı sınırlarının belirlenmesi	32
Şekil 15. İkinci çalışma alanı (B1) için bina çatı sınırlarının belirlenmesi	33
Şekil 16. Üçüncü çalışma alanı (C1) için bina çatı sınırlarının belirlenmesi	33
Şekil 17. (a) Birinci çalışma alanı için orijinal çatı görüntüsü, (b) Birinci çalışma alanı için histogram eşlenmiş çatı görüntüsü	34
Şekil 18. (a) İkinci çalışma alanı için orijinal çatı görüntüsü, (b) İkinci çalışma alanı için histogram eşlenmiş çatı görüntüsü	35
Şekil 19. (a) Üçüncü çalışma alanı için orijinal çatı görüntüsü, (b) Üçüncü çalışma alanı için histogram eşlenmiş çatı görüntüsü	35
Şekil 20. (a) Orijinal birinci görüntü RGB değerleri, (b) Orijinal ikinci görüntü RGB değerleri	36
Şekil 21. (a) Histogram dengelemesi yapılmış birinci görüntü RGB değerleri, (b) Orijinal ikinci görüntü RGB değerleri	37
Şekil 22. Örnek bwareaopen görüntüsü (URL5)	39
Şekil 23. Örnek kapama görüntüsü (URL6)	40
Şekil 24. Birinci çalışma alanı için histogramı eşlenmiş ve RGB farkına bakılacak birinci görüntü, Birinci çalışma alanı için RGB farkına bakılacak ikinci görüntü	41
Şekil 25. İkinci çalışma alanı için histogramı eşlenmiş ve RGB farkına bakılacak birinci görüntü, İkinci çalışma alanı için RGB farkına bakılacak ikinci görüntü	41

Şekil 26. Üçüncü çalışma alanı için histogramı eşlenmiş ve RGB farkına bakılacak birinci görüntü, Üçüncü çalışma alanı için RGB farkına bakılacak ikinci görüntü	42
Şekil 27. Birinci çalışma alanı bina çatısı üzerindeki yabancı cisimlerin tespiti	43
Şekil 28. İkinci çalışma alanı bina çatısı üzerindeki yabancı cisimlerin tespiti	43
Şekil 29. Üçüncü çalışma alanı bina çatısı üzerindeki yabancı cisimlerin tespiti	44
Şekil 30. Doğruluk analizi indisleri şekilsel gösterimi (Düzgün, 2010).	47



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Uydu ve İHA görüntülerinin özellikleri	16
Tablo 2. SYM ve SAM özellikleri.....	18
Tablo 3. Kullanılan İki Görüntünün Özellikleri	27
Tablo 4. Kullanılan İHA özellikleri.....	29
Tablo 5. Doğruluk Analizi Tablosu	45
Tablo 6. Çalışma alanlarında bulunan yabancı nesne sayısı	49
Tablo 7. Çalışma için doğruluk analizi değerleri	49

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ALS	: Hava Lidar Sistemi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CNN	: Evrişimsel Sinir Ağları
DSM	: Dijital Yüzey Modeli
DTM	: Dijital Zemin Modeli
ISPRS	: Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
İHA	: İnsansız Hava Aracı
LİDAR	: Işık Algılama ve Mesafe Belirleme (Light Detection and Ranging)
MLS	: Mobil Lidar Sistemi
PPK	: Post Processing Kinematic
RGB	: Kırmızı Yeşil Mavi (Red Green Blue)
ROI	: İlgi Duyulan Bölge (Roipoly)
RTK	: Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematic)
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TLS	: Karasal Lidar Sistemi
YKN	: Yer Kontrol Noktası
2B	: İki Boyutlu
3B	: Üç Boyutlu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyada nüfusun artışıyla birlikte yapılaşma ve konut sayısında sürekli bir artış görülmektedir (Yaşar vd., 2010). Kentsel nüfusun hızlı artışı ile beraber kültürel, ekonomik, sosyal ve çevresel değişimler kaçınılmaz bir hal almıştır. Günümüzde insansız hava araçlarının (İHA) birçok disiplin için kullanım alanı vardır. Bu araçlar, yüksek çözünürlüklü, gerçek zamanlı fotoğraflar ve videolar çekme yetenekleri sayesinde değişim analizi için de kullanılmaktadır. Temassız veri toplama yöntemleri, pilotlu veya uzaktan kumandalı hava araçlarıyla oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Pilotlu sistemler; uçak, helikopter, balon ve zeplinken, uzaktan kumandalı sistemler insansız hava araçlarıdır. Günümüzde, uygun maliyetli ve kolay kullanım özellikleri nedeniyle özellikle İHA'lar tercih edilmektedir. İHA'ların avantajları arasında saha çalışmalarını minimize etmeleri, fotogrametrik veri toplama süreçlerini hızlandırmaları ve elde edilen sonuçları yüksek doğruluk ve detay seviyesinde işlemeye imkan tanımaları yer almaktadır. Bu nedenler göz önünde bulundurulduğunda, İHA'lar günümüzde neredeyse tüm bilimsel ve teknik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kovanic vd., 2023).

Yabancı maddeler; çevresel olumsuzluklar, estetik görünüm, yapısal ve güvenlik risk gibi birçok sorun teşkil etmektedir. Bina çatılarındaki yabancı nesnelerin otomatik tespiti, çevre yönetimi, sürdürülebilir düzen ve çatı bakımı için önemli bir araç olmaktadır. Bu maddelerin tespit edilip izlenmesi ve meydana gelen değişimlerin analiz edilmesi, bu değişimlerin yarattığı sorunların çözümlerinin üretilebilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu teknoloji, yabancı maddelerin nerede bulunduğunu ve nasıl bir dağılım içerisinde olduğunu daha etkili bir şekilde izlememizi sağlayarak, atıkların doğaya zarar vermesini önlemeye ve aynı zamanda bu maddelerin toplanıp yönetimi için daha etkili bir planlama yapılmasına yardımcı olması planlanmaktadır. Bu değişimlerin tespit edilmesi, önceki değişimlerle kıyas edilmesi ve geçmişe dayanarak bir öngörünün ortaya çıkması fotogrametri ve uzaktan algılama yöntemleriyle mümkün hale gelmektedir.

Özellikle büyük şehirlerde binaların çatı yüzeyleri yalnızca yapısal bir unsur olarak değil, aynı zamanda enerji üretiminden yağmur suyu toplama ya da güneş paneli sistemlerine kadar farklı işlevlerde değerlendirilen alanlar haline gelmiştir. Ancak bu alanların bakımı ve

güvenliği, çeşitli çevresel ve insan kaynaklı faktörler nedeniyle önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Çatı yüzeylerinde biriken yabancı maddeler; ahşap parçaları, plastikler, yapraklar, hayvansal ürünler ya da farklı atık materyaller; zamanla yapının estetiğini bozmakta, binaya zarar vermekte veya çatı sağlığını tehlikeye atmaktadır. Aynı zamanda, bu tür nesneler rüzgar ve fırtına gibi doğal olaylar sırasında ciddi güvenlik riskleri de doğurabilmektedir. Bu tür durumlarda, yaşam alanlarımızı oluşturan binaların güvenliğinin sağlanabilmesi açısından söz konusu nesnelerin tespiti büyük önem taşımaktadır. Ancak bu tespit sürecinin insan gücüne dayalı olarak gerçekleştirilmesi hem riskli hem de zaman ve iş gücü açısından oldukça maliyetlidir. Bu nedenle, söz konusu sürecin daha güvenli, hızlı ve etkin bir şekilde yürütülebilmesi için insansız hava araçlarının (İHA) kullanımı uygun bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Son yıllarda, insansız hava araçları ve uydu teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, yüksek çözünürlüklü ortofoto görüntüler üzerinden binaların çatılarının incelenmesi mümkün hale gelmiştir. Bu durum, manuel inceleme süreçlerinin yerine daha hızlı, güvenilir ve maliyet açısından verimli yöntemlerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak çatılardaki yabancı nesnelerin tespiti, yalnızca bakım ve onarım süreçlerini kolaylaştırmakla kalmayıp, aynı zamanda şehir planlaması, afet yönetimi ve çevre düzenlemesi gibi alanlarda da önemli katkılar sunmaktadır. Ayrıca, farklı zamanlarda elde edilen görüntülerin karşılaştırılması ile çatılarda meydana gelen değişimler tespit edilerek, ortaya çıkan yabancı nesneler belirlenebilmektedir.

Bu tez çalışmasının ana hedefi, yüksek çözünürlüklü ortofoto verileri kullanılarak bina çatıları üzerinde yer alan yabancı nesnelerin ve değişimlerin otomatik olarak belirlenmesidir. Çalışma kapsamında MATLAB ortamında farklı görüntü işleme yöntemleri uygulanmış; kullanıcı tarafından tanımlanan bölgeler üzerinde histogram ve boyut eşleştirme, renk farklılıklarının değerlendirilmesi ve bağlı bileşen analizi gibi adımlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, çatı yüzeylerinde bulunan yabancı maddeler görsel olarak öne çıkarılmış ve sınır çizimleriyle detaylandırılmıştır.

1.2. Problemin Tanımı

Çevresel değişim; nüfusun hızlı artışı, kentleşme sorunu, sanayileşme ve tüketim gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Yeryüzünde bulunan insan yapımı nesneler arasında en önemli sınıf yaşam alanlarımız olan binalardır. Bu sınıfa ait uydu görüntülerinden veya hava

fotoğraflarından otomatik olarak bilgi edinilebilmesi, kentsel alanların gözlemlenmesi ve tespit edilmesi, değişikliklerin analizi, insan nüfusunun tahmini gibi çok çeşitli uygulama alanlarına veri sağlamaktadır. Binaların çatılarında bulunan yabancı maddeleri analiz etmek, çevre güvenliği ve kirliliği, sağlık, çatı bakımı ve dayanıklılığı, estetik ve çevresel görünüm gibi birçok açıdan önem arz etmektedir. Çatı yüzeylerinde insan, hayvan, çevre, endüstri veya doğal yaşam kaynaklı zamanla oluşabilecek yabancı maddelerin manuel tespiti zaman alıcı ve yorucu bir süreçtir, bu nedenle bu problemin hızlı, doğru, ekonomik, sürdürülebilir ve güvenilir bir şekilde çözülebilmesi için görüntü işleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında bina, fabrika, hastane gibi yapıların çatılarında istenmeyen yabancı nesnelerin geliştirilen yöntem ile otomatik olarak tespiti hedeflenmiştir. Çatı yüzeyinde bulunan atık cisimlerin denetimi ile ulaşılması zor ve denetlenmesi gereken büyük yapıların çatılarındaki istenmeyen objeler, görüntü işleme algoritmaları kullanılarak coğrafi referanslı veriler ile analiz edilmiştir. Tespit edilen yabancı maddeler ve zamana bağlı değişiklikler farklı periyotlarda temin edilmiş ortofoto görüntüler üzerinden karşılaştırılarak çatılardaki değişimlerin tespiti otomatik bir sürece bağlanmıştır. Zamansal değişimin tespiti, önceki dönemlere ait verilerin güncel veriler ile kıyaslanması ile gerçekleşmektedir. Aynı zamanda bu çalışma geleceğe dayalı sürdürülebilir çevre düzeni ve yönetimi, çatı denetimi, bakımı ve onarımı, atık madde izlenimi gibi sorunların çözümüne ışık tutacak bilgilere ulaşmayı hedeflemektedir. İHA teknolojileri ile elde edilen görüntüler hızlı, ekonomik ve güncel bilgiler sunmakta; bu sayede haritalama, şehir planlama, çevresel düzenleme, afet yönetimi ve arazi kullanımı gibi birçok farklı uygulama alanında etkin bir şekilde kullanılabilir. Kullanılan veriler gerçek coğrafi referanslı olduğu için bu veriler CBS ortamına kolayca entegre edilebilmektedir.

1.4. Literatür Taraması

Ulusal ve uluslararası literatürde uydu görüntüleri, LİDAR ve İHA teknolojileri ile üretilen nokta bulutları ve görüntüler değerlendirilerek birçok değişim analizi ve nesne tespiti çalışmalarında kullanılmıştır.

Dikbayır ve Bülbül (2020) İHA ile gerçek zamanlı araç tespit ederken derin öğrenme ve makine öğrenme tekniklerinden yararlanmışlardır. Trafik izleme, kontrol ve analiz etmek için yararlı olacak olan bu çalışmanın amacı araç tespitinin daha hızlı, doğru ve hassas olmasıdır bu sebeple YOLO algoritması tercih edilmiştir. Python yazılımında geliştirilen kod ile Faster R-CNN ağı eğitilmiş ve YOLO algoritması geliştirdikleri yapay sinir ağı yardımıyla desteklenmiş ve performansı artırılmıştır. Bu yapı farklı veri setleri üzerinde yapılan testlerde YOLO'nun başarısını %4,3 artmasını sağlamıştır. Sonuç olarak Faster R-CNN ile elde edilen kesinlik %93,75 duyarlılık ise %89,86 iken, YOLO ile elde edilen kesinlik %96,21 duyarlılık ise %95'tir. Bu çalışma, YOLO algoritmasına entegre edilen yapının gerçek zamanlı uygulamalarda başarılı bir şekilde araç tespiti için kullanılabileceğini göstermektedir (Dikbayır & Bülbül, 2020).

Çelik (2024), buzulların günümüzdeki durumu ve gelecekte buzulları bekleyen durumlara yönelik, Hakkari Cilo Dağı'nda buzullardaki değişim analizi konulu çalışmasında uzaktan algılama yöntemleri ve NDSI (Normalleştirilmiş Fark Kar İndeksi), NDSII (Normalleştirilmiş Fark Kar ve Buz İndeksi), NDPCSI (Normalleştirilmiş Fark Temel Bileşen Kar İndeksi) ve NDGI (Normalleştirilmiş Fark Buzul İndeksi) indeksleri kullanılmıştır. İklim değişiklikleri ve küresel ısınma sebebiyle her geçen gün buzullar erimektedir. Bu çalışmada Sentinel-2 uydu görüntü verileri kullanılmış ve buzul erimesinin izlenmesi ve değişimi 2017-2023 yılları arasında analiz edilmiş, SNAP ve QGIS yazılımları kullanılmıştır. Çalışma sonucu olarak Sentinel-2 uydu verilerinin değişim analizi için uygun olduğu söylenmiştir (Çelik, 2024).

Cui (2021), şehir içi demiryolu trenlerinde çatıdaki yabancı cisimlerin tespiti, trenlerin güvenliği için kritik bir öneme sahiptir. Bu amaçla, küçük boyutta ve düzensiz şekle sahip olan çatıdaki yabancı cisimlerin algılanması için derin öğrenme tabanlı bir YOLOV4 yöntemi önerilmektedir. Veri iyileştirme teknikleri kullanılarak yabancı cisim veri örnekleme genişletilerek, tespit performansının artması sağlanmıştır. Bu geliştirilmiş yöntem, çatıdaki yabancı cisimleri doğru ve hızlı bir şekilde algılayarak demiryolu trenlerinin güvenliğini artırılmıştır (Cui vd., 2021).

Maiti ve Bhattacharya (2009), kıyı şeridindeki değişimi uydu görüntüleri ile analiz etmişlerdir. 1973 ve 2003 yılları arasında Bengal körfezi kıyı şeridinde doğrusal regresyon yöntemini kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çapraz doğrulama metodunu kullanarak değişim oranlarını hesaplamış ve güvenilir sonuçlara ulaşmışlardır. Az maliyetli

ve yüksek çözünürlüklü uydu verileri ile kıyı şeridi değişimlerini doğru tahmin ettikleri sonucuna varmışlardır (Maiti & Bhattacharya, 2009).

Önkol ve Menteşe (2023), arazi kullanımının zamansal değişimini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi teknikleri kullanmışlardır. Sakarya ili Pamukova ilçesinde arazi kullanımının 1984-2022 yılları arasındaki değişimini tespit etmek için Landsat TM ve Landsat 8 uydu görüntülerini kullanmışlardır. Bu verileri ArcGIS programında işleyip haritalarını üretmiş aynı zamanda zamansal ve mekansal olarak mevcut değişimi tespit etmişlerdir. NDVI analizi ve kontrollü sınıflandırma ile beş farklı sınıf oluşturulmuştur. Sonuç olarak orman alanı 1984 yılında %45,96 iken, 2022 yılında ise %43,68'e gerilemiştir. Çayır, bozkır gibi alanlar 1984 yılında %8,78 iken, 2022 yılında ise %11,59'a yükselmiştir. Toplam tarım alanı 1984 yılında %43,83 iken 2022 yılında ise %39,40'a gerilemiştir. Tarım alanlarının tahribini ve zarar görmesini önlemek, değişimini izlemek, araziye doğru kullanmak ve şehir gelişimine katkı sağlamak için bir altlık önerisinde bulunmuşlardır (Önkol & Menteşe, 2023).

Chen vd. (2022) tren kazalarının önüne geçmek, insan sağlığı ve kamu malına gelen zarar vb. gibi birçok sebebin önüne geçmek için evrişimli sinir ağı ile demiryollarında bulunan yabancı nesneleri algılamayı amaçladıkları bir çalışma yapmışlardır. Demiryollarını tehdit eden bu problemin tespiti genellikle manuel şekilde yapıldığı için önerdikleri yöntem iki aşamalı ve gerçek zamanlı tespite dayalıdır. İlk aşamada, giriş demiryolu görüntüsünü iki farklı sınıfa ayırmak amacıyla hafif bir sınıflandırma ağı kullanılmıştır. Bu aşama, görüntüyü izinsiz giren veya normal olarak sınıflandırılan kategorilere ayırmak için gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise, izinsiz giren görüntüler, daha ayrıntılı bir şekilde nesnelerin konumlarını ve sınıflarını belirlemek için özel olarak tasarlanmış bir yabancı nesne tespit ağına iletilmiştir. Bu ağ, görüntüdeki yabancı nesnelerin hassas bir biçimde tespit edilmesini sağlamaktadır (Chen vd., 2022).

Wang vd. (2023) metro çatısı üzerindeki risk yaratabilecek yabancı maddeleri tespit etmek için YOLOv7 algoritmasını geliştirip kullanarak yapmış oldukları çalışmada, kamera görüntülerinden bir veri kümesi elde etmiş, gerekli entegrasyonlar sonucu yapılan iyileştirmeler ve eklenen modüller ile nesne algılama konusunda daha hızlı, yüksek doğruluk içeren ve çeşitli kategorilerle sınıflandırma yapabilmeyi hedeflemişlerdir. Önerdikleri yöntem ile algılama doğruluğu, işlem hızı ve parametre sayısı açısından önde gelen algılama algoritmalarından daha üstün performansa sahip bir YOLOv7 modeli sunmuşlardır.

Yaptıkları bu çalışmada metro çatı görüntülerinde bulunan anomalileri gerçek zamanlı olarak %90,29'luk doğruluk oranıyla tespit ettiklerinden bahsetmişlerdir (Wang vd., 2023).

Xu vd. (2021) İHA eğik fotogrametrisi ile hacimsel değişimi tespit etmeyi amaçlamış ve bir binanın çöküşünü izlemek üzerine bir çalışma yapmışlardır. Eğik fotogrametrinin 3B nesnelerin tamamını yakalama avantajını kullanarak bina çöküşünün farklı aşamalarına ait veri elde etmişlerdir. Farklı tarihlerde elde ettikleri 3B nokta bulutlarıyla çok zamanlı nokta bulutlarındaki farkı hesaplamak adına hiyerarşik bir hacimsel değişim tespiti önermişlerdir. Bina yıkımına ait süreç boyunca var olan hacimsel değişiklik, değişim tespitinden türetilmiştir. Değişime ait hacmi belirlemek ve tanımlamak amacı taşıyan bu çalışma %78-%92 arasında değişen bir hassasiyet oranına sahiptir (Xu vd., 2021).

Akkartal vd. (2005) tarımın hem ülkemizde hem de dünyadaki önemi için bitki örtüsü üzerindeki değişimi tespit ettikleri çalışmada Kırklareli ilinin Lüleburgaz ilçesinde Landsat TM ve Spot XS uydularından elde ettikleri görüntüler üzerinde çalışmışlardır. Oransal Bitki Örtüsü, Fark Bitki Örtüsü, Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü, Dönüştürülmüş Bitki Örtüsü ve Dikey Bitki Örtüsü indeklerini kullanmış ve 1987 ile 2003 yılları arasındaki değişim miktarını belirlemişlerdir. Uzaktan algılama yöntemleri bitki örtüsü üzerindeki değişim incelenmiş, tarım ve üretim potansiyeline katkı sağlanmıştır (Akkartal vd., 2005).

Stilla vd. (2022) İHA teknolojileri ile elde edilen nokta bulutu verilerini kullanarak inşaat alanında gözlemlenen geometrik ve anlamsal değişiklikleri tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada 2014 ve 2015 yıllarında bir inşaat bölgesine ait veriler kullanılmıştır. Nokta bulutundaki yoğunluk farkı nokta kümeleri arasında ilişki kurmayı zorlaştırmaktadır. 3B nokta bulutu verileri arasında gözlemlenen değişiklikleri tespit etmek için CloudCompare yazılımı ile noktadan noktaya karşılaştırma yapılmış ve değişim doğrudan elde edilmiştir. Noktalar arası mesafeleri hesaplamak için Hausdorff mesafesi kullanılmıştır ve değişiklikler bağlam kuralları çerçevesinde tespit edilmiştir. Değişiklikler geometrik değişiklik ve semantik değişiklik olmak üzere iki aşamalı olarak doğru bir şekilde belirlenmiştir. 2014 ve 2015 yılları arasındaki inşaat alanında mevcut değişim alanı %98.6, 2015 yılına ait iki farklı inşaat verisinde ise değişim %93.6 olarak tespit edilmiştir (Stilla vd., 2022).

Zhang vd. (2019) bina değişikliklerinin tespiti konulu bu çalışmada havadan lazer tarama verileri ile fotogrametrik veriler arasındaki değişikliklerin tespiti için yöntem önermişlerdir. Hava görüntülerini elde etmek lazer noktalarını elde etmekten daha az maliyetliken lazer verileri hava görüntülerine göre daha doğrudur. Hava görüntülerinde dar

sokaklar veya gölgeli alanlar problem yaratabilirken lazer görüntülerinde böyle bir problem yoktur. Önerdikleri yöntemde değişikliklerin tespit etmek için PSI-CNN (siyam evrişimli sinir ağı) kullanmışlardır. Sonuç olarak %86.17 duyarlılık ve %68.16 kesinlik oranına ulaşmışlardır (Zhang vd., 2019).

Xiao vd. (2023) 3B nokta bulutundan kentsel nesne değişikliğine dair yaptıkları çalışmada bina, sokak, ağaç ve inşaat alanı üzerine var olan değişiklikleri lidar nokta bulutu üzerinden tespit etmeyi hedeflemişlerdir. Bu çalışma kapsamında ALS (hava lidar sistemi), MLS (mobil lidar sistemi) ve TLS (karasal lidar sistemi) kullanmışlardır. ALS şehir ve ağaç için kullanılırken TLS ağaç ve inşaat MLS ise sokak çalışmalarında değişiklik analizi verisi elde etmek için kullanılmıştır. Piksel, nokta, voksel, segment ve nesne tabanlı yöntemleri, makine ve derine öğrenme teknikleriyle beraber kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmanın mevcut yöntemlerin güçlü ve zayıf yönlerini anlaşılır kıldığına ve var olan değişimlerin tespit etmenin gelecekte yapılacak olan tüm çalışmalara katkı sağlayacağını savunmuşlardır (Xiao vd., 2023).

Akar ve Gökalp (2013) yayla ve mera üzerindeki değişimin incelenmesi konulu çalışmalarında 1973, 1982 ve 2012 yıllarında elde edilen hava ve uydu görüntüleri üzerinde değerlendirme yapmışlardır. Belirledikleri çalışma alanı olan Hıdırnebi, Kuruçam ve Balıklı yaylalarına ait vektörel haritalar ve ortofoto görüntüler elde etmiş, yapılan sınıflandırmalar sonucu değişiklikler karşılaştırma sonucu bulunmuştur. Bu kapsamda 1973 ve 1982 yılları içinde yaylalardaki bina alanında 2 dönüm artış varken yol alanında ise 13 dönüm artış tespit edilmiştir. 1982 ve 2012 yılları içinde ise bina alanındaki artış 36 dönümken, yol alanındaki artış 38 dönüm olarak tespit edilmiştir. Genel bir bakış olarak yayla alanlarındaki değişim 1973 ve 1982 yılları içinde 15 dönüm, 1982 ve 2012 yılları içinde ise 74 dönüm azalış olduğu sonucuna varılmış ve analiz sonuçlarına göre yayla alanlarını yaşatmak için bu analizi sürdürülebilir hale getirip belirli periyotlarla izlenmesi gerektiğini, bu sayede değişimlerin tespit edilip gerekli zamanlarda müdahale edilebileceğinden bahsetmişlerdir (Akar & Gökalp, 2013).

Literatürde değişim analizine dayalı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Oldukça geniş kapsamlı ve farklı disiplinlere hitap eden bu araştırmalarda, özellikle arazi kullanımı, kıyı çizgisi, ormancılık, doğal afet yönetimi ve bitki örtüsü değişimi gibi konuların sıkça ele alındığı görülmektedir. Literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğunda uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. İnsansız hava araçları geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında; çözünürlük, hız, verimlilik, maliyet gibi birçok avantaja sahiptir. Aynı

zamanda görüntü alımı zor olan dar, uzak veya erişimi zor olan bir bölgede İHA'lar rahatlıkla veri toplayabilmektedir. Bu tez çalışmasının literatürdeki benzer araştırmalardan temel farkı ise, yüksek çözünürlüklü, yer örnekleme aralığı 5cm'den küçük, hassas konumsal bilgi içeren ortofoto görüntülerinin kullanılması ve otomatik bir çözüm sunmasıdır. Bu yaklaşım, daha hassas sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmakta ve kentsel alanlarda risk yönetimi, şehirleşme planlaması, yapı sağlığının izlenmesi, bina bakım-onarım süreçleri ve sürdürülebilir çevre düzeni gibi alanlara yönelik önemli katkılar sunmaktadır.

1.5. Temel Kavramlar

1.5.1. Fotogrametri ve Matematiksel Modeli

Fotogrametri, nesnelerin konum, boyut ve şekil bilgilerini doğrudan arazide ölçme yöntemiyle değil, bu nesnelere ait görüntü verileri üzerinde matematiksel ilkeler doğrultusunda gerçekleştirilen ölçümler aracılığıyla elde etme tekniğidir (Surahman vd., 2021). Hedef nesneye ait bindirmeli görüntüler kullanılarak, fotogrametrik tekniklerle işlenerek konum ve ölçek bilgisine sahip nokta bulutu, ortofoto görüntü, yüzey modeli veya üç boyutlu modeller üretilmektedir (Kaya vd., 2021). Fotogrametrik harita üretim süreci Şekil 1'de bahsedilmiştir.

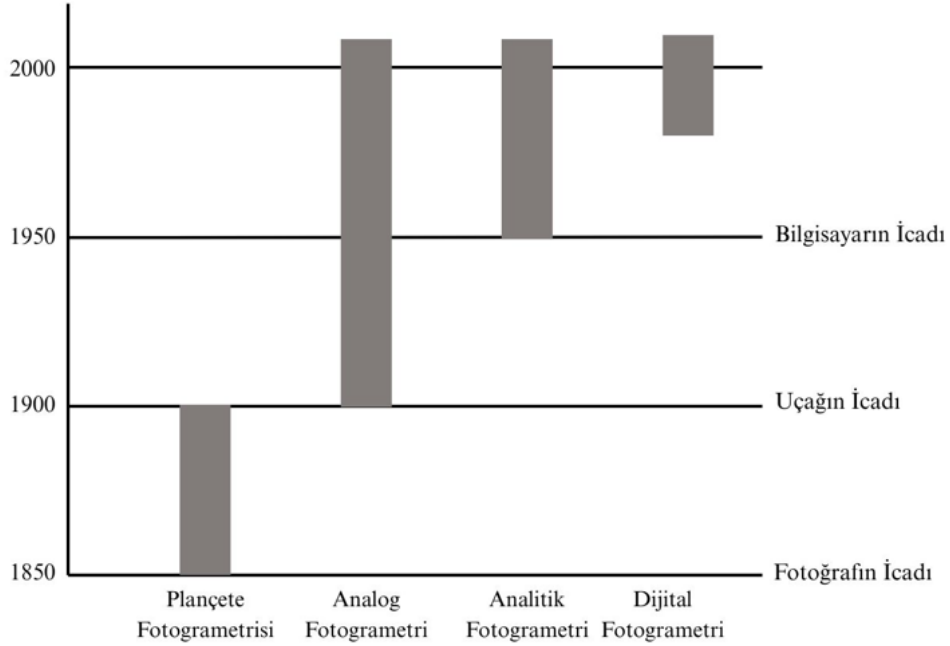
Uzaktan Algılama ve Fotogrametri, temassız görüntüleme teknikleriyle güvenilir mekansal veri üretimini amaçlayan bilimsel disiplinlerdir. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği'nin (ISPRS) tanımına göre fotogrametri, uzaktan algılama tekniklerinden elde edilen veriler aracılığıyla nesneler ve onların çevresi hakkında güvenilir mekânsal bilgilerin üretilmesini ve yeryüzüne ait bilgilerin analizini hedefleyen çok yönlü bir ölçme yöntemi olarak tanımlanmaktadır (URL1).



Şekil 1. Fotogrametrik harita üretim süreci

Fotogrametri Yunanca da ışık anlamına gelen photos, çizim anlamına gelen grama ve metron kelimelerinin birleşmesi ile türetilmiştir (Estes, 2005). Fotogrametrinin ortaya çıkışı, 1839 yılında Niépce ve Daguerre'in fotoğrafı icat etmesine dayansada, bu teknolojiyi ölçme amacıyla ilk kez kullanan kişi Fransız topoğraf Aimé Laussedat olmuştur. Laussedat, fotoğraflar üzerinden ölçüm yapmaya imkan tanıyan özel bir kamera geliştirerek fotogrametri alanının temelini atmıştır. Daha sonra, 1858 yılında Alman mimar Albrecht Meydenbauer, kamu binalarının belgelenmesi amacıyla fotoğraflı ölçüm yöntemlerini kullanarak fotogrametrinin uygulama alanını genişletmiştir (Acar, 2012).

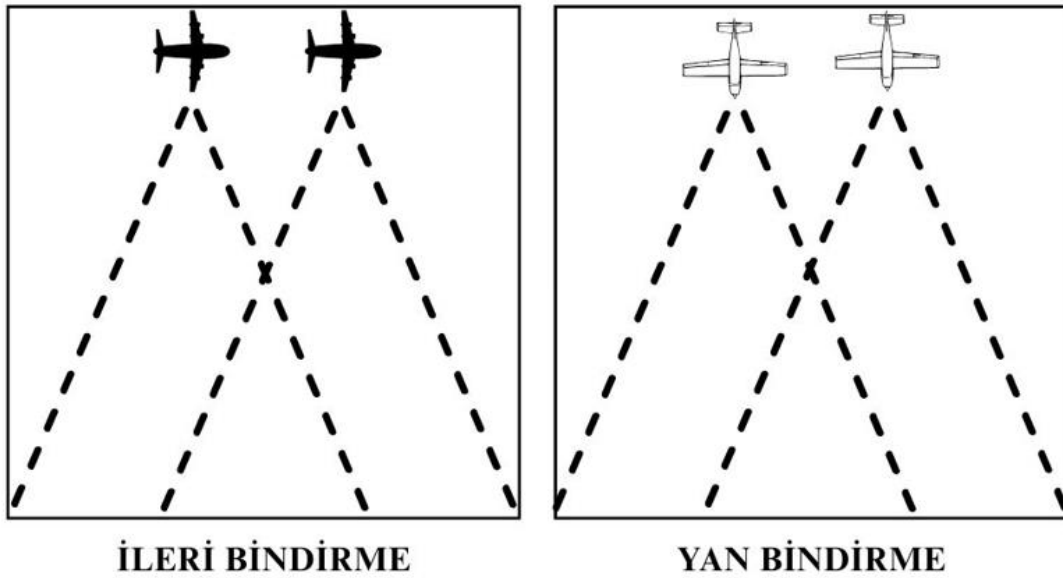
Fotogrametri, kullanılan araç ve teknolojiye göre tarihsel süreçte çeşitli dönemlere ayrılmaktadır. İlk dönemlerde, belirli geometrik kurallara göre çekilen fotoğrafların kullanıldığı plançete fotogrametrisi uygulanmıştır. Plançete fotogrametrisini fotokimyasal filmler ve optik değerlendirme araçlarının kullanıldığı analog fotogrametri takip etmiştir. Analog yöntemin gelişmesi ve bilgisayarın icadıyla beraber Analitik fotogrametri dönemine girilmiş ve son olarak günümüzde ise görüntülerin kaydedilmesi, saklanması ve değerlendirilmesi süreçleri dijital ortama taşınmıştır (Arpacı, 2013). Fotogrametrinin tarihsel gelişim sürecinde, geçmişten günümüze kadar var olan plançete fotogrametrisi, analog fotogrametri, analitik fotogrametri ve dijital fotogrametri yöntemleri Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Fotogrametrinin gelişim süreci

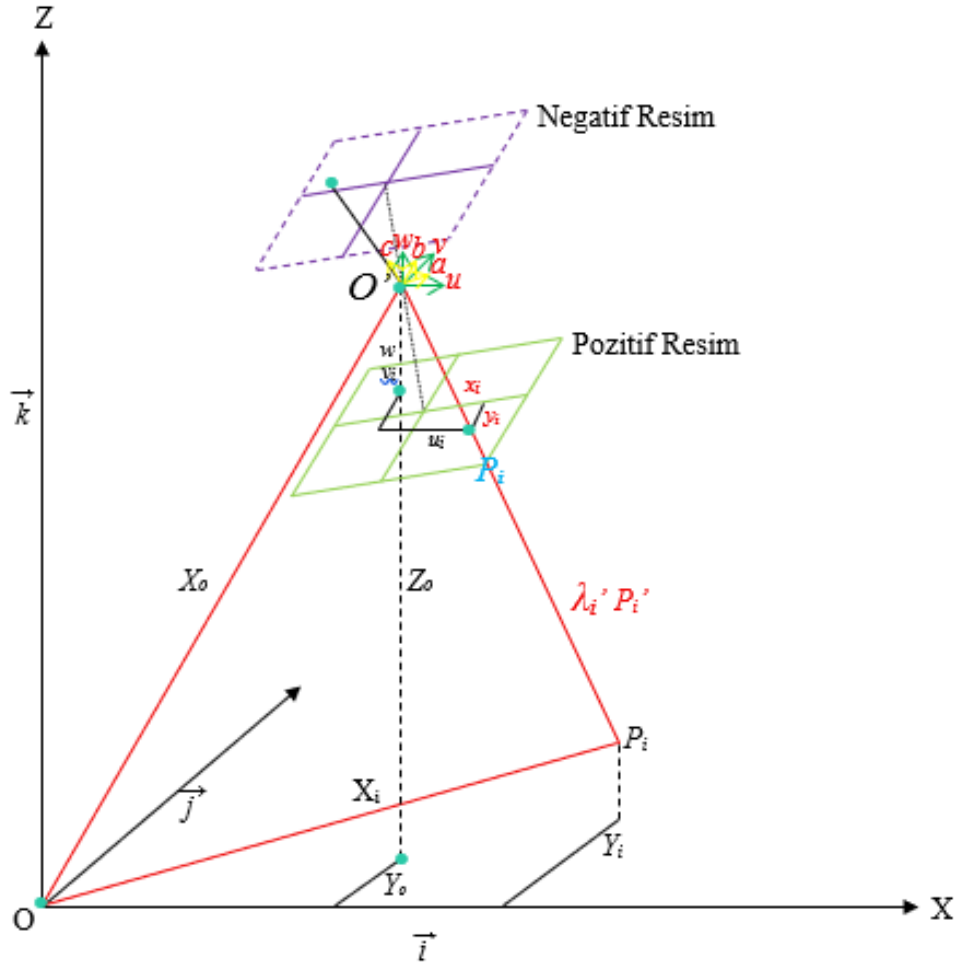
Fotogrametri, fotoğraflar kullanılarak gerçekleştirilen ölçme tekniği olarak tanımlanır ve bilgisayarın hızla gelişmesiyle birlikte bu alanda önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Nesneler ve nesnelerin bulunduğu çevreden yayılan ışınların oluşturduğu görüntüler ile elektromanyetik enerjinin kaydedilmesi, değerlendirilmesi ve yorumlanması sonucunda, söz konusu nesnelere ve çevreye ilişkin güvenilir bilgilerin elde edilmesini sağlayan bir mühendislik disiplini (Şenol vd., 2021).

Üç boyutlu veri elde edebilmek için, en az bindirmeli iki görüntünün kullanılması gerekmektedir (Linder, 2009). Hava görüntülerinin alımı sırasında ardışık görüntüler çekilir ve bu görüntülerin kapsadığı ortak alan mevcuttur. Fotogrametride bindirme oldukça önemlidir, fotogrametrik süreçlerin temel parametrelerinden biridir. Görüntüler arasındaki bindirme oranının artması, fotogrametrik modellemenin doğruluğunu önemli ölçüde yükseltir. Üretilen ortofoto, nokta bulutu, 3B model ya da diğer fotogrametrik ürünlerin hassasiyeti ve doğruluğunu belirleyen faktörlerden biridir. Peşpeşe çekilen en az iki görüntünün birbirini üzerine bindirilmesi ile özel fotoğraflar oluşturulmaktadır. Havadan bindirmeli görüntü elde etme şekilleri ileri (boyuna) ve yan (enine) bindirme olmak üzere ikiye ayrılır ve Şekil 3'te resmedilmiştir.



Şekil 3. Havadan bindirmeli görüntü elde etme

Fotogrametri, iki boyutlu görüntülerden üç boyutlu nesnelerin konumlarının belirlenmesini sağlayan, matematiksel prensiplere dayalı bir ölçme yöntemidir. Bu yöntemin temelini, izdüşüm (kolinearite) denklemleri oluşturmaktadır. Kolinearite denklemleri; fotoğraftaki bir görüntü noktası, bu görüntünün elde edildiği sensörün izdüşüm merkezi ve yeryüzündeki bir nesne arasındaki ilişkiyi, bu üç noktanın aynı doğru üzerinde olması ilkesine göre tanımlamaktadır. Yani, cisim uzayındaki bir nokta ile bu noktanın fotoğraf üzerindeki izdüşümünü, izdüşüm merkezinden geçen bir doğru boyunca birbirine bağlamaktadır. Fotogrametrinin matematiksel modeli Şekil 4'te gösterilmiştir. Yeniden konumlandırma işleminin gerçekleştirilebilmesi için, iç yöneltme parametreleri (asal uzaklık/kamera sabiti (c) ve asal nokta koordinatları (x_0, y_0)) ile birlikte, dış yöneltme parametreleri (izdüşüm merkezinin koordinatları (X_0, Y_0, Z_0)) ve dönüklük açıları (ω, ϕ, κ) bilinmelidir (Krause, 2004).



Şekil 4. Fotogrametrinin matematiksel modeli

Matematiksel modelde yer alan O noktası, üç boyutlu obje koordinat sisteminin orijini olarak tanımlanırken, $P_i (X_i, Y_i, Z_i)$ noktası ise yeryüzünde bulunan bir nesnenin konumunu ifade etmektedir. Bu modelde, O' noktası, görüntünün elde edildiği izdüşüm merkezinin koordinatlarını (X_0, Y_0, Z_0) temsil eder. OP_i vektörü, izdüşüm merkezi ile yeryüzündeki nesne noktası arasında oluşan mekânsal ilişkiyi gösteren üçgenin kenarını tanımlamaktadır.

Görüntü koordinat sistemi ile obje koordinat sistemi arasında dönüşüm yapılabilmesi için bazı temel parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler arasında; görüntü düzlemine olan ölçek faktörü (λ_i) ve iki koordinat sistemi arasındaki yönelme farklarını tanımlayan dönüklük matrisi (R) yer almaktadır. Bu dönüşüm, objenin üç boyutlu konumunun iki boyutlu görüntü düzlemine doğru bir şekilde aktarılmasını sağlamaktadır.

Bahsedilen matematiksel modelin temelini, iki koordinat sistemi arasında kurulan geometrik ilişkiyi tanımlayan izdüşüm denklemleri oluşturmaktadır. Bu denklemlerin genel formu, modelin temel işleyişini ortaya koymak üzere Denklem (1)'de ayrıntılı biçimde verilmiştir.

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \lambda'_i R \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{pmatrix} \quad (1)$$

Obje koordinat sistemindeki birim vektörler (i, j, k) ile görüntü koordinat sistemindeki birim vektörler (a, b, c) birbirlerine ortogonal, yani dik konumda yer almakta olup, tüm eksenlerde aynı ölçek faktörü kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, arazi koordinatlarından (X_i, Y_i, Z_i) görüntü düzlemindeki koordinatlara (x_i, y_i) geçiş yapılabilmesi için kullanılan izdüşüm denkleminin güncellenmiş formu, Denklem (2)'de sunulmaktadır.

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda'_i} R^T \begin{pmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Dönüklük matrisi (R), her bir dönüklük açısına karşılık gelen sinüs ve kosinüs değerlerinin kullanılmasıyla, Eşitlik (3), (4) ve (5)'te gösterildiği üzere hesaplanmaktadır. Her bir açı için ayrı ayrı oluşturulan dönüklük matrisleri (R_ω, R_ϕ, R_χ)'nin elde edildikten

sonra, bu matrislerin çarpımıyla birleşik dönüklük matrisi R, Eşitlik (6)'da ifade edildiği şekilde elde edilmektedir.

$$R_{\omega}^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & \sin\omega \\ 0 & -\sin\omega & \cos\omega \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$R_{\varphi}^T = \begin{pmatrix} \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$R_{\chi}^T = \begin{pmatrix} \cos\chi & \sin\chi & 0 \\ -\sin\chi & \cos\chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$R_{\chi}^T = R_{\omega}^T R_{\varphi}^T R_{\chi}^T = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Eşitlik (7), Eşitlik (6)'ya resim ve arazi koordinat bilgilerinin eklenmesiyle elde edilmektedir. Devamında, Eşitlik (8) ve Eşitlik (9), Eşitlik (7)'de yer alan ilk ve ikinci ifadelerin üçüncü ifade ile oranlanması sonucunda türetilmiştir. Bu işlemler sonucunda, ölçek faktörü (λ) sadeleştiği için nihai izdüşüm denklemlerinde yer almamaktadır.

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ -c \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda'_i} \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i - X'_0 \\ Y_i - Y'_0 \\ Z_i - Z'_0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$x_i = -c \frac{r_{11}(X_i - X_0) + r_{12}(Y_i - Y_0) + r_{13}(Z_i - Z_0)}{r_{31}(X_i - X_0) + r_{32}(Y_i - Y_0) + r_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (8)$$

$$y_i = -c \frac{r_{21}(X_i - X_0) + r_{22}(Y_i - Y_0) + r_{23}(Z_i - Z_0)}{r_{31}(X_i - X_0) + r_{32}(Y_i - Y_0) + r_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (9)$$

1.5.2. Hava Görüntüleri

Fotoğraf keşfedildikten sonra 1794 yılında Fleurus savaşında savaş hakkında bilgi edinmek amacıyla ilk defa yere bağlı olan bir balon ile gökyüzüne yükselen Fransız yüzbaşı Coutelle hava fotoğrafı çekmiştir. Yere bağlı olmadan gerçekleştirilen fotoğraf alımı işlemi ise ilk defa tamamen serbest bir balonla gökyüzüne yükselen Fransız Nadar yapmıştır. 1906 yılında Rusya da roketle bağlanan bir kamera ile hava görüntüsü kaydedilmiştir. 1909 yılında ise uçak ile fotoğraf çekimi İtalyan subay Wilbuw Wring tarafından gerçekleştirilmiştir. Harita Genel Komutanlığı 1936 yılında ilk defa uçak yardımıyla görüntü alımı yapmıştır ve hava görüntüleri 1925 yılından itibaren fotogrametri için önemli bir altlık olmuştur (URL2).

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kullanım alanı çeşitli amaçları kapsayan havadan görüntü alımı için farklı platformlar ve alternatifler mevcut hale gelmiştir (Marangoz vd., 2019). Hava görüntüleri uydu, uçak, helikopter, balon veya insansız hava araçlarından temin edilmektedir. Bu görüntüler, sayısal arazi modeli ve sayısal yükseklik modelinde kullanılan ortofoto görüntülerin daha hızlı ve ekonomik üretilmesinde katkı sağlamaktadır. Harita üretimi, ormancılık, arkeoloji, trafik, turizm, mühendislik gibi birçok farklı bilimsel çalışmalara katkı sağlama amacıyla, yeryüzündeki belirli bir alanın üzerindeki doğal ve yapay tüm unsurların görüntülenmesiyle elde edilen görsel kayıtlardır. Hava fotogrametrisi, belirli bir irtifadan elde edilen görüntülerin kullanıldığı, yaygın ve etkili bir haritalama tekniğidir (Toprak, 2014). Bu yöntem, yeryüzünün haritalanmasında hızlı, ekonomik, hassas, verimli ve yüksek doğruluklu sonuçlar sağlamaktadır.

Hava fotoğraflarının üretim süreci, zaman ve maliyet açısından oldukça verimli olup, elde edilen görüntüler geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Bu görsellerle birlikte entegre edilen coğrafi veriler; inşaat projelerinin planlanması, sigorta risk analizleri, gayrimenkul değerlendirme, tarımsal verimlilik takibi, kentsel gelişim ve imar planlaması, çevresel etki değerlendirmeleri ve yaban hayatının izlenmesi gibi birçok farklı sektörde etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu çok yönlü kullanım olanakları sayesinde, hava fotoğrafları günümüzde sadece haritacılık değil, aynı zamanda farklı disiplinler arası araştırmalarda da önemli bir veri kaynağı haline gelmiştir.

Günümüzde RTK ve PPK gibi tekniklerin kullanımı kontrol noktası ihtiyacını ortadan kaldırsa da yapılan çalışmanın doğruluğu kontrol noktaları ile sağlanmaktadır. Fotogrametrik veri üretim süreci, öncelikle çalışma alanının mevcut arazi koşullarının ve yer kontrol noktalarının (YKN) analiz edilmesiyle başlamaktadır. Bu aşamanın ardından insansız hava aracının uçuşu için gerekli güvenli ve uygun koşullar sağlanmalıdır. Uçuş gerçekleştirilecek sahada güzergah belirlenerek belirli aralıklarla görüntü alımı yapılmaya başlanmaktadır. Uçuş planlaması esnasında yer kontrol noktalarının sahada tesis edilmesi, konumsal doğruluğun artırılması için önem taşımaktadır. Elde edilen görüntülerin işlenmesinde farklı yazılımlar kullanılabilmekte olup, bu yazılımlar aracılığıyla nokta bulutu, sayısal yüzey modelleri, ortofoto ve üç boyutlu modeller gibi çeşitli fotogrametrik ürünler üretilmektedir. (Çallı, 2021). Havadan görüntü elde etme süreci Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Havadan görüntü elde etme süreci

İHA ve uydu görüntüleri karşılaştırıldığında, İHA'ların birçok avantajı olduğu görülmektedir (Yılmaz vd., 2013). Tablo 1'de havadan elde edilmiş uydu ve İHA görüntüleri arasındaki farklar mevcuttur.

Tablo 1. Uydu ve İHA görüntülerinin özellikleri

	Uydu Görüntüleri	İHA Görüntüleri
Çözünürlük	Orta	Yüksek
Maliyet	Yüksek	Düşük
Hava Koşullarına Bağlılık	Orta	Yüksek
Veri Elde Etme Süresi	Düşük	Yüksek
Kapsama Alanı	Yüksek	Düşük
Görüntüleme Açısı	Düşük	Yüksek
Görüntü Kalitesi	Orta	Yüksek
Fotogrametrik Uygunluk	Orta	Yüksek
Coğrafi Hassasiyet	Orta	Yüksek

1.5.3. Ortofoto

Hava görüntülerinin fotogrametrik yollarla geometrik olarak işlenmesi ile elde edilen görüntüler ortofoto olarak adlandırılmaktadır (Güner, 2025). Ortofoto görüntüler, arazi eğikliği, dönüklük ve yükseklik farklılıklarından kaynaklanan hataların düzeltilmesiyle oluşturulan sayısal görüntülerdir. Gerçek arazi yapısını birebir yansıttıkları için çeşitli uygulamalarda güvenilir bir altlık olarak kullanılmaktadır (Yılmaz cd., 2018). Görüntü alımı hava araçlarıyla gerçekleşir ve çekim merkezlerinin yeryüzüne ait geometrik bozulmaların giderilmesiyle elde edilen, konum doğruluğu yüksek, ölçekli ve üç boyutlu koordinat bilgisi (X, Y, Z) içeren görüntülerdir.

Gelişen teknoloji dijital kameraların İHA'lara, uçaklara ya da helikopterlere entegre edilip yüksek çözünürlükte görüntülerin elde edilmesini sağlamıştır (Öztürk vd., 2017). Ortofoto görüntü arazinin yükseklik bilgisini de içerir ve fotografik dik izdüşümlerdir (Kök & Altuntaş, 2017).

Ortofoto görüntüler, hava fotoğraflarının jeodezik ve fotogrametrik hesaplamalarla işlenmesi sonucunda üretilen yeniden örneklenmiş görüntülerdir. Geleneksel ortofoto üretim yaklaşımında, fotoğraf tümüyle değil, küçük parçalar halinde düzeltmeye tabi tutulmaktadır. Böylece, özellikle arazi yüzeyindeki yükseklik farklarından kaynaklanan hatalar azaltılmış olmaktadır. Bu düzeltmelerin yapılabilmesi için arazinin detaylı bir yükseklik modeline ihtiyaç duyulmaktadır.

Fotogrametri süreci, görüntülerin analiz edilmesini ve arazi yöneticilerinin karar alma süreçlerini destekleyecek güvenilir ve savunulabilir haritaların üretilmesi için gerekli verilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu veriler genellikle topografik (arazi yüzeyi) veya planimetrik (nehirler, yollar, bitki örtüsü sınırları ve kültürel unsurlar) bilgileri içermektedir (Matthews, 2008). Bu sürecin temelini, hava fotoğraflarının iç ve dış yöneltme parametrelerine göre geometrik olarak düzeltilmesi oluşturmaktadır. Bu düzeltme işlemleri, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) veya Sayısal Arazi Modeli (SAM) gibi topografik veriler ile desteklenerek, yüksek doğrulukta ortofoto ürünlerinin elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

1.5.4. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

Sayısal Yükseklik Modeli, yeryüzü şekillerini ve üzerindeki doğal ya da yapay unsurları konumsal ve yükseklik verilerine dayanarak dijital ortamda temsil eden bir modelleme yöntemidir. Bu model insan yapımı nesneleri ve bitki örtüsünü de içermektedir (Acar, 2018). SYM'ler, özellikle Fotogrametri, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) içerisinde önemli bir yere sahip olup, dijital ortamda üretilen topoğrafik haritaların oluşturulmasında temel veri kaynağı olarak yaygın şekilde tercih edilmektedir. Belirli bir bölgedeki yeryüzü topografyasını, o bölgeye ait konum ve yükseklik verilerine dayanarak dijital biçimde ve üç boyutlu olarak temsil eden detaylı bir arazi modelidir (Yurtseven, 2008).

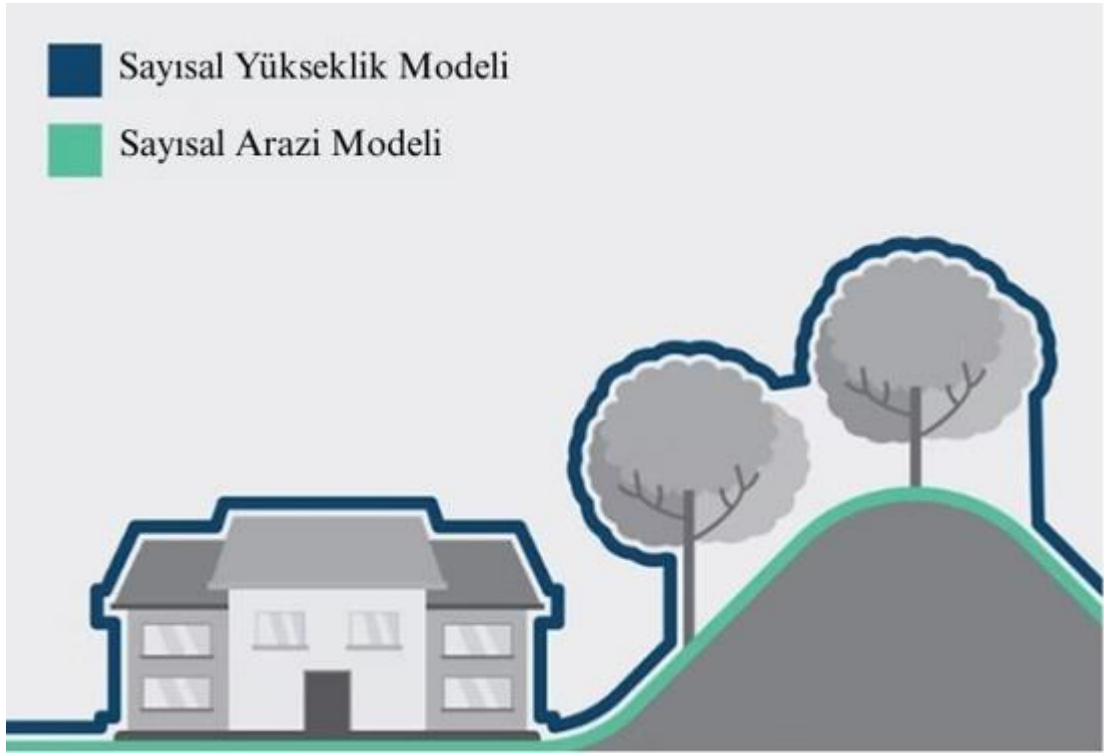
1.5.5. Sayısal Arazi Modeli (SAM)

Sayısal Arazi Modeli, sadece topoğrafyaya ait olan bir modeldir. Arazinin gerçek şeklini anlamakta oldukça yardımcıdır. Bu model insan yapımı nesneleri ve bitki örtüsünü içermez, çıplak arazi yüzeyidir (Acar, 2018). Yalnızca zemin seviyesine ait yükseklik verisi içerir. Modelleme yaparken Sayısal Yükseklik Modelinden ayrıldığı kısım, orman, bina, bitki örtüsü vb. kısımları içermeyen sadece topoğrafyayı temsil eden sayısal bir modelidir (Yurtseven, 2008).

SYM ve SAM Modellerinin bazı özellikleri Tablo 2'de belirtilmiştir. SYM ve SAM modelleme örneği Şekil 6'da mevcuttur.

Tablo 2.SYM ve SAM özellikleri

	Sayısal Yükseklik Modeli	Sayısal Arazi Modeli
İçerik	Zemin + Zeminüstü	Zemin
Kullanım Alanı	Planlama, Modelleme, Fotogrametri vb.	Jeoloji, Tarım, Mühendislik Doğal Afet vb.
Veri Kaynağı	Fotogrametri, Lidar vb.	Uydu, Lidar vb.



Şekil 6.SYM ve SAM (URL3)

1.5.6. Değişim Analizi

Değişim tespiti, yeryüzündeki nesnelerin zaman içerisindeki hareket ve dönüşüm özelliklerini analiz etmek için kritik bir süreçtir (Hacı vd., 2022). Değişim dünyanın kaçınılmaz bir parçasıdır. Nesnelerdeki değişimler, farklı durumlar arasındaki farklılıkların tespiti ile belirsizliklerin değerlendirilmesini de kapsayacak şekilde, bilgi yorumlaması için uygun biçimde temsil ve analiz edilmektedir (Stilla & Xu, 2021). Değişim analizi bir değişkenin zaman içerisinde meydana gelen farklılıklarını değerlendirip analiz eden bir

yöntemdir. Zamansal değişimin analiz edilmesi, geçmiş dönemlere ait verilerle güncel verilerin karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu karşılaştırmalar sayesinde, belirli bir alanın zamanla nasıl bir dönüşüm geçirdiği nicel ve nitel olarak değerlendirilebilmektedir. Değişim analizi, farklı zaman dilimlerinde elde edilen görüntülerde meydana gelen farklılıkların tespit edilmesine yönelik bir yöntemdir (Shafique vd., 2022). Değişim yıllık, mevsimlik ve hatta günlük bile olabilmektedir. Bu değişimler arazi kullanımı, arazi örtüsünün değişimi, yabancı atık maddelerin tespiti, doğal afet sonrası hasar tespiti, kaçak yapı kontrolü, kıyı takibi gibi uygulama örneklerini içermektedir. Bu değişimleri tespit etmek için uydu görüntüleri veya İHA, uçak vb. ile elde edilen görüntüler kullanılmaktadır. Şekil 7’de değişim analizini temsil eden bir görsel sunulmuştur.



Şekil 7. Değişim analizi (URL4)

Değişim tespiti, belirli bir zaman diliminde aynı coğrafi alandaki farklılıkları ortaya çıkarmayı ve analiz etmeyi hedefleyen; kentsel planlama, tarımsal değerlendirme ve arazi örtüsü izleme gibi çeşitli uygulamalarda kullanılan temel bir uzaktan algılama işlemidir. Ancak, uzaktan algılama verilerindeki değişiklikleri doğru şekilde tespit etmek; görüntü kalitesindeki varyasyonlar, gürültü, coğrafi kayıtlardaki sapmalar, aydınlatma koşullarındaki farklılıklar, karmaşık manzara yapıları ve mekansal heterojenlik gibi birçok faktör nedeniyle oldukça karmaşık bir görevdir (Cheng v., 2024).

Zaman içindeki değişimin niteliğini ve hızını belirlemek, bu değişimin nedenleri ve sonuçlarıyla çok yönlü bir şekilde ilişkilendirilerek gerçekleştirilen zaman serisi verilerinin analizi, mevcut değişimin anlaşılmasında, değerlendirilmesinde ve yönetilmesinde önemli bir adımdır. Meydana gelen çevresel, yapısal veya arazi kullanımına yönelik değişimlerin tespit edilmesi, sürdürülebilir planlama ve kaynak yönetimi açısından son derece kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiler, hem mevcut durumun detaylı bir şekilde analiz edilmesi hem de gelecekte alınacak stratejik kararların bilimsel verilere dayandırılması sağlanmaktadır. Değişim analizi Şekil 8’de bahsedildiği gibi kullandığı veri tipine göre üç başlık adı altında incelenmektedir.



Şekil 8. Değişim analizi yöntemleri

➤ Uydu Görüntüleri ile Değişim Analizi

Uydu görüntü çiftleri kullanılarak gerçekleştirilen kentsel değişim tespit çalışmaları, oldukça başarılı sonuçlar elde etmektedir. Özellikle, uydu görüntü zaman serilerindeki her ardışık görüntü çifti üzerinden değişimleri belirleyen sürekli bir kentsel değişim tespit yöntemi ile doğru ve güvenilir sonuçlara ulaşmak mümkündür. Deneyler, önerilen yöntemin hem iki zamanlı hem de çok zamanlı değişim tespiti ve segmentasyon yöntemlerine kıyasla üstün performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri zaman serilerinin sunduğu olanaklar ve bu yöntemlerin potansiyeli, kentsel değişim analizlerinde oldukça yüksektir (Hafner vd., 2024).

Uydu görüntüleri, uzaydan veya atmosferden çeşitli sensörler ile donatılmış hareket eden uydular aracılığıyla elde edilen, yeryüzündeki doğal ve insan yapımı nesneleri incelemek için kullanılan sayısal görüntülerdir. Bu görüntüler, fiziksel temas olmaksızın yeryüzündeki çevresel değişiklikleri izlemek, arazi kullanımını takip etmek, doğal afetlerin etkilerini değerlendirmek ve coğrafi bilgi sistemleri üzerinde analizler yapmak gibi birçok amaç için kullanılmaktadır. Uydu görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen değişim analizi, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) çalışmalarının en temel uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. Farklı tarihlerde elde edilen uydu verilerinin karşılaştırılması yoluyla, arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimleri, doğal afetlerin etkileri, kentsel büyüme süreçleri ya da çevresel bozulmalar ayrıntılı olarak incelenebilmektedir. Bu analizler, spektral bantların karşılaştırılması, sınıflandırma teknikleri, indeks tabanlı yöntemler, değişim vektör analizi veya fark görüntüsü oluşturma gibi çeşitli görüntü işleme teknikleriyle gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla, uydu görüntülerine dayalı değişim analizi, hem mekansal hem de zamansal boyutta çevresel izleme ve sürdürülebilir planlama çalışmalarına önemli katkılar sunmaktadır.

➤ Hava Görüntüleri ile Değişim Analizi

Değişim takibi amacıyla uzaktan algılama verileri, yüksek çözünürlüklü hava görüntüleri ve ortofoto haritalar kullanılmaktadır (Bayram vd., 2015). Uzaktan algılama verileri, değişim analizleri için değerli bir bilgi kaynağı olarak kullanılabilir. Bu veriler başlıca optik ve sentetik açıklıklı radar görüntülerinden oluşmaktadır. Optik görüntüler, uydular veya insansız hava araçları ile elde edilmekte olup, farklı çözünürlüklere sahip ortofotolar sayesinde şehirlerdeki yapı ve nesnelerdeki değişimlerin tespitinde etkili bir araç olarak kullanılabilir (Fyleris vd., 2022).

Hava görüntüleri, belirli bir yükseklikten uçak, helikopter veya İHA teknolojisi ile elde edilmiş görüntülerdir. Elde edilen görüntüler geometrik düzeltme, ölçeklendirme ve gerekli işlemlerden geçtikten sonra ortofoto görüntü üretilmiş olmaktadır. Ortofoto görüntüler geometrik olarak düzeltilmiş ve coğrafi koordinat sistemiyle ilişkilendirilmiş yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarıdır. Bu sayede arazi ve üzerindeki unsurları ölçekli, doğru ve hassas şekilde elde ettiğimiz bir veri kaynağıdır. Aynı bölgeye ait farklı zamanlarda elde edilen ortofoto görüntülerin kıyaslanması yoluyla mevcut değişimi tespit etmek mümkündür. Bu analizler genellikle piksel tabanlı ya da nesne tabanlı yaklaşımlar adı altında incelenmektedir. Piksel tabanlı yöntemde görüntüler gri seviye veya renkler arasındaki fark doğrudan karşılaştırılarak değişim ortaya çıkarılmaktadır. Nesne tabanlı yöntemde ise her bir nesnenin spektral ve geometrik özellikleri analiz edilmekte ve farklı zaman dilimine ait değişim bulunabilmektedir.

➤ Nokta Bulutu ile Değişim Analizi

Son yıllarda, üç boyutlu (3B) nokta bulutları, otomatik değişim tespiti uygulamalarında giderek daha fazla tercih edilen bir veri kaynağı haline gelmiştir. İki boyutlu (2B) görüntülerle karşılaştırıldığında, 3B nokta bulutlarının kullanımı, detaylı geometrik ve öznitelik analizlerine imkan tanıyan ve çeşitli yöntemler sunan alternatif bir yaklaşım sağlamaktadır. Özellikle kentsel alanlarda nesnelerin 3B değişimlerinin belirlenmesinde nokta bulutları önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntem, arazi kullanım ve örtüsü izleme, inşaat mühendisliği, bitki örtüsü değerlendirmesi ve trafik gözlemi gibi birçok farklı uygulama alanında etkili bir şekilde uygulanabilmektedir (Stilla & Xu, 2021). 3B nokta bulutu verileri, bir nesne veya arazi yüzeyinin uzaydaki noktalarla temsil edilmesinden oluşan veri kümeleridir. Bu veriler genellikle LiDAR teknolojisi kullanılarak elde edilir ve bu teknoloji, sensör ile hedef yüzey arasındaki mesafeyi lazer darbeleri aracılığıyla ölçer. Değişim tespiti uygulamalarında ise 3B nokta bulutu verileri, zaman içerisinde arazi veya nesnelerin yükseklik ve şekil değişimlerini analiz etmek için etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Cheng vd., 2024).

Nokta bulutları, fotogrametrik yöntemler, lazer tarama veya İHA teknolojileri gibi tekniklerle elde edilen üç boyutlu veri setleridir. Nokta bulutları, bir nesnenin veya bir alanın yüzeyini yüksek çözünürlüklü noktalarla temsil etmektedir. Bu veri yapısı yüzeyin veya nesnelerin geometrisini yüksek doğrulukla temsil edebilir ve bu sayede değişim analizi için önemli bir kaynak oluşturabilmektedir. Bu değişimleri belirleyebilmek adına özel yazılım

veya algoritmalar kullanılabilir. Doğrudan geometrik ve 3B ölçümler ile oluşturulmaktadır. Nokta bulutu ile değişim analizi aynı bölgeye ait farklı zamanlarda elde edilmiş iki nokta bulutu verisinin karşılaştırılması temeline dayanmaktadır. Genellikle nokta tabanlı analiz yöntemi kullanılmaktadır. Her bir nokta için iki veri seti arasındaki farka dayalı değişim miktarı tespit edilmektedir.

1.5.7. Nesne Tespiti

Nesne tespiti, bir görüntü veya video içerisindeki hedef nesnelerin konum, şekil ve özelliklerinin otomatik olarak belirlenmesi sürecidir. Bu süreç, görsel özniteliklerin ve hareket bilgilerinin analiz edilmesini kapsar ve genellikle arka plan modelleme, fark görüntüleme ve morfolojik işlemler gibi yöntemleri içermektedir. Nesne sınıflandırması, bir görüntüde yer alan bir veya birden fazla nesnenin hangi sınıfa ait olduğunu belirleyerek onlara uygun etiketlerin atanmasını ifade etmektedir (Harzallah vd., 2009). Nesne tespitinin amacı, önceden tanımlanmış sınıflara ait nesnelerin bir görüntü içerisinde belirlenmesi, konumlarının sınırlayıcı kutular ile gösterilmesi ve ilgili kategorilere göre sınıflandırılmasıdır. Bu bağlamda, yalnızca nesnenin varlığını saptamakla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda nesnenin görüntüdeki mekansal konumunu belirlemek ve ait olduğu sınıfı doğru bir şekilde kategorize etmek olarak tanımlanmaktadır (Kaur & Singh, 2023). Amaç, hedef nesneleri çevresel değişikliklerden ve gürültüden ayırarak doğru ve güvenilir bir şekilde ortaya çıkarmaktır. Nesne algılama, görüntülerin yorumlanması ve anlaşılması açısından hem temel hem de zorlu bir araştırma konusudur (Coulson vd. 2024).

İHA'lar aracılığıyla elde edilen hava görüntülerinde nesne tespiti çalışmaları hız kazanmıştır. Bu süreç, sahadaki nesnelerin türlerinin ve konumlarının belirlenebilmesi amacıyla yürütülen temel bir uygulamadır (Zhao vd., 2024). İHA'lara entegre edilen lazer tarama ve fotogrametrik sensörler sayesinde hem doğal hem de yapay nesnelerin belgelenmesi, haritalanması, ölçülmesi ve takip edilmesini sağlamaktadır (Kovanic vd. 2023). Nesne tespiti alanında literatürde, basit yapıli yöntemlerden karmaşık algoritmalara kadar çok sayıda yaklaşım geliştirilmiştir. Bir görüntüde veya videodaki nesnelerin belirlenmesinde görsel öznitelikler (renk, doku, şekil gibi) ve hareket bilgisi olmak üzere iki temel bilgi kaynağı kullanılmaktadır. Bu verilerin elde edilmesi ve işlenmesi belirli bir hesaplama gücü ve işlem süresi gerektirmektedir. Bazı yöntemler yalnızca görsel özniteliklere veya yalnızca hareket bilgisine dayanırken, özellikle nesne takibinin zor olduğu

durumlarda, farklı özniteliklerin ve hareket bilgisinin birlikte kullanıldığı hibrit yöntemler de geliştirilmiştir. Öznitelik çeşitliliği başarı oranını artırsada, işlem süresinde artışa yol açmakta ve bu durum gerçek zamanlı uygulamalarda nesne takibini zorlaştırmaktadır.

Bu bağlamda en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, ardışık video çerçeveleri arasındaki geçici değişiklikleri tespit etmeye dayanan yöntemdir. Bu yaklaşım, birbirini takip eden iki çerçevenin çıkarılmasıyla elde edilen fark görüntüsünden nesneleri belirlemeye çalışmaktadır. Basit ve hızlı bir yöntem olmasına rağmen, ışık değişimleri ve görüntüdeki gürültüye karşı oldukça hassastır ve bu nedenle hata oranı yüksek olabilmektedir. Daha güvenilir bir yöntem ise, hedef nesnenin bulunduğu görüntüden yalnızca arka plan bilgisini içeren çerçevenin çıkarılmasıdır. Bu işlem sonucunda elde edilen fark görüntüsü belirli bir eşik değeri üzerinden değerlendirilir ve istenmeyen öğeler filtrelenebilir. Elde edilen fark görüntüsünden gürültüyü azaltmak ve hedef nesneyi daha net şekilde ortaya çıkarmak için morfolojik işlemler uygulanmaktadır. Özetle, nesne tespiti, görsel ve hareket özniteliklerini kullanarak bir sahnedeki hedef nesneleri belirleme sürecidir. Bu süreçte kullanılan yöntemler, işlem hızı, doğruluk ve çevresel değişimlere karşı dayanıklılık açısından farklılık göstermektedir (Hanbay vd., 2017).

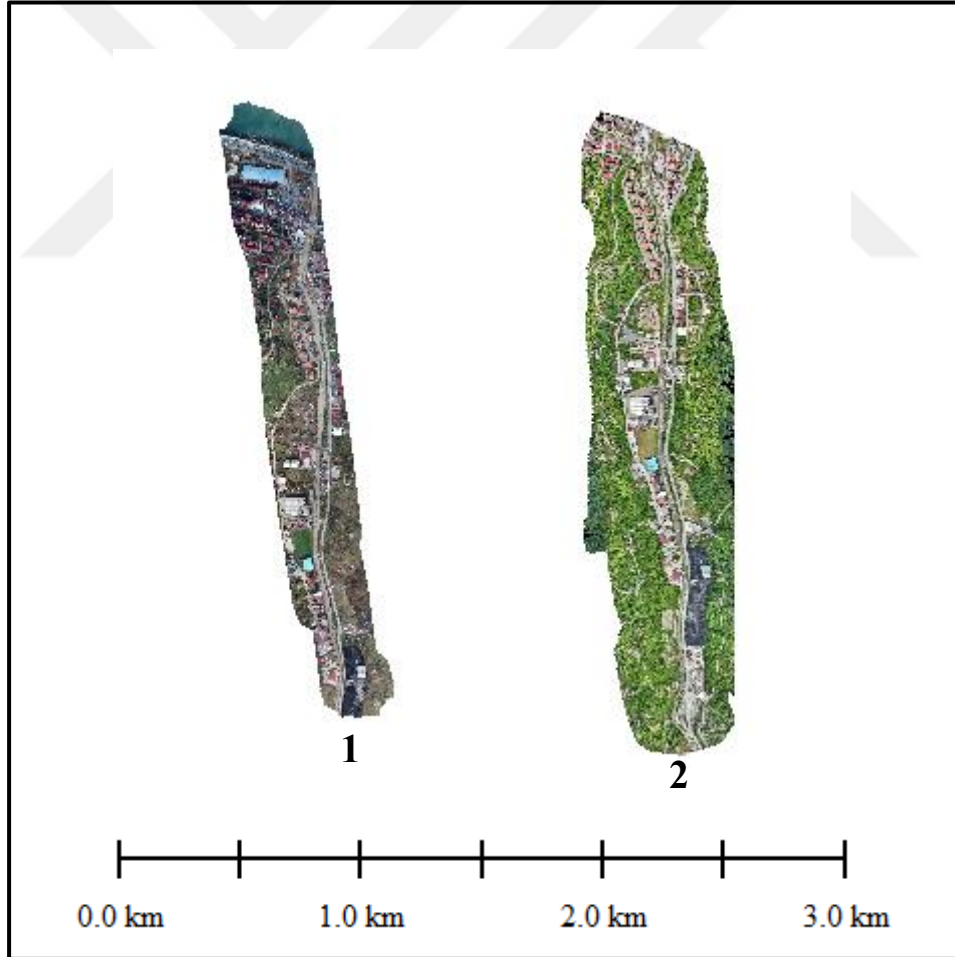
Teknolojinin gelişmesiyle birlikte görüntü ve video üretimi son yıllarda artmıştır. Bu verilerden anlamlı bilgiler çıkarmak ve analiz etmek önemli bir hale gelmiştir. Görüntü işleme algoritmaları bu sorunu çözmek için kullanılmaktadır. Bu algoritmalar, görüntülerden anlamlı bilgi çıkarmak için kullanılmaktadır. Görüntüleri analiz etmek ve yorumlamak için çeşitli teknikleri vardır. Yüz tanıma, plaka tespiti, nesne tespiti gibi birçok alanda kullanılmaktadır. (Luo vd., 2014).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Alanı

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yöntemin test edilmesi ve uygulanması amacıyla çalışma alanı olarak Trabzon ili Yomra ilçesine ait İHA teknolojileri ile elde edilmiş coğrafi referanslı görüntüler kullanılmıştır. Yomra, Trabzon ilinin 18 ilçesinden biri olup, ilin en kalabalık üçüncü ilçesidir.

Yomra ilçesinde insansız hava aracı kullanılarak iki farklı tarihte iki farklı uçuş yapılmıştır. Elde edilen görüntüler ile ortofoto görüntü oluşturulmuş ve Şekil 9'da belirtilmiştir.



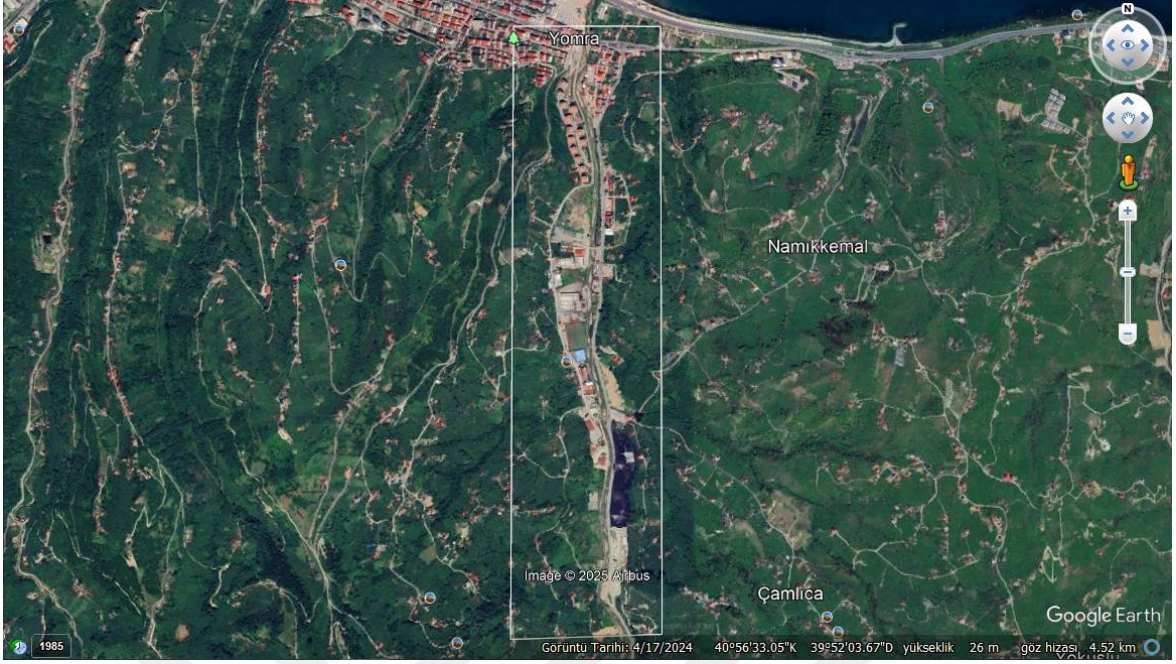
Şekil 9. (1) Kullanılan birinci ortofoto, (2) Kullanılan ikinci ortofoto

Kullanılan her iki ortofoto veri seti için ortalama uçuş yüksekliği yaklaşık 180 metre olarak belirlenmiş olup, bu uçuşlarda görüntülerin bütünlüğünü ve sürekliliğini sağlamak amacıyla enine bindirme oranı %70, boyuna bindirme oranı ise %80 düzeyinde planlanmıştır. Yer örnekleme aralığı ise 5 cm'den küçüktür. Bu değerler, elde edilen verilerin fotogrametrik açıdan yüksek doğrulukla işlenebilmesine ve analiz edilebilmesine uygun bir uçuş standardı sunmaktadır.

Çalışmada, insansız hava aracı kullanılarak farklı tarihlerde elde edilen aynı bölgeye ait görüntülerden yararlanılarak, alan üzerindeki zamansal değişimlerin analizi gerçekleştirilmiştir. Örneklem alanı olarak seçilen Yomra ilçesine ait Google Earth görüntüleri Şekil 10 ve Şekil 11'de sunulmaktadır. İlgili veri setlerine ilişkin temel tanımlayıcı özellikler ise Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 10. Kullanılan birinci ortofotoya ait Google Earth görüntüsü



Şekil 11. Kullanılan ikinci ortofotoya ait Google Earth görüntüsü

Tablo 3. Kullanılan İki Görüntünün Özellikleri

	1.Görüntü	2.Görüntü
Görüntü Boyutu	560 mb	1.23 gb
Piksel Boyutu	0.056	0.04922
Bant Sayısı	4	4
Satır Sayısı	13527	12764
Sütun Sayısı	46157	54073
Oluşturulma Yılı	2022	2023
Kullanılan İHA	Phantom 4 RTK	Mavic 3E

2.2. Metodoloji

Bina çatı yüzeylerindeki yabancı maddeleri tespit etme amacı taşıyan bu tez çalışması kapsamında;

- Çalışma alanı için coğrafi referanslı veri üzerinden kesme işlemi,
- Operatör tanımlı bina çatı sınırlarının belirlenmesi,
- Parlaklık farklarının normalize edilmesi,
- Fark maskesi oluşturma,

- Morfolojik işlemler ve boyut analizi,
- İki ortofoto görüntüsü için RGB değerleri arasındaki farkın kıyaslanması,
- Zamansal ve mekansal değişimlerin analizi,

işlem adımları uygulanmıştır.

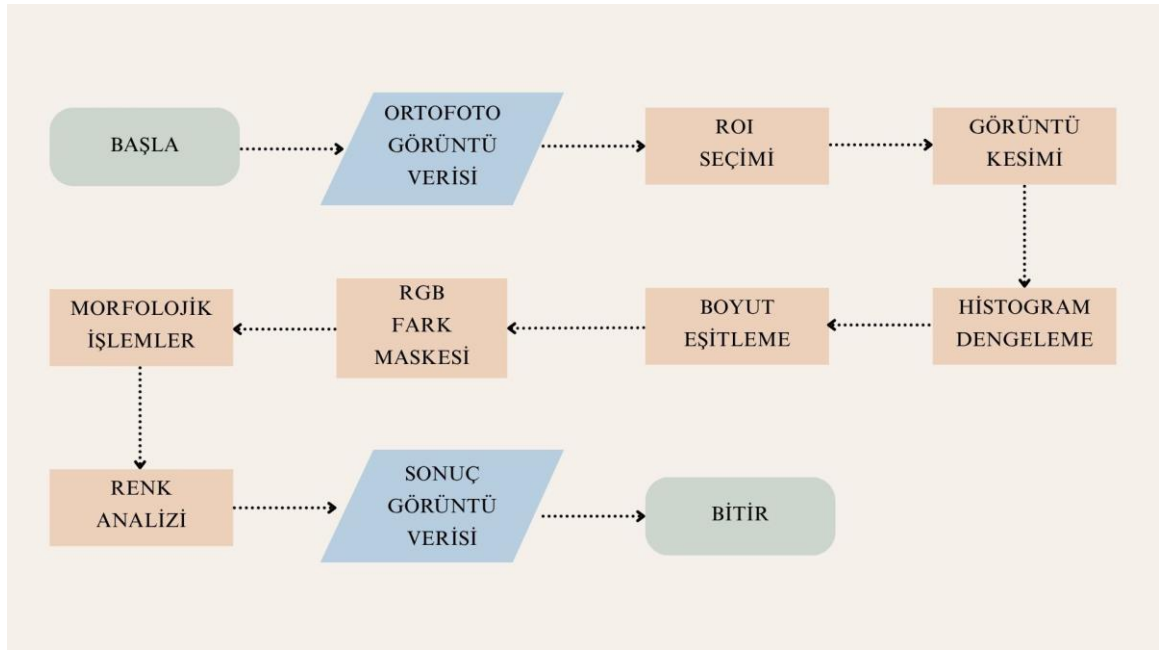
İnsansız hava araçları (İHA) ile elde edilen görüntüler, zaman tasarrufu, düşük maliyet ve yüksek verimlilik sağlaması nedeniyle günümüzde pek çok disiplin tarafından yaygın olarak kullanılan önemli bir teknoloji haline gelmiştir. İHA'lar sayesinde çalışma alanlarına ilişkin veriler düzenli aralıklarla toplanabilmekte ve bu sayede farklı dönemler arasındaki değişimlerin sistematik olarak izlenmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca, görüntü alımının istenilen zamanda, istenilen yükseklikte ve istenilen sayıda gerçekleştirilebilmesi, veri toplama sürecinin planlanmasını tamamen operatörün kontrolüne bırakmaktadır. Bu esneklik, özellikle arazi koşullarının değişkenlik gösterdiği ve hızlı müdahale gerektiren durumlarda büyük bir avantaj sağlamaktadır.

İHA sistemleri ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler, değişim analizi uygulamalarının yanı sıra haritalama, arazi kullanımı ve örtüsü tespiti, afet yönetimi, tarımsal izleme, kentsel planlama ve çevresel etki değerlendirmesi gibi birçok farklı alanda temel veri kaynağı olarak kullanılabilir. Bu yönüyle İHA teknolojisi, yalnızca güncel mekansal bilgilerin elde edilmesini değil, aynı zamanda uzun vadeli izleme ve karşılaştırmalı analiz çalışmalarının yapılabilmesini de mümkün kılmakta; böylece fotogrametri, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama tabanlı araştırmalara önemli bir altlık oluşturmaktadır.

Bina çatı yüzeylerindeki değişikliklerin ve yabancı cisimlerin tespiti birçok disiplin için araştırma konusu olmaktadır. Yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları, binaların çatılarındaki zamanla meydana gelen değişimleri detaylı bir şekilde analiz etmek için oldukça yardımcı bir kaynaktır.

Bu çalışmada, iki farklı tarihe ait GeoTIFF formatındaki hava görüntüleri karşılaştırılarak çatı yüzeylerindeki potansiyel yabancı cisimlerin (insan veya hayvan kaynaklı atıklar, çevresel kalıntılar vb.) tespiti amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan Yomra'ya ait ortofoto görüntüler farklı yıllarda temin edilmiştir. Bu analiz Matlab ortamında üç farklı alan çifti için gerçekleştirilmiştir ve her görüntü çifti aynı işlem adımlarına tabi tutulmuştur. MATLAB ortamına aktarılan ortofoto görüntülerde öncelikle bina çatı sınırları belirlenmiş ve işleme bu alanlar üzerinden devam edilmiştir. Görüntülerin farklı yıllarda elde edilmesi nedeniyle mevsimsel değişiklikler, aydınlatma koşulları ve atmosferik farklılıklar

söz konusu olmuştur. Bu farklılıkları gidermek ve görüntüler arasında renk uyumunu sağlamak amacıyla histogram eşleme yöntemi uygulanmıştır. Görüntü boyutları, büyük olan görüntü referans alınarak eşitlenmiş ve bu işlem sonrasında değişim tespiti için kullanılacak veriler elde edilmiştir. Analiz sürecinde renk bileşenleri temel alınmış, gürültü ve gereksiz ayrıntıları azaltmak için iki görüntü arasındaki RGB farkları incelenmiştir. Belirlenen eşik değerinin üzerinde kalan pikseller, değişim analizi için bir sonraki aşamaya aktarılmıştır. İşlem adımları Şekil 12’de detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 12. İş akış şeması

Gerçekleştirilen çalışmada görüntü işleme tekniklerinin yanı sıra farklı teknik ve donanımsal özelliklere sahip iki farklı İHA kullanılmıştır. Phantom 4 RTK ve Mavic 3E uçuş süreleri, kamera özellikleri, sensörleri vb. birçok açıdan farklılık göstermektedirler. Çalışmayı daha anlamlı kılmak için bu iki İHA’ya ait bazı özellikler Tablo 4’te verilmiştir.

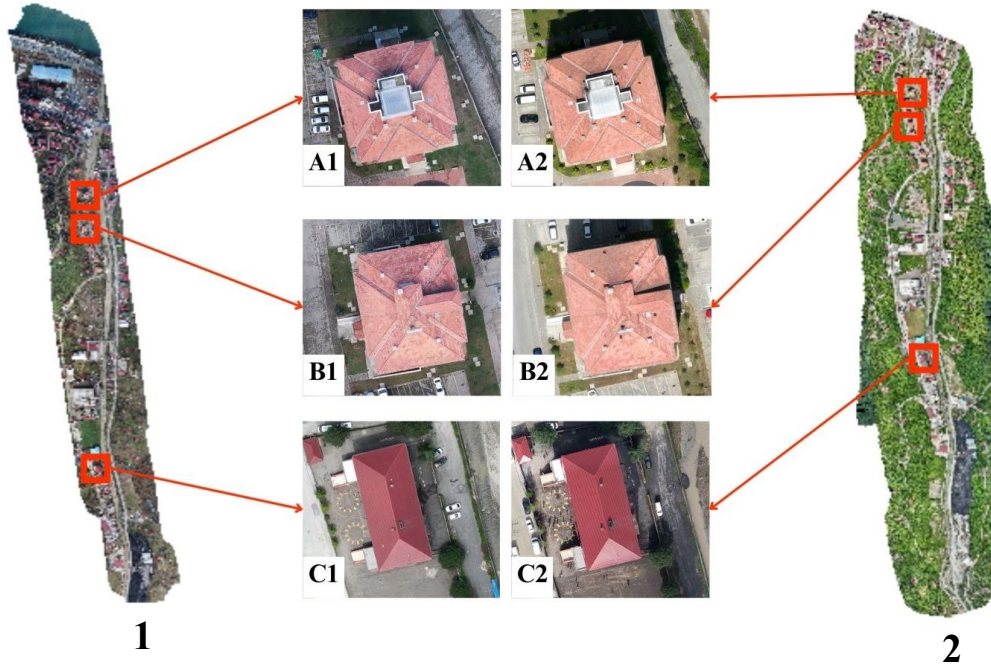
Tablo 4.Kullanılan İHA özellikleri

	Phantom 4 RTK	Mavic 3E
Max Uçuş Süresi	30 dk	45 dk
Max Uçuş Mesafesi	7 km	32 km
Max Uçuş Hızı	13 m/sn	15 m/sn

Tablo 4'ün devamı

Rüzgar Dayanımı	10 m/sn	12m/sn
Kamera Özellikleri	Geniş Kamera: 1 inç CMOS 20MP -	Geniş Kamera: 4/3 CMOS 20MP Tele Kamera: 1/2 inç CMOS
RTK Desteği	Dahili	Harici
Piksel Boyutu	2,4 um	3,3 um
Minimum Çekim Aralığı	2,5 s	0,7 s
Çözünürlük	5472x3648	5280x3956
Ağırlık	1.391 g	915 g
Çalışma Sıcaklığı	-10° ila 40°	-10° ila 40°
Konumlandırma Doğruluğu	Yatay: 1 cm + 1 ppm Düşey: 1,5 cm + 1 ppm	Yatay: 1 cm + 1 ppm Düşey: 1,5 cm + 1 ppm

Çalışmada kullanılan ortofoto görüntüler (Şekil 9) fazlasıyla büyük boyutlara sahip olduğundan ve analizlerin daha doğru çalışabilmesi kritik bir öneme sahip olduğu için belirlenen üç bina üzerinde çalışma yapılmıştır. Belirlenen bu görüntüler üzerine yabancı cisim veya cisimler yardımcı yazılım aracılığıyla yerleştirilmiştir. Mevcut üç çalışma alanı örneği Şekil 13'te gösterilmiştir. Anlaşılabilir olması açısından ortofoto görüntü 1 ve 2 numara ile adlandırılmış (Şekil 9), üç farklı çalışma alanını ise sırasıyla A, B ve C harfleri temsil etmektedir.



Şekil 13. A, B ve C çalışma alanları

İlk aşamada, farklı zamanda elde edilmiş iki adet GeoTIFF formatındaki yüksek çözünürlüklü hava görüntüleri, analiz için MATLAB ortamına aktarılmıştır. Bu görüntüler yalnızca görsel bilgi (RGB bantları) değil, aynı zamanda her pikselin hassas coğrafi konum bilgilerini içermektedir. GeoTIFF formatı, özellikle fotogrametri, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri uygulamalarında sıklıkla tercih edilen, konumsal bilgi ile görsel veriyi bir arada tutabilen çok bantlı bir meta veri türüdür.

Görüntülerde yer alan tüm bantlar içerisinde, insan gözünün algılayabileceği renk spektrumuna karşılık gelen ilk üç bant (kırmızı, yeşil ve mavi) seçilerek gerçek renkli (true-color) görüntüler oluşturulmuştur. Bu sayede, görsel analiz ve karşılaştırmalar doğal bir görünüm altında gerçekleştirilebilmiştir.

2.3. Roipoly Seçimi

Roipoly, kullanıcıya bir görüntü üzerinde çokgen şeklinde bir ilgi alanı (ROI) seçme imkânı tanır ve bu alanı ikili maske (binary mask) olarak tanımlamaktadır. Analize başlamadan önce, kullanıcıdan görüntü üzerinde analiz yapılacak belirli bir bina çatı alan

sınırı operatör tarafından manuel olarak istenildiği kadar yaklaşıp nokta atımı yaparak tanımlanmaktadır. Bu işlem sırasında seçilen koordinatlara dayalı olarak bir maske oluşturulur, yalnızca bu bölgeye odaklanılmak üzere görüntüler kırpılmış olmaktadır. Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16’da sırasıyla birinci (A1), ikinci (B1) ve üçüncü (C1) çalışma alanı çatı sınırı gösterilmiştir. Operatör tarafından seçilen çokgen bölge, ilk görüntüde oluşturulan maske temel alınarak coğrafi referans matrisleri yardımıyla ikinci görüntüye dönüştürülür ve aynı alan her iki görüntüde belirlenen çatı sınırlarından kesilip karşılaştırmaya uygun hale getirilmiş olmaktadır. Aynı bölge eş zamanlı olarak tanımlanmış, çatı sınırlarına ulaşılmış ve karşılaştırılabilir şekle gelmiştir. Bu yöntem sayesinde işlem yükü azalmış ve sadece ilgili bölgeye odaklanılmıştır.



Şekil 14. Birinci çalışma alanı (A1) için bina çatı sınırlarının belirlenmesi



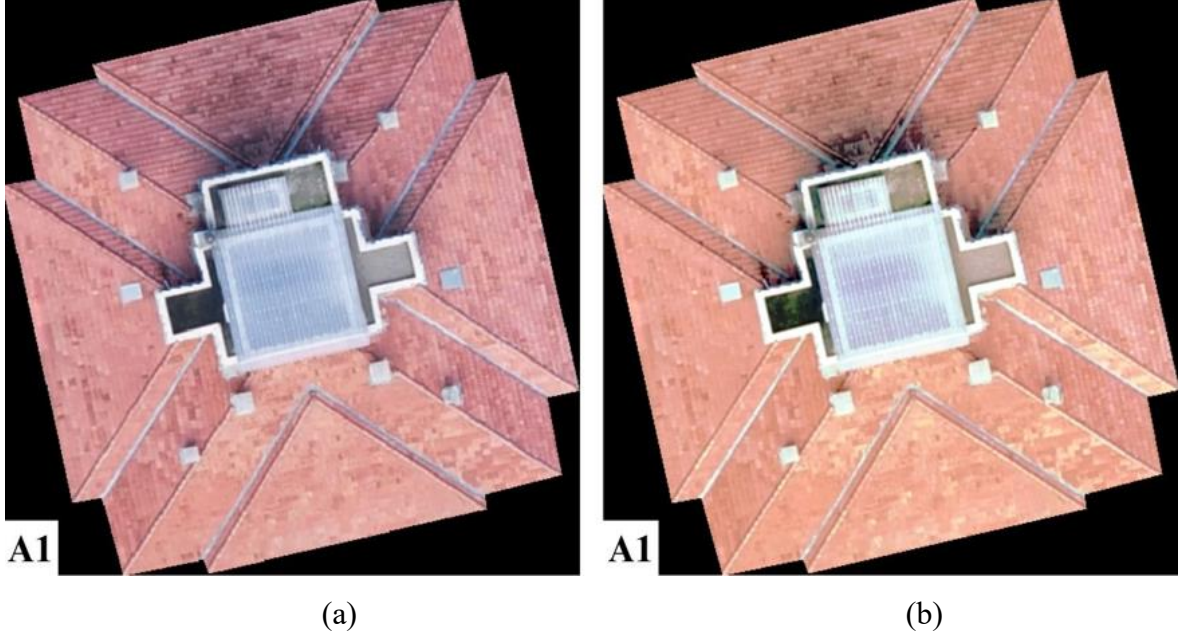
Şekil 15. İkinci çalışma alanı (B1) için bina çatı sınırlarının belirlenmesi



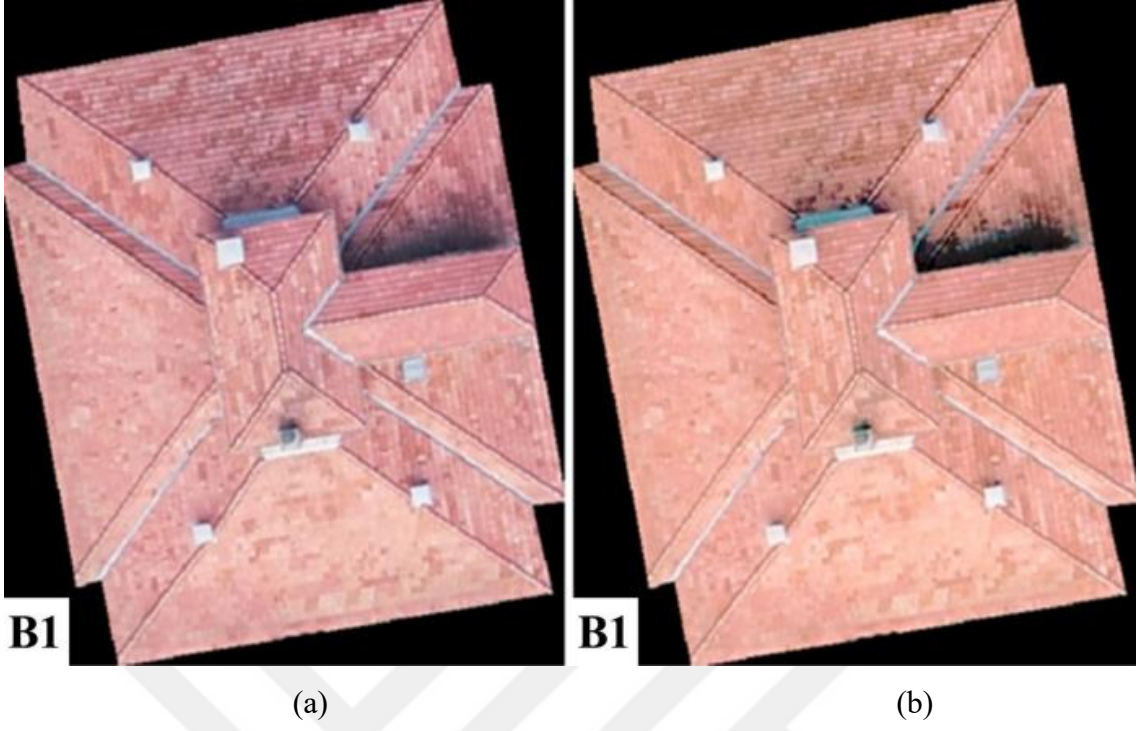
Şekil 16. Üçüncü çalışma alanı (C1) için bina çatı sınırlarının belirlenmesi

2.4. Histogram ve Boyut Eşitleme

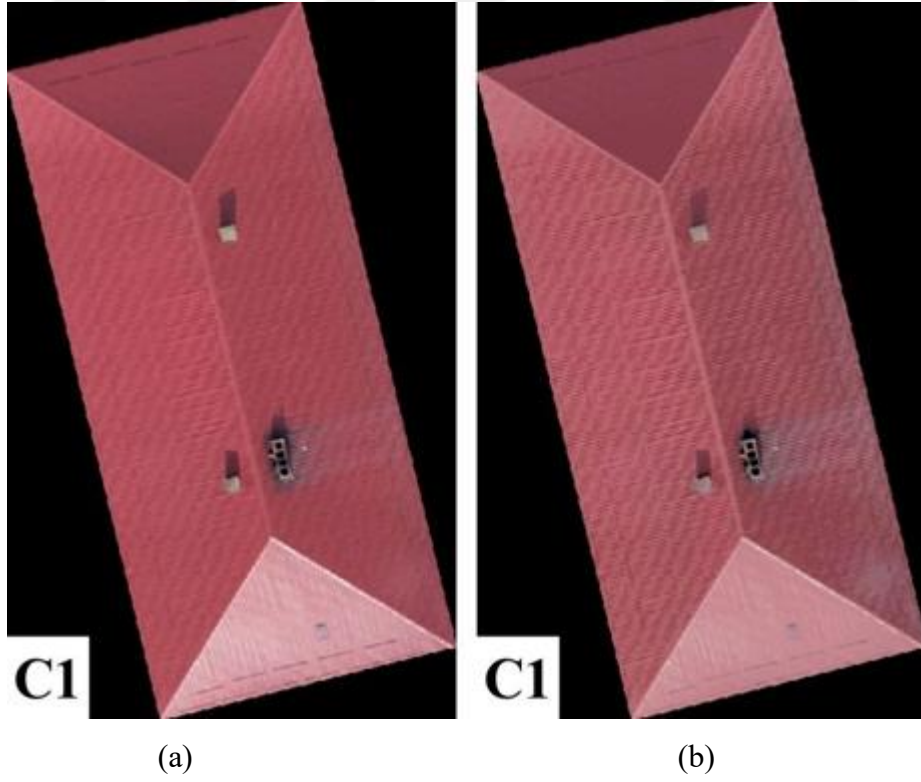
Farklı tarihlerde elde edilen görüntüler arasında; güneşlenme açısı, atmosferik koşullar, kamera ayarları ve çevresel yansımalar gibi dış etkenlere bağlı olarak parlaklık ve renk farklılıkları oluşabilmektedir. Bu durumu, doğrudan piksel karşılaştırmalarında hatalı sonuçlara neden olabileceği için, aydınlık düzeyi düşük olan görüntünün histogramı, diğer görüntünün histogramına uyarlanarak normalize edilmektedir. Böylece her iki görüntüdeki parlaklık seviyesi benzer hale getirilmiş olur ve daha verimli bir sonuç elde etmemizi sağlamaktadır. Bu işleme histogram eşleme adı verilir ve görüntü işleme alanında aydınlık farklarını minimize etmek için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Birinci, ikinci ve üçüncü çalışma alanı histogram dengelemesi parlak görüntü referans alınacak şekilde eşitlenmiştir ve çatı görüntüleri sırasıyla Şekil 17, Şekil 18 ve Şekil 19’da sunulmuştur.



Şekil 17. (a) Birinci çalışma alanı için orijinal çatı görüntüsü, (b) Birinci çalışma alanı için histogram eşlenmiş çatı görüntüsü

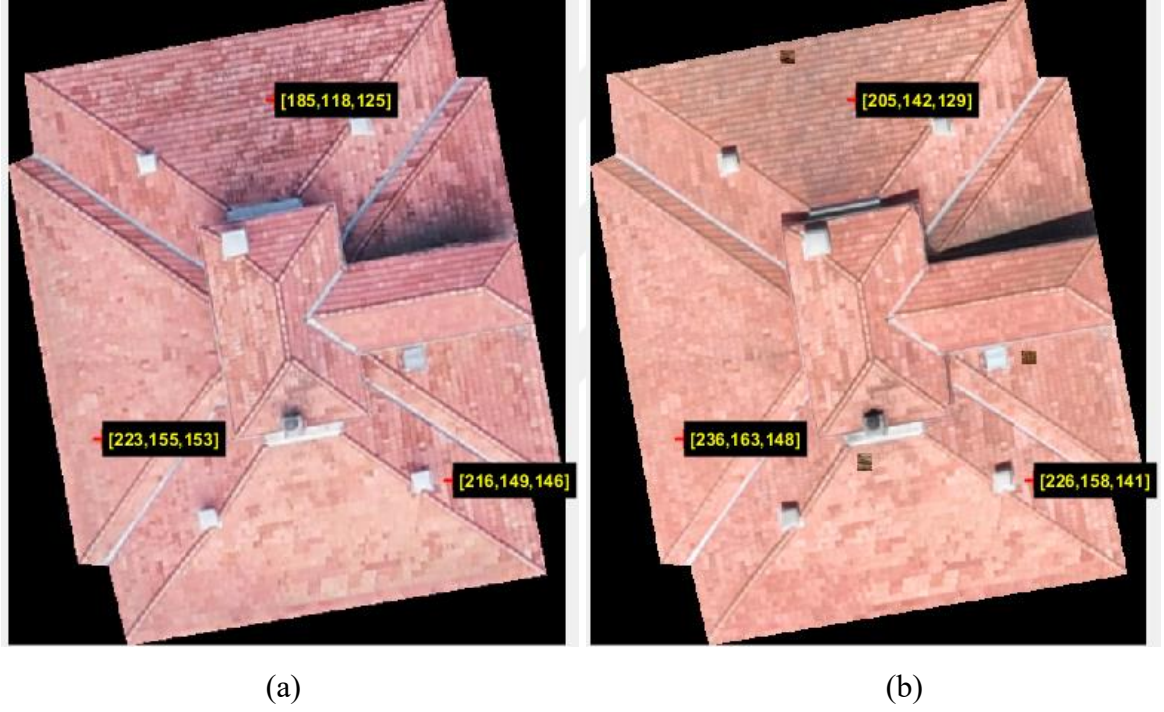


Şekil 18. (a) İkinci çalışma alanı için orijinal çatı görüntüsü, (b) İkinci çalışma alanı için histogram eşlenmiş çatı görüntüsü

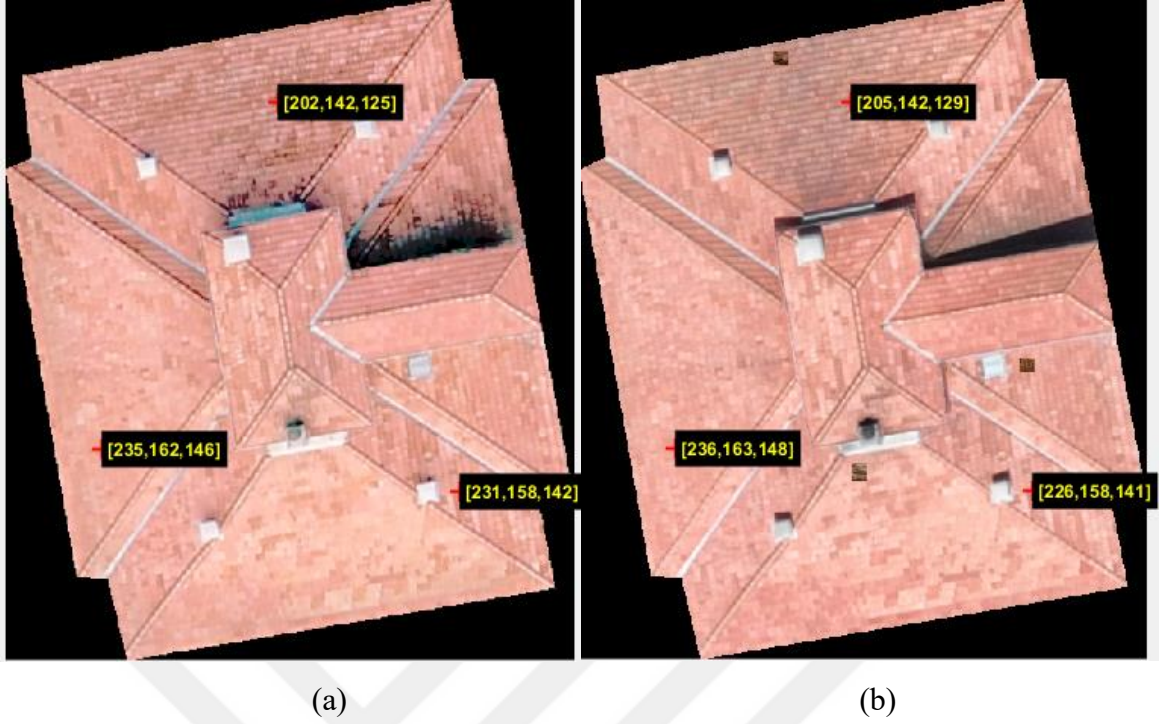


Şekil 19. (a) Üçüncü çalışma alanı için orijinal çatı görüntüsü, (b) Üçüncü çalışma alanı için histogram eşlenmiş çatı görüntüsü

Histogram dengeleme işlemi, iki veya daha fazla görüntü arasındaki parlaklık ve kontrast farklılıklarını minimize etmek açısından önemlidir. Temel amaç, görüntüdeki parlaklık dağılımını daha homojen hale getirerek, renk değerlerinin daha dengeli bir biçimde kullanılmasını sağlamaktır. Bu sayede, sonraki görüntü işleme adımları daha doğru ve tutarlı sonuçlar üretebilmektedir. Histogram dengeleme uygulanmadığında ise, görüntülerdeki ışık koşullarından, atmosferik etkilerden veya farklı sensör özelliklerinden kaynaklanan farklılıklar, karşılaştırmalarda yanlış değişim tespitlerine yol açmaktadır ve hataların artmasına sebep olmaktadır. Şekil 20’de orijinal görüntülerin RGB değerleri ve Şekil 21’de histogram dengelemesi yapılmış görüntü ile orijinal görüntünün RGB değerleri sunulmuştur.



Şekil 20. (a) Orijinal birinci görüntü RGB değerleri, (b) Orijinal ikinci görüntü RGB değerleri



Şekil 21. (a) Histogram dengelemesi yapılmış birinci görüntü RGB değerleri, (b) Orijinal ikinci görüntü RGB değerleri

ROI içerisinde kırılan görüntü parçalarının çözünürlükleri farklı olabileceğinden, karşılaştırmanın sağlıklı yürütülebilmesi amacıyla bu görüntüler aynı yer örnekleme boyutlarına dönüştürülmüştür. Bu aşamada daha düşük boyutta yer örnekleme aralığına sahip olan ortofoto daha büyük yer örnekleme aralığına sahip ortofoto görüntünün boyutlarına dönüştürülmüştür. Bu adım, özellikle piksel tabanlı karşılaştırmalarda pozisyon ve içerik eşlemesini doğrudan etkileyen kritik bir adımdır.

Hazırlanan görüntüler üzerinde, her bir (RGB) piksel değerleri karşılaştırılmış ve belirli bir eşik değerinin üzerinde olan farklar, potansiyel değişiklik olarak değerlendirilmiştir. Bu aşamada elde edilen fark maskesi, değişimin olduğu alanların yaklaşık konumlarını göstermektedir ancak içerdiği küçük gürültü ve hata bölgeleri nedeniyle doğrudan kullanılamamaktadır. Bu nedenle, fark maskesi üzerinde fonksiyon kullanılarak, belirli bir boyuttan küçük tüm nesneler görüntüden çıkarılmıştır. Böylece rastlantısal piksellerden kaynaklanan anlamsız gürültüler temizlenmiştir. Sonrasında, morfolojik kapama işlemi uygulanarak, tespit edilen bölgelerin çevresindeki boşluklar kapatılmış ve daha bütüncül bir maske elde edilmiştir.

2.5. Kullanılan Morfolojik İşlemler

Görüntü işleme çalışmalarında morfolojik işlemler, özellikle ikili (binary) görüntüler üzerinde yapılan analizlerde önemli bir yere sahiptir. Bu işlemler, görüntüdeki nesnelerin geometrik ve yapısal özelliklerini ortaya çıkarmak, gürültüleri temizlemek, küçük boşlukları doldurmak ve sınırları daha belirgin hale getirmek için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, değişim analizi sonucunda elde edilen maske görüntülerinde ortaya çıkan hataların düzeltilmesi ve nesnelerin daha doğru biçimde temsil edilebilmesi için morfolojik işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, farklı tarihlerde elde edilen ortofoto görüntüler üzerinde yapılan değişim analizleri sonucunda, çatı yüzeylerinde yer alan yabancı nesneler tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak değişim maskelerinde gölge, aydınlatma farklılığı veya görüntüleme koşullarından kaynaklanan küçük bozulmalar ve gürültüler gözlemlenmiştir. Bu tür hataların doğrudan analize bırakılması durumunda, hem yanlış pozitif sonuçlar artmakta hem de küçük yabancı nesneler sağlıklı bir biçimde ortaya çıkarılamamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada morfolojik işlemlerin kullanımı, değişim analizi sonucunda elde edilen maskelerin doğruluğunu artırmak, gürültü kaynaklı yanlışlıkları azaltmak ve yabancı nesnelerin daha net şekilde belirlenmesini sağlamak açısından fayda sağlamıştır. Bu yaklaşım, yöntemin güvenilirliğini ve doğruluk oranını yükseltmiş, elde edilen sonuçların daha kararlı ve yorumlanabilir olmasına katkıda bulunmuştur.

2.5.1. Bwareaopen

İkili görüntüden küçük nesneleri kaldıran morfolojiye yardımcı bir filtreleme fonksiyonudur. Bu yöntem görüntülerdeki bağlı bileşenler üzerinde çalışır ve analizde yardımcı olur. Bu fonksiyon belirlenen eşik değerinden daha küçük alana sahip bileşenleri elimine eder ve görüntüden kaldırır, böylece görüntü daha anlamlı ve analiz için uygun hale gelmiş olmaktadır. Bu sayede görüntüler arası fark, değişim analizi, nesne tespiti veya algılama çalışmalarında analiz edilen maskenin doğruluğunu ve hassasiyetini artmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu fonksiyona ait görüntü Şekil 22’de verilmiştir.



Şekil 22. Örnek bwareaopen görüntüsü (URL5)

2.5.2. Imclose (Closing)

İkili veya gri tonlu görüntüler üzerinde uygulanan bir kapama modelidir. Çalışma prensibi genişletme ve aşındırmaya dayalı iki aşamadan oluşmaktadır. Kapama işleminde; genişletme işlemi sayesinde birbirine yakın olan bölgeler birleşmiş olur ve daha sonra aşındırma işlemi ile genişletme işleminin mevcut alanı fazla büyümesi sebebiyle kenarlardan kırpma prensibine dayalı bir sistemdir. Şeklin esasını koruyarak mevcut şekildeki boşluk ve delikleri doldurma temeline dayanmaktadır. Kapanma işlemi eksik veya parçalı kenarlara sahip bir nesnenin bütünlüğünü sağlamak, boşluklarını gidermek ve girintilerini düzeltmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu fonksiyona ait görüntü Şekil 23'te verilmiştir.

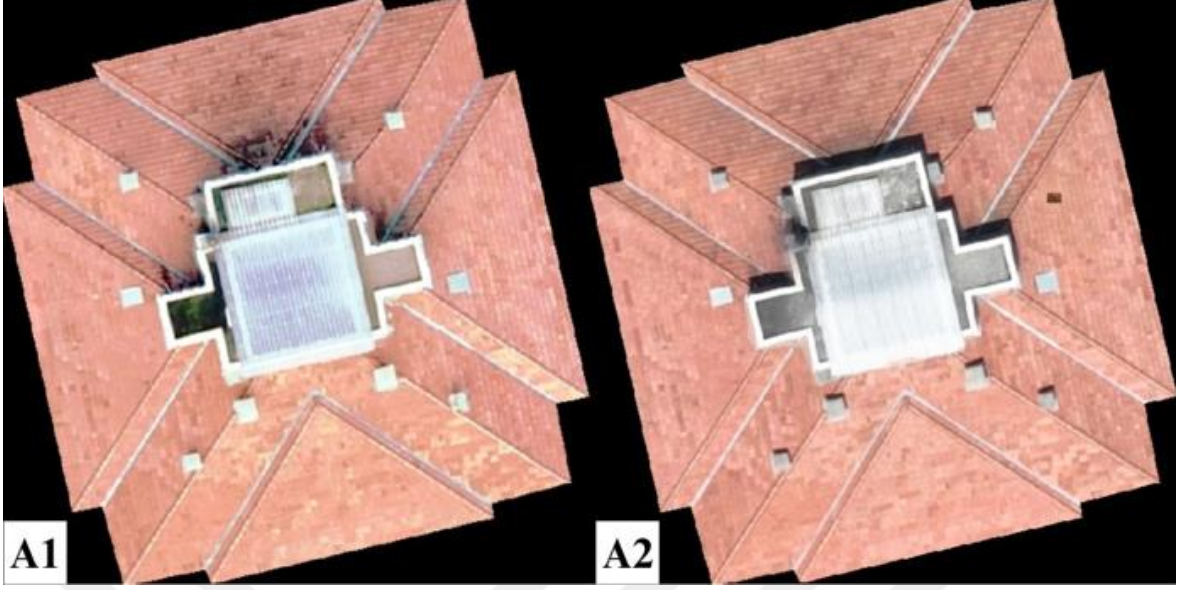


Şekil 23. Örnek kapama görüntüsü (URL6)

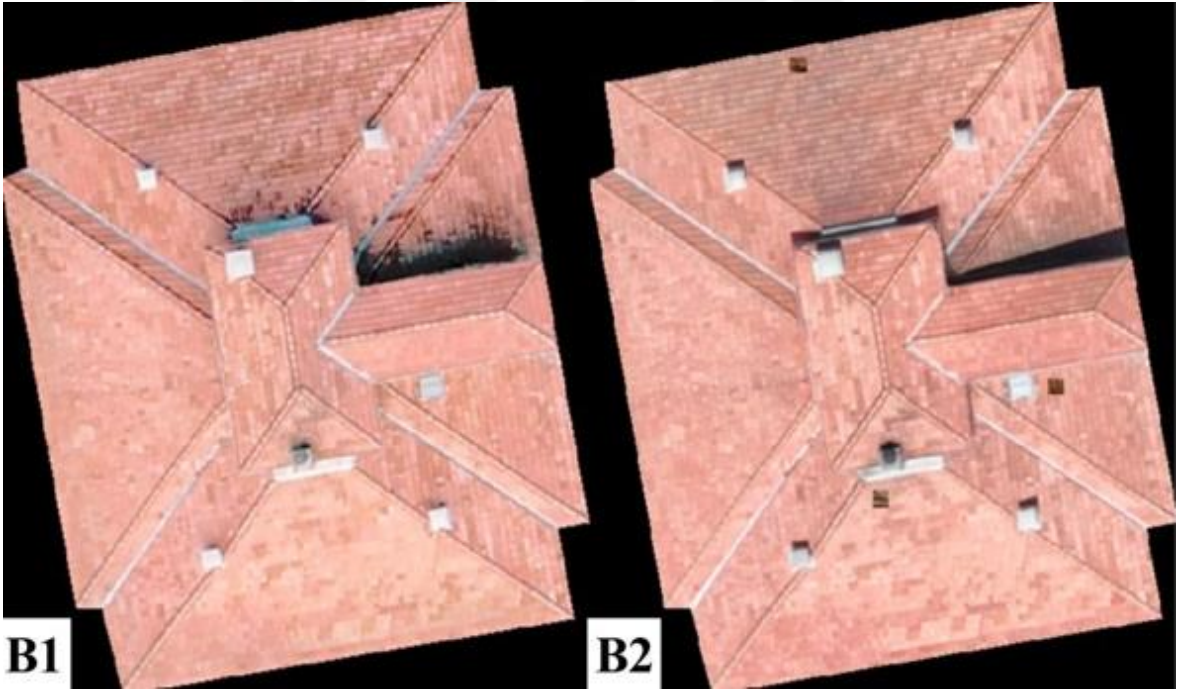
Temizlenmiş ikili maskede yer alan farklı bağlantısal bölgeler, bağlı bileşen analizi (connected component analysis) ile tespit edilmiştir. Bu işlem sayesinde, birbirinden bağımsız olarak değişime uğramış bölgeler sayısallaştırılarak analiz edilebilir hale getirilmiştir. Ardından her bölge için alan, merkez koordinatı ve sınırlayıcı dikdörtgen gibi geometrik ve konumsal istatistiksel bilgiler, bir fonksiyon aracılığıyla elde edilmiştir.

2.6. RGB Farkına Dayalı Değişim Analizi

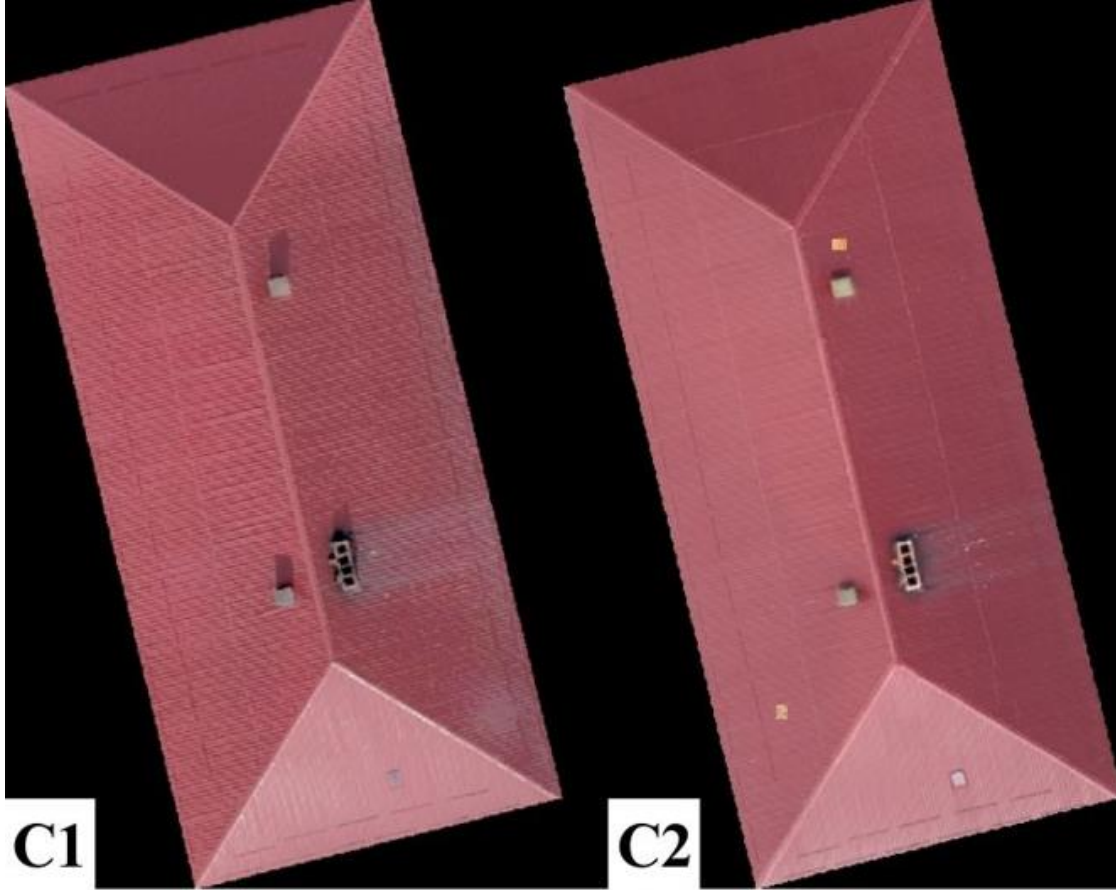
Her bir bölgenin gerçek bir değişim olup olmadığını belirlemek için, renk farklılıkları daha detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu işlemde, her bölgenin ortalama RGB değeri, referans olarak alınan görüntünün genel ortalama renk değerleriyle karşılaştırılmıştır. Farkın büyüklüğü, 10 numaralı eşitlikte sunulan öklid uzaklığı yöntemiyle ölçülmüş ve belirlenen bir eşik değerin üzerinde olan bölgeler, anlamlı değişiklik olarak sınıflandırılmıştır. Mevcut çalışma alanlarında histogram ve boyut dengelemesi yapıldıktan sonra değişim analizini tespit edebilmek için RGB farklarına bakılacak görüntüler birinci, ikinci ve üçüncü çalışma alanı olacak şekilde sırasıyla Şekil 24, Şekil 25 ve Şekil 26’da sunulmuştur.



Şekil 24. Birinci çalışma alanı için histogramı eşlenmiş ve RGB farkına bakılacak birinci görüntü, Birinci çalışma alanı için RGB farkına bakılacak ikinci görüntü



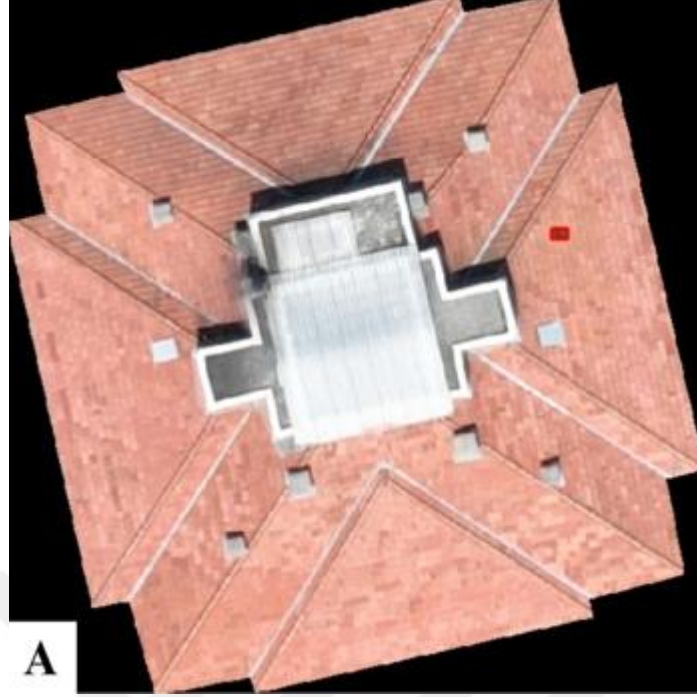
Şekil 25. İkinci çalışma alanı için histogramı eşlenmiş ve RGB farkına bakılacak birinci görüntü, İkinci çalışma alanı için RGB farkına bakılacak ikinci görüntü



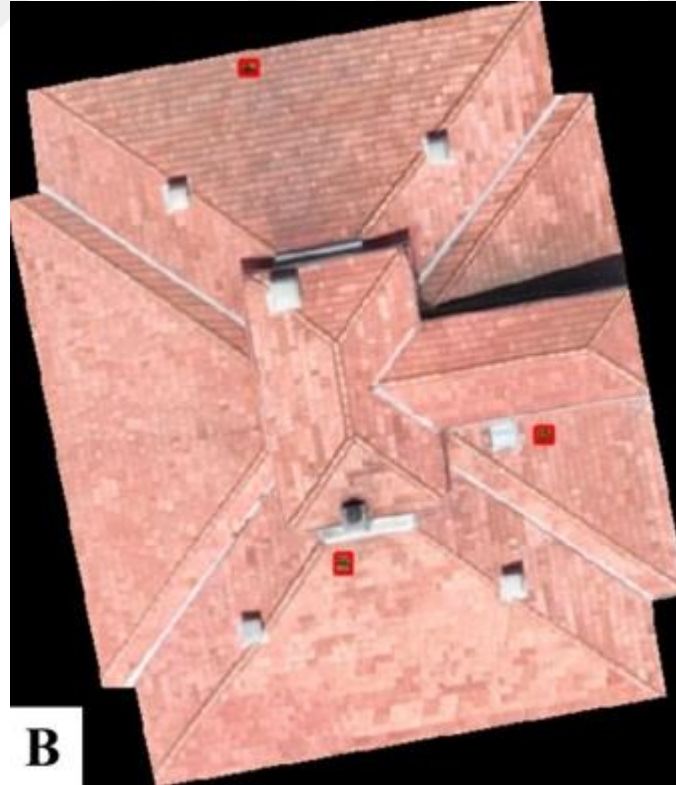
Şekil 26. Üçüncü çalışma alanı için histogramı eşlenmiş ve RGB farkına bakılacak birinci görüntü, Üçüncü çalışma alanı için RGB farkına bakılacak ikinci görüntü

$$\text{Öklid Uzaklığı} = \sqrt{(R_1 - R_2) + (G_1 - G_2) + (B_1 - B_2)} \quad (10)$$

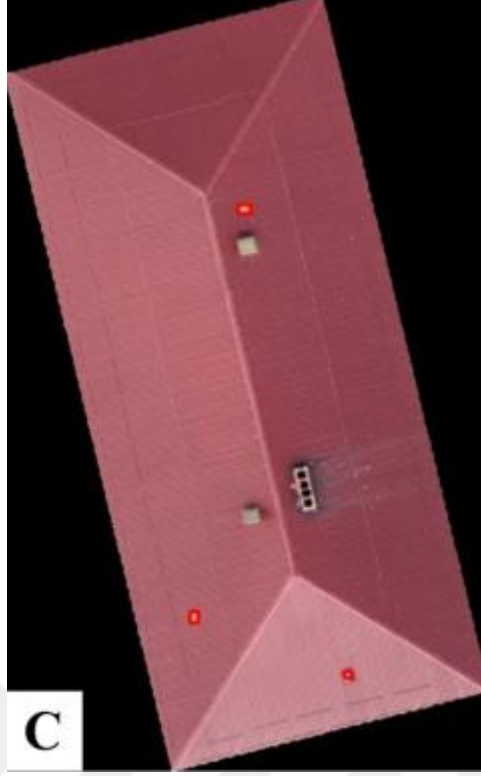
Bu çok aşamalı süreç sonucunda, yalnızca gerçekten değişim yaşandığına dair güçlü kanıtlar taşıyan bölgeler RGB farkına dayalı tespit edilerek işaretlenmiştir. Tespit edilen bölgeler, hem doğrudan renkli olarak vurgulanmış hem de orijinal görüntü üzerine sınır çizgileri ve açıklayıcı kutularla görsel olarak işaretlenmiştir. Böylece kullanıcı, değişikliklerin hem konumunu hem de büyüklüğünü açık bir şekilde inceleyebilmektedir. Bina çatı yüzeyinde bulunan istenmeyen atık objeler birinci, ikinci ve üçüncü çalışma alanları için sırasıyla Şekil 27, Şekil 28 ve Şekil 29'da sunulmuştur.



Şekil 27. Birinci çalışma alanı bina çatısı üzerindeki yabancı cisimlerin tespiti



Şekil 28. İkinci çalışma alanı bina çatısı üzerindeki yabancı cisimlerin tespiti



Şekil 29. Üçüncü çalışma alanı bina çatısı üzerindeki yabancı cisimlerin tespiti

Sonuç olarak, bu yaklaşım sayesinde; çatı yüzeylerinde zamanla oluşabilecek çevresel, insan ya da farklı sebeplerden kaynaklanan yabancı maddeler, otomatik, hızlı ve güvenilir bir biçimde tespit edilmiştir. Manuel denetimin yorucu ve zaman alıcı doğası göz önüne alındığında, bu yöntem yüksek doğruluk oranı ve işlem verimliliği ile öne çıkmaktadır. Kullanılan histogram eşleme, morfolojik işlemler, renk farkı analizi ve bağlı bileşenler yöntemi gibi çeşitli görüntü işleme tekniklerinin bütüncül şekilde uygulanması, yöntemin hem bilimsel geçerliliğini hem de uygulama potansiyelini artırmaktadır.

2.7. Doğruluk Analizi

Değerlendirme metrikleri, değişim tespiti modellerinin etkinliğini ve doğruluğunu ölçmede kritik bir rol oynamaktadır (Cheng vd., 2024). Uzaktan algılama teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, bu verilerin kullanım alanlarını çeşitlendirmiş ve konumsal analizlerin hem hızını hem de etkinliğini artırmıştır. Ancak, konumsal yapıdaki karmaşıklığın artması, beraberinde hata payının yükselmesine neden olabilmektedir. Bu bağlamda, uzaktan algılama verilerinden üretilen haritaların doğruluğunun sorgulanması büyük önem taşımaktadır. Söz konusu değerlendirme, gerçekleştirilen sınıflandırmaların gerçek arazi

örtüsünü ne ölçüde temsil ettiğinin, doğruluğu kabul edilen referans verilerle karşılaştırılması yoluyla ortaya konulması esasına dayanmaktadır (Dağıstanlı vd., 2018).

Ölçülen bir büyüklüğün gerçek değerle olan yakınlık derecesi, yani gerçek değere yaklaşma düzeyine doğruluk denilmektedir. Ölçme ve hesaplama işlemlerinde hata sınırlarının belirlenmesi ve elde edilen sonuçların geçerliliğinin değerlendirilebilmesi için doğruluk analizinin yapılması gerekmektedir (Sertel, 2010).

Doğruluk analizi, bir algoritmanın veya yöntemle elde edilen sonuçların güvenilirliğini sistematik bir biçimde değerlendirmek amacıyla kullanılan temel bir performans ölçütüdür. Bu analiz, söz konusu sonuçların önceden belirlenmiş gerçek dünya verileri veya güvenilir referanslarla karşılaştırılmasına dayanmakta olup, sonuçların doğruluk düzeyi sayısal ve objektif bir şekilde ifade edilebilmektedir. Böylece, yöntemin etkinliği, sınırlılıkları ve olası hata kaynakları ortaya konularak, uygulamanın bilimsel geçerliliği ve güvenilirliği sağlanmaktadır. Doğruluk analizi tablosu Tablo 5’te sunulmuştur. Doğruluk analizi için gerekli olan genel doğruluk, tamlık ve F1 skor denklemleri (11), (12), (13) ve (14)’te verilmiştir.

Tablo 5. Doğruluk Analizi Tablosu

HATA MATRİSİ		TAHMİN EDİLEN SINIF	
		var	yok
GERÇEK SINIF	var	Doğru Pozitif Gerçek değer: 1 Tahmini değer: 1	Yanlış Negatif Gerçek değer: 1 Tahmini değer: 0
	yok	Yanlış Pozitif Gerçek değer: 0 Tahmini değer: 1	Doğru Negatif Gerçek değer: 0 Tahmini değer: 0

$$Genel\ Doğruluk = \frac{DP + DN}{DP + YP + DN + YN} \quad (11)$$

$$Doğruluk = \frac{DP}{DP + YP} \quad (12)$$

$$Tamlık = \frac{DP}{DP + YN} \quad (13)$$

$$F1 = 2 \left(\frac{Tamlık \times Doğruluk}{Tamlık + Doğruluk} \right) \quad (14)$$

2.7.1. Doğru Pozitif (DP)

Doğru pozitif (true positive), bir algoritmanın gerçekte var olan bir durumu doğru şekilde tanımlaması durumudur. Bu, analiz edilen veri setinde ilgili olayın veya nesnenin varlığının doğrulanmış olduğu ve algoritmanın da bunu doğru biçimde tespit ettiği anlamına gelmektedir. Örneğin, bir çatı yüzeyinde bulunan yabancı bir nesneyi gerçek varlığıyla uyumlu olarak tespit eden algoritma, DP olarak sınıflandırılmaktadır.

2.7.2. Doğru Negatif (DN)

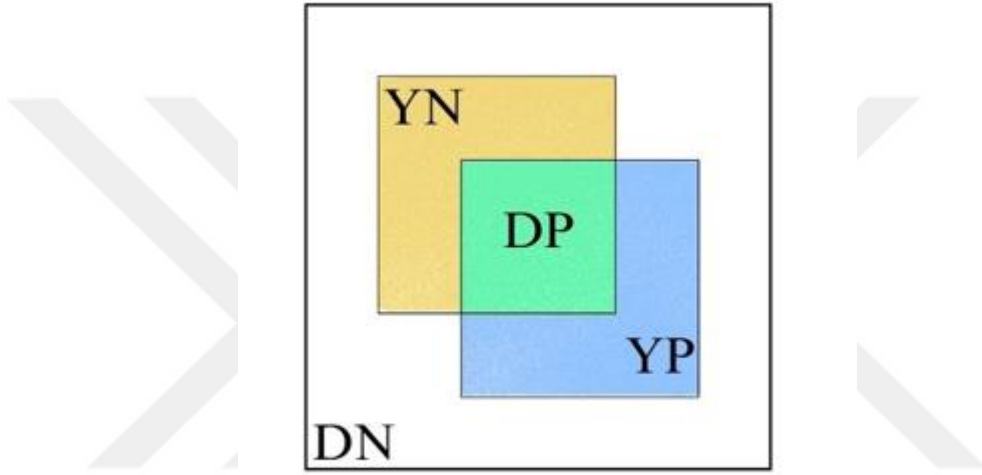
Doğru negatif (true negative), bir algoritmanın gerçekte mevcut olmayan bir durumu doğru şekilde yok sayması durumudur. Bu, analiz edilen veri setinde ilgili olayın veya nesnenin bulunmadığının doğrulanmış olduğu ve algoritmanın da bunu doğru biçimde tespit etmediği anlamına gelmektedir. Örneğin, bir çatı yüzeyinde yabancı bir nesnenin gerçekten bulunmadığı durumda algoritmanın herhangi bir nesne tespiti yapmaması, DN olarak sınıflandırılmaktadır.

2.7.3. Yanlış Pozitif (YP)

Yanlış pozitif (false positive), bir algoritmanın gerçekte mevcut olmayan bir durumu yanlış bir şekilde var olarak tespit etmesi durumudur. Yani analiz edilen veri setinde ilgili olayın veya nesnenin bulunmadığı doğrulanmışken, algoritmanın bunu yanlış bir şekilde varmış gibi göstermesidir. Örneğin, bir çatı yüzeyinde gerçekte bulunmayan bir yabancı nesneyi algoritmanın tespit etmesi, YP olarak sınıflandırılmaktadır.

2.7.4. Yanlış Negatif (YN)

Yanlış negatif (false negative), bir algoritmanın gerçekte mevcut olan bir durumu yanlış bir şekilde yok sayması durumudur. Yani analiz edilen veri setinde ilgili olayın veya nesnenin varlığı doğrulanmışken, algoritmanın bunu tespit edememesi durumudur. Örneğin, bir çatı yüzeyinde gerçekte bulunan bir yabancı nesneyi algoritmanın fark edememesi, YN olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışma için kullanılan indisler Şekil 30’da verilmiştir.



Şekil 30. Doğruluk analizi indisleri şekilsel gösterimi (Düzgün, 2010).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan tez çalışması kapsamında çevresel düzen, estetik görünüm, sürdürülebilir yaşam ve birçok farklı alanda katkı sağlayabileceği düşünülen bina çatı yüzeylerindeki yabancı nesnelerin tespiti amacıyla yeni bir yaklaşım yöntemi önerilmiş ve uygulanmıştır. Geliştirilen yöntem, farklı tarihlerde elde edilen ortofoto görüntüler üzerinde test edilmiş, doğruluk düzeyi analiz edilmiş ve yöntemin uygulanabilirliği ortaya konulmuştur. İlk olarak, görüntülerin çok büyük boyutlarda olması nedeniyle ve analiz sürecini daha verimli ve hedef odaklı hale getirmek amacıyla operatör tarafından belirlenen ilgi alanı olan çatı sınırları (ROI) üzerinde kırpma işlemi uygulanmış ve böylece analiz için daha yönetilebilir boyutlarda veri setleri elde edilmiştir. ROI seçiminin doğru yapılması, özellikle çatı yüzeyleri gibi hedef alanlarda değişim tespitinin hassasiyetini artırmış ve gereksiz alanlardan kaynaklanabilecek hataların önüne geçilmiştir. Uygulanan histogram eşitleme ve kanal bazlı parlaklık düzeltme işlemleri sayesinde farklı tarihlerdeki görüntüler arasındaki ışık ve kontrast farklılıkları büyük ölçüde giderilmiş, bu durum değişim tespitinde elde edilen doğruluk oranını artırmıştır. Bu sayede farklı tarihlerde çekilmiş görüntülerdeki atmosfer koşulları, aydınlanma farklılıkları ve mevsimsel değişimlerden kaynaklanan renk ve parlaklık farklılıklarının etkisi minimuma indirilmiştir. Piksel farkı ve renk temelli analiz sonucunda küçük gürültüler elenmiş, sadece anlamlı değişiklikler bulunan bölge maskelenmiştir. Devamında farklı çözünürlüklerdeki görüntüler aynı piksel boyutlarına dönüştürülerek doğrudan karşılaştırılabilir hale getirilmiştir. Bu işlem, özellikle piksel tabanlı fark analizinin sağlıklı biçimde uygulanabilmesi için kritik öneme sahiptir. Elde edilen ön işlenmiş görüntüler üzerinde RGB bantları kullanılarak fark analizi yapılmıştır. Bu aşamada iki dönem arasındaki renk ve parlaklık değişimleri sayısal olarak belirlenmiş ve RGB fark maskesi elde edilmiştir. Ancak başlangıçtaki fark maskesi küçük gürültüler ve anlamsız pikseller içermektedir. Bu nedenle morfolojik işlemler uygulanmış, bwareaopen fonksiyonu yardımıyla küçük boyutlu nesneler elenmiş ve imclose işlemi ile dağınık pikseller bütünleştirilerek daha tutarlı bölgeler oluşturulmuştur. Böylece, yalnızca anlamlı değişikliklerin bulunduğu bölgeler maskelenmiştir.

Analiz sonucunda elde edilen değişim bölgelerinin büyük çoğunluğu gerçek fiziksel değişimlere karşılık gelirken, bazı alanlarda gölge etkileri, yansıma farklılıkları veya görüntüleme koşullarına bağlı hatalı değişim tespitleri de binadan binaya farklılık gösterdiği

gözlemlenmiştir. Özellikle yüksek eğimli çatı yüzeylerinde günün farklı saatlerinde oluşan gölge dağılımı, kimi durumlarda değişim maskesinde yanlış pozitif sonuçlara yol açmıştır. Bununla birlikte, yapılan testlerde yöntemin büyük ölçüde başarılı olduğu, özellikle homojen yüzeylerde bulunan yabancı nesnelerin yüksek doğrulukla tespit edilebildiği belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan yöntemin performansı incelendiğinde, birçok görüntüde tamamen hatasız bir şekilde çalıştığı ve değişim bölgelerini doğru şekilde ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Ancak bazı görüntülerde ise çalışmanın hatalı sonuçlar verdiği, örneğin değişim bulunmayan bölgeleri değişim varmış gibi işaretlediği ya da küçük nesneleri gözden kaçırdığı tespit edilmiştir. Bu durum, algoritmada kullanılan görüntülerin hava ve aydınlatma koşulları, çözünürlük farklılıkları ve gürültü seviyesine duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle düşük kontrastlı görüntülerde, histogram eşitleme adımının her zaman yeterli iyileştirme sağlayamadığı ve bu nedenle değişim tespitinde belirsizlikler olduğu görülmüştür. Ayrıca, elde edilen sonuçların mekansal doğruluğu GeoTIFF formatının sunduğu coğrafi referans sistemi sayesinde yüksek seviyede olmuştur.

Çalışma alanı olan A, B ve C ortofoto görüntülerinde yardımcı yazılım ile eklenen yabancı madde sayısı ve önerilen yöntem ile tahminde bulunulan yabancı madde sayısı Tablo 6’da verilmiştir. Her bir ortofoto görüntü için doğruluk analizi sonucu ise Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 6. Çalışma alanlarında bulunan yabancı nesne sayısı

	Gerçek	Tahmin
Birinci Çalışma Alanı (A)	1	1
İkinci Çalışma Alanı (B)	3	3
Üçüncü Çalışma Alanı (C)	2	3

Tablo 7. Çalışma için doğruluk analizi değerleri

	Doğruluk	Tamlık	F1
Birinci Çalışma Alanı (A)	%100	%100	%100
İkinci Çalışma Alanı (B)	%100	%100	%100
Üçüncü Çalışma Alanı (C)	%66	%100	%80
Ortalama	%88,66	%100	%93,33

Genel olarak değerlendirildiğinde, önerilen yöntem bina çatı yüzeylelerinde yabancı nesne tespiti konusunda önemli bir potansiyel taşımaktadır. Özellikle homojen yüzeylelerde yer alan yabancı nesnelerin yüksek doğrulukla ortaya konulabilmesi, yöntemin güçlü yönlerinden biridir. Ancak gölge etkisi, düşük kontrast ve küçük nesne tespiti konularında bazı sınırlılıklar bulunmakta ve bu alanlarda gelecekte yapılacak iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür çalışmaların daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için, mümkün olduğunca benzer hava koşullarında ve birbirine yakın ışıklandırma koşulları altında gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde atmosferik farklılıklar, gölgelenmeler, ışık yansımaları veya görüş kirliliği gibi dış faktörler, elde edilen veriler üzerinde ek sapmalara ve hatalı yorumlamalara yol açabilmektedir. Dolayısıyla çevresel koşulların kontrolü, değişim analizlerinin doğruluğunu ve karşılaştırılabilirliğini artıran kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma kapsamında bina çatı yüzeylerindeki yabancı nesneler yüksek doğrulukla otomatik olarak tespit edilmiştir. Önerilen bu yaklaşımda daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi için gereken birkaç önemli nokta bulunmaktadır. İki farklı periyotta ortofoto kullanılacağı için verilerin üretildiği güne ait hava koşulları, mevsimsel değişiklikler, aydınlanma veya yansıma problemi ve gölge faktörü gibi etkenler oldukça önemlidir. Bu hatalar kimi zaman değişim bulunmayan alanların değişim varmış gibi işaretlenmesine (yanlış pozitif) ya da çok küçük nesnelerin gözden kaçırılmasına (yanlış negatif) yol açabilmektedir. Önerilen yöntemin performansının çekim koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği için uçuş planlamasının benzer hava koşullarında yapılması önerilmektedir. Histogram eşitlemesi bu problemin çözümünde önemli katkılar sağlamaktadır. Görüntü alımı esnasında hava durumu, ışık koşulları ve sıcaklık gibi koşulların benzer olması ayrıca kullanılan sensörlerin de aynı olması üretilecek ortofotoların spektral anlamda benzer olmasını sağlamaktadır. Bu sayede önerilen yöntem ile çok küçük detaylardaki değişiklikler dahi otomatik olarak tespit edilebileceği öngörülmektedir.

ND filtreler, lensin önüne yerleştirilen ve kameraya ulaşan ışık miktarını renkleri değiştirmeden azaltan optik araçlardır. Özellikle parlak gün ışığında yapılan fotoğraf ve video çekimlerinde, doğal ışık koşullarını kontrol ederek daha doğru pozlama ve estetik görüntüler elde edilmesini sağlamaktadır. Bu filtreler, doğal ve tutarlı sonuçlar sunar, dolayısıyla İHA çekimlerinden daha güvenilir ve estetik sonuçlar elde etmek için ND filtrelerin kullanımı tavsiye edilmektedir.

Multispektral görüntülerin kullanılması, değişimlerin daha hassas bir şekilde tespit edilmesine imkan tanımaktadır. Bu yaklaşım, değişim analizinde yanlış pozitif ve negatif sonuçların oranını azaltır ve çatı yüzeylerindeki yabancı maddelerin, gölgeleme veya ışık koşullarından bağımsız olarak daha güvenilir bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, benzer çalışmalar için multispektral görüntülerin kullanımı tercih edilebilir ve analiz doğruluğunu artırıcı bir yöntem olarak önerilmektedir.

Çatı yüzeylerindeki yabancı maddelerin belirlenmesi, yükseklik farklılıklarının analiz edilmesiyle mümkün olmaktadır. Bu yöntem sayesinde, çatının doğal yüzey yapısındaki anomaliler ve normal çatının dışında kalan yabancı nesneler hassas bir biçimde tespit edilebilir. Dolayısıyla, yükseklik verilerinden yararlanmak, çatı yüzeylerindeki yabancı

nesnelerin güvenilir ve doğru bir şekilde saptanması konusunda yardımcı bir kaynak olmaktadır.

Önerilen yöntem, farklı tarihlerde elde edilen ortofoto görüntüler üzerinde zamana bağlı değişimlerin otomatik olarak tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Yöntemin temeli, yalnızca tek bir işleme değil, birbiriyle ilişkili ve tamamlayıcı nitelikteki çok aşamalı analiz sürecine dayanmasından gelmektedir. Bu süreç, sırasıyla ROI seçimi, histogram eşleme, boyut eşitleme, piksel tabanlı fark analizi ve morfolojik işlemleri içermekte olup, her aşama bir sonrakini destekleyecek şekilde yapılandırılmıştır.

Öncelikle ROI seçimi ile yalnızca analiz edilmek istenen bölgeye odaklanılması, gereksiz hesaplamaların önüne geçmekte ve yöntemin hem işlem süresini kısaltmakta hem de doğruluk düzeyini artırmaktadır. Histogram eşleme adımı, farklı tarihlerde, farklı atmosfer koşullarında veya farklı ışık şiddetlerinde elde edilmiş görüntüler arasındaki parlaklık ve renk tonlarını dengeleyerek görüntülerin doğrudan karşılaştırılabilirliğini sağlamaktadır. Bu sayede çevresel faktörlerden kaynaklı yanıltıcı farklılıklar en aza indirgenmiştir. Boyut eşitleme işlemi ise farklı çözünürlüklere sahip görüntülerin aynı referans boyuta getirilmesini mümkün kılmakta ve piksel temelli karşılaştırmaların sağlıklı biçimde yürütülmesine olanak tanımaktadır. Piksel tabanlı fark analizi aşamasında, RGB bantları üzerinden yapılan karşılaştırmalar sayesinde iki dönem arasındaki renk değişimleri sayısal olarak ortaya konulmuştur. Bu yaklaşım yalnızca renk farklılıklarını göstermekle kalmamış, aynı zamanda mekansal bağlamda hangi bölgelerde bu farklılıkların yoğunlaştığını da belirlemiştir. Morfolojik işlemler ise, bu fark maskesini daha anlamlı hale getirmiştir. Küçük, bağımsız piksellerin veya gürültü etkilerinin elenmesiyle yanlış pozitifler azaltılmış, kapatma (closing) işlemleri ile de gerçek değişim bölgeleri bütünleştirilmiştir. Böylelikle elde edilen sonuçların doğruluğu artırılmış ve bölgeler daha net bir şekilde ayrıştırılmıştır.

Yöntem yalnızca piksel seviyesindeki farklılıkları değil, aynı zamanda mekansal bütünlüğü de dikkate alarak analiz gerçekleştirmektedir. Bu sayede, rastgele renk farklılıkları yerine gerçekten anlamlı olan değişim bölgeleri seçilebilmekte, hem küçük hem de büyük ölçekli mekânsal değişimler güvenilir şekilde tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan üç ayrı çalışma alanı için doğruluk analizi sonuçları doğruluk, tamlık ve F1 skor değeri sırasıyla %88,66, %100 ve %93,33 olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, geliştirilen yöntem, farklı dönemlere ait ortofoto görüntülerden elde edilen verileri bir araya getirerek, yüksek çözünürlüklü, güvenilir ve tekrar edilebilir bir

değişim analizi yaklaşımı sunmaktadır. Bu özelliğiyle yöntem, hem akademik araştırmalarda hem de pratik mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek güçlü bir karar destek aracı niteliği taşımaktadır. Hatasız çalışan durumlar yöntemin potansiyelini ortaya koyarken, hatalı sonuçların gözlendiği durumlar ise geliştirilmesi gereken yönleri işaret etmektedir. Gelecekte, bu hataların giderilmesi amacıyla makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımların entegrasyonu, farklı tekniklerinin kullanımı ve gölge veya atmosferik etkilerini ortadan kaldıracak ön işleme yöntemlerinin uygulanması önerilmektedir. Böylece yöntem, yalnızca belirli koşullarda değil, farklı çevresel ve görsel şartlarda da güvenilir ve kararlı sonuçlar üretebilecek bir yapıya kavuşturulabilecektir.



5. KAYNAKLAR

- Acar, H. (2012). *Nokta Belirleme Algoritmaları ile Otomatik Görüntü Eşleştirme*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Acar, H. (2018). *Bina Çatı Noktalarının Yüksek Çözünürlüklü Görüntülerden Üretilen 3B Nokta Bulutu Verileri ile Otomatik Tespit Edilmesi ve Gerçek Ortofoto Üretimi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Akar, A., & Gökalp, E. (2013). Yayla Alanlarındaki Değişimin Hava Fotoğrafları Ve Worldview-II Uydu Görüntüsü ile Tespiti: Trabzon ili Hıdırnebi Yaylası Örneği . Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (pp.1-10). Trabzon, Turkey.
- Akkartal, A., Türüdü, O., & Erbek, F.S. (2005). Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri ile Bitki Örtüsü Değişim Analizi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Arpacı, K. E. (2013). *Düşük Maliyetli Fotogrametrik Sistemlerin Küçük Objelerin 3 Boyutlu Modellenmesi Çalışmalarında Kullanım Olanakları*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bayram, B., Janpaule, I., Avşar, Ö., Oğurlu, M., Bozkurt, S., Çatal Reis, H., & Şeker, D. Z. (2015). Shoreline extraction and change detection using 1:5000 scale orthophoto maps: A case study of Latvia-Riga. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 2(3), 1–6.
- Chen, W., Meng, S., & Jiang, Y. (2022). Foreign object detection in railway images based on an efficient two-stage convolutional neural network. *Computational Intelligence and Neuroscience*, Article 3749635, 10 pages.
- Cheng, G., Huang, Y., Li, X., Lyu, S., Xu, Z., Zhao, H., Zhao, Q., & Xiang, S. (2024). Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review. *Remote Sensing*, 16(13), 2355.
- Coulson, A. V., Thomas, W. H., & Wang, C. (2025). A comparative study of deep learning-based models for object detection in remote sensing imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-5-2024, 201–205.
- Cui, W., Wang, C., Li, X., & Liu, X. (2021). Foreign Body Detection in The Electrified Area of Urban Rail Trains Using Improved Yolov3 Algorithm. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Çallı, R. (2021). *İHA Sistemleri ile Elde Edilen Ortofoto Haritaların Doğruluk Değerlendirmesi*. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.

- Çelik, M. (2024). *Cilo Dağı'nda buzul izlemesi için çok zamanlı bir değişim analizi ve haritalaması yaklaşımı geliştirilmesi*. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Dağıstanlı, C., Demirağ Turan, İ., & Dengiz, O. (2018). Evaluation of the suitability of sites for outdoor recreation using a multi-criteria assessment model. *Arabian Journal of Geosciences*, 11:492.
- Dikbayır, H. S., & Bülbül, H. İ. (2020). Derin Öğrenme Yöntemleri Kullanarak Gerçek Zamanlı Araç Tespiti. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 13(3), 1-14.
- Estes, J. E. (2010). *Some Important Dates in The Chronological History of Aerial Photography and Remote Sensing*. University of California, Santa Barbara.
- Fyleris, T., Kriščiūnas, A., Gružauskas, V., Čalnerytė, D., & Barauskas, R. (2022). Urban Change Detection from Aerial Images Using Convolutional Neural Networks and Transfer Learning. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(4), 246. <https://doi.org/10.3390/ijgi11040246>.
- Güner, B. P. (2025). *Arazi Kullanım Haritalarının Üretilmesi Amacıyla Ortofotoların Derin Öğrenme Yöntemleri Kullanılarak Sınıflandırılması*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Hafner, S., Fang, H., Azizpour, H., & Ban, Y. (2024). Continuous Urban Change Detection from Satellite Image Time Series with Temporal Feature Refinement and Multi-Task Integration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2406.17458v1.
- Harzallah, H., Jurie, F., & Schmid, C. (2009). Combining efficient object localization and image classification, *Hal Open Science*.
- Huang, R., Xu, Y., Hoegner, L., & Stilla, U. (2022). Semantics-aided 3D change detection on construction sites using UAV-based photogrammetric point clouds. *Automation in Construction*, 134, 104057.
- Kaur, R., & Singh, S. (2023). A comprehensive review of object detection with deep learning. *Digital Signal Processing*, 132, Article 103812. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2022.103812>.
- Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., ... Memduhoğlu, A. (2021). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14. <https://doi.org/10.53030/tufod.899089>.
- Krause, K. (2004). *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans (2nd Edition)* New York.
- Kovanič, Ľ., Topitzer, B., Peřovský, P., Blišťan, P., Gergel'ová, M. B., & Blišťanová, M. (2023). Review of Photogrammetric and Lidar Applications of UAV. *Applied Sciences*, 13(11), 6732.
- Linder, W. (2009). *Digital Photogrammetry A Practical Course*. Berlin/Heidelberg, Germany.

- Luo, W., Xing, J., Milan, A., Zhang, X., Liu, W., & Kim, T. K. (2021). Multiple Object Tracking: A Literature Review. *Artificial Intelligence*, 293, 103448.
- Maiti, S., & Bhattachaya, A. K. (2009). Shoreline Change Analysis and Its Application to Prediction: A Remote Sensing and Statistics Based Approach. *Marine Geology*, 257, (1-4), (11-23).
- Marangoz, A. M., Karakış, S., & Numan, A. B. (2019). Geleneksel Fotogrametri ile İnsansız Hava Aracı (İHA) Verilerinin Kullanılan Kamera ve Sonuç Ürünleri Bakımından Karşılaştırılması. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Matthews, N. A. (2008). Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation Technical Note 428. Bureau of Land Management National Operations Center Denver, Colorado 80225.
- Murat, S. (2021). *İnsansız hava aracı görüntülerinden derin öğrenme yöntemleriyle nesne tanıma* (Master's thesis, Maltepe University (Turkey)).
- Öztürk, O., Bilgilioğlu, B. B., Çelik, M. F., ... Bilgilioğlu, S. S. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri İle Ortofoto Üretiminde Yükseklik Ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması. *Geomatik*, 2(3), 135-142. <https://doi.org/10.29128/geomatik.327049>.
- Sertel, E. (2010). Ölçme Hataları, Hata Hesapları, Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Shafique, A., Cao, G., Khan, Z., Asad, M., & Aslam, M. (2022). Deep Learning-Based Change Detection in Remote Sensing Images: A Review. *Remote Sensing*, 14(4), 871. <https://doi.org/10.3390/rs14040871>.
- Surahman, A., Wahyudi, A. D., Putra, A. D., Sintaro, S., & Pangestu, I. (2021). Perbandingan Kualitas 3D Objek Tugu Budaya Saibatin Berdasarkan Posisi Gambar Fotogrametri Jarak Dekat. *InfoTekJar : Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*. Universitas Teknokrat Indonesia, Jl. ZA. Pagar Alam NO. 9-11 Kedaton Bandar Lampung 35132, Indonesia.
- Stilla, U., & Xu, Y. (2021). Change Detection of Urban Objects Using 3D Point Clouds: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (197), 228-255.
- Şenol, H. İ., Yiğit, A. Y., Kaya, Y., Ulvi, A. (2021). İHA ve yersel fotogrametrik veri füzyonu ile kültürel mirasın 3 boyutlu (3B) modelleme uygulaması: Kanlıdivane Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 29-36. <https://doi.org/10.53030/tufod.935920>.
- Toprak, A. S. (2014). *Fotogrametrik tekniklerin insansız hava aracı ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin araştırılması*. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- URL-1. (2025, Mart, 12). <https://tr.council.science/member/isprs-international-society-for-photogrammetry-and-remote-sensing/> adresinden alınmıştır.

- URL-2. (2024, Aralık, 12). https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Hava%20Foto%C4%9Fraf%C4%B1.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-3. (2025, Nisan, 03). <https://geoimage.com.au/products/digital-elevation-models> adresinden alınmıştır.
- URL-4. (2024, Haziran, 27). https://m.sohu.com/a/272336117_100143139/?pvid=000115_3w_a adresinden alınmıştır.
- URL-5. (2025, Şubat, 20). <https://www.mathworks.com/help/images/ref/bwareaopen.html> adresinden alınmıştır.
- URL-6. (2025, Şubat, 20). https://www.mathworks.com/help/images/ref/imclose.html?searchHighlight=imclose&s_tid=srchtitle_support_results_1_imclose adresinden alınmıştır.
- URL-7. (2025, Temmuz, 19). <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-mavic-3-enterprise-vs-dji-phantom-4-rtk/> adresinden alınmıştır.
- Yılmaz, V., Akar, A., Akar, Ö., Güngör, O., Karşlı, F., & Gökarp, E. (2013). İnsansız Hava Aracı ile Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB'2013), KTÜ, Trabzon.
- Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, Ö., Ulvi, A., ... Yaman, A. (2018). İnsansız Hava Aracı İle Ortofoto Üretimi Ve Aksaray Üniversitesi Kampüsü Örneği. *Geomatik*, 3(2), 129-136. <https://doi.org/10.29128/geomatik.369553>.
- Yurtseven, H. (2008). *Yazılım Fotogrametrisi ile Orman Alanlarına Yönelik Coğrafi Verilerin Elde Edilmesi*. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Wang, W., Chen, J., Huang, Z., Yuan, H., Li, P., Jiang, X., Wang, X., Zhong, C., & Lin, Q. (2023). Improved YOLOv7-Based Algorithm for Detecting Foreign Objects on the Roof of a Subway Vehicle. *Sensors*, 23(23), 9440.
- Xiao, W., Cao, H., Tang, M., Zhang, Z., & Chen, N. (2023). 3D urban object change detection from aerial and terrestrial point clouds: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*.
- Xu, N., Huang, D., Song, S., Ling, X., Strasbaugh, C., Yılmaz, A., ... Qin, R. (2021). A volumetric change detection framework using UAV oblique photogrammetry – a case study of ultra-high-resolution monitoring of progressive building collapse. *International Journal of Digital Earth*, 14(11), 1705–1720. <https://doi.org/10.1080/17538947.2021.1966527>.
- Zhang, Z., Vosselman, G., Gerke, M., Persello, C., Tuia, D., & Yang, M. Y. (2019). Detecting Building Changes between Airborne Laser Scanning and Photogrammetric Data. *Remote Sensing*, 11(20), 2417. <https://doi.org/10.3390/rs11202417>.

Zhao, C., Liu, R. W., Qu, J., & Gao, R. (2024). Deep learning-based object detection in maritime unmanned aerial vehicle imagery: Review and experimental comparisons. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*.



ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini Durugöl İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini Özel Öncü Temel Lisesi'nde tamamladı. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2021 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı.

