

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEPREM SONRASINDA İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE TEMİN EDİLEN
GÖRÜNTÜLERDEN ÜRETİLEN 3B NOKTA BULUTU VE MEVCUT KADASTRAL
HARİTALAR İLE HASARLI BİNALARIN OTOMATİK TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Müh. ÖMER CANÖZÜ

**HAZİRAN 2022
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEPREM SONRASINDA İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE TEMİN EDİLEN
GÖRÜNTÜLERDEN ÜRETİLEN 3B NOKTA BULUTU VE MEVCUT KADASTRAL
HARİTALAR İLE HASARLI BİNALARIN OTOMATİK TESPİTİ**

Ömer CANÖZÜ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
“HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 / 05 / 2022

Tezin Savunma Tarihi : 23 / 06 / 2022

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin ACAR

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

“Deprem Sonrasında İnsansız Hava Araçları ile Temin Edilen Görüntülerden Üretilen 3B Nokta Bulutu ve Mevcut Kadastral Haritalar ile Hasarlı Binaların Otomatik Tespiti” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenen, çalışma yapabilmem için bana her türlü veriyi temin eden ve tezin her aşamasında kıymetli fikir ve önerileriyle çalışmalarına yön veren değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin Acar’ a sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca maddi ve manevi olarak her türlü desteğini esirgemedi bu güzel günlere gelmemi sağlayan kıymetli annem, babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım. Ayrıca bu tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

Ömer CANÖZÜ

HAZİRAN 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Deprem Sonrasında İnsansız Hava Araçları ile Temin Edilen Görüntülerden Üretilen 3B Nokta Bulutu ve Mevcut Kadastral Haritalar ile Hasarlı Binaların Otomatik Tespiti” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin ACAR sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri kendim yaptığımı, 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. 23 /06 /2022

Ömer CANÖZÜ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş	1
1.2 Fotogrametri.....	13
1.3. Lazer Tarama Teknolojisi	15
1.4. Dijital Görüntülerden Üç Boyutlu (3B) Yoğun Nokta Bulutu Üretimi	16
1.4.1. 3B Nokta Bulutu Üretim Yöntemi	17
1.5. Depremler	18
1.5.1. Deprem Hasar Türleri	19
1.6. Sentetik veri üretimi	22
1.7. 3B Nokta Bulutlarından Bitki Örtüsü Çıkarımı	22
1.8. Doğruluk Analizleri	23
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	27
2.1. Çalışma Alanı	28
2.1.1. Ordu Veri Seti ve Özellikleri	28
2.2. Çalışma Bölgesine Ait Görüntüler ile 3B Yoğun Nokta Bulutunun Üretilmesi.....	29
2.3 3B Nokta Bulutundan VDVI ile Bitki Örtüsü Çıkarımı	31
2.4. 3B Nokta Bulutu Üzerinden Yapay Hasarlı Binaların Üretimi	32
2.5. Bina Temsil Noktalarının (BTN) Üretilmesi	34
2.6 Bina Temsil Noktaları (BTN) Çevresindeki Noktaların 3B Nokta Bulutu İçerisinden Otomatik Tespiti.....	35
2.7. Yükseklik Esaslı Hasar Tespit Algoritması	37

2.8.	Buffer Esaslı Hasar Tespit Algoritması	39
3.	BULGULAR	41
4.	TARTIŞMA	44
4.1.	Doğruluk Analizi Sonuçları	50
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
6.	KAYNAKLAR.....	54

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans

ÖZET

DEPREM SONRASINDA İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE TEMİN EDİLEN GÖRÜNTÜLERDEN ÜRETİLEN 3B NOKTA BULUTU VE MEVCUT KADASTRAL HARİTALAR İLE HASARLI BİNALARIN OTOMATİK TESPİTİ

Ömer CANÖZÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin Acar
2022, 56 Sayfa

Yapılan çalışmada, İHA görüntülerinden üretilen fotogrametrik nokta bulutu ile bölgenin kadastral haritasının birlikte kullanılması sonucu deprem sonrasındaki hasarlı veya yıkılan binaların tespiti otomatik bir şekilde yapılması amaçlanmaktadır. Çalışma prensibi hasarlı veya yıkılmış binaların geometrik olarak değişeceği esasına dayanan iki farklı yöntem MATLAB arayüzünde hazırlanmıştır. Üretilen ilk yöntem de yükseklik esaslı algoritma ile yıkılan binaların tespiti yapılmıştır. Ancak bazı durumlarda binaların eğildiği halde yükseklikleri değişmediği görülmüştür. Bu tür durumlarda ise çatı etrafına atılan 3 boyutlu buffer sayesinde düşey yapısı bozulmuş binaların tespiti otomatik olarak yapılmıştır. Geliştirilen yöntemler ile deprem sonrasındaki hasarlı veya yıkılan binaların tespitinde %96.15 doğruluk oranına ulaşılmıştır. Deprem sonrasında elde edilen verilerin işlenmesi sonucu hasarlı ve yıkılmış binaların tespiti bir günden daha kısa sürede yapılarak kurtarma çalışmalarının hızlanacağı düşünülmektedir. Ayrıca geç müdahalelerden kaynaklanan can kayıplarının da önüne geçebilecek olması önerilen çalışmanın önemini artırmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yıkılan binaların otomatik tespiti, Hasarlı binaların otomatik tespiti, Deprem

Master Thesis

SUMMARY

AUTOMATIC DETECTION OF DAMAGED BUILDINGS AFTER THE EARTHQUAKE WITH CURRENT CADASTRAL MAPS AND 3D POINT CLOUD PRODUCED FROM IMAGES SUPPLIED BY UNMANNED AIRCRAFT AFTER THE EARTHQUAKE

Ömer CANÖZÜ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatics Engineering Department
Supervisor: Asst. Prof. Hayrettin ACAR
2022, 56 Pages

In the study, it is aimed to automatically detect the damaged or destroyed buildings after the earthquake as a result of using the photogrammetric point cloud produced from the UAV images and the cadastral map of the region. Two different methods based on the principle that damaged or collapsed buildings will change geometrically have been prepared in the MATLAB interface. In the first method produced, the destroyed buildings were determined with the height-based algorithm. However, in some cases, it was observed that the height of the buildings did not change even though they were tilted. In such cases, thanks to the 3D buffer thrown around the roof, the buildings with damaged vertical structure were detected automatically. With the developed methods, an accuracy rate of 96.15% has been achieved in the detection of damaged or collapsed buildings after the earthquake. As a result of processing the data obtained after the earthquake, it is thought that the damaged and collapsed buildings will be detected in less than a day, and the rescue efforts will accelerate. In addition, the fact that it can prevent the loss of life caused by late interventions increases the importance of the proposed study.

Keywords: Automatic detection of collapsed buildings, Automatic detection of damaged buildings, Earthquake

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. SGM algoritmasında, piksellere farklı doğrultulardan yapılan işlemler ile pikselin en uygun konumunun tespiti (Hirschmüller, 2008)	18
Şekil 2. Türkiye’deki fay hatlarının gösterimi (URL-1, 2021).....	19
Şekil 3. Deprem sonrası 6 farklı hasar türünün gösterimi (Koç, 2016)	20
Şekil 4. TP, FN ve FP şekilsel gösterimi.....	24
Şekil 5. Algoritma akış şeması	27
Şekil 6. Çalışma alanı Ordu Şahincili Mahallesi	28
Şekil 7. Ordu çalışma bölgesinin genel görünümü	29
Şekil 8. Ordu çalışma bölgesinde seçilen test alanı	30
Şekil 9. Ordu çalışma bölgesi düşey doğrulukları	31
Şekil 10. a) Ordu bölgesinde üretilen 3B nokta bulutu, b) Ordu test bölgesi için bitki örtüsü çıkartılmış nokta bulutu.....	32
Şekil 11. Yapay olarak 3B hasara uğratılan binalar.....	33
Şekil 12. Yapay hasara uğratılan bina nokta bulutunun (kırmızı) ile orijinalinin (mavi) 2B ve 3B gösterimi.....	34
Şekil 13. Tek bir binaya ait bina sınırları (siyah) ve BTN’nin gösterimi (yeşil).....	35
Şekil 14. Tek bir binaya ait çalışma penceresi (kırmızı kare) ve içinde kalan nokta bulutları (mavi)	36
Şekil 15. Kare pencereler (kırmızı) ve içinde kalan noktalar (mavi).....	36
Şekil 16. Çalışma penceresi (kırmızı) ve bu alan içerisinde kalan noktaların ortalaması ile üretilen yapı tespit noktası YTN (siyah)	37
Şekil 17. Sağlam binalar (yeşil), hasarlı binalar (sarı) ve yıkılmış binalar (kırmızı)	38
Şekil 18. Bina poligonlarının etrafındaki 3 boyutlu buffer içerisinde kalan noktaların gösterimi	39
Şekil 19. Sağlam binalar (yeşil) ve hasarlı binalar (sarı)	40
Şekil 20. Sağlam binalar (yeşil), hasarlı binalar (sarı) ve yıkılmış binalar (kırmızı)	41
Şekil 21. Bina poligonları (siyah) ve buffer içinde kalan nokta bulutları (kırmızı)	44
Şekil 22. Bina poligonlarının etrafında bina çatısıyla benzer yükseklikteki bina saçak ve yan cephe noktalarının gösterimi	44
Şekil 23. Bina poligonlarının etrafında, çatı yüksekliklerine yakın ve nokta bulutu üretimindeki hatalardan türeyen yanlış nokta kümelerinin 2D ve 3D gösterimi	45

Şekil 24. Üretilen algoritma ile 25 nolu bina poligonunun genişletilmiş (kırmızı) ve orijinal gösterimi (siyah).....	46
Şekil 25. Bina poligonları (siyah) ve genişletilmiş bina poligonları (kırmızı).....	47
Şekil 26. Bina poligonları (mavi) ve buffer içinde kalan nokta bulutları (kırmızı).....	48
Şekil 27. Yapay hasara uğratılan 8 numaralı bina nokta bulutu (kırmızı) ile orijinalinin (mavi) 2B ve 3B gösterimi.....	49
Şekil 28. 1 numaralı binanın poligonu (turuncu) ve poligon alanında üretilen 3B nokta bulutu	50



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Ordu çalışma alanındaki hasarlı binaların tespitinin doğruluk oranı	51
--	----



SEMBOLLER DİZİNİ

Adaboost	: ADABOOST algoritması (Adaptive Boosting)
BTN	: Kadastral haritadan alınan bina poligonlarının X, Y ve Z koordinat ortalamalarının alınması sonucu elde edilen ve her bir binayı ayrı ayrı temsil ettiği düşünülen 3B noktalar (Bina temsil noktası).
CBS	: Coğrafi bilgi sistemleri
CNN	: Evrimsel sinir ağları (Convolutional Neural Network)
DSM	: Dijital yüzey modeli (Digital Surface Model)
DTM	: Dijital zemin modeli (Digital Terrain Model)
FN	: Referansta olup algoritma tarafından bulunamayan detaylar
FP	: Algoritmanın otomatik bulduğu fakat referansta olmayan detaylar
FPFH	: Noktanın k komşuları ile tahmini yüzey normalleri arasındaki ilişkiyi araştırarak yüzey çeşitliliğini tespit etmeye çalışan özelliktir.
Gabor	: Gabor dalgacıkları (Gabor wavelets)
GNSS	: Küresel navigasyon uydu sistemi
GSD	: Yer örnekleme aralığı (Ground Sample Distance)
HoG	: Yönlendirilmiş Gradyanların Histogramı (Histogram of Oriented Gradients)
IMU	: İnertiyel ölçme ünitesi (Inertial Measurement Unit)
ISPRS	: Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
K-means	: K-means kümeleme yöntemi
LDA	: Gizli dirichlet ayırımı (Latent Dirichlet Allocation)
LiDAR	: Işınlardan yakalanması ve ölçülmesi (Light Detection and Ranging)
nDSM	: Normalleştirilmiş dijital yüzey modeli (Normalized Digital Surface Model)
RF	: Rasgele orman (Random Forest)

SAM	: Sayısal arazi modeli
SAR	: Sentetik açıklık radarı (Synthetic Aperture Radar)
SLIC	: Basit doğrusal yinelemeli kümeleme (Simple Linear Iterative Clustering)
SURF	: Hızlandırılmış Sağlam Özellik (Speeded-up Robust Feature)
SVM	: Destek vektör makinesi (Support Vector Machine)
SYM	: Sayısal yüzey modeli
TLS	: Lazer tarama teknikleri (Terrestrial laser scanning)
TP	: Referans görüntüde olan ve otomatik bulunan detaylar
VDVI	: Görünür bant bitki örtüsü indeksi (Visible-Band Difference Vegetation Index)
YTN	: Her binaya ait kare sınırlayıcı içinde kalan tüm nokta bulutlarının X, Y ve Z koordinat değerlerinin ortalaması alınarak deprem sonrası binaların veya enkazlarının en üstünü ifade edebilen 3B noktalardır (Yapı tespit noktası).
Z_{BTN}	: BTN (Bina temsil noktası)' nin Z koordinat değeridir.
Z_{YTN}	: YTN (yapı temsil noktası)' nin Z koordinat değeridir.
2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Eski çağlardan günümüze kadar geçen süreçte insanlar barınmak ve kendilerini koruyabilmek için çeşitli yaşam alanlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Özellikle günümüzde, yaşam alanlarının hasar görmesine ve yıkılmasına neden olan farklı etkenler arasında en çok tahribata yol açan afetler arasında depremler ilk sırada yer almaktadır. Deprem yer altındaki sismik hareketler sonucu yeryüzündeki yapıların yıkılmasına ve zarar görmesine neden olan bir doğal afettir. Doğal afetlerin meydana gelmesi birçok insanın ve canlının zarar görmesine, ayrıca yaşamlarını yitirmesine neden olabilmektedir. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda doğal afetlerin zarar verici etkisini ortadan kaldırmak amacıyla depremlerin ne zaman ve nerede gerçekleşeceğini önceden tahmin edilebilmesini sağlayan bir sistem bulunmamaktadır. Ancak depremler gerçekleştikten sonra, deprem bölgesindeki kurtarma çalışmalarının hızlı ve güvenli bir şekilde yapılması, doğal felaketlerin yıkıcı etkilerini hafifletmek ve yaralıları kurtarmak açısından önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda hasar gören veya yıkılan binaların kısa sürede ve yüksek doğrulukta tespit edilmesi gerekmektedir. Yıkılan binaların hızlı ve otomatik bir şekilde tespit edilmesi, afet ve kurtarma ekiplerine hız kazandırarak doğru kurtarma planlarının hazırlanması noktasında çok önemli bir altlık oluşturacaktır. Bu verinin hızlı ve doğru bir şekilde üretilmesi, afetzedelerin daha kısa sürede kurtarılmasını ve tedavi altına alınmasını hızlandıracak en önemli bileşenlerden biridir. Bu nedenle deprem olmuş bir bölgede hasarlı ve yıkılmış binaların en kısa sürede ve en yüksek doğrulukta tespit edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte çok sağlam binalar üretilebilse de, çok güçlü sarsıntılara maruz kalan yapılar hasar görebilmekte hatta yıkılabilmektedir. Bazı yaşam alanlarında ise yaşlı ve zamanla deforme olmuş binalar düşük şiddetlerdeki deprem etkisi sonucunda oluşan sarsıntılar ile ciddi derecelerde hasar görebilmektedir. Sonuç olarak yaşam alanlarımızda ki betonarme binaların deprem sonucu hasar görmesi kaçınılmaz bir sonudur. Bu nedenden dolayı hasar görmüş ve yıkılmış binaların, deprem sonrasında çok kısa sürede tespit edilmesi, zarar gören insanların ve canlıların kurtarılmasını hızlandırmaktadır. Bu amaca yönelik literatür de çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Gerçekleştirilmiş birçok çalışmada farklı veri tipleri ve periyotlarla deprem sonrası hasarlı ve yıkılmış binalar tespit edilmeye çalışılmaktadır. Depremler sonrasında hasarlı binaların tespitine ilişkin çalışmalarda, teknolojiye paralel olarak gelişen fotogrametrik ve uzaktan algılama ürünlerinin çeşitlenmesi ve girdi verilerine ulaşımın kolaylaşması sonucunda daha karmaşık ve doğruluğu daha yüksek çözümler üretilebilmektedir.

Bu çalışmalarda kullanılan veri tipleri, uydu ve hava fotoğrafları, ortofotolar, LiDAR (Light Detection and Ranging), 3B fotogrametrik nokta bulutları, SAR (Synthetic Aperture Radar) verileri ve termal kameralar gibi oldukça çeşitlidir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı veri tiplerinin tek başına veya birlikte kullanıldığı görülmektedir. Aynı zamanda kullanılan veri tipleri iki periyot olarak değerlendirilirken, tek zamanlı olarak deprem sonrası elde edilen verilerin de kullanılmasına dayanan birçok çalışma mevcuttur. Bazı çalışmalar tek bir binanın deprem sonrası hasar durumunu incelerken bazı çalışmalar ise bölgesel olarak yıkılan ya da hasar gören tüm binaların tespitine yöneliktir. Literatürde deprem sonrası binaların dayanıklılık performansını değerlendiren çalışmalar da mevcuttur. Akhlaghi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada Nepal’de bulunan dört katlı bir okul binasının deprem sonrası dayanıklılığını belirlemek için titreşim tabanlı hasar tanımlama yöntemi ve nokta bulutu birlikte kullanılmıştır (Akhlaghi vd., 2021). Bu çalışmada tek bir binanın farklı katlarındaki nokta bulutu ve titreşim ölçümlerinin değerlendirilmesi ile dayanıklılık performansları yapılmaktadır. Ancak tek bir binanın veya birkaç binanın eş zamanlı değerlendirilmesi amacıyla yapılan farklı çalışmalarda, yersel lazer tarama teknikleri (TLS) ve 3B nokta bulutları kullanılmaktadır (Mohammadi ve Wood, 2018, Jio vd., 2019, Xu vd, 2014). TLS teknikleri ile yapılan bu çalışmalarda deprem bölgesindeki binaların yüzeylerinin 3B olarak belirlenmesinin ardından oluşan cephelerdeki yüzey normallerinin ve geometrik farklılıkların değerlendirilmesi sonucu binaların hasar durumları tespit edilmeye çalışılmaktadır. Ancak birçok depremde afet bölgesindeki binaların tamamen yıkılabileceği düşünüldüğünde yersel lazer tarama ile binalara ilişkin yüzey çıkarımı mümkün olamamaktadır. Deprem şiddetine bağlı olarak, bölgede ölçüm yapmak bile mümkün olamamaktadır. Bu nedenlerden dolayı deprem şiddeti ve yıkıcılığı fazla olan afet bölgelerinde yersel lazer tarama tekniklerinin kullanımı, tamamen yıkılmış binaların tespitinde hatalara neden olmaktadır.

Literatürde ortofoto verileri kullanılarak hasarlı binaların çoklu tespiti üzerinde çalışan yöntemler mevcuttur (Kayı vd., 2015, Sabuncu ve Sunar, 2017). Kayı ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar incelendiğinde deprem öncesi ve sonrası ortofoto verilerinin farkları

kullanılarak hasarlı binaların tespiti yapılmaya çalışılmıştır ancak kaliteli sonuçlara ulaşılmamıştır. Bu çalışmada ortofoto haritalardan farklı olarak iki zamanlı üretilen yüzey modellerinin farkları alınarak oluşturulan nDSM (sayısal yüzey model farkları) kullanılması ile istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır. Bu nDSM sonuç haritasında meydana gelen fark poligonlarındaki çapakları atmak için alan\çevre yaklaşımı geliştirilerek başarılı sonuçlar üretilmiştir (Kayı vd., 2015). Sabuncu ve Sunar'ın yapmış olduğu çalışma da ise deprem öncesi ve sonrası iki farklı ortofotonun kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırması ile hasarlı binaların tespiti yapılmaktadır (Sabuncu ve Sunar, 2017). Bu çalışma incelendiğinde düzensiz yerleşim planları, yerleşim alanlarındaki yapıların benzerlikleri ve benzer spektral özelliklere sahip sınıfların çokluğu sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunu ve dolayısıyla hasarlı binaların tespitinin doğruluğunu düşürmektedir. Sonuç olarak birinci periyot için, ortofoto bulmanın ve güncel olmasının zorluğu aynı zamanda tahmin edilemeyen hataların sonucunda sınıflandırma doğruluğu azalmaktadır. Sınıflandırma aşamasına manuel olarak müdahale edilmesi hasarlı bina tespitinin hızlı ve otomatik üretilmesine imkân sağlamamaktadır.

Literatür incelendiğinde hasarlı bina tespitine ilişkin çalışmalar da nDSM farkları sıklıkla kullanılmıştır. Menderes ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada iki zamanlı yüzey modellerinin farkları alınarak üretilen nDSM modeli ile hasarlı binaların tespiti yapılmaya çalışılmaktadır. Ancak zamansal farklılıklardan dolayı üretilen nDSM haritasında tüm yükseklik farklılıklarını temsil eden poligonların sadece hasarlı ve yıkılmış binaları temsil etmediği görülmektedir. Bu nedenle hasarlı binalara ait olmayan poligonların temizlenmesi ile hasarlı bina tespiti yapılmaya çalışılmaktadır (Menderes vd., 2015). Belirtilen bu çalışmaların hepsinde iki zamanlı fark değerlendirildiği için deprem bölgelerinin deprem öncesi 3B verilerinin olması zorunlu olduğundan deprem öncesine ait 3B veri bulunmayan bölgelerde başarı elde edilememektedir.

Deprem sonrasında elde edilen LiDAR verileri ile üretilen DSM farkları alınarak üretilen nDSM ve yükseklik temelli analizler ile farklı bir çalışma yapılarak deprem sonrası tek zamanlı veri ile hasarlı binaların tespiti yapılmaya çalışılmaktadır (Uysal ve Polat, 2017). Ancak elde edilen sonuçlarda başarı sağlanamamıştır. Çalışma yapılan LiDAR verisindeki nokta yoğunluğunun (3,4 m²) düşük olması, referans veri eksikliği ve herhangi bir görüntü verisinin ilave olarak kullanılmaması çalışmayı yapanlar tarafından başarısızlığın sebepleri olarak belirtilmiştir.

Literatürde deprem sonrası üretilen 3B nokta bulutları ile tek zamanlı olarak hasarlı bina tespitine yönelik daha farklı çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde, sadece deprem sonrası LiDAR verileri ile denetimsiz bina segmentasyonuna dayalı olarak yıkılmış binaların hasar miktarı tespit edilmeye çalışılmaktadır (Axel ve Van Aardt, 2017). Bu çalışmada öncelikli olarak tüm binalar büyüyen bölge yaklaşımı ile sınıflandırılmıştır. Ardından her binanın hasarlı ve hasarsız olarak sınıflandırması için bina çatı noktalarının normal vektörleri üretilmiştir. Bir diğer yöntem ise yıkılan binaların enkaz kalıntılarının, bina tabanının etrafında konumlanıyor olması esasına dayanmaktadır. Bu iki yöntem kullanılarak düzlemsellik ve yükseklik kurallarına göre binaların hasarlı olup olmadıklarını tespit eden bir çalışma üretilmiştir (Axel ve Van Aardt, 2017). Bu çalışmaların tespit ettiği hasarlı binaların doğruluğu %78,9 seviyesini geçememiştir (Axel ve Van Aardt, 2017). Çalışmada kullanılan nokta yoğunluğunun düşük olması, bitki örtüsünün başarılı bir şekilde kaldırılamaması ve farklı yapıdaki bina çatılarının üretilen uygulama tarafından tam olarak tespit edilememesi doğruluk seviyesini düşürmektedir. Aynı zamanda çalışmanın yapıldığı alanın eğiminin değişmediği düz bir alan olduğu görülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında daha fazla eğimin olduğu alanlarda doğruluk performansının düşeceği öngörülmektedir.

Deprem sonrasında lazer tarama tekniğiyle üretilen LiDAR verilerinden bina çatılarını temsil eden noktaların normal vektörlerinin üretilip, yorumlanması esasına dayalı olarak hasarlı binaların tespitini yapmaya çalışan tek zamanlı bir çalışma üretilmiştir (Huang vd., 2016). Bina çatılarını temsil eden noktaların normal vektörleri ile zenit vektörü arasındaki açının bir eşik değeri esas alınarak değerlendirilmesi sonucunda bina çatı noktalarının hasar yoğunluklarına göre binaların hasarlı olup olmadığını sınıflandıran bir uygulama üretilmiştir (Huang vd., 2016). Yapılan çalışmada Huang ve arkadaşları bazı bina sınır noktalarının hasarlı olarak değerlendirebileceğini belirtmektedir. Bu yanlış belirlenmiş noktaların, bina hasar tespitinde hatalara neden olabileceği öngörülmektedir. Çok farklı eğimde ve yapıda çatıların mevcut olduğu ülkemizde sadece çatı nokta normalleri değerlendirilerek hasar tespitinin yapılmasında yetersiz kalınacağı düşünülmektedir. Ayrıca deprem sonrası LiDAR verilerinin temini çok zaman alacağından dolayı hasarlı binaların tespitinin ve dolayısıyla yaralı insanlara müdahalenin gecikebileceği düşünülmektedir.

Yıkılan binaların tespitine ilişkin literatür de mevcut olan farklı bir yöntem ise iki zamanlı nokta bulutu ve nDSM verilerinin sırasıyla karşılaştırılarak hasarlı veya yıkılmış binaların tespitini yapmaya çalışan bir uygulama geliştirilmiştir (Soulakellis vd., 2020). İki

zamanlı nokta bulutlarının aynı referans sistemine getirilerek binaların yüksekliklerinin karşılaştırılması esasına dayanan bir yöntem geliştirilmektedir. Diğer yöntem de ise literatür de çokça kullanılan nDSM farklarını esas alarak hasarlı veya yıkılmış binaların tespiti amaçlanmaktadır. Ancak nDSM modelinin başarısız sonuçlar vermesi nedeniyle Soulakellis ve arkadaşları 30 tane istatistiksel ölçü kullanıp, nDSM modelini daha hassas bir şekilde üreterek, hasarlı bina tespitinde daha doğru sonuçlar elde etmektedirler (Soulakellis vd., 2020). İki zamanlı değerlendirmeyi esas alan bu yöntem de deprem öncesi 3B veriye olan gereksinim nedeniyle dezavantajlı bir durum oluşturmaktadır.

Hasarlı yapıların tespitinde iki zamanlı eğik görüntülerden elde edilen hem 2B hem de 3B bilgileri kullanarak yapısal hasarları tespit etmeye çalışan otomatik yöntemler geliştirilmiştir (Vetrivel, 2018). Bu yöntemde iki zamanlı nokta bulutunun kıyaslanması sonucu hasar tespiti yapılmaktadır. Olay öncesi ve sonrası çatı elemanlarının nokta bulutları kıyaslanarak hasarlı bölgelerin tespitinde 3 farklı alt yöntem Vetrivel tarafından önerilmektedir. Bu alt yöntemlerin birincisinde olay öncesinde tespit edilen bina çatılarının 3B sınır çizgileri 0,5 m büyüklüğünde voksellere bölünmektedir. 3B bir modelin en küçük parçasını tanımlayan birime vokselle denilmektedir. Görüntülerdeki en küçük birim piksel iken 3B modellerdeki en küçük birim de vokselle olarak ifade edilmektedir. Ardından olay öncesi ve sonrası nokta bulutları, ilgili voksellerin içine eklenilmektedir. Daha sonra olay öncesinde nokta bulutu içerip olay sonrasında nokta bulutu içermeyen bir vokselle, değişmiş vokselle olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak aynı yapı elemanının farklı zamanlarda üretilen nokta bulutlarının değişen gürültü ve nokta bozuklukları nedeniyle bitişik voksellere düşme olasılığı yüksek olduğundan değişen veya değişmeyen voksellerin tespitinde sorunlar olduğu Vetrivel tarafından belirtilmiştir. Aşırı gölgelikli ve yetersiz bindirme oranıyla verimsiz bir şekilde elde edilen görüntülerden üretilen nokta bulutlarının olmaması gereken boşluklara neden olabileceği ve bazı voksellerin hatalı bir şekilde değişmiş vokselle olarak sınıflandırılabilmesi belirtilmiştir. Çatı elemanlarının geometrisini dikkate almadan üretilen vokseller bazı durumlarda hasarlı elemanları doğru bir şekilde yansıtmayabilir (Vetrivel, 2018). Yöntemin işlem yoğunluğuna sahip olduğu belirtilmektedir. Ayrıca depremin meydana geldiği tüm bölgelerde deprem öncesine ait nokta bulutu bulabilmenin mümkün olmayacağı düşünüldüğünden her zaman pratik ve hızlı bir şekilde hasar tespiti yapabilen bir yöntem olmadığı öngörülmektedir.

Yukarıda bahsedilen yöntemde voksellerin üretiminde nesne geometrilerinin dikkate alınmaması Vetrivel tarafından eleştirilmiştir. Bu nedenden dolayı diğer bir alt yöntemde ise

voksellerin üretilmesinde nesne yönelimli analizleri esas alan daha gelişmiş segment tabanlı bir yöntem tercih edildiği belirtilmiştir (Vetrivel, 2018). Bu yöntem yapısal bozuklukların ayırt edilmesinde voksel tabanlı yöntemle göre daha başarılı olduğu Vetrivel tarafından belirtilmiştir. Ayrıca eksik öğelerin tespit edilmesinde başarılı sonuçlar verdiği ve toplam işlem yükünün azaldığı ifade edilmiştir. Bu yaklaşım çok yüksek gürültüye sahip nokta bulutunda ve düzlemsel olmayan eleman bölgeleri için doğru bölümlenme üretmede başarısız olduğu belirtilmiştir (Vetrivel, 2018).

Belirtilen segment tabanlı yaklaşımlardan farklı olarak olay öncesi ve sonrası nokta bulutları herhangi bir segment ayırma yöntemi kullanılarak birlikte segmentlere ayrıldığı kompozit segment tabanlı başka bir alt yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem ile birlikte iki zamanlı nokta bulutları segmentlere ayrılırken, aynı etiketleri kullanarak segment örtüşmesini artırmanın amaçlandığı belirtilmektedir. Daha önceden ifade edilen segment yöntemlerine göre hem basit hem de hızlı bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Bu yöntem farklı geometrideki yapı elemanlarını algılamada ve nokta bulutları arasında değişen gürültü seviyelerine karşı dayanıklı olmasında segment algoritmasının seçiminin önemli olduğu Vetrivel tarafından belirtilmiştir. Ancak, çok zamanlı nokta bulutlarının ortak hatalarına karşı çözüm üretmediği belirtilmiştir (Vetrivel, 2018).

Üstte belirtilen üç farklı segment algoritmasına dayalı olarak olay öncesi ve sonrası nokta bulut kümelerinin farklılıklarının karşılaştırılması sonucu olay sonrasında eksik veya nokta barındırmayan segmentlerin, hasarlı ve nokta bulutundaki hatalardan kaynaklanan boşluklar olabileceği belirtilmiştir. Bu durumda boşlukların sınıflandırılması için olay öncesi ve sonrası görüntüler kullanılarak değişen radyometrik farklılıklara göre hasarlı kısımları sınıflandıran bir birleşik yöntem Vetrivel tarafından üretilmektedir (Vetrivel, 2018). Değişiklik tespit edilmiş bir kısımda olay öncesi ve sonrası görüntülerin radyometrik özellikleri tanımlanarak karşılaştırılmıştır. Benzer değillerse ve olay sonrası görüntü yüzeyi olay öncesine göre daha koyu görünüyorsa, yapısal boşluklar, hasarlı etiketi ile aksi takdirde 3B nokta bulutu oluşturmadaki eşleşme hatalarından kaynaklanıyor etiketi ile sınıflandıran bir yöntemle dayalı olarak hasar tespiti yapan bütüncül bir yöntem Vetrivel tarafından üretilmektedir.

Üretilen bu yöntemde seçilen karmaşık kentsel yapıya sahip çalışma alanındaki 48 binanın hasarlı kısımlarının sınıflandırılmasında %87 doğruluk oranına ulaşarak başarılı bir sonuç elde edilmektedir. Ancak eğik görüntülerden üretilen olay öncesi ve sonrası nokta

bulutları gürültülü olduğunda nokta bulutlarının segmentasyonunda sorunlar olabileceği belirtilmiştir (Vetrivel, 2018). Seçilen çalışma alanındaki binalar, geometrik olarak farklı çatı tiplerini barındırır da radyometrik olarak tek tip çatıların olması doğruluk oranını artırdığı öngörülmektedir. Karmaşık kentsel alanlarda çok farklı doku özelliklerine sahip çatıların var olabileceği göz önünde bulundurulursa doğruluk oranının düşebileceği öngörülmektedir. Ayrıca bu segmentasyona dayalı olarak Vetrivel tarafından önerilen yöntemler, hasara uğrayan yapısal elemanları tespit edebilirken dislokasyon, eğim, tam kat çökmesi ve yassı çökme gibi diğer hasar tiplerini sınıflandıramadığı belirtilmiştir (Vetrivel, 2018).

Afet bölgesindeki yapıların deprem sonucunda ki değişimlerinin tespit edilmesi için, literatürde tek başına veya farklı verilerle kullanılan diğer bir veri türü de sentetik açıklık radarıdır (SAR). Sadece SAR verileri kullanılarak yapılan çalışmalarda (Yamazaki vd., 2017, Li vd., 2018, Gong vd., 2018) farklı periyotlardaki iki SAR görüntü arasındaki interferometrik korelasyon değişimlerinden yararlanılmaktadır. Sadece SAR görüntüleri ile yapılan çalışmalar da hasarlı bina tespiti konusunda başarı oranı düşüktür. Ancak LiDAR verisinden üretilen DSM verisinin SAR verileri ile birlikte kullanılmasını içeren farklı bir çalışma da genel doğruluk oranı %92 seviyelerine yükselmiştir (Li vd., 2019). Deprem sonrasında bölgeye ilişkin SAR ve LiDAR verilerinin temin edilmesi günlerce sürebileceğinden deprem sonrasında hasarlı binaların tespitinde zaman kayıplarına neden olabileceği öngörülmektedir.

Sadece uydu görüntülerinin kullanıldığı güncel çalışmalarda (Xu vd., 2019, Ma vd., 2019, Li ve Tang, 2020) ise evrimsel sinir ağları (CNN) yoğun olarak kullanılmaktadır. Rastiveis ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada uydu görüntülerine ilave olarak LiDAR ve vektör verilerinin de kullanılması ile genel doğruluk %92 seviyelerine ulaşabilmiştir (Rastiveis vd., 2018). Hibrit verilerle yapılan çalışmalarda genel doğruluğun yüksek olmasına karşın, SAR verilerinde olduğu gibi deprem bölgelerine ait uydu görüntülerinin temini de günlerce sürebilmektedir. Bu durum afet yönetim planlamalarında zaman kaybına sebep olmaktadır.

Farklı bir çalışmada ise CNN özellikleri ve 3B nokta bulutları birlikte kullanılarak hasar sınıflandırması için denetimli bir öğrenme modeli oluşturan bir yöntem önerilmektedir. Bu çalışmada Basit Doğrusal Yinelemeli Kümeleme (SLIC) algoritması kullanılarak üretilen süper piksellere dayalı olarak türetilen görüntü yamaları için CNN ve

3B nokta bulutu özellikleri çıkartılıp hasar sınıflandırılmasında denetimli sınıflandırma girdisi olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak her süper piksel (görüntü yaması) için tanımlanan CNN öznitelikleri SVM gibi sınıflandırıcılara uydurularak hasar sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu segmentlerin içindeki 3B noktaların doğrusallık, düzlemsellik, saçılma, çok yönlülük, anizotropi, özentropi ve eğri değişikliği gibi özellikleri her segment için tanımlanmaktadır. Son olarak da segment içindeki her noktanın yerel komşuluklarını ve nokta özellik ortalamalarını da dikkate alarak türetilen 10 özellik ile 3B noktaların özellik alt kümeleri tanımlanmaktadır (Vetrivel, 2018). Bahsedilen tüm özellik alt kümelerine dayalı olarak hasar sınıflandırması kanonik (canonical) bir çekirdek sınıflandırıcısı olan SVM kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Üç farklı konumdan alınan eğitim örnekleri ile 20 benzersiz alt kümenin tamamı eğitilerek CNN_F tabanlı SVM sınıflandırıcısının doğruluk oranı %80 olduğu belirtilmiştir. Ancak bazı durumlarda doğruluk oranı yukarı yönlü iken bazı durumlarda da %65'lere kadar düşebilmektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçların genelleştirilemediği Vetrivel tarafından belirtilmiştir. Kullanılan eğitim verilerinin yetersiz olması nedeniyle sonuç doğruluğu düşebileceği ifade edilmiştir. CNN özelliklerine dayalı olarak geliştirilen denetimli modelin, uzamsal çözünürlükte ve sahne özelliklerinin değişiklik göstermediği yerlerde, görüntüleri sınıflandırmada başarılı olacağı Vetrivel tarafından belirtilmiştir. Ancak bitki örtüsünün var olduğu karmaşık şehir yapılarında, doku özellikleri çok düşebileceği için hasar sınıflandırma doğruluğunun da düşük seviyelere düşebileceği öngörülmektedir.

Deprem sonrası LiDAR verileri ile deprem öncesi vektörel haritalardan yararlanılarak yapılan gelişmiş bir çalışma da K-means algoritmasını kullanarak binaların hasarlı veya hasarsız olarak tespitini yapan otomatik bir çalışma yapılmıştır (Janalipour ve Mohammadzadeh, 2019). Bu çalışma da LiDAR verileri raster formatına dönüştürülmektedir. Deprem öncesi vektörel harita poligonları sayesinde binaları temsil eden piksellerin histogramları üzerinden binalara ait varyans, entropi ve çarpıklık değerleri hesaplatılmaktadır. Bu dokusal özelliklere göre, K-means kümeleme algoritmasını kullanarak binaların hasarlı olup olmadığını sınıflandıran bir çalışma üretilmiştir (Janalipour ve Mohammadzadeh, 2019). Üretilen bu uygulama, tamamen çökmüş binaların tespitinde başarılı olurken aynı zamanda daha önceden çözümlenemeyen hasar türü olan yan yatmış veya eğilmiş binaların tespitinde de bina eğim açılarının kullanılması ile başarılı bir çözüm üreterek literatüre katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma da eğilmiş binaların tespiti kurtarma

alışmaları için öncelik arz etmediğinden dolayı zaman kaybına neden olabileceğİ ngrlmektedir.

Literatürde iki farklı veri tipini kullanarak deprem sonrası hasarlı veya yıkılmış binaları tespit etmeye çalışan uygulamalar mevcuttur. Bu tür çalışmalardan birinde deprem sonrası elde edilen LiDAR ve uydu görüntülerinin Zahraee tarafından birlikte kullanılması sonucu farklı bir çalışma üretilerek hasarlı bina tespitinde %92 gibi bir başarı oranına ulaşılmıştır (Zahraee vd., 2019). Fakat deprem sonrası lazer tarayıcı bir İHA'nın olmadığı durumlarda LiDAR verilerinin hızlı bir şekilde üretilmemesi deprem sonrası hasarlı binaların tespit süresini artırabileceğİ ve kullanılacak uydu görüntüsünün güncelliğinin olmaması gibi durumlarda ise sonuç doğruluğunun olumsuz etkilenebileceğİ ngrlmektedir.

Son yıllarda, birçok disiplinde olduğu gibi afet yönetimi alanında da insansız hava araçlarının (İHA) kullanımı artmıştır. İHA ile alınan görüntülerle üretilen 3B yoğun nokta bulutlarının yalnız veya diğerk veri türleri ile kullanımı sonucu hasarlı veya yıkılmış bina tespiti yapmaya çalışan uygulamalar literatürde görülmektedir. Bu çalışmalardan birinde, 3B yoğun nokta bulutu verisinden bina çatıları tespit edilmektedir. Ardından bölge büyütme algoritması ile bina cepheleri düzlemsel segmentler halinde çıkarılmaktadır. Duarte ve arkadaşları bir binanın, birbirlerine dik olan 4 veya daha fazla cepheden oluştuğu varsayımını kabul ederek minimum sınırlayıcı dikdörtgen sayesinde bina cephelerini birbiriyle ilişkilendirmektedir (Duarte vd. 2017). İlişkilendirilen bina cepheleri de bağlantılı bileşen analizi kullanılarak bina çatıları ile ilişkilendirilir (Duarte vd. 2017). Bina sınırları içerisinde kalan bina cephelerinin daha önceden eğitilmiş hasar sınıflandırma modeline göre hasarlı olup olmadığını, dolayısıyla hasarlı cephelerin hasarlı binaları belirttiğİni otomatik bir şekilde tespit etmeye çalışan bir uygulama üretilmiştir (Duarte vd. 2017). Bu çalışmada bina cephelerinin hasarlarının incelenmesi literatür adına bir gelişim ve farklılık ifade etmektedir. Ancak bina cephelerinin birbiriyle ve çatıyla bütünleşik bir bağlantısı olduğu için tamamen yıkılmış binalarda bina çatılarının varlığından bahsedemeyeceğimiz gibi uygulamanın da bu gibi yapılarda sorun yaşayabileceğİ tahmin edilmektedir. Aynı zamanda bina cephelerini ilişkilendirirken esas alınan 4 veya daha fazla birbirine dik cephe bir bina belirtir esasında da, yoğun yerleşik alanlarındaki binaların bazı cephelerinin nokta bulutlarının elde edilemeyeceğİ bölgelerde sorunlar yaşayabileceğİ ngrlmektedir.

Vetrivel tarafından doktora tezi olarak sunulan hasar tespit yöntemlerinin birinde ilk aşama da fotogrametrik olarak üretilen 3B nokta bulutlarına dayalı bir şekilde binalar çıkarılmıştır. Ardından çıkartılan binalardaki boşluklar otomatik bir şekilde tespit edilmiştir. Daha sonra nokta bulutundaki boşlukların, görüntüler üzerindeki yerleri de tespit edilmiştir. Bina çatısındaki boşluklar görüntü üzerinde gösterilerek binary görüntüye çevrilmiştir. Sonuç olarak elde edilen boşlukların Gabor dalgacıkları ve HoG (Histogram of Oriented Gradients) gibi iki özellik belirleyiciye dayalı ve birbirinden bağımsız olarak öznelikleri belirlenmektedir. Belirlenen özneliklere dayalı olarak, denetimli bir şekilde SVM ve RF ile boşlukların sınıfları belirlenip ardından binaların hasarlı kısımları otomatik bir şekilde tespit edilmektedir (Vetrivel vd., 2015). Üretilen yöntemin doğruluk oranını belirlemek için İtalya'nın Mirabello kentinde, bitki örtüsü içeren karmaşık yapıda binaların olduğu kentsel bir test alanı seçilmiştir. HoG ve Gabor dalgacıkları, denetimli öğrenme yaklaşımlarıyla kullanıldığında hasarlı bölgeleri yaklaşık %95 tespit edebildiği gösterilmiştir. Ancak seçilen çalışma alanından alınan örneklerle dayalı olarak geliştirilen eğitim verileri başka bir alanda test edildiğinde doğruluk oranının yaklaşık %15 ile %30 oranında azaldığı Vetrivel tarafından belirtilmiştir. Deprem meydana geldiği farklı bölgelerde farklı doku özellikleri olabileceği için yeni eğitim verileri elde etmek doğruluk oranını yükseltecektir ancak deprem sonrası hasar tespitinin zaman alacağı öngörülmektedir. Ayrıca bu konuda veri kütüphanesi oluşturup genelleştirmek, farklı konumsal alanlar farklı doku özelliklerine neden olduğundan dolayı oldukça zor olduğu belirtilmiştir (Vetrivel, 2018).

Başka bir yöntem de ise Visual-Bag-of-Words (BoW), çerçevesine dayalı olarak ızgara halinde bölümlenmiş görüntülerin, ızgara düzeyinde hasar sınıflandırılmasını amaçlayan bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemde görüntüler, görüntü yamaları olarak adlandırılan $M \times N$ bölgelerine bölünmüştür. Bütün görüntü yamaları; HoG, Gabor dalgacıkları ve SURF olmak üzere üç özellik tanımlayıcıya dayalı olarak hasar sınıflandırma süreci için bağımsız olarak analiz edilmektedir. HoG ve Gabor dalgacıklarının hasar sınıflandırma performansları, hem geleneksel hem de BoW çerçevesinde temsil edilerek analiz edildi. Özellik tanımlayıcılarının performansını analiz etmek için üç denetimli öğrenme algoritması olan SVM, RF ve Adaboost kullanılarak tüm görüntü parçalarının hasarlı olup olmadığını otomatik bir şekilde tespit eden bir yöntem Vetrivel tarafından önerilmektedir (Vetrivel, 2018). Önerilen yöntemin doğruluk oranını tespit etmek için Mirabello'daki kilisenin etrafındaki küçük bir bölge (Aziz Paul Kilisesi) test alanı olarak seçilmiştir. Bu tez kapsamındaki sonuçlar incelendiğinde hasar tespitinde %90 doğruluğa

ulaşan sonuçlar görülmektedir. Ancak çalışma alanı birkaç bina içerdiğinden dolayı doku farklılıklarının az olduğu, bu yüzden de sonuç doğruluğunun yüksek çıktığı öngörülmektedir. Daha karmaşık ve yoğun binaların olduğu bölgedeki sonuçlar incelendiğinde hasarlı dokuların tespitinde doğruluk oranının %80 kadar düştüğü görülmektedir. Diğer bir açıdan bakıldığında hasarlı bölgeler düzgün doku özellikleri gösterdiğinde tespit edilemediği gibi ayrıca yaprakları dökülmüş ağaçlarında düzgün doku özellikleri göstermediği için hasarlı olarak tespit edildiği Vetrivel tarafından belirtilmiştir. Bu gibi yanlışların hasar değerlendirilmesinde hatalı sonuçlara neden olabileceği ve doğruluk oranını düşürebileceği öngörülmektedir.

Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan farklı bir çalışmada, İHA'lar yardımıyla eğik (oblik) görüntülerden binaların yapı ve doku bilgilerindeki ayırt edici özellikler sayesinde hasarlı binaların tespitini yapabilen bir uygulama geliştirilmiştir (Zhang vd., 2020). Ayrıca çalışmada kullanılan kızılötesi termal kameralar ile deprem sonrası bina yüzeylerinde hasar görmüş veya çatlamış bölgelerdeki ısı değişimleri sayesinde bölgesel hasarların tespiti yapılmaya çalışılmaktadır (Zhang vd., 2020). Bu çalışmada termal kamera kullanılması sonucu binalardaki hasarların konumları başarılı ve otomatik bir şekilde tespit ediliyor olması diğer çalışmalardan farklı olarak literatüre Zhang ve arkadaşları tarafından kazandırılmıştır. Ancak ağır hasarların ve can kayıplarının olduğu yıkılmış veya yan yatmış binaların tespitinde yapılan çalışmanın yetersiz olacağı ve acil müdahaleleri geciktirebileceği öngörülmektedir.

Deprem sonrası İHA'lar kullanılarak elde edilen eğik (oblik) görüntülerden üretilen 3B nokta bulutu verisi voksel adı verilen segmentlere ayrıştırılarak hasarlı binaların tespitini yapmaya çalışan çok kapsamlı ve gelişmiş bir çalışma literatüre Liu ve arkadaşları tarafından kazandırılmıştır. Vokseller 3B noktaların ayırt edici özelliklerinin, geometrik temsilini sağlamak için üretilmiştir. Ardından geometrik ve renk özniteliklerini kullanan yerel yinelemeli kümeleme algoritmasına (VCCS) dayalı olarak süper vokseller üretilmiştir (Liu vd., 2020). 2B görüntülerde, ayırt edici özellik olarak HSV (ton doygunluk değeri) ve GLCM (bölgesel doku yapısını açıklamak için kullanılan bir istatistiksel analiz) kullanılmıştır. 3B nokta bulutlarında ise öz değerler ve FPFH (noktanın k komşuları ile tahmini yüzey normalleri arasındaki ilişkiyi araştırarak yüzey çeşitliliğini tespit etmeye çalışan özellik) gibi ayırt edici özellikler kullanılmıştır (Liu vd., 2020). Belirtilen bu geometrik ve spektral özellikler dışında hasar tespitinde normal vektör de kullanılabileceği Liu ve arkadaşları tarafından öne sürülmektedir (Liu vd., 2020). Tüm bu ayırt edici özelliklere ilaveten görsel

olarak da süper voksellerin karşılaştırması sonucu hasarlı süper vokseller tespit edilmektedir. Deprem sonrasında bozulmamış yapıların aksine bozulmuş yüzeylerdeki süper voksellerin içindeki nokta dağılımı düzensiz, ayrık ve nokta sayısı daha az olduğu sonucuna varılmıştır (Liu vd., 2020). Tamamen çökmüş binaların tespitinde ise nDSM kullanılmıştır. Genel olarak nokta tabanlı düşük seviyeli görsel özellikler, nesne tespitinde etkili bir tanımlayıcı olmadığı için bu tekniği geliştirmek, süper voksellere dayalı çok ölçekli özellik çıkarımı sağlamak ve nesnenin ayırt edilebilme gücünü yükseltmek için LDA modeline dayalı tek özellikli bir genelleme yöntemi geliştirilerek literatüre eklenmiştir (Liu vd., 2020). LDA modeli genellikle belgeleri ve kelimeleri sınıflandırmak için literatürde kullanılmıştır. Ancak bu yöntem noktalara ve süper voksellere uygulanarak etkili bir sınıflandırma metodu üretilmiştir. Üretilen bu yöntem de her nokta tabanlı özellik FP'si bir kelime olarak ve her bir süper voksel de bir belge olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak 2B görüntüleri ve 3B nokta bulutları üzerinden LDA (Latent Dirichlet Allocation) ve RF (Random Forest) sınıflandırıcılarına dayalı olarak hasarlı binaların tespitini yapmaya çalışan bir uygulama üretilmektedir. Yapılan çalışmada eğitim sınıflarının oluşturulması için manuel olarak eğitim sınıflarının toplanması gerekmektedir. Ayrıca çalışma, eğimin değişmediği bir afet bölgesinde yapılmaktadır. Farklı afet bölgelerinde yapılacak çalışma için yeniden eğitim sınıfının toplanması zaman alacağından hasarlı bina tespitinde gecikmelere neden olduğu için otomatik işleyişin aksayacağı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda eğimin fazla olduğu bir bölgedeki hasarlı binaların tespitinde başarı oranının düşebileceği öngörülmektedir.

Depremin meydana geldiği afet bölgelerinde kurtarma çalışmaları yapmak için yıkılmış veya ağır hasarlar görmüş binaların, deprem sonrası hızlı bir şekilde tespitini yapmaya çalışan çok farklı çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmalarda çeşitli veri tiplerinin, farklı ve kapsamlı teknikler ile incelendiği görülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmaların bazılarında deprem öncesi ve sonrası ortofoto, uydu görüntüsü ve 3B nokta bulutu verilerine ihtiyaç varken bazı çalışmalarda ise sadece deprem sonrası elde edilen verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Deprem sonrası elde edilen verilere dayalı bazı çalışmalarda, deprem öncesi kadastral verilerden yararlanılarak hasarlı ve yıkılmış binaların tespitini yapmaya çalışan uygulamalar literatürde mevcuttur. Depremlerin ne zaman ve nerede meydana gelebileceği, deprem olmadan tahmin edilemeyeceği için deprem öncesine ait 3B nokta bulutu veya ortofoto gibi verilerin tüm afet bölgelerini kapsayabilmesi mümkün değildir. Deprem sonrası enkaz altında kalmış kişilerin kurtarılması için zamanla yarışılmaktadır. Bu nedenden dolayı deprem sonrası çok hızlı bir şekilde hasarlı veya

yıkılmış binaların tespiti gerekmektedir. Ancak deprem sonrası uydu görüntüleri, SAR ve İHA dışındaki tekniklerle üretilen LiDAR verilerini kullanan çalışmaların veri temini günlerce sürebilmesi, hızlı müdahaleyi engellemektedir.

Literatür de görülen bazı otomatik hasar tespiti yapmaya çalışan uygulamalarda afet bölgesinde az hasarlı binaların cephelerindeki hasarlar ve hasarların konumları tespit edilmeye çalışılmaktadır. Ancak hızlı müdahale gerektiren ve can kaybının çok olduğu binalar yıkılmış ve ağır hasar görmüş binalar olduğu için bunlara öncelik verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmalar deprem sonrası bina hasarlarının tespitinde başarılı olsa da depremin yıkıcı etkisini ortadan kaldırmak ve zarar gören canlıların kurtarılması için acil müdahale konularında başarısız olmaktadır. Literatürdeki bazı çalışmalar detaylıca incelendiğinde, sınıflandırma metotlarını eğitmek için yapılması gereken ön çalışmalar veya manuel müdahaleler hasarlı bina tespitini yapmaya çalışan uygulamaların tam otomatik olmadığı ve farklı afet bölgelerinde hasar tespiti yapılırken zaman kayıplarının yaşanabileceği öngörülmektedir.

Bu tez çalışmasında deprem sonrasında hızlı bir şekilde İHA ile temin edilecek görüntülerden üretilen 3B yoğun nokta bulutu verileri ve deprem öncesi ülkemizin tüm bölgelerinde mevcut olan kadastral harita verileri birlikte kullanılarak hasarlı veya yıkılmış binaların tespitini yapmaya çalışan bir algoritma üretilmiştir. Ülkemizde bulunan veri kütüphaneleri düşünüldüğünde iki zamanlı analizlerin yapılabilmesi oldukça zordur. Ancak üretilen yazılım da sadece deprem sonrası İHA ile alınan görüntüler ve zaten var olan kadastral haritalar ile yıkılan binaların tespiti her bölgede başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Geliştirilen yöntem ve yazılım, verilerin hızlı bir şekilde elde edilebiliyor olması, farklı çatı tiplerine ve farklı eğimlere sahip bölgelerde çalışıyor olması ve depremin hemen sonrasında yıkılan binaların otomatik tespit edilebiliyor olması yönleriyle literatürdeki diğer çalışmaların önüne geçmektedir.

1.2 Fotogrametri

Fotogrametri ışın yoluyla elde edilen iki boyutlu görüntüler üzerinden analizler yaparak istenilen nesnenin geometrik ve radyometrik bilgilerine ulaşabilme bilimidir. Fotogrametri, eski Yunancadaki photos (ışık), grama (çizim) ve metron (çizim) kelimelerinin birleşmesi sonucu doğmaktadır. Bu ölçüm yönteminin temel farkı geometrik

verilere ulaşırken nesnenin üzerinden ölçüm yapmak yerine nesnenin kamera ile alınan bindirmeli görüntülerine dayalı olarak metrik ve spektral veriler elde edilmeye çalışılmasıdır. Diğer bir ifadeyle, uzaktan alınan görüntüler geometrik verilerin çıkarılması için temel kaynaktır. Nesneyi 2B temsil eden görüntü veya görüntülerin üzerinden geometrik benzerlikler ve bir takım yüzeysel eşliklerin analizleri sonucunda nesnenin 3B geometrik ve spektral modeli elde edilmektedir. 3B geometrik modeli elde etmek için aynı nesnenin iki farklı açıdan çekilen eşlenik resimlerde, eşdüzlemsellik denklemler esas alınarak, kamera koordinat ekseninde aynı düzleme getirilmesi ve her resim çifti için asal eksen örtüşmeleri sonucu iki boyutlu resimlerden 3 boyutlu model oluşumu sağlanabilir.

En genel anlamıyla fotogrametri ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)' in tanımına göre fotografik görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanmasına dayalı olarak nesnelerin ve yeryüzünün metrik bilgilerinin çıkarılması ve analizinin yapılmasını sağlayan bilim dalıdır (Altıntaş ve Çak, 2014).

Fotogrametri fotoğraf alım mantığına dayandığı için fotoğraf kadar bir geçmişe sahip olmakla beraber son yıllarda teknolojiye paralel olarak hızlı bir gelişme göstermiştir. Fotoğrafın ortaya çıkmasıyla beraber aslında fotogrametri bilimi doğmaya başlamış ve analog fotoğraflar üzerinden metrik bilgiler çıkarılmaya başlanmıştır. Analog fotoğrafların optik mekanik aletlerle yorumlanması metrik bilgilerin elde edilmesini kolaylaştırmıştır ve teknolojiyle birlikte gelişeceğinin sinyallerini vermeye başlamıştır. Bu aşamalardan sonra fotoğrafların dijital hale gelmesi ve bilgisayarlara aktarılması ile günümüzdeki fotogrametrik çalışmalara benzer analizlerin temellerinin atılmaya başlandığı zamanlardır. Daha sonrasında fotoğrafta piksel ile birlikte fotoğrafın her noktasının geometrik ve spektral anlamda yorumlanmasına dayanan mevcuttaki çalışmalar başlamıştır. Bu son aşama ile birlikte fotogrametri çok daha hızlı gelişerek kaliteli ve hassas haritalar ve farklı sonuç ürünler üretilmeye başlanmıştır. Fotogrametri ile ortofoto, sayısal arazi (SAM)/yüzey (SYM) modeli, fotoplan, 3B Kent Modelleri, fotoğraf ve anaglif vb. ekran görüntüleri gibi grafik ve raster ürünler sonuç ürün olarak üretilebilir (Karlı, 2014). Ortofoto, bindirmeli resimler ile üretilen raster haritanın dönüklük, eğiklik ve yükseklik farklarından ileri gelen hataların (rölyef hatası) ortadan kaldırılması sonucu her noktasında sabit bir ölçeğe sahip ve harita özelliklerini de barındıran raster harita olarak tanımlanabilir. Bu haritalar ortofoto harita olarak isimlendirilerek gerçek harita doğruluğuna ulaşmış ve birçok projede altlık olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fotogrametri üretim mantığı, harita üretilmesine hız

kazandırarak çok zaman kaybına neden olan jeodezik ölçümlerin önüne geçmiştir. Bu nedenlerden dolayı fotogrametri haritacılığın ve harita üretiminin temel taşlarından biridir.

1.3. Lazer Tarama Teknolojisi

Lazer tarama teknolojisi optik-mekanik bir ölçme sistemidir. Lazer tarama sistemi, nesne ve çevresindekilerin 3 boyutlu bilgisini elde etmek için kullanılmaktadır. Farklı noktalarda konumlandırılan lazer sensörünün farklı açılardan gönderdiği sinyallerin değerlendirilmesi sonucu noktaların koordinat, yoğunluk ve ilave kameralar ile RGB değerleri elde edilmektedir. Lazer sensörler gönderdikleri sinyaller ile nesnelerin alet merkezli kutupsal koordinatlarını elde etmektedirler. Bu kutupsal koordinatlar lazer tarayıcı ile nesne noktası arasındaki eğik uzaklık ve ölçüm doğrultusunun yatayla yaptığı açıdır. Lazer tarayıcılar bu kutupsal koordinatları iki şekilde elde etmektedirler. Lazer sinyallerinin lazer aletinden çıkıp tekrar geldiği zaman farklarının değerlendirilmesi ile ölçülen noktanın 3B koordinat bilgisini elde edebilmektedir. Bu şekilde ölçüm yaparak nesneye ve çevresine ait milyonlarca noktanın 3B koordinat bilgisine hızlı ve yüksek doğrulukta ulaşılmaktadır. Nesneleri veya yeryüzünü çok iyi bir şekilde temsil eden bu noktalar kümesine nokta bulutu denilmektedir. Nokta bulutu verileri, konum bilgisi, yoğunluk bilgisi (intensity), RGB bilgisi, tarama açısı, yansıma boyu ve sayısı gibi bilgileri barındırmaktadır (Karasaka ve Rashid Beg, 2021). Bu nokta bulutları lazer tarama aletinin kurulum noktalarına göre farklı referans sistemlerine sahip olabilir. Ölçümler tamamlandıktan sonra farklı referans sistemindeki nokta bulutlarının tek referans sistemine getirilmesi için lazer kurulan noktaların koordinat bilgisinin ölçülmesi ya da ölçüm yapılan nesnenin üzerinde koordinat bilgilerinin ölçülebileceği siyah beyaz belirteçler yapıştırılarak nokta bulutlarının istenilen referans sistemine dönüştürülmesi gerçekleştirilebilir (Kula ve Ergen, 2017).

Lazer tarama sistemi sayesinde elde edilen nokta bulutları farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Lazer tarama teknolojisi sayesinde yapılan bir inşaatın hangi aşamada olduğunun tespiti, tasarım ile gerçekleşen imalat arasındaki tutarsızlıkları ve sapmaları tespit etmek için (Kula ve Ergen, 2017), inşaat süresinin ne kadar zaman alacağını belirlemek için, tarihi yapıların restorasyonu ve kayıt altına alınabilmesi, herhangi bir bölgede yapılacak dolgu veya kazı işlerinin daha hızlı ve yüksek doğrulukta yapılabilmesini sağlayan otomatik bir lazer optik sistemdir. Lazer tarama teknolojisinin hızlı ve doğru sonuçlar vermesi inşaat sektöründe kullanılabilirliğini artırmaktadır (Kula ve Ergen, 2017).

1.4. Dijital Görüntülerden Üç Boyutlu (3B) Yoğun Nokta Bulutu Üretimi

Bir yüzeyi oluşturan çok sayıda nokta bütününe nokta bulutu denilmektedir. Fotogrametrik nokta bulutundaki her nokta X, Y ve Z koordinatlarına sahipken, aynı zamanda RGB renk değerlerini de içinde barındırarak 6 boyutlu olarak kabul edilmektedir (Özbay, 2018). Her bir nokta, nokta bulutunun yapı taşı oluşturur. Bu noktaların birleşimiyle beraber nesneleri veya yeryüzünü sayısal ortamda temsil eden 3B model ve haritalar oluşturulmaktadır. LiDAR sistemlerinden elde edilen verilerde düşey ve yatay olarak yüksek doğrulukta nokta bulutları elde edilmektedir. Ancak maliyet olarak incelendiğinde LiDAR sistemleri fotogrametrik sistemlere göre daha maliyetli sistemlerdir. Fotogrametrik olarak üretilen nokta bulutlarının m^2 'deki nokta yoğunlukları LiDAR'dan üretilen nokta bulutlarına göre çok daha yoğun olabilmektedir. LiDAR nokta bulutları genelde renksiz sadece X, Y ve Z koordinat bilgisi içerirken, fotogrametrik nokta bulutları hem koordinat bilgisi hem de renk bilgisi içermektedir. Ayrıca fotogrametrik nokta bulutu 3B veri noktalarını zenginleştiren 2B görüntüleri barındırmaktadır. LiDAR nokta bulutu üretiminde, yüzey yansıtıcılığı fazla olan binalarda nokta bulutu üretim doğruluğu ve tamlığında sorular olabilmektedir. Genel olarak bakıldığında fotogrametrik nokta bulutları da bazı alanlarda görüntü eşleştirememeden kaynaklanan dezavantajlar içermesine karşın daha az maliyetle 3B bilgi elde edebilmektedir.

Fotogrametride bir yüzeyin farklı konumlarından alınmış sayısal görüntülerin stereo değerlendirme sonucu derinlik bilgisinin elde edilmesi ve eşlenik noktalarda izdüşüm denklemlerinin kullanılması ile yüzeyi temsil eden 3 boyutlu (X, Y ve Z) noktalar kümesi üretilmektedir. Stereo değerlendirme için bindirmeli görüntülerin epipolar geometriyi sağlaması gerekmektedir. Resim çiftlerinin epipolar geometriyi sağlaması ile ilk resimdeki herhangi bir noktanın, diğer resimdeki karşılığı epipolar çizgi üzerinde aranarak bulunabilmektedir (Acar, 2018). Bir başka ifade ile çekilen her bindirmeli görüntünün üzerinde aynı noktanın farklı ışınlar ile temsili yapılmaktadır. Stereo değerlendirme için aynı noktanın farklı görüntülerdeki ışınlarının kesiştirilmesi sonucu epipolar geometri sağlanarak, o noktanın 3 boyutlu temsili sağlanmış olmaktadır. Bu şekilde görüntü çiftlerinden epipolar geometri esas alınarak aynı noktaların farklı görüntülerdeki ışınlarının karşılaştırılması sonucunda noktaların derinlik bilgisine ulaşarak araziye veya nesneyi en iyi temsil eden üç boyutlu noktalar kümesi üretilir. Bu noktaların X, Y ve Z koordinatları üretilmesinde izdüşüm denklemlerinden yararlanılmaktadır. Aynı zamanda bu noktaların

RGB değerleri de üretilmektedir. Bu şekilde üretilen tüm nokta bulutları temsil ettikleri yüzeyler hakkında hem konum hem de renk bilgisini yansıtmaktadırlar. Oluşturulan nokta bulutlarının yoğunlukları arttıkça temsil ettiği yüzey hakkında daha detaylı bilgi vermektedirler. Üretilen nokta bulutları bilgisayardaki çeşitli programlarda işlenerek SYM, SAM, ortofoto harita ve 3D kent modelleri gibi sonuç ürünler üretilir.

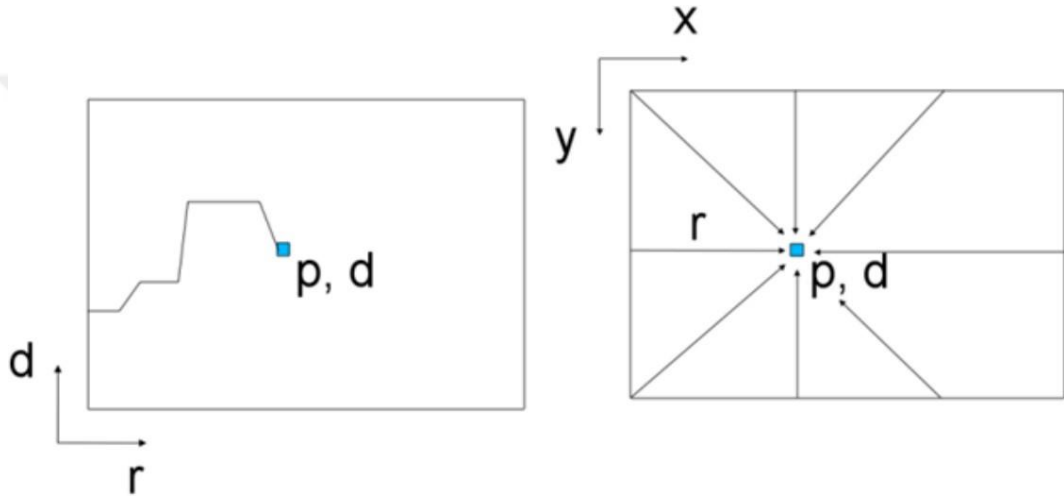
1.4.1. 3B Nokta Bulutu Üretim Yöntemi

Nokta bulutu verisi lazer tarayıcılar veya görüntü tabanlı olarak üretilmektedir. Çeşitli hava araçları ile elde edilen bindirmeli stereo görüntü çiftleri üzerinden derinlik bilgisinin elde edilmesi, nokta bulutu üretiminin temel dayanağı olarak kabul edilmektedir. Bu stereo görüntü çiftlerinde, eşlenik piksellerin eşleşmesi ve görüntü alınırken kullanılan kameranın iç ve dış yöneltme eleman bilgilerinin birlikte kullanılması sonucu eşleştirilen piksellerin 3B (XYZ) koordinat bilgileri üretilmektedir.

Mevcut durumda görüntü eşleştirme ile yoğun nokta bulutu üretimi yapan birçok algoritma ve yazılım vardır. Bu yazılımlar, Semi Global Matching (SGM), Region Growing (RG) ve Local Matching (LM) algoritmalarını kullanmaktadırlar (Svensk, 2017). Birçok kullanıcının yaygın olarak kullandığı ve başarılı sonuçlar elde edebildiği çeşitli yazılımlar (Pix4Dmapper, SURE, Photoscan, Erdas Imagine, vb.) arka planda görüntü eşleştirme yöntemi olarak SGM algoritmasını kullanmaktadırlar. SGM algoritması, obje sınırlarını ve detaylarını dikkate alarak piksel tabanlı bir eşleştirme yapmaktadır (Hirschmüller, 2008). Bu algoritma iç ve dış yöneltme elemanları bilinen ve epipolar geometriye sahip olan bir çift stereo görüntü ile çalışıp, bu görüntülerdeki bindirmeli alanlar için renk bilgisine de sahip olan yoğun nokta bulutu üretmektedir (Acar, 2018). SGM algoritmasının matematik modeli 1 nolu eşitlikte gösterilmektedir.

$$E(D) = \sum_p (C(p, D_p) + \sum_{q \in N_p} P_1 T[|D_p - D_q| = 1] + \sum_{q \in N_p} P_2 T[|D_p - D_q| > 1]) \quad (1)$$

Piksel bazlı maliyet hesaplaması, derinlik görüntüsüne (D) dayalı olarak ifade edilen enerjiye ($E(D)$) bağlıdır. Bu matematik modelde $C(p, D_p)$, D paralaks değerindeki tüm p pikseller için eşleşme maliyetini ifade etmektedir. Eşitliğin diğer tarafında ise derinlik görüntüsüyle eşleşen diğer piksellerin maliyetleri gösterilmektedir. Diğer pikseller, köşeli parantez içindeki şartlar doğru olduğunda 1, olmadığına ise 0 değerini almaktadır. Sonuç olarak tüm maliyet değeri, gidilen yöndeki tüm maliyet değerlerinin toplanması ile bulunmaktadır (Ok vd., 2016). Farklı açılardan piksel merkezine doğru gelen sekiz doğrultu, pikselin derinlik bilgisiyle eşleşmektedir. SGM algoritmasının üstte anlatılan mantığı Şekil 1’de gösterilmektedir.



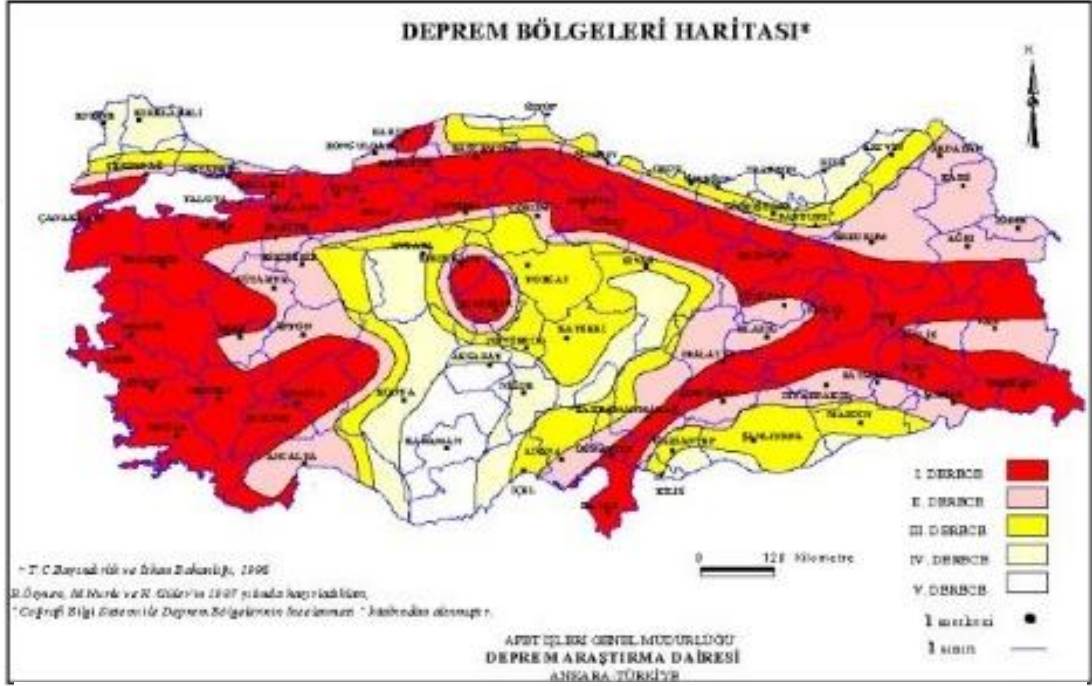
Şekil 1. SGM algoritmasında, piksellere farklı doğrultulardan yapılan işlemler ile pikselin en uygun konumunun tespiti (Hirschmüller, 2008)

1.5. Depremler

Yer kabuğunun altındaki magmanın hareketlenmesi ile yer kabuğuna yapmış olduğu yüksek basınç ve titreşim hareketleri sonucunda açığa çıkan enerjinin yer kabuğunu parçalaması veya yükseltmesi sonucu, yeryüzünde hissedilen titreşim, çökme ve yarılmalar deprem olarak isimlendirilir. Deprem, önlenmesi veya tespit edilebilmesi mümkün olmayan bir doğa olayıdır. Dünyanın oluşumundan itibaren sismik olarak aktif bir şekilde bulunan fay hattı bölgelerinde ardışık olarak depremlerin meydana gelmesi sonucunda, milyonlarca canlının ve yaşam alanlarının zarar gördüğü bilinmektedir. Ülkemiz çok önemli deprem kuşaklarının üzerinde bulunmaktadır. Bu deprem kuşakları nedeniyle ülkemizde meydana gelen depremlerde büyük can ve mal kayıpları yaşandığı gibi gelecekte de yaşanabileceği bilinmektedir. Deprem bölgeleri haritası incelendiğinde, ülkemizin %92’

sinin deprem bölgesi içerisinde olduğu görülmektedir (İşçi, 2008). Bu nedenle ülkemiz bir deprem ülkesi olduğu kabul edilmektedir.

Ülkemizi etkileyebilecek üç tane fay hattı mevcuttur. Bu fay hatları, Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattı olarak isimlendirilir. Fay hatları yer kabuğunun kırılmış veya çatlamış noktalarını ifade etmektedir. Bu kırıklar, yer kabuğunun yüksek basınç altında sıkışması veya genişmesi sonucu oluşmaktadır. Yüksek



Şekil 2. Türkiye’deki fay hatlarının gösterimi (URL-1, 2021)

basınçta büyük yer kabukları en zayıf noktalardan çatlamasıyla yeni fay hatları oluşabildiği gibi aynı zamanda yer kabuklarının aşırı derecede yükselmesiyle de sonuçlanabilmektedir. Sonuç olarak bu fay hatları ülkemizin birçok bölgesini kapsadığı için ülkemizin her bölgesinde her an farklı şiddetlerde deprem olma riski mevcuttur.

1.5.1. Deprem Hasar Türleri

Depremler yeryüzünde inşa edilmiş beton yapıların hasar görmesine hatta yıkılmasına neden olmaktadır. Meydana gelen depremlerin fay hatları ve çevresindeki yıkıcı etkisi ile binalar veya betonarme yapılar çeşitli miktarlarda hasar görmektedirler. Deprem büyüklüğüne ve betonarme yapının dayanıklılığına bağlı olarak yapılar üzerinde hasar

miktarları değişmektedir. Deprem sonucu hasarlı betonarme yapılar altı farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Bu yapısal hasar sınıflandırma türleri aşağıda verilmektedir.

- 1) Üst üste yığılma yıkımı türden hasarlar
- 2) Yana yığılma (Akordeon) yıkımı hasarları
- 3) Yana yatma hasarları
- 4) Düşey hiza boyunca bir bölümün çökmesi tipinde hasarlar
- 5) Yatayda bir bölümün çökmesi hasarları
- 6) Yatayda tam kat çökmesi şeklinde



Şekil 3. Deprem sonrası 6 farklı hasar türünün gösterimi (Koç, 2016)

Deprem sonucu yıkılan binalar yıkılma miktarlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalardan, yapısal bir betonarmeyi en çok etkileyen hasar türü üst üste çökme yıkımı olarak kabul edilmektedir (Koç, 2016). Bu tür bir yıkım depremin en çok etkilediği çökmüş betonarme binaları ifade etmektedir. Deprem anında hasar alan binalar tamamıyla üst üste çökmektedir. Bu yıkımların olduğu binalarda aşırı derecede can kayıpları yaşanabilmektedir. Bu büyük hasara maruz kalmış bina türlerinde yapıyı oluşturan kolon ve kirişler taşıdığı yüklere ek olarak depremin neden olduğu sarsılmalar ve kaymalardan dolayı tüm dayanıklılığını kaybederek, binanın üst üste çökmesine ve tamamen yok olmasına neden olabilmektedir.

Diğer bir hasar türü yan yana yığılmadır. Yana yığılma (akordeon) olarak sınıflandırılacak hasar türü, binaların kolon ve kirişlerindeki kuvvet farklılıklarından dolayı

tamamen çökmek yerine kuvvetsiz olan kiriş veya kolon tarafına binanın devrilmesi sonucu meydana gelen hasar türüdür (Koç, 2016). Kuvvetli kiriş, zayıf kolon yapılması ve beton kalitesizliği gibi nedenler depremin yıkıcı etkisinde ortaya çıkarak betonarme yapıların yana yatarak ciddi hasarlar almasına neden olmaktadır.

Deprem sonucu hasar gören binaların sınıflandırılmasındaki, diğer bir hasar türü yana yatmadır. Bu hasar türü önceden anlatılan bina yapımı sırasında yapılan hataların kısmen daha az yapılması sonucu binanın tamamen değilse bile bir kısmının yana yatması sonucu hasara uğraması olarak değerlendirebilecek bir hasar türüdür. Bu yana yatma hasar türünde bitişik nizamdaki binaların komşu binanın üzerine yıkılması sonucu çekiçleme etkisi oluşturarak ortaya çıktığı kabul edilmektedir. Aynı zamanda yana yıkılan bir binanın yana yıkılmasını engelleyen bir güç olduğu zaman da bu hasar türü meydana gelebilmektedir (Koç, 2016).

Depremelerin sebep olduğu yıkıcı etkiler, binaların bazı kısımlarının parçalanmasına, dağılmasına, kopmasına ve değişik türden yıkımların meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu farklı nedenler deprem sonucu yıkılmış binaların hangi sınıfa ait olduğunu ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır. Deprem anındaki yıkıcı etkiler, yapıların bazı katlarının belirli bölgelerinde çökmelere neden olabilmektedir. Bu binalar tamamen yıkılmazken köşe bölgelerinde kısmi çökmeler meydana gelebilmektedir. Bu hasar türleri düşey hiza boyunca bir bölümünün çökmesi başlığı altında sınıflandırılabilir. Bu hasar türü dört yönde kiriş desteği azalan kenar kolonlar civarında yoğunlaşmaktadır (Koç, 2016). Köşe kolonlarının bir tanesinin yapım yönetmeliklerine uymaması ve kalitesiz beton kullanılması sonucunda üretilen bir binanın bulunduğu bölgede meydana gelen deprem sonucunda zayıf kolon tarafının çökmesi sonucu oluşan hasarlı bina düşey hiza boyunca bir bölümünün çökmesi sınıfına dâhil edilmektedir. Bazı betonarme binalar deprem sonrasında kat aralarında kısmi yıkımlara maruz kalmaktadır. Bir başka ifade ile binaların kat kolonlarının bir veya birkaçının deprem sarsıntısı esnasında kırılması, çatlaması veya eğilmesi sonucu bulunduğu katın hasarına neden olmaktadır. Bu tür deprem hasarlarına yatayda bir bölümünün çökmesi hasarı denilmektedir. Bu hasar türünün daha tehlikeli durumu ise sadece bir veya birkaç katın tüm kolonlarının yıkılması sonucu ortaya çıkan hasar türüdür. Bu tür hasarlara da yatayda tam kat çökmesi denilmektedir (Koç, 2016). Bu hasar durumlarında binaların diğer katlarındaki kolon veya kirişlerin yıkılmadığı sadece kolonları yıkılan katın çökmesine ve diğer katların yüksekliklerinin değişmesine neden olduğu hasar türüdür. Bu şekilde deprem

sonrası yıkılan veya hasar gören betonarme binalar daha kaliteli ve detaylı bir şekilde incelenebilmesi için farklı sınıflara ayrılması gerekmektedir.

1.6. Sentetik veri üretimi

Sentetik veriler, yapay zekâ ve çeşitli yazılım algoritmaları tarafından gerçek sahnenin yansıtılması için yapay olarak elde edilmektedir. Bu veriler gerçek dünyanın matematiksel ve istatistiksel yansıtıcılarıdır. Dünyada meydana gelmiş veya gelebilecek doğal afetler sonucu oluşan gerçek verileri elde etmek mümkün değildir. Bu nedenle doğal felaketler sonucunda meydana gelebilecek sahneler, farklı fonksiyonlar sayesinde rasgele olarak üretilmektedirler. Sentetik verilerin bilgisayar ortamında oluşturulması hem zaman hem de ekonomik kazançlar sağlamaktadır.

Dünyamız zamanla öngörülemeyen farklı felaketlere maruz kalabilmektedir. Deprem yoğun olarak meydana geldiği bölgelerdeki fay hatları zamanla değişimlere uğrayarak artmaktadır. Şuanda fay hattı üzerinde olmayan bazı bölgeler, gelecekte yer altındaki tektonik hareketlerden dolayı levhaların kırılması sonucu yeni fay hatlarının üzerlerinde olabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle her bölge azda olsa deprem riskini barındırmaktadır. Ancak deprem riski az olan bölgelerde, deprem sonrasına ilişkin veri elde etmek mümkün olamamaktadır. Yapılan çalışmada bu gibi risksiz bölgelerde üretilen nokta bulutları, yapay bir depreme uğratılarak deprem sonrası sahneyi ifade edebilecek sentetik verilerin üretilmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında geliştirilen algoritmayı test etmek amacıyla MATLAB programında sentetik veri üretimi otomatik bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen fonksiyon sayesinde rasgele seçilen bazı hasarsız bina nokta bulutları yapay ve rasgele bir şekilde yapay olarak hasara uğratılarak, deprem sonrasındaki yapay hasarlı binaların üretilmesi amaçlanmaktadır. Sonuç olarak hasarlı sahneler yapay olarak elde edilerek tez çalışması için uygun veriler üretilmiştir.

1.7. 3B Nokta Bulutlarından Bitki Örtüsü Çıkarımı

Bitki örtüsü, RGB ve kızılötesi gibi bantların farklı fonksiyonlarına dayalı olarak üretilen bitki indexleri sayesinde elde edilmektedir. Elde edilen bitki örtüsü, ormancılıkta biokütlede, karbon tahminlerinde, tarımda, hidrolojik model hesaplamalarında, kentsel

çevreyle ilgili değerlendirmelerde ve çeşitli fotogrametrik analizlerde kullanılmaktadır. Mevcutta bulunan 3B nokta bulutu, sadece RGB bantlarını içermektedir. Bu nedenden dolayı, bitki örtüsü çıkarımında Xiaoqin vd. (2015) yapmış olduğu VDVI (Visible-Band Difference Vegetation Index) fonksiyonu kullanılmıştır. (2) nolu eşitlikte belirtilen VDVI formülü ile her noktaya ait spektral bilgiden, noktaların VDVI değerleri hesaplatılmaktadır. Bu eşitlikte RGB bantlarının hepsi kullanılarak; ρ_{mavi} : mavi bant, $\rho_{\text{yeşil}}$: yeşil bant ve $\rho_{\text{kırmızı}}$: kırmızı bant şeklinde denklemden gösterilmektedir. VDVI, %90 oranında doğrulukla belirlenen, -1 ve +1 arasında değişen değerler almaktadır (Xiaoqin vd. 2015).

$$\text{VDVI} = \frac{(2 \cdot \rho_{\text{yeşil}} - \rho_{\text{kırmızı}} - \rho_{\text{mavi}})}{(2 \cdot \rho_{\text{yeşil}} + \rho_{\text{kırmızı}} + \rho_{\text{mavi}})} \quad (2)$$

Bu index fonksiyonu MATLAB ortamında kodlanarak algoritmalar öncesi hazırlık aşaması olarak uygulamaya dâhil edilmektedir. Bu denklem kullanılarak her nokta için farklı bir VDVI değeri hesaplatılmaktadır. Yapılan uygulamadaki nokta bulutlarının VDVI değerleri 0.05'ten küçük olan noktaların bitki örtüsünü temsil ettiği anlaşılmaktadır. Yapacağımız uygulamada bitki örtüsü çıkarımı sonucu veri yoğunluğu düşürülerek, veri işlem hızını yükseltmek amaçlanmıştır. Aynı zamanda buffer algoritmasında bina çatı kenarlarında muhtemel olabilecek bitki örtüsü nokta bulutları ile hasarlı bina nokta bulutlarının çakışması sonucu buffer içindeki nokta yoğunluğunun artması binaların hasarlı olarak sınıflanmasına ve sonuç doğruluğunun olumsuz etkilenmesine neden olduğu için bitki örtüsü çıkarımının önemi artmaktadır. Sonuç olarak, hedeflenen çalışmanın doğruluğunu artırmak ve veri işleme yükünü hafifletmek için bitki örtüsü çıkarımının gerekliliği doğmuştur.

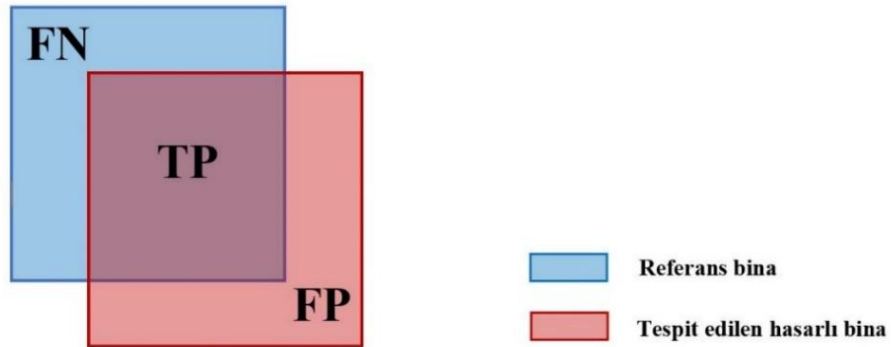
1.8. Doğruluk Analizleri

Deprem sonrası hasar gören veya yıkılan binaların tespit yöntemlerinin test edilmesi ve doğruluk oranlarının belirlenmesi için birçok çalışmada Rutzinger ve arkadaşlarının geliştirdiği doğruluk analizleri kullanılmıştır (Rutzinger vd., 2009; Shufelt, 1999). Bu doğruluk analizinde, deprem sonrasında elde edilen sonuç katmanı ile referans veri, raster formatına dönüştürülerek piksel bazında karşılaştırılmaları gerekmektedir. Ancak elde

edilen iki verideki piksel büyüklüklerinin eşit olması gerekmektedir. Bu amaçla otomatik elde edilen deprem sonrası katman ile referans veri katmanları aynı piksel büyüklüğündeki raster görüntülere çevrilerek karşılaştırmaktadır. Üretilen katmanlar ile referans katmanların piksel bazında karşılaştırılıp, deprem sonrası hasar tespitindeki doğruluk oranının bulunması için aşağıda verilen doğruluk ölçütleri kullanılmaktadır. Bu ölçütlerden; Correctness (Doğruluk) hasar tespitinin referans veri ile eşleşme oranını, Completeness (Bütünlük) otomatik hasar tespit oranını ve Quality (Kalite) ise eşleşmenin kalite yüzdesini göstermektedir. Doğruluk ölçütlerine ait formüller eşitlik 3’de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Correctness} &= \frac{TP}{TP+FP} \\ \text{Completeness} &= \frac{TP}{TP+FN} \\ \text{Quality} &= \frac{TP}{TP+FN+FP} \end{aligned} \quad (3)$$

Eşitlikteki T (True Positive) referans raster görüntüde yer alan ve aynı zamanda algoritmaların otomatik bulduğu hasarlı binaların eşleşme miktarını, FN (False Negative) referansta olup algoritma tarafından bulunamayan detayları, FP (False Positive) ise algoritmanın otomatik bulduğu fakat referansta olmayan detayları belirtmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. TP, FN ve FP şekilsel gösterimi

Eşitlikte ifade edilen doğruluk analizi yoğun olarak birçok deprem sonrası hasar tespit çalışmasındaki doğruluk oranlarının tespitinde kullanılmaktadır (Vetrivel vd., 2015; Axel ve Van Aardt, 2017; Vetrivel, 2018; Rupnik vd., 2018). Ancak önerilen çalışmada bu doğruluk analizi kullanılamamıştır. Önerilen yöntemde referans poligon içinde kalan bina noktalarının

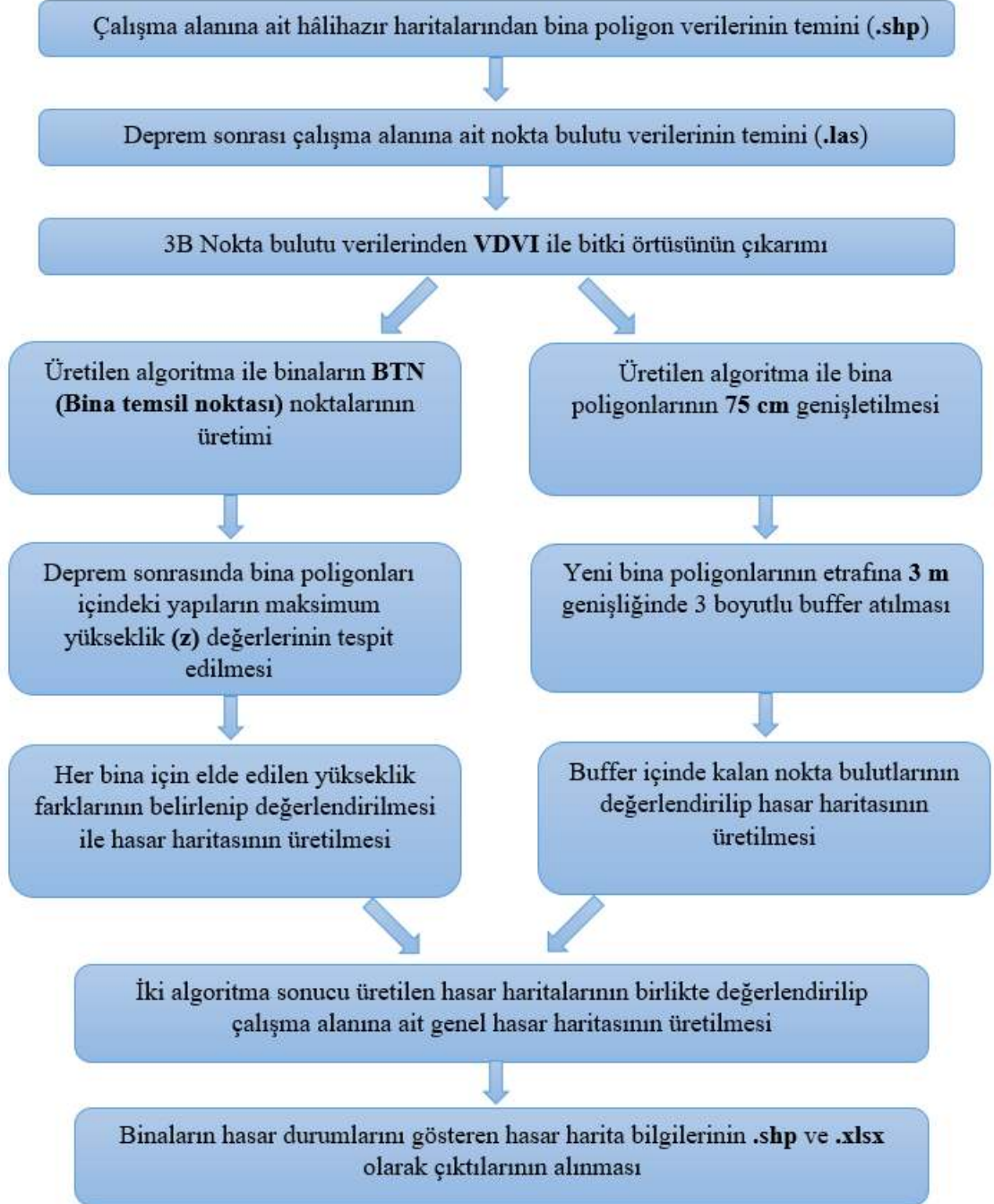
değerlendirilip elde edilen sonuçlara göre hasarlı bina poligonlarının tespiti yapıldığı için piksel tabanlı bir karşılaştırmanın uygun olmadığına karar verilmiştir. Bir başka ifade ile doğruluk sonucunun 0 veya 100 gibi değerler çıkması çalışmanın test edilebilirliğini göstermeyeceği düşünülmektedir. Bu nedenle yapay hasara uğratılan binalar (referans veriler) ile önerilen yöntem tarafından tespit edilen hasarlı binaların birebir karşılaştırılmasına dayalı olarak doğruluk oranı hesaplanmıştır. Literatür incelendiğinde bu doğruluk analizi ile yapılan çalışmalarında mevcut olduğu görülmüştür (Duarte vd., 2017; Menderes vd., 2015).



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında, deprem sonrasında hasar gören binaların hızlı ve otomatik bir şekilde tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada referans veri olarak kurumlarda mevcut olan binalara ilişkin kadastral veriler kullanılmıştır. Tez çalışmasındaki yöntem, deprem sonrasında elde edilen görüntülerden üretilen fotogrametrik nokta bulutlarına dayalı olarak geliştirilmiştir. Nokta bulutu diğer yöntemlere göre daha fazla detay barındıran 3B veriden oluştuğundan dolayı yıkılmış veya hasarlı binaların tespitinde daha başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Fotoğraf veya uydu görüntülerinden elde edilen hasar tespit çalışmaları sadece renk değerlerine bağlıdır. Bu nedenle her çalışma öncesi görüntü temini ve eğitim verilerinin toplanılması gerektiğinden zaman kayıplarına neden olmaktadır. Aynı zamanda farklı çalışma alanlarına göre yöntemlerin genelleştirilememesinden dolayı farklı alanlarda hasar tespit doğruluğu düşük olmaktadır. Ancak yapılan çalışmada yıkılmış veya eğilmiş binaların tespitinde üç boyutlu veriye sahip olan 3B fotogrametrik nokta bulutu kullanılmıştır. Önerilen yöntemde deprem nedeniyle fiziksel değişikliklere uğrayan binaların tespitinde geometrik farklılıklarından yararlanılmıştır. Çünkü özellikle eğilmiş olan binaların renk değerlerine göre tespiti mümkün değildir. Ancak 3B geometrik analizlere dayalı olarak bu binalar çıkartılabilir. Depreme uğramış bir alanda yıkılmış veya eğilerek kısmi hasar görmüş binaların çıkartılmasında 3B fotogrametrik nokta bulutunun kullanılması gerekmektedir. Bu durumda fotoğraf ve uydu görüntülerinin yetersiz olacağı düşünüldüğünden deprem sonrası yıkılmış veya kısmi hasar görmüş binaların tespitinde fotogrametrik nokta bulutu kullanılmıştır. Ayrıca deprem meydana geldikten sonra ilgili bölgeden görüntü alıp fotogrametrik nokta bulutu üretmek diğer yöntemlere göre daha hızlı olduğu için tercih edilmiştir. Tez çalışması kapsamında ilk önce bitki örtüsü büyük oranda temizlenerek veri yoğunluğunun azaltılması ve buffer esaslı uygulamanın sonuç doğruluğunun artırılması amaçlanmıştır. Ardından deprem sonrasında hasarlı ve yıkılmış binaların tespitini yapmaya çalışan yükseklik ve buffer esaslı iki algoritma üretilmektedir. Bu algoritmaların her biri otomatik bir şekilde deprem hasar haritaları üretmektedir. Bu haritaların birlikte karşılaştırılıp, yorumlanması sonucu hasarlı veya yıkılmış binaların otomatik tespitini yapmaya çalışan algoritmanın akış şeması aşağıda gösterilmiştir. Hasarlı veya yıkılmış binaların tespit doğruluğu ve hızlı tespiti kurtarma çalışmaları için büyük önem arz etmektedir. Bu esasa dayalı olarak üretilen yöntem çok kısa sürede hasarlı binalara

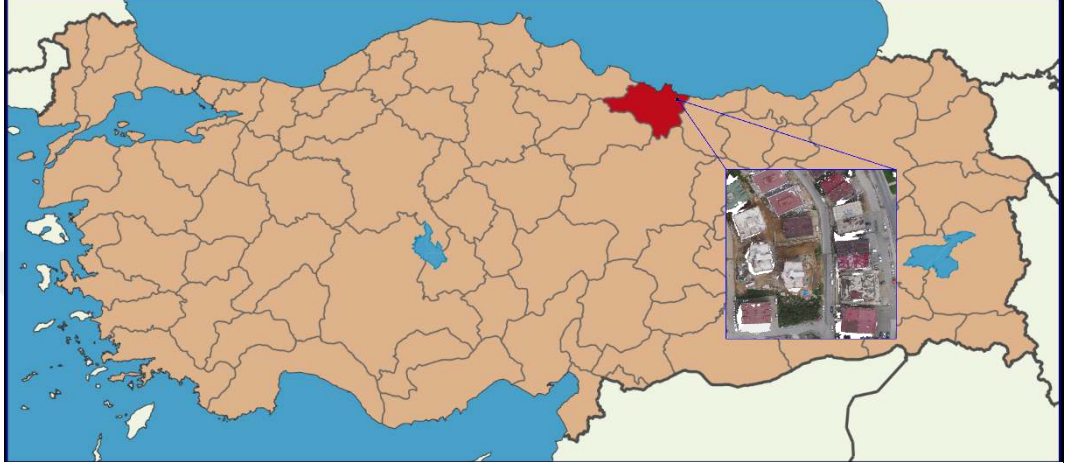
ilişkin haritaların üretilmesini sağlayarak kurtarma çalışmalarını hızlandıracağı düşünülmektedir. Tez kapsamında geliştirilen yöntemlerin akış şeması Şekil 5’de gösterilmektedir.



Şekil 5. Algoritma akış şeması

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Ordu\Türkiye ilinin, Altınordu belediyesinin, Şahincili mahallesinde bir alan seçilmiştir. Bu alanın Türkiye haritasındaki konumu Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Çalışma alanı Ordu Şahincili Mahallesi

2.1.1. Ordu Veri Seti ve Özellikleri

Tez kapsamında çalışma alanı olarak Ordu\Türkiye bölgesindeki Altınordu belediyesi sınırları içerisindeki Şahincili mahallesinde bir bölge seçilmiştir. Bu bölgede yapılan uçuşta yüksek çözünürlüklü sadece RGB bant içeren, Olympus E-PL5 kamera monte edilmiş (kamera sabiti:14,1 mm, ortalama uçuş yüksekliği: 194 m, GSD: 4,48 cm) insansız hava aracı (Multirotor Surveying Robot S) kullanılmıştır. Kullanılan bu insansız hava aracı ile bölgenin 72 adet görüntüsü elde edilmiştir. Seçilen bu bölge bitişik nizamda yoğun ve çok katlı binalara sahip aynı zamanda binalara yakın ağaçların olduğu eğimli bir bölgedir. Ordu çalışma alanının genel görünümü Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Ordu çalışma bölgesinin genel görünümü

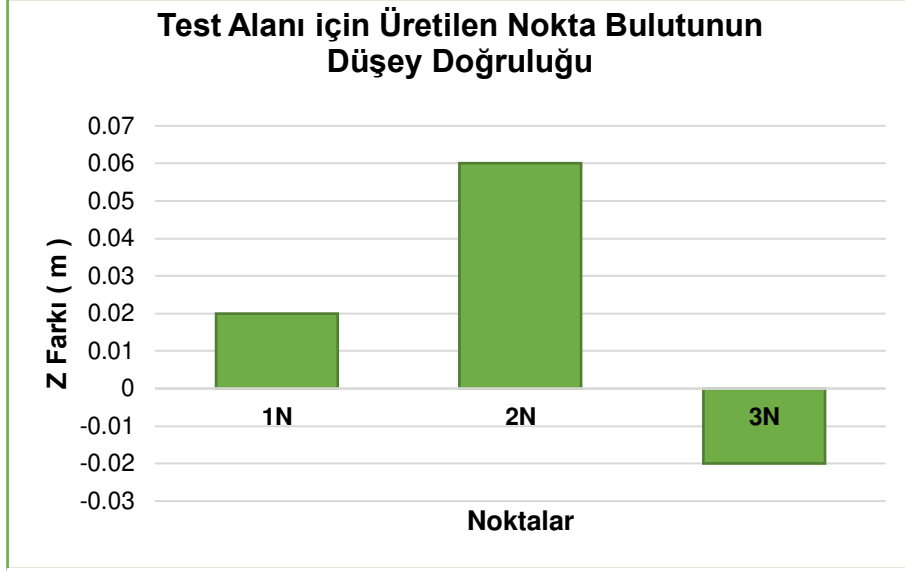
2.2. Çalışma Bölgesine Ait Görüntüler ile 3B Yoğun Nokta Bulutunun Üretilmesi

Çalışma bölgesi olarak seçilen Ordu iline ait görüntüler Ordu Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan bir proje kapsamında insansız hava aracı ile üretilmiştir. Bu çalışmada elde edilen 72 adet yüksek çözünürlüklü görüntü ile Pix4D yazılımı kullanılarak 3B nokta bulutu oluşturulmuştur. 3B yoğun (755 nokta/m^2) nokta bulutu içerisinde binaların yoğun, bitişik nizamda ve birbirine yakın olduğu ayrıca bitki örtüsü ve binalara yakın yüksek ağaçların olduğu bir alan seçilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Ordu çalışma bölgesinde seçilen test alanı

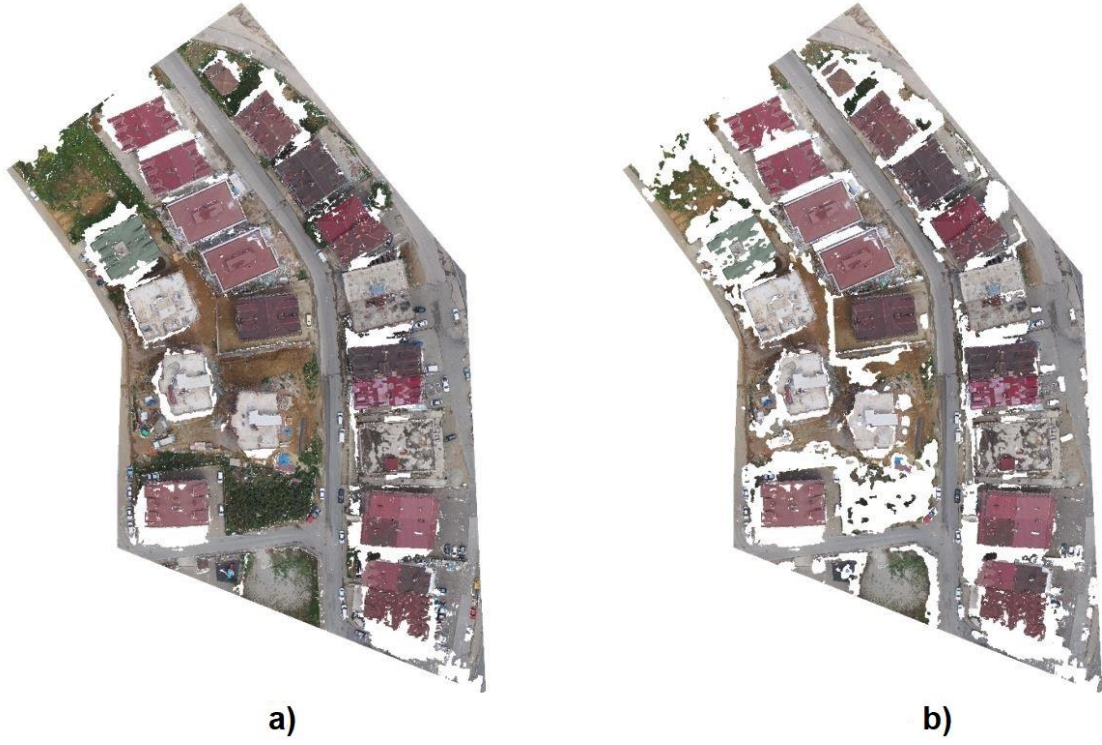
Ordu çalışma bölgesinde yatay (x ve y) doğruluğun değerlendirilebilmesi için 5 adet kontrol noktası kullanılmıştır. Bu noktalar GNSS ile zemine tesis edilmiştir. Noktaların yatay doğrulukları $\pm 4,5$ cm'dir. Ayrıca Ordu test bölgesine ait 3B nokta bulutu içerisinde seçilen noktalar kullanılarak yükseklik doğruluğu hesaplanmıştır. Ordu test alanındaki hesaplamalarda referans olarak zemine tesis edilmiş kontrol noktaları kullanılmıştır. Kontrol noktaları ile referans noktaları arasındaki yükseklik farkları hesaplanmıştır. Ordu çalışma alanı için düşey yönlü doğruluk ± 3 cm'dir (Şekil 9). Hesaplanan sonuçlara göre çalışma alanındaki verilerin yatay ve düşey yönlerdeki doğruluklarının üst seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Ordu çalışma bölgesi düşey doğrulukları

2.3 3B Nokta Bulutundan VDVI ile Bitki Örtüsü Çıkarımı

Bitki örtüsü RGB ve kızılötesi gibi bantların farklı fonksiyonlarına dayalı olarak üretilen bitki indexleri sayesinde elde edilmektedir. Elde edilen bitki örtüsü, ormancılıkta biokütlede, karbon tahminlerinde, tarımda, hidrolojik model hesaplamalarında, kentsel çevreyle ilgili değerlendirmelerde ve çeşitli fotogrametrik analizlerde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmadaki 3B nokta bulutu sadece RGB bantlarını içermektedir. Bu nedenden dolayı, bitki örtüsü çıkarımında Xiaoqin vd. (2015) yapmış olduğu VDVI (Visible Band Difference Vegetation Index) fonksiyonu kullanılmıştır. (2) nolu eşitlikte belirtilen VDVI formülü ile her noktaya ait spektral bilgiden, noktaların VDVI değerleri hesaplatılmıştır. Bu index fonksiyonu MATLAB ortamında kodlanarak veri hacminin düşürülmesi aşamasında uygulamaya dâhil edilmiştir. Yapılan uygulamadaki nokta bulutlarının VDVI değerleri 0.05'ten küçük olan noktaların bitki örtüsünü temsil ettiği anlaşılmaktadır. Çalışma alanına ait orijinal nokta bulutu ve bitki örtüsü çıkarıldıktan sonraki nokta bulutu Şekil 10'da gösterilmiştir.



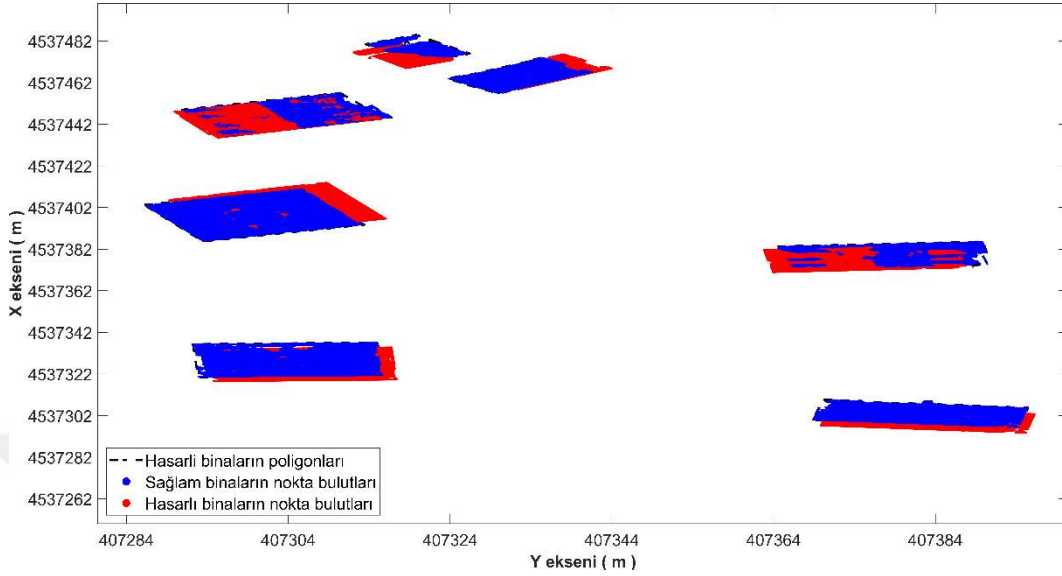
Şekil 10. a) Ordu bölgesinde üretilen 3B nokta bulutu, b) Ordu test bölgesi için bitki örtüsü çıkartılmış nokta bulutu

Yapılan tez çalışmasında bitki örtüsü %91 doğruluk oranı ile çıkartılmıştır. Bu şekilde veri yoğunluğu düşürülerek veri işlem hızını yükselmek amaçlanmaktadır. Aynı zamanda buffer algoritmasında bina kenarlarında muhtemel olabilecek bitki örtüsüne ait noktalar ile hasarlı bina noktaları çakışabilmektedir. Bu durumda binaya ait buffer içinde kalan nokta yoğunluğunun artması, binaların hasarlı olarak sınıflanmasına sebep olmaktadır. Bu durumdaki binaların kenarlarında mevcut olan uzun boylu ağaçlar, binaların yanlış sınıflara ayrılmasına sebep olarak, hasar tespit doğruluğunu düşürmektedir. Sonuç olarak, yapılan çalışmanın doğruluğunu artırmak ve veri işleme yükünü azaltmak için bitki örtüsü çıkarımı yapılmalıdır.

2.4. 3B Nokta Bulutu Üzerinden Yapay Hasarlı Binaların Üretimi

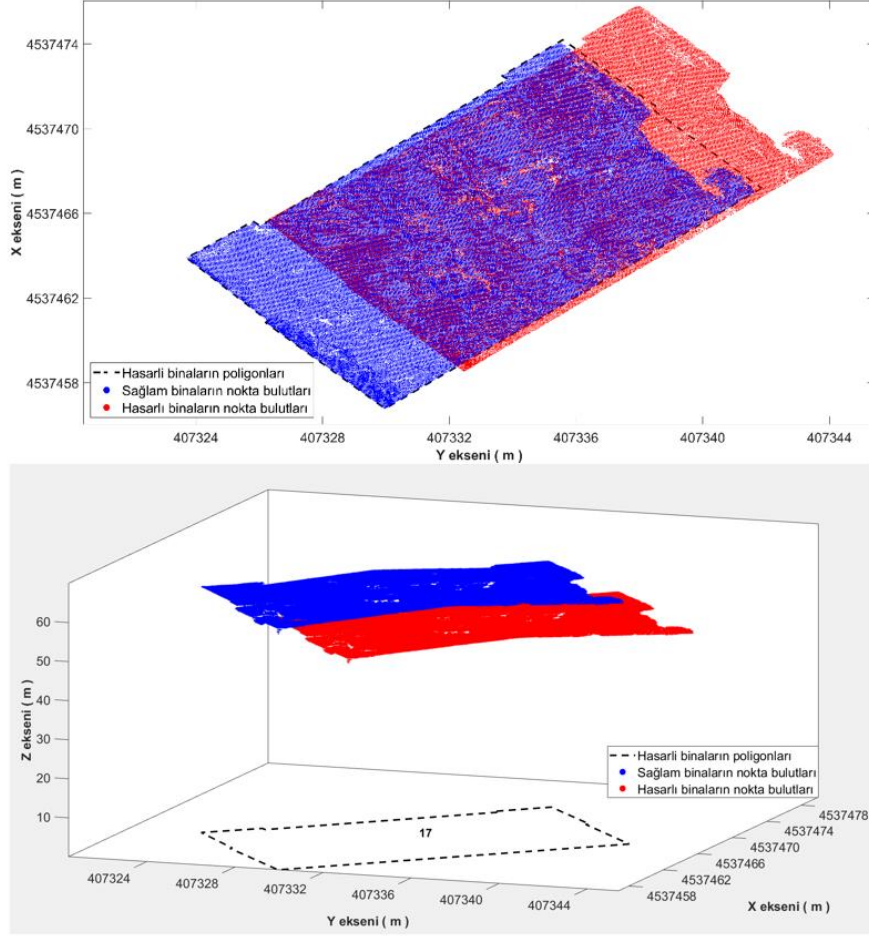
Tez kapsamında üretilen yöntemleri test edip, hasarlı binaların tespit doğruluk oranını belirlemek için deprem yaşanmış bir bölgeden alınan görüntülerden üretilen 3B nokta bulutuna ihtiyaç vardır. Ancak tez çalışması döneminde deprem yaşanmamış ve deprem sonrasına ilişkin uygun veri bulunamamıştır. Bu nedenden dolayı deprem sonrası sahneyi

ifade edebilmek için MATLAB ortamında yazılan bir algoritma ile otomatik bir şekilde yapay hasarlı binalar otomatik bir şekilde üretilmiştir.



Şekil 11. Yapay olarak 3B hasara uğratılan binalar

Bu algoritma sayesinde bina nokta bulutları yapay ve otomatik olarak 3 boyutlu rasgele değişimlere uğratılarak hasarlı binaları temsil edebilen, yapay bina noktaları oluşturulmuştur. Rasgele bir şekilde 3B değişime uğratılan nokta bulutları ile değişime maruz bırakılmayan tüm nokta bulutlarının birleştirilmesi sonucu yapay olarak deprem yaşatılmış bölgenin sentetik verileri elde edilmiştir. Bu şekilde üretilen sentetik nokta bulutu verilerinin, tez kapsamında üretilen deprem sonrası hasarlı veya yıkılmış bina tespit algoritmasının çalışabilirliğini ve doğruluk oranını belirlemek için kullanılması amaçlanmıştır.



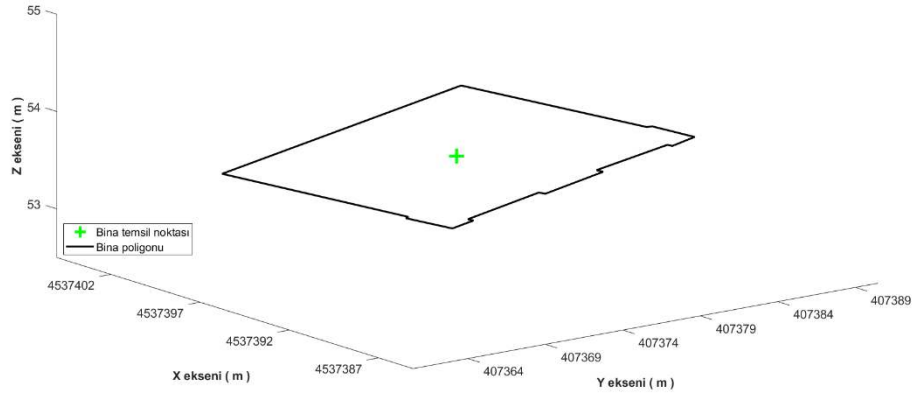
Şekil 12. Yapay hasara uğratılan bina nokta bulutunun (kırmızı) ile orijinalinin (mavi) 2B ve 3B gösterimi

Şekil 12’de görüldüğü gibi mavi renkle gösterilen 17 nolu bina, üretilen algoritma ile X, Y ve Z yönlerinde otomatik ve rasgele bir şekilde kayma ve bozulmalara uğratılarak kırmızı renkte gösterilen sentetik hasarlı bina otomatik bir şekilde üretilmiştir. 17 Nolu bina gibi tüm rasgele seçilen binalar 3 yönde rasgele bir şekilde hasara uğratılmıştır. Bu işlem sonucunda yapay olarak üretilen sentetik nokta bulutlarının, deprem sonrası hasarlı veya yıkılmış nokta bulutlarını temsil etmesi amaçlanmıştır.

2.5. Bina Temsil Noktalarının (BTN) Üretilmesi

Tez kapsamında deprem sonrasında hasar gören binaların, bina maksimum yüksekliklerinin azalabileceği gerçekliğinden yola çıkılarak yükseklik esaslı otomatik bir algoritma üretilmiştir. Yükseklik esaslı hasar tespit algoritmasının temelini bina temsil

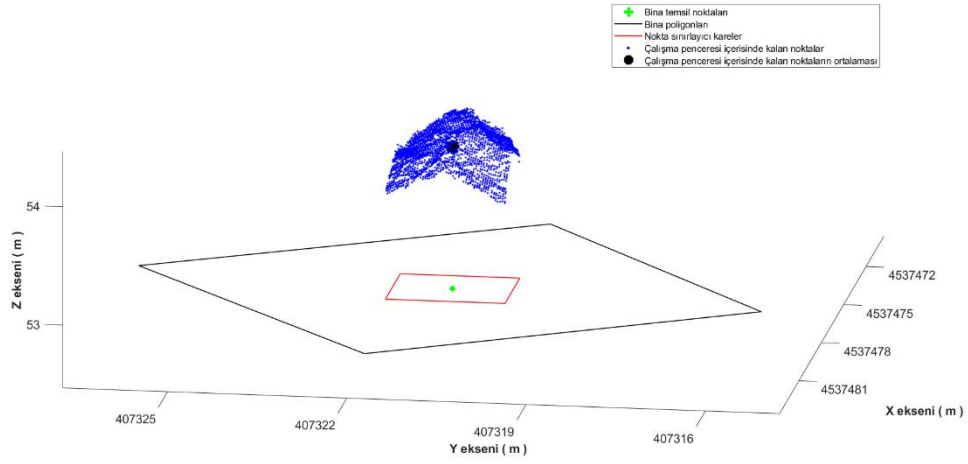
noktaları (BTN) olarak isimlendirilen özel noktalar oluşturmuştur. BTN fotogrametrik olarak üretilen kadastral haritalardan alınan bina poligonlarına dayalı olarak üretilmektedir. Elde edilen kadastral haritaların fotogrametrik olması çok önemlidir. Çünkü diğer kadastral haritalarda bina poligonlarının kotları binanın zemininden verilirken fotogrametrik olarak üretilen kadastral haritalarda bina poligon kotları (Z) çatı üzerinden verilmektedir. BTN, fotogrametrik kadastral haritalardan alınan bina poligonlarının X, Y ve Z koordinat ortalamalarının alınması sonucu elde edilen ve binayı temsil ettiği düşünülen ağırlık merkezidir. BTN her bina için otomatik bir şekilde üretilerek siyah renkli bina poligonları içinde gösterilmektedir. Bu bina temsil noktaları, yükseklik esaslı hasar tespit algoritmasında referans veri olacak şekilde kullanılarak binaların hasar durumunu belirlemeye yarayacak temel dayanak noktalarıdır. Üretilen algoritmanın temelini oluşturan BTN Şekil 13’de yeşil renkle gösterilmiştir.



Şekil 13. Tek bir binaya ait bina sınırları (siyah) ve BTN’nin gösterimi (yeşil)

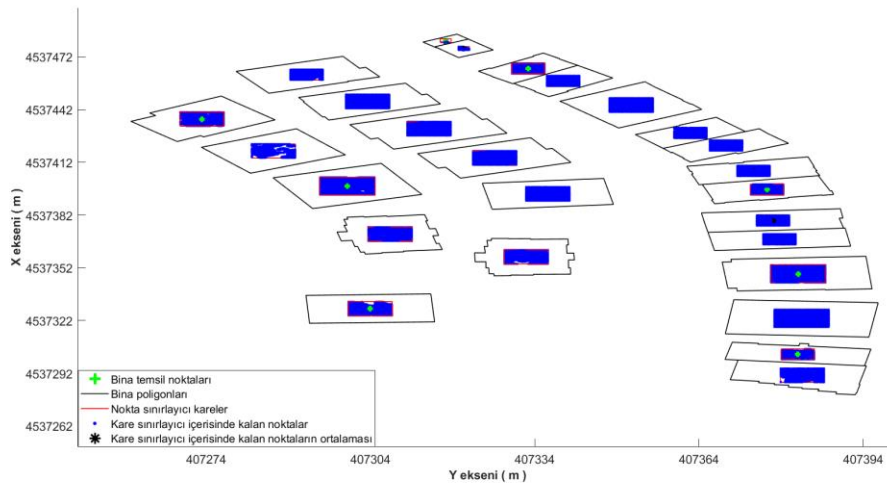
2.6 Bina Temsil Noktaları (BTN) Çevresindeki Noktaların 3B Nokta Bulutu İçerisinden Otomatik Tespiti

Tez kapsamında her bir bina için otomatik bir şekilde tespit edilen BTN belirlendikten sonra bu noktalara dayalı olarak Şekil 14’de kırmızı renkte gösterilen kare çalışma pencereleri üretilmektedir. Bu pencereler, BTN’yi merkez alarak farklı boyutlarda kare şeklinde otomatik üretilen nokta bulutu sınırlayıcılarıdır.



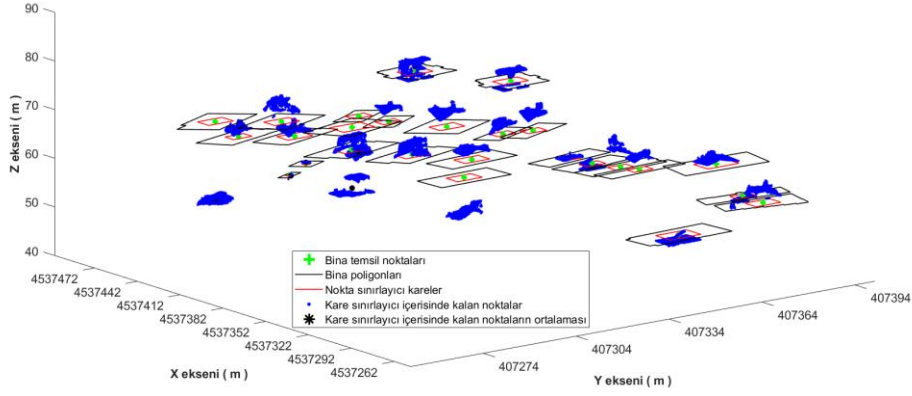
Şekil 14. Tek bir binaya ait çalışma penceresi (kırmızı kare) ve içinde kalan nokta bulutları (mavi)

Kare pencerelerinin boyutları, içerisinde bulunduğu bina poligonunun boyutlarına göre farklılaşmaktadır. Bina poligonlarının boyutları büyüdükçe kare sınırlayıcılarının da boyutları büyüyerek farklı boyutlarda kare sınırlayıcılar üretilmiştir. Farklı boyutlarda üretilen kare sınırlayıcıların amacı, deprem sarsıntısından etkilenen veya etkilenmeyen bina yapılarının üst kısmını daha iyi ifade edebilecek tüm noktaları seçebilmektir.



Şekil 15. Kare pencereler (kırmızı) ve içinde kalan noktalar (mavi)

Her binaya özel olarak üretilen kare sınırlayıcıların düşey boyutu sınırsızdır, bir başka ifade ile çalışma pencereleri iki boyutta kare sınırlayıcı içinde kalan tüm noktaları düşey yönden bağımsız olarak çıkartılmıştır. Her binaya ait kare sınırlayıcı içinde kalan tüm noktaların X, Y ve Z koordinat değerlerinin ortalaması alınarak deprem sonrası binaların veya enkazlarının en üstünü ifade edebilen yeni noktalar otomatik bir şekilde üretilmiştir. Şekil 16’de siyah renkle gösterilen bu noktalara yapı tespit noktaları (YTN) denilmiştir.



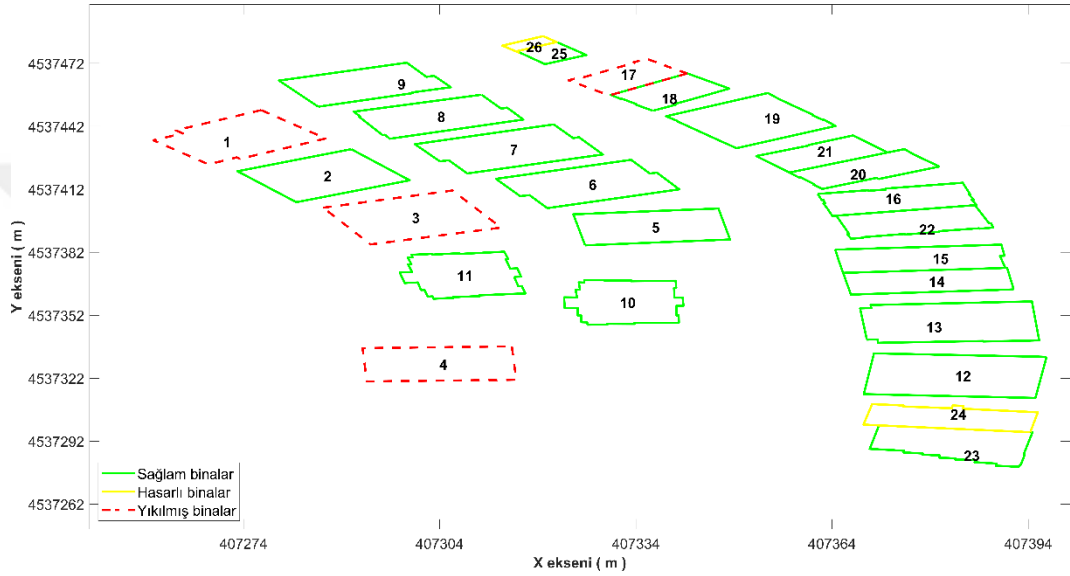
Şekil 16. Çalışma penceresi (kırmızı) ve bu alan içerisinde kalan noktaların ortalaması ile üretilen yapı tespit noktası YTN (siyah)

2.7. Yükseklik Esaslı Hasar Tespit Algoritması

Üretilen siyah renkli YTN (yapı tespit noktaları) ve yeşil renkli BTN (bina temsil noktaları)’nın Z değerleri kıyaslanarak, her binayı farklı bir hasar sınıfına dâhil eden yükseklik esaslı otomatik bir algoritma üretilmiştir. Bu algorithmada iki tane eşik değeri belirlenmiştir. Ardından her bina için bağımsız olarak hesaplanan $Z_{YTN} - Z_{BTN}$ farkına göre binaların hasar sınıflandırması otomatik bir şekilde yapılmıştır. Bu eşikler belirlenirken elde edilen bu farkın sağlam binayı temsil etme durumu temel dayanak noktası olmuştur. Bazı nokta bulutu hataları ve çatı üzerlerinde olup yüzeyi temsil etmeyen nesnelerden dolayı hesaplanan Z değerlerinde kaymalar olabilmektedir. Bu nedenle sağlam binalar için bir eşik değeri belirlenirken bu esas dikkate alınıp 1,5 m olarak belirlenmiştir. Bir (3 m) veya daha fazla katın çökmesi sonucu yıkılmış binalar oluşmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında 4,5 m’lik farktan fazla olan fark durumundaki binalar otomatik bir şekilde yıkılmış binalar olarak sınıflandırılmıştır. Herhangi bir bina için bağımsız olarak belirlenen bu fark, birinci eşikten (1,5) küçük ise sağlam bina, birinci (1,5) ve ikinci eşik (4,5) arasında ise hasarlı bina

ve ikinci eşikten (4,5) büyük ise yıkılmış bina olarak, binaların deprem sonrasındaki hasar durumlarını ifade eden bir yöntem üretilmiştir. Bu değerlendirmenin sonucuna göre her bir binayı 2B olarak temsil eden bina poligonları Şekil 17’de gösterildiği gibi sağlam bina poligonlarını yeşil, hasarlı bina poligonlarını sarı ve yıkılmış bina poligonlarını kırmızı renkle temsil eden hasar durum haritası otomatik bir şekilde üretilmiştir.

Yükseklik esaslı hasar tespit algoritması kullanılarak deprem sonrası yükseklik olarak değişime uğramış özellikle yıkılmış binaların tespitinde başarılı sonuçlar elde edildiği

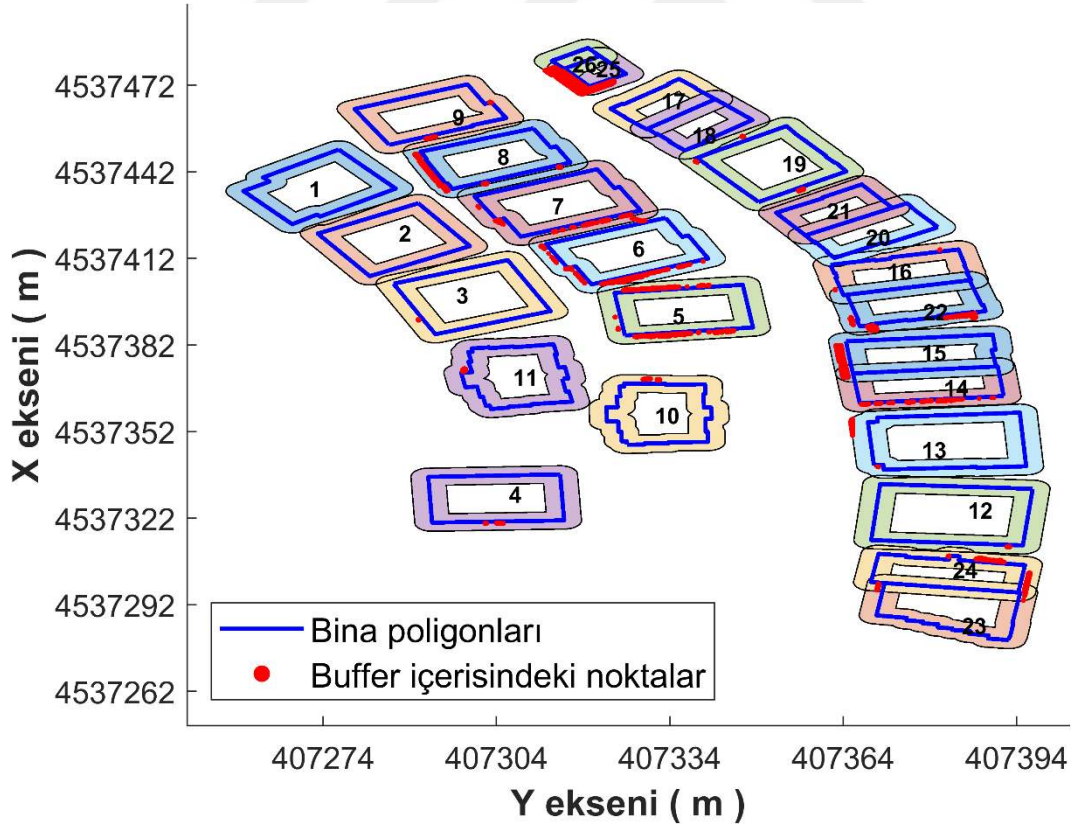


Şekil 17. Sağlam binalar (yeşil), hasarlı binalar (sarı) ve yıkılmış binalar (kırmızı)

görülmüştür. Ancak bazı binalarda deprem sonrası gerçekleşen X ve Y yönünde eğilme ve kaymalar yükseklik esaslı hasar tespit yöntemi tarafından algılanamamaktadır. Bir başka ifade ile deprem öncesi binaların maksimum yükseklikleri ile deprem sonrası yapıların maksimum yükseklik değerleri arasında belirlenen eşik değeri üstünde bir fark olmadığından, az hasar gören binaların deprem sonrası yükseklik esaslı hasar tespit kodunda belirlenebilmesi olanaksızdır. Bu şekilde yükseklik esaslı algoritma tarafından tespit edilemeyen hasarlı binaların belirlenmesinde buffer esaslı hasar tespit algoritması önerilmiştir.

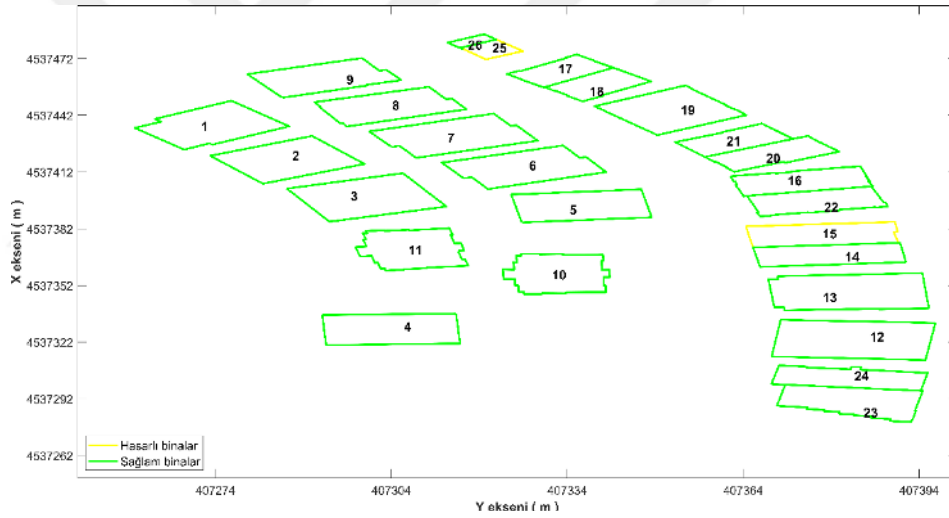
2.8. Buffer Esaslı Hasar Tespit Algoritması

Tez kapsamında önerilen yükseklik esaslı hasar tespit yönteminde tespit edilemeyen hasarlı binaların tespitini yapmaya çalışan ikinci bir yöntem üretilmiştir. Bu yöntemde yükseklik farkı olarak eşik değerinin altında kalan ancak X ve Y eksenleri boyunca kaymalara ve eğilmelere maruz kalan hasarlı binaları tespit etmek amaçlanmıştır. Yüksekliği değişmemiş veya az değişmiş sadece eğilerek hasar görmüş binalar da deprem sonrasında mevcut olabilmektedir. Ancak bu şekilde hasara uğrayan binalar yükseklik esaslı yöntem tarafından tespit edilememiştir. Kayma ve eğilme şeklinde hasara uğrayan bina veya yapıların deprem sonrasında üretilen nokta bulutlarında, kadastral haritalardan alınan bina poligonundan taşmalarının mevcut olduğu ve bu durumun, bu hasar türünü tespit etmede ayırt edici özellik olabileceği öngörülmüştür. Bundan dolayı binaların poligonları etrafına atılan buffer sayesinde bu tür hasara uğramış binaların tespiti otomatik bir şekilde yapılmıştır. Buffer esaslı algoritma Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Bina poligonlarının etrafındaki 3 boyutlu buffer içerisinde kalan noktaların gösterimi

Üretilen buffer yöntemi, bina poligonlarının etrafına atılan 3B buffer içinde nokta olup olmadığını araştıran bir algoritmadır. Bu algoritmadaki temel mantık, bina eğilmiş ise bu bina bufferının içinde yoğun nokta kümesinin olduğu, sağlam binaya ait buffer içinde ise hiçbir nokta kümesinin olmaması gerektiği esasına dayanmaktadır. Şekil 18’ de görüldüğü gibi mavi poligonlar kadastral veriden alınan bina poligonlarını göstermektedir. Bu bina poligonlarının etrafına atılan renkli alanlar binaların 3 boyutlu bufferları temsil etmektedir. Bu bina poligonlarının etrafına atılan bufferın boyutu 3 metre olarak belirlenmiştir. Ancak asıl araştırılması gereken bölge, bina poligonlarının dışındaki buffer içerisinde kalan alandır. Bu alan da 3 metre olarak ayarlanmıştır. Şekil 18 incelendiğinde 15 ve 25 numaralı poligonlarının etrafındaki buffer içerisinde yoğun nokta olduğu (kırmızı nokta) görülmektedir. Bina poligonlarının etrafındaki bufferlar içerisinde yoğun nokta olan bina poligonlarının, eğilmiş ve hasar görmüş olarak otomatik tespiti yapılmıştır.

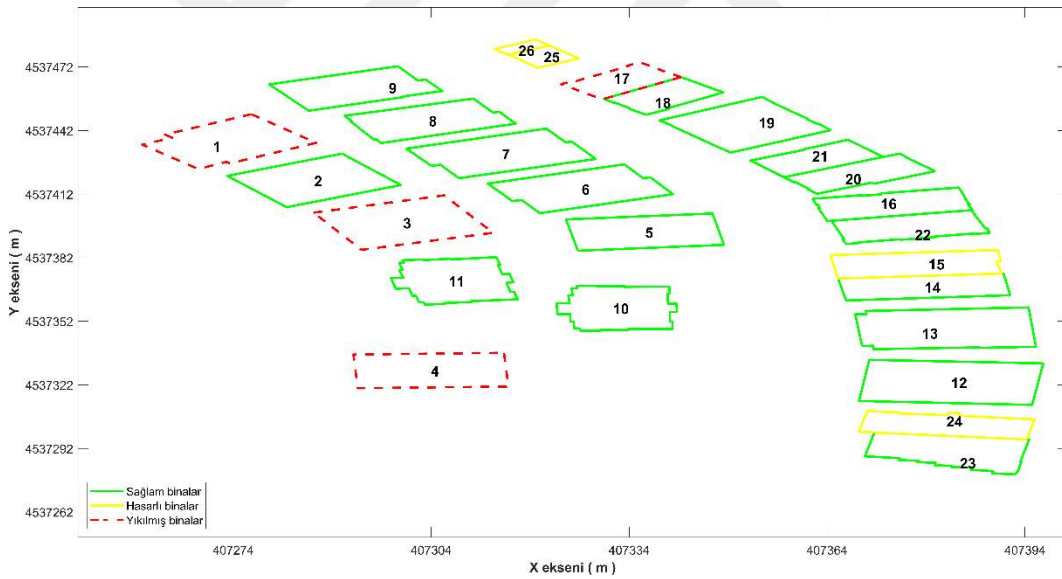


Şekil 19. Sağlam binalar (yeşil) ve hasarlı binalar (sarı)

Buffer esaslı algoritma sonucunda genişletilen bina poligonları etrafına atılan 3 metrelik buffer içinde kalan noktaların yoğunluklarına göre yana eğilmiş binaların otomatik tespiti yapılarak deprem sonrası buffer esaslı bina hasar durum haritası üretilmiştir. Üretilen bu durum haritasında Şekil 19’da görülen 15 ve 24 numaralı binaların yana eğilmiş binalar, bir başka ifade ile deprem sonrasında az hasarlı binalar olduğu görülmektedir. Binaların kendi bufferları içerisinde kalmış nokta bulutu yoğunlukları değerlendirilerek otomatik bir şekilde bina hasar haritasını oluşturan bir yöntem, deprem sonrasında muhtemel olabilecek ve yükseklik esaslı hasar tespit algoritmasının bulamadığı az hasarlı binaların tespiti otomatik bir şekilde yapılmıştır.

3. BULGULAR

Deprem sonrasında üretilen nokta bulutu ve çalışma alanının kadastral verileri kullanılarak deprem yaşanmış bir yerdeki hasarlı ve yıkılmış binaların tespitini amaçlayan iki farklı algoritma üretilmiştir. Geliştirilen bu iki farklı yönteme göre iki tane bina hasar durum haritası elde edilmiştir. Üretilen iki farklı bina hasar durum haritaları birlikte değerlendirilerek deprem alanındaki binaların hasar durumlarını en doğru şekilde gösteren, deprem sonrası bina hasar durum haritası otomatik ve kısa sürede üretilerek, gerekli tüm çalışmalara özellikle de deprem sonrası kurtarma çalışmalarına yön ve hız verebilmesi için oluşturulması amaçlayan bir yöntem geliştirilmiştir. Şekil 20’de gösterilen bina hasar durum haritasında 1, 3, 4 ve 17 numaralı binaların yıkılmış bina, 15, 24, 25 ve 26 numaralı binaların ise hasar görmüş binalar olduğu görülmektedir.



Şekil 20. Sağlam binalar (yeşil), hasarlı binalar (sarı) ve yıkılmış binalar (kırmızı)

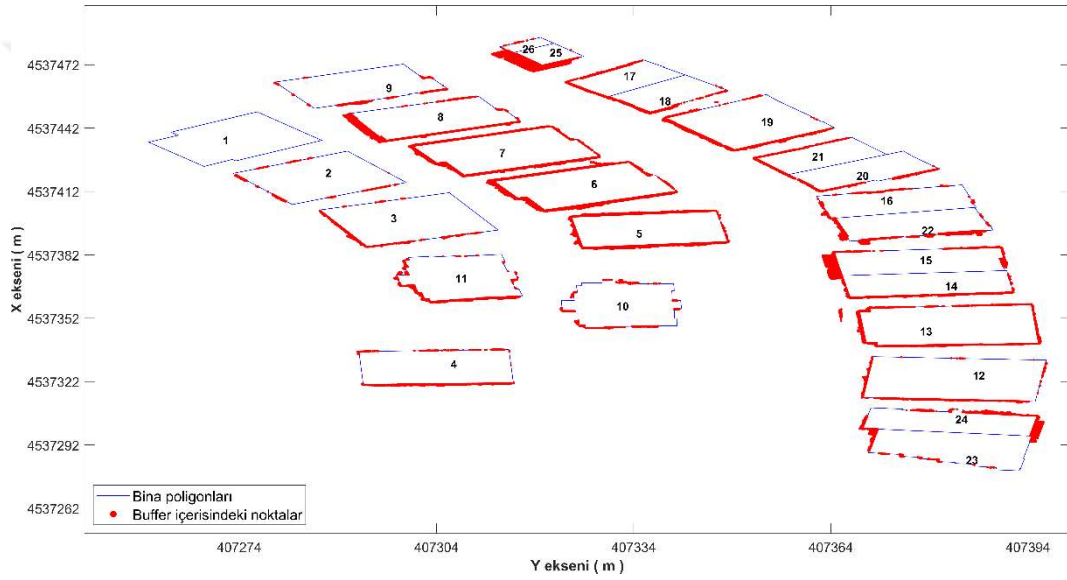
Deprem sonrasında üretilmiş bir 3B nokta bulutu mevcut olmadığından MATLAB ortamında rasgele seçilen bazı binalara yapay hasarlar verdirilerek deprem sonrasına ait 3B nokta bulutu verisi üretilmiştir. Ardından, otomatik bir şekilde yapay hasara uğratılan binaların tez çalışması kapsamında üretilen algoritma sayesinde hasarlı bina ve yıkılmış bina tespiti yapılmıştır. Bu çalışma ile hasarlı veya yıkılmış binaların hızlı bir şekilde tespiti yapılarak deprem sonrasında müdahale çalışmalarına yön gösterebileceği düşünülmektedir.

Ancak bazı durumlarda bina çatılarının üzerlerindeki farklı eklentiler yükseklik esaslı algoritma tarafından sorunlara neden olmaktadır. Bu gibi sorunlar deprem sonrası yıkılmış binaların tespitinde yanlış değerlendirmelere neden olabilmektedir. Ancak yapılan çalışmada bu gibi hatalar en aza indirilmiştir ve sonuç doğruluğunun yüksek çıktığı görülmüştür.

Yükseklik esaslı algoritma tarafından deprem sonrasında yükseklik olarak azalan yıkılmış binaları tespiti yapılmıştır. Ancak bazı binaların depremden dolayı X ve Y yönlerinde kayma ve eğilmelere neden olduğu için yükseklik esaslı algoritmada tespit edilemediği görülmüştür. Bundan dolayı bu binaların buffer esaslı algoritma ile tespiti yapılmıştır. Bu yöntemde eğilen binaların, fotogrametrik poligon etrafındaki 3 m'lik buffer içinde yoğun nokta bulutu olabileceği esastan yola çıkılarak tespit edilebilecekleri öngörülmüştür. Bu sayede eğilen binaların tespiti otomatik bir şekilde yapılmıştır. Ancak bazı durumlarda her poligona ait buffer içinde o binaya ait ilgisiz nokta bulutunun olduğu görülmüştür. Bu ilgisiz noktalar eğik çatılı binalarda, bina saçaklarındaki nokta bulutları iken, düz çatılı binalarda ise bina yan cepheleridir. Ayrıca nokta bulutu üretiminden kaynaklanan hatalar nedeniyle bazı bina çatılarının etrafında ve o yükseklikte ilgisiz noktaların varlığı görülmüştür. Bu alakasız noktalar, ilgili binaların bufferları içerisinde tespit edilerek, o binanın hatalı sınıflandırılmasına yol açmaktadır. Bu hatalar da bina poligonlarının 75 cm genişletilmesi ile büyük oranda ortadan kaldırılmıştır. Bu sonuçlar ile deprem sonrasında hasarlı ve yıkılmış binaların %96,15 doğruluk oranı ile tespiti çok kısa sürede yapılmıştır. Bu çalışma ile deprem sonrasında hasar gören binalar kısa sürede ve otomatik bir şekilde tespit edilebileceği görülmüştür.

4. TARTIŞMA

Buffer yönteminin ilk değerlendirilmesinde istenmeyen sonuçlar elde edilmiştir. Yapay olarak rasgele bir şekilde belirlenip X, Y ve Z yönlerinde rasgele ve otomatik bir şekilde hasarlar verdirilerek 3, 4, 8, 15, 17, 24, 25 ve 26 numaralı yapay hasarlı binalar üretilmiştir. Buffer esaslı algoritma sonucunda sadece yapay olarak hasara uğratılan bu binaların bufferları içerisinde yoğun noktaların olması gerekmektedir. Sonuç olarak sadece bu bina poligonlarının hasarlı veya yıkılmış olması beklenmektedir.

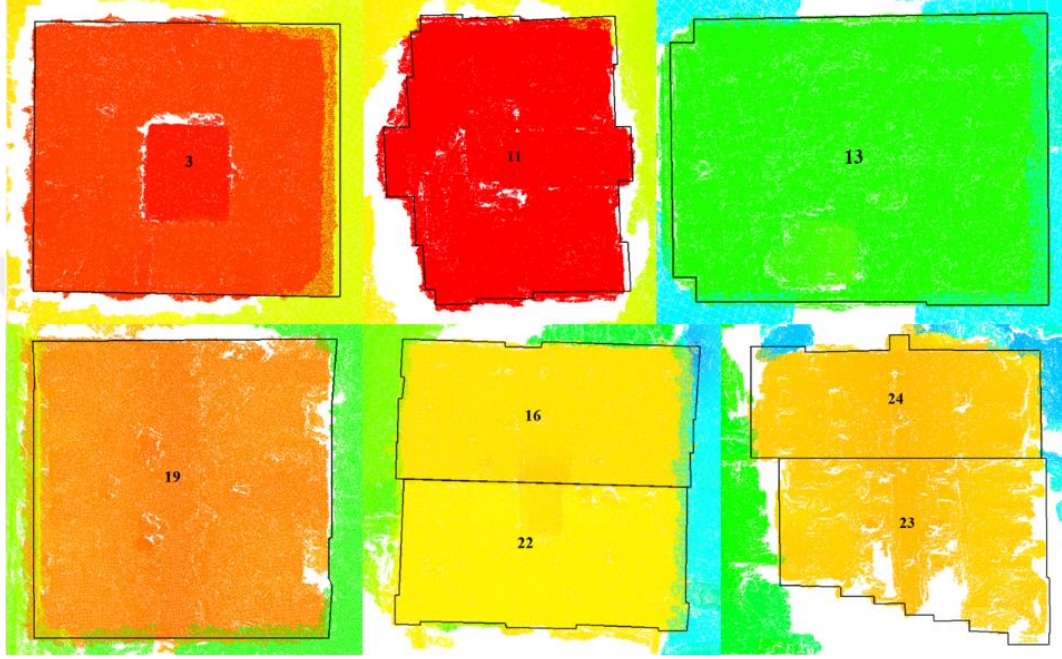


Şekil 21. Bina poligonları (siyah) ve buffer içinde kalan nokta bulutları (kırmızı)

Ancak Şekil 21 incelendiğinde bu binaların dışındaki sağlam binaların bufferları içerisinde de yoğun kırmızı noktaların olduğu görülmüştür. Bu sağlam bina bufferlarının etrafındaki yoğun kırmızı noktalar bu binaların hatalı olarak hasarlı sınıfa atanmasına neden olduğu için üretilen buffer esaslı deprem sonuç haritasının doğruluk oranını düşürmüştür.

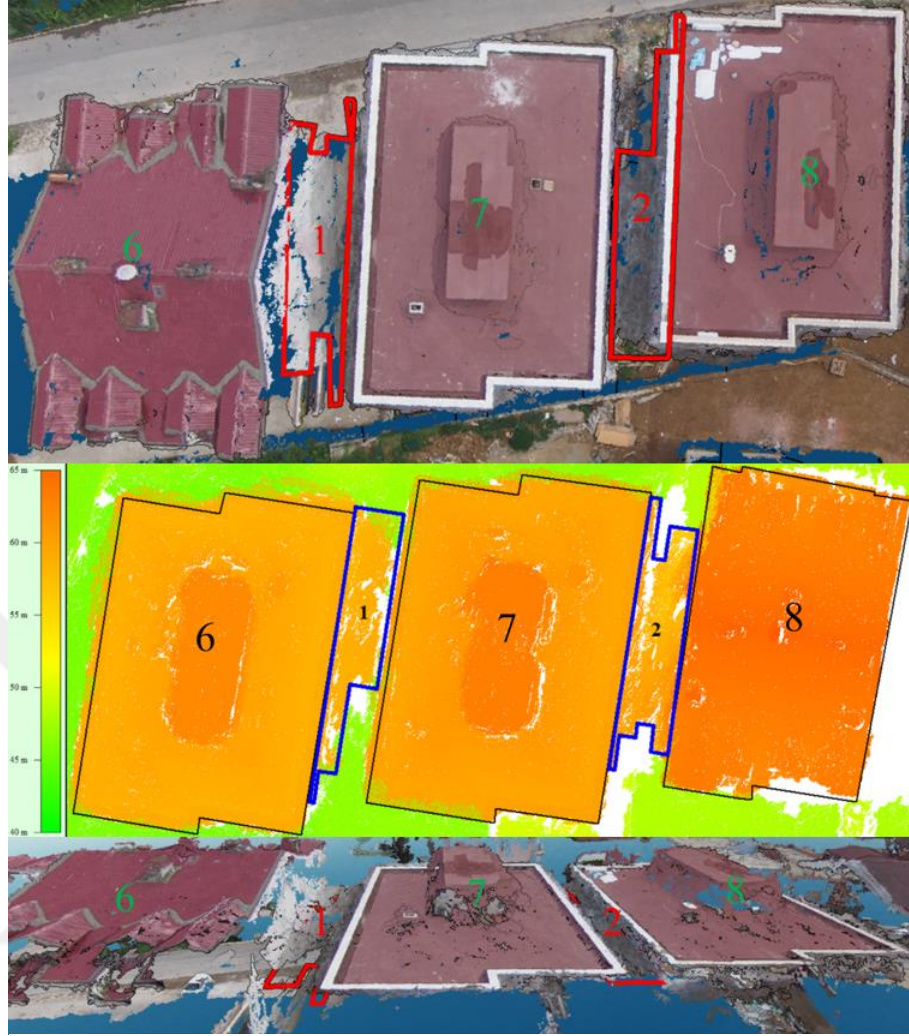
Çalışma alanının nokta bulutları yükseklik esaslı olarak renklendirilmiştir. Bu renklendirilmiş nokta bulutlarının ve bina poligonlarının ekran görüntüleri Şekil 22’de gösterilmiştir. Bu renklendirilmiş nokta bulutları incelendiğinde bina poligonlarının dışında olup çatı yüksekliğindeki noktaların varlığı görülmüştür. Bu noktalar buffer esaslı

algoritmada tarafından bina bufferlarının içerisinde tespit edilmiştir. Sağlam binaların etrafında tespit edilen bu noktaların yoğunluğundan dolayı bu binalar hasarlı olarak sınıflandırılmıştır. Ancak bu nokta bulutları sağlam binaların yan cephelerinin ya da bina çatı saçaklarının nokta bulutları olduğu için hasarlı veya eğrilmiş bir binayı temsil etmediği anlaşılmıştır.



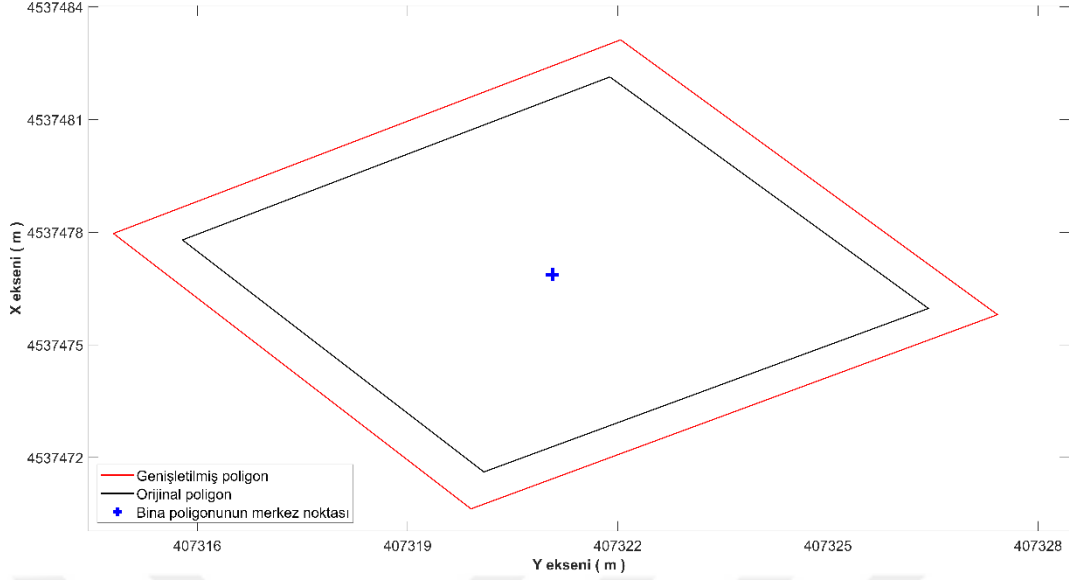
Şekil 22. Bina poligonlarının etrafında bina çatısıyla benzer yükseklikteki bina saçak ve yan cephe noktalarının gösterimi

Ayrıca nokta bulutları daha detaylı bir şekilde incelendiğinde bina çatılarının yakınında ve bina çatı yüksekliklerine yakın noktaların olduğu gözlemlenmiştir. Bu hatalı noktalar nokta bulutu üretiminden kaynaklanmıştır. Şekil 22’de gösterilen bina poligonlarının etrafındaki bina çatı yükseklikleri ile aynı yükseklikte olan ve bina poligonlarının dışında kalan noktalar hatalı olarak üretilen noktalardır. Bu noktaların yükseklikleri incelendiğinde, yakınındaki bina çatı yüksekliklerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu yanlış noktalar bina poligon bufferlarında tespit edileceği için binaların hatalı olarak hasarlı sınıflandırılmasına ve sonuç doğruluk oranının düşük olmasına neden olmuştur.



Şekil 23. Bina poligonlarının etrafında, çatı yüksekliklerine yakın ve nokta bulutu üretimindeki hatalardan türeyen yanlış nokta kümelerinin 2D ve 3D gösterimi

Nokta bulutu üretim aşamasından kaynaklanan hatalardan dolayı üretilen bu hatalı noktaların ortadan kaldırılması için nokta bulutu üretim doğruluğunun artırılması gerekmektedir. Ancak bu durumda da hasar tespit yönteminin doğruluğunu yükseltmek amaçlanmıştır. Bundan dolayı özellikle saçak ve yan cephelerin buffer esaslı algoritmadaki bufferların içerisinde olmasından kaynaklanan hataları en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için bina poligonlarının genişletilmesi öngörülmüştür.

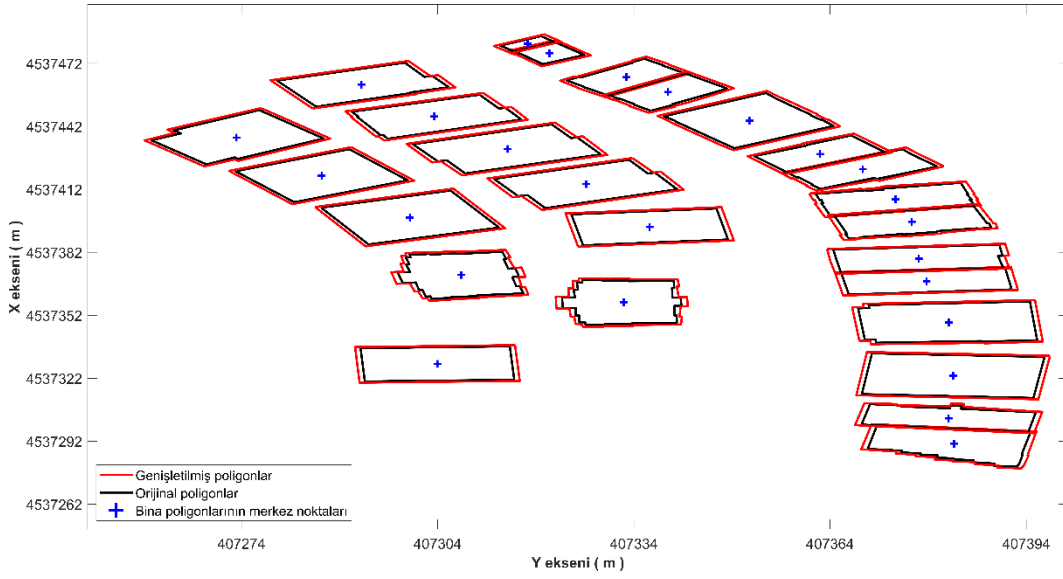


Şekil 24. Üretilen algoritma ile 25 nolu bina poligonunun genişletilmiş (kırmızı) ve orijinal gösterimi (siyah)

Kadastral verilerden alınan bina poligonlarının istenilen boyutta genişletilmesi için MATLAB’da bir algoritma yazılmıştır. Bu algoritmanın temeli bina poligonlarının geometrik merkez noktalarına dayandırılmıştır. Tüm bina poligonlarının merkez koordinatları “centroid” komutu ile türetilmiştir. Ardından bir poligonun, her kırık noktası ile merkez noktası arasında oluşan kırık noktası kadar doğru denklemi oluşturulmuştur. Poligonun herhangi bir kırık noktasının doğru denklemi ve iki nokta arasındaki mesafe denklemlerinin birlikte çözülmesi sonucu bu doğrultu üzerinde olan iki yeni nokta üretilmiştir. Bu noktalardan poligonun dışında olanların birleştirilmesi sonucu bir poligon istenilen boyutta genişletilmiş olacaktır. Bir binaya ait olan orijinal ve genişletilmiş poligon Şekil 24’de gösterilmiştir. Ancak üretilen yeni bina poligonlarının kenarları, doğru normalleri doğrultusunda aynı miktarda genişlemediği görülmüştür. Bunun merkez eksenli oluşturulan doğrulardan kaynaklandığı bilinmektedir. Ancak hasar tespit algoritması için gerekli olan genişletme oranı ve doğruluğu elde edilmiştir. Bina yan cephelerinden ve saçaklarından kaynaklarına noktaların bina bufferları dışında bırakılması için önerilen bu çözüm yöntemi başarılı olduğu görülmüştür.

Bu hatalardan kaynaklanan sorunu ortadan kaldırılabilmesi için MATLAB programında üretilen matematiksel bir algoritma ile kadastral haritadan alınan bina poligonları otomatik bir şekilde 75 cm genişletilmiştir. Seçilen bu genişlik oranı, 6787 sayılı İmar Kanununda belirtilen belediye sınırlarındaki bina saçak ve çıkıntı mesafelerinin maksimum genişliği 75 cm olabilir ifadesine dayandırılmıştır (URL-3, 2022). Aynı zamanda

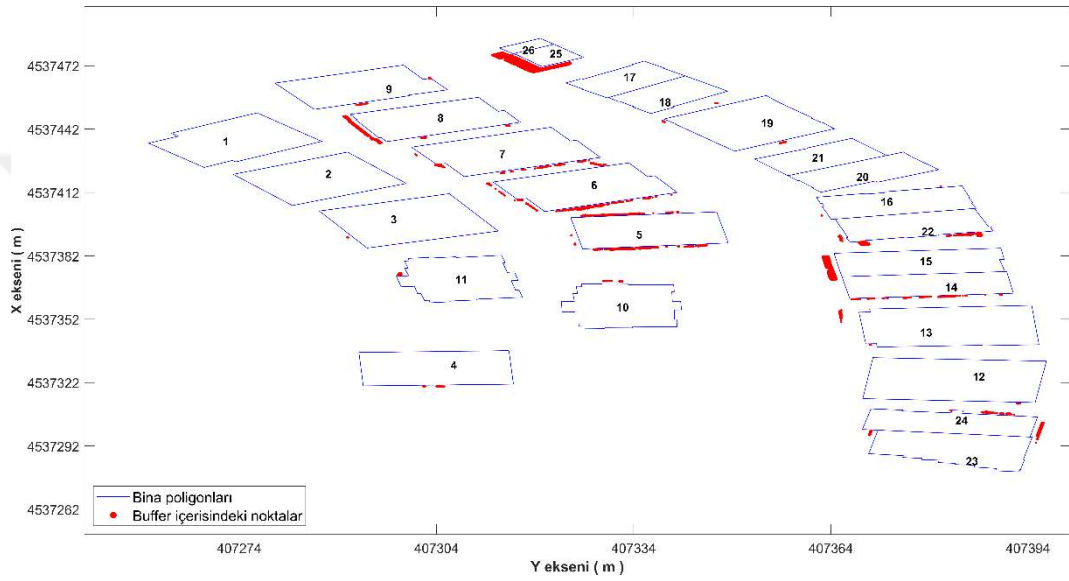
bu saçak ve çıkıntılar 75 cm'den daha fazla olması durumunda payandalar ile desteklenmesi gerektiğinden şehirlerde bu tarz binaların fazla olmadığı görülmektedir. Ayrıca bu payanda veya kolonların kadastral verilerde işlenerek, bina poligonlarını üretirken dikkate alındığı bilinmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı sağlam bina bufferları içerisinde saçak ve çıkıntılarının neden olduğu yanlış noktaları ortadan kaldırmak için bina poligonları 75 cm genişletilmiştir. Bu amaçla üretilen yeni poligonlar ve orijinal poligonlar Şekil 25'de gösterilmiştir.



Şekil 25. Bina poligonları (siyah) ve genişletilmiş bina poligonları (kırmızı)

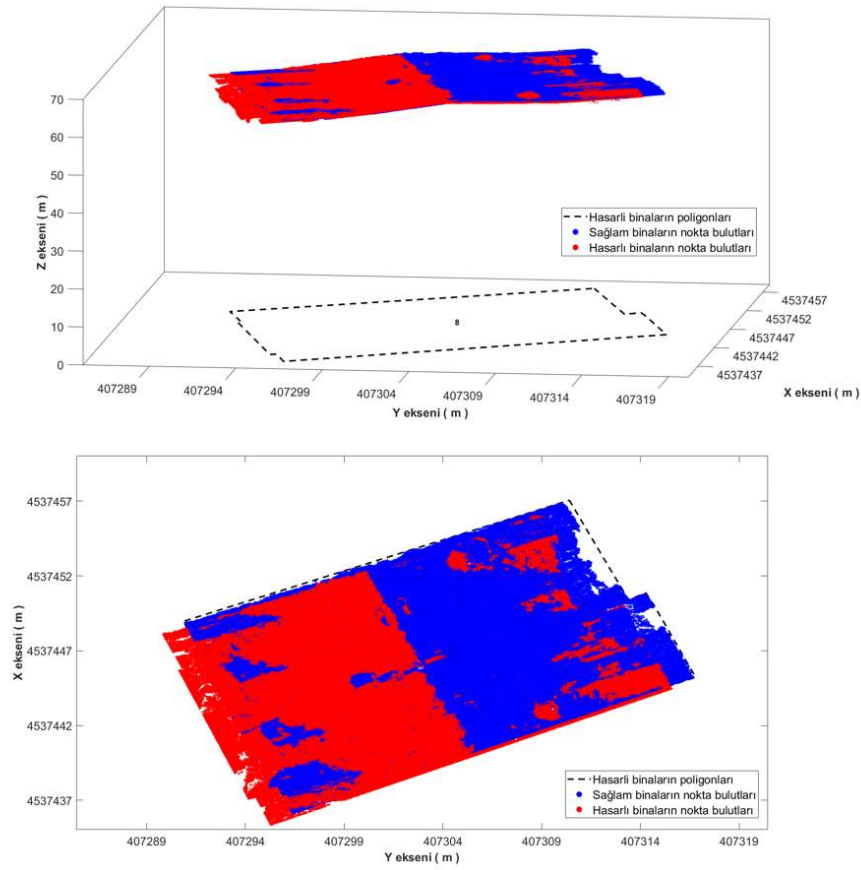
Genişletilerek üretilen yeni poligonlar ile daha önceden hatalı tespit edilen nokta bulutlarının azaldığı görülmüştür. Genişletilen bina poligonlarının etrafına atılan 3 m genişliğindeki buffer içerisinde kalan noktaların hasarlı binaları temsil etme gücü yükselmiştir. Bu sayede deprem sonrasında yana eğilmiş binaların tespitinde daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 26 incelendiğinde 15 ve 25 numaralı bina bufferlarının içerisinde yoğun kırmızı noktaların olduğu görülmektedir. Bu yoğun kırmızı nokta bulutları binaların yana eğilmiş binalar olduğunu ve hasarlı sınıfına dâhil olması gerektiğini göstermektedir. Şekil 26'daki diğer binalar incelendiğinde ise buffer içerisinde çok az miktarda kırmızı noktanın olduğu ve bu binaların sağlam binalar sınıfına seçilmesi gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak genişletilen bina poligonlarına dayalı olarak üretilen buffer algoritması ile binaların hasar sınıflarına otomatik bir şekilde karar verilmektedir. Ayrıca bina etrafındaki buffer içi kırmızı nokta yoğunlarının olduğu yöne göre, binaların hangi yöne doğru eğildiğini ve hangi yollara zarar verebileceği otomatik bir şekilde tespit edilebilmektedir. Bu sonuca göre deprem sonrasında kurtarma çalışması yapacak ekiplere yardımcı olmak ve hızlı müdahale şansı tanımak adına etkili bir yöntem olduğu düşünülmektedir.



Şekil 26. Bina poligonları (mavi) ve buffer içinde kalan nokta bulutları (kırmızı)

Yapılan uygulamada 8 numaralı binaya yapay olarak hasar verdirilmiştir. Bu binanın orijinal (mavi) ve hasara uğratılmış (kırmızı) nokta bulutu Şekil 27’de gösterilmiştir. Ancak bu bina algoritma tarafından tespit edilememiştir. Yapılan incelemede bu binanın yatay ve düşey doğrultudaki kayma miktarları hem yükseklik esaslı algoritma hem de buffer esaslı algoritma tarafından algılanamayacak kadar az olduğu görülmüştür. Ancak bu tez kapsamında yapılan uygulamanın eksikliğinden ziyade yapay olarak hasar verdirilen miktarın otomatik bir şekilde az çıkmasından kaynaklanmaktadır. Üretilen hasar tespit algoritması yapay olarak hasar verdirilen diğer tüm binaları doğru bir şekilde tespit edebilmiştir. Bu nedenle üretilen algoritma ile çalışma alanında yapılan uygulamanın deprem sonrasında mevcut olabilecek tüm geometrik değişikliklere karşı duyarlı olduğu, hasarlı ve yıkılmış binaları %96,15 doğruluk oranı ile tespit edebildiği görülmüştür.



Şekil 27. Yapay hasara uğratılan 8 numaralı bina nokta bulutu (kırmızı) ile orijinalinin (mavi) 2B ve 3B gösterimi

Yapılan tez çalışmasının önemli bir parçası fotogrametrik kadastral haritalardır. Bu haritalardaki bina poligonlarının güncel olması hasar tespit uygulamasının doğruluk oranını direkt etkilemektedir. Yapılan çalışma tek zamanlı olarak deprem sonrasında alınan görüntüler üzerinden üretilen nokta bulutu ve güncel kadastral haritaların birlikte kullanılması esasına dayanmaktadır. Bir başka ifade ile kadastral haritalardaki bina poligonları algoritma için referans veri olarak kullanılmıştır. Bu nedenle bu verilerin güncel ve doğru olması hasar gören veya yıkılan binaların doğruluk oranını etkilemektedir. Yapılan uygulamadaki çalışma alanında 1 numaralı binanın kadastral haritalarda bina poligonunun mevcut olduğu ancak deprem sonrasında üretilen bina nokta bulutunun mevcut olmadığı görülmüştür. Bu durumda bu bina yıkılmış bir binayı temsil etmektedir. Tez kapsamında geliştirilen algoritma ile otomatik bir şekilde 1 numaralı bina yıkılmış bir yapı olarak tespit edilebilmiştir. Bu yapılan çalışmamın gerçek verilerdeki başarısını gösterirken aynı zamanda kadastral verilerin güncel olmasının ne kadar önemli olduğunu da göstermektedir. Aşağıdaki

28 numaralı şekilde 1 numaralı binanın poligonu (turuncu) ve o alanda üretilen 3B nokta bulutu gösterilmiştir.



Şekil 28. 1 numaralı binanın poligonu (turuncu) ve poligon alanında üretilen 3B nokta bulutu

4.1. Doğruluk Analizi Sonuçları

Bu tez kapsamında belirlenen çalışma alanında binaların bazılarının rasgele seçilmesi ve bu binalara X, Y ve Z yönlerinde rasgele hasarların verdirilmesi sonucu yapay hasarlı sentetik veriler üretilmiştir. Sentetik veri üretilerek deprem sonrası hasarlı sahnenin yansıtılması amaçlanmıştır. Bu şekilde üretilen yapay hasarlı binalar, önerilen algoritma ile otomatik bir şekilde tespit edilmiştir. Önerilen bu algoritmanın doğruluk oranını bulmak için Ordu ilinden bir test alanı seçilmiştir. Seçilen bu test alanı 26 bina içermektedir. Bu binaların 8 tanesi üretilen algoritma ile rasgele seçilip otomatik bir şekilde 3 boyutlu hasara uğratılmıştır. Bu binalardan 7 tanesi otomatik bir şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca kadastro haritalarının güncel olmamasından dolayı 1 numaralı bina yıkılmış ancak bina poligonu iptal edilmemiştir. Bu yüzden yapay olarak bozulmamasına rağmen bina mevcut olmadığından hasar tespit algoritması tarafından otomatik bir şekilde yıkılmış olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak tez kapsamında önerilen yöntem ile 8 tane bina hasarlı ve yıkılmış olarak tespit edilmiştir. Tablo 1’de kırmızı renkle gösterilen 8 numaralı binanın yapay olarak hasarlı

ancak önerilen algoritma tarafından bulunamadığını gösterilmiştir. Bu binaya üretilen algoritma ile otomatik bir şekilde 3 yönde hasar verdirilmiştir. Ama hasar miktarları eşik değerlerinin altında olduğu için iki algoritma tarafından da tespit edilemediği görülmüştür. Deprem sonrasında hasar gören binaların tespitinde, doğruluk oranı %96,15 olarak bulunmuştur. Ayrıca Tablo 1’de daha detaylı olarak hangi binaların hasar gördüğü ve hangilerinin tespit edilemediği gösterilmiştir.

Tablo 1. Ordu çalışma alanındaki hasarlı binaların tespitinin doğruluk oranı

DOĞRULUK ANALİZİ					
Çalışma Alanı				Önerilen Algoritma	
Tüm Bina Sayısı	26	Hasarlı Bina Sayısı	9	Tespit Edilen Hasarlı Bina Sayısı	8
		Sağlam Bina Sayısı	17		
Bina no		Referans bina durumu		Tespit edilen hasarlı bina durumu	
1		1		1	
2		0		0	
3		1		1	
4		1		1	
5		0		0	
6		0		0	
7		0		0	
8		1		0	
9		0		0	
10		0		0	
11		0		0	
12		0		0	
13		0		0	
14		0		0	
15		1		1	
16		0		0	
17		1		1	
18		0		0	
19		0		0	
20		0		0	
21		0		0	
22		0		0	
23		0		0	
24		1		1	
25		1		1	
26		1		1	
				Doğruluk Oranı	96.15

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışması kapsamında üretilen yöntem ile deprem sonrasında hasar gören veya yıkılan binaların tespiti, hızlı ve yüksek doğrulukta yapabilen bir yöntem literatüre kazandırılmıştır. Literatürde mevcut olan birçok yöntemde elde edilen sonuçlar deprem sonrasında çok zaman alabilirken, bazılarında ise hasar tespit doğruluk oranı yeterli değildir.

Bu yöntem sayesinde, depremden sonra üretilen bir nokta bulutu ile hasarlı veya yıkılmış binalar hızlı bir şekilde tespit edilebilmiştir. Yöntemde görüldüğü gibi deprem sonrasında hasara uğrayan veya yıkılan binaların tespitinde geometrik değişikliklere dayalı olarak geliştirilen yöntemlerin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışmada binaların 3 boyutta değişen kısımlarının tespit edilip yorumlanması sonucu, hasarlı ve yıkılmış binaların tespitini %96.15 doğruluk oranı ile yapabilen bir yöntem üretilmiştir.

Deprem sonrası hasarlı bina tespitinde uydu görüntülerine dayalı olarak geliştirilen birçok yöntemde hasar tespiti için kullanılan sınıflandırma algoritmaları (SVM, RF, AdaBoost) eğitim verilerine ihtiyaç duyduğu için zaman kayıplarına neden olabileceği belirtilmektedir. Ancak önerilen çalışmada bu gibi eğitim verilerine ihtiyaç duymadan hızlı bir şekilde çözüm üretebilmiştir. Ayrıca yurtdışında yapılan birçok çalışmada test alanı olarak seçilen bölgelerin kentsel düzeni ve bina yapıları düzenli iken özellikle Türkiye'nin birçok bölgesinde daha karmaşık ve gecekondü bina yapılarının olması hasar tespit algoritmaları için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu bina yapılarının çeşitliliği ve karmaşıklığı hasar tespit doğruluğunun düşmesine neden olmaktadır. Ancak tez kapsamında sadece deprem öncesi kadastral veriler ve deprem sonrası nokta bulutuna dayalı olarak üretilen yöntem ile çok kısa sürede ve yüksek doğruluk oranı ile deprem bölgesinde hasarlı veya yıkılmış binaların tespiti yapılabilmektedir.

Önerilen yöntemde deprem sonrasında hasar gören veya yıkılan binaların tespiti hızlı bir şekilde yapılabilirken bazı sorunlar yanlış sonuçlara neden olabilmektedir. Deprem yaşanan bölgelerdeki kadastral verilerin güncel olmaması veya kadastral alandaki binalarda kaçak yapıların olması deprem sonrasındaki hasar tespitinde sorunlara neden olabileceği açıkça görülmüştür. Bu nedenle kadastral verilerin doğruluğu ve nokta bulutu verilerinin

özellikle düşey doğruluklarının yüksek olması sonuç çıktılarını olumlu yönde etkilemektedir.

Bu çalışma da amaçlanan önemli nokta deprem sonrasında hasar gören veya yıkılan binaların yüksek doğrulukta ve hızlı bir şekilde tespitinin yapılmasıdır. Elde edilen sonuçlarla birlikte deprem sonrası kurtarma çalışmalarını yönlendirmek ve can kayıplarını azaltmak mümkün olabilecektir. Deprem gibi doğal afetlerin önceden tahmin edilebilmesi mümkün değildir ancak felaket meydana geldikten sonra müdahale çalışmalarını hızlı yapmak mevcut durumdaki en iyi çözümdür. Bu konuda önerilen yöntemin etkili olacağı düşünülmektedir.

Elde edilen veriler ile yıkılan veya hasar gören binaların enkaz kalıntılarının toplam miktarının hesaplanması mümkündür. Bu enkaz kalıntılarının verebileceği toplam hasarın tespiti yapılabilir. Yıkılan veya hasar gören bina enkazlarının toplamı ve hangi yöne doğru olduğu tespit edilerek hangi yolların kapanabileceğini otomatik bir şekilde tespit edebilen yöntemlerin geliştirilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca tespit edilen bu sonuçlar ile hasarlı veya yıkılmış binalara ulaşmak için en güvenli ve en kısa yolların otomatik tespitini yapabilen yöntemler üretilabilecektir. Tez kapsamında elde edilen sonuçların CBS uygulamalarında girdi verisi olarak kullanılarak, farklı analizlere imkân tanıyan ve otomatik çalışan sistemlerin geliştirilebileceği de öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Acar, H., 2018. Bina Çatı Noktalarının Yüksek Çözünürlüklü Görüntülerden Üretilen 3B Nokta Bulutu Verileri ile Otomatik Tespit Edilmesi ve Gerçek Ortofoto Üretimi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altıntaş, P. ve Çak, T., 2014. Yersel Fotogrametrinin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Axel, C. ve van Aardt, J., 2017. Building damage assessment using airborne LiDAR, Journal of Applied Remote Sensing, New York, United States, 11, 4, 1.
- Du Plessis, S., 2012. Identifying Building Change Using High Resolution Point Clouds - An Object-Based Approach, ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, United States, 305–309.
- Duarte, D., Nex, F., Kerle, N. ve Vosselman, G., 2017. Towards a more efficient detection of earthquake induced façade damages using oblique UAV imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 42,2W6, 93–100.
- Hirschmüller, H., 2008. Stereo processing by semiglobal matching and mutual information, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 30, 2, 328-341.
- Hu, X., Lizhi Y., Shiyang P., ve Jie S., 2015. "Semi-Global Filtering of Airborne LiDAR Data for Fast Extraction of Digital Terrain Models" Remote Sensing 7, no. 8: 10996-11015.
- Huang, S., Dou, A., Wang, X., ve Wang, J., 2016. Earthquake - Induced Building Damage Detection Method Based On Normal Computation Of Neighboring Points Searching On 2D - Plane Shusong Huang, Aixia Dou, Xiaoqing Wang, Jinxia Wang Institute of Earthquake Science China Earthquake Administration, 4251–4254.
- İşçi, Ç., 2008. Deprem Nedir Nasıl Korunuruz, Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, İzmir, 3, 9, 959-983.
- Janalipour, M., ve Mohammadzadeh, A., 2019. A novel and automatic framework for producing building damage map using post-event LiDAR data. International Journal of Disaster Risk Reduction, 101238, Tehran, Iran.
- Jiao, Q., Jiang, H., ve Li, Q., 2019. Building Earthquake Damage Analysis Using Terrestrial Laser Scanning Data, Advances in Civil Engineering, Research Article, China, 12 s.
- Karasaka, L. ve Rashid B., 2021. Yersel lazer tarama yöntemi ile farklı geometrik yapıdaki özelliklerin modellenmesi, Geomatik Dergisi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 6, 1, 54-60.

- Karslı, F., 2014. Fotogrametriye Giriş Ders Notu, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kayı, A., Erdoğan, M., ve Yılmaz, A., 2015. Depremde Hasar Gören Binaların Uzaktan Algılama Yöntemleriye Tespiti, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, Harita Genel Komutanlığı, Çankaya, Ankara, 226–230.
- Koç, V., 2016. Deprem Sonrası Ağır Hasarlı Bina Hasarlarının Sınıflandırılması, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Artvin, 2, 1, 46-95.
- Kula, B., ve Ergen, E., 2017. Lazer Tarayıcı Teknolojisinin Yapım Yönetiminde Kullanım Alanları, Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, Samsun, 226–230.
- Li, S., ve Tang, H., 2020. Classification of Building Damage Triggered by Earthquakes Using Decision Tree. *Mathematical Problems in Engineering*, China.
- Liu, C., Sui, H., ve Huang, L., 2020. Identification of Building Damage from UAV-Based Photogrammetric Point Clouds Using Supervoxel Segmentation and Latent Dirichlet Allocation Model. *Sensors*, Basel, Switzerland.
- Menderes, A., Erenen, A., ve Sarp, G., 2015. Automatic Detection of Damaged Buildings after Earthquake Hazard by Using Remote Sensing and Information Technologies. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 257–262.
- Ok, A. Ö., Ok, Ö., A., ve B, E., 2016. PLEIADES-1 TRI-Stereo Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Sayısal Yüzey Modellerinin Narenciye Ağacı Tespiti Üzerindeki Etkisinin İrdelenmesi, 186-212 UZAL-CBS, Adana.
- Özbay, E., 2018. Nokta Bulutu Verilerinden Nesne Ayırt Etme, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Rastiveis, H., Khodaverdi Zahraee, N., ve Jouybari, A., 2018. Object-oriented classification of LiDAR data for post-earthquake damage detection. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(3W4), 421–427.
- Soulakellis, N., Vasilakos, C., Chatzistamatis, S., Kavroudakis, D., Tataris, G., Papadopoulou, E. E., Papakonstantinou, A., Roussou, O., ve Kontos, T., 2020. Post-earthquake recovery phase monitoring and mapping based on UAS data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9,7, 1–21.
- Svensk, J., 2017. Evaluation of aerial image stereo matching methods for forest variable estimation. Master of Science Thesis in Computer Vision, Department of Electrical Engineering, Linköping University.
- Uysal, M., ve Polat, N., 2017. 3B Nokta Bulutlarından Deprem Sonrası Hasarlı Binaların Tespiti.

- Vetrivel A., 2018. Automatic Information Extraction from Remote Sensing Images and 3D Point Clouds. (Doctoral dissertation, University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC)), Enschede, The Netherlands.
- Xiaoqin, W., Miaomiao, W., Shaoqiang, W., ve Yundong, W., 2015. Extraction of vegetation information from visible unmanned aerial vehicle images. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 31, 5.
- Xu, Z., Wu, L., Shen, Y., Wang, Q., Wang, R., ve Li, F., 2014. Extraction Of Damaged Building's Geometric Features From Multi-Extraction Of Damaged Building's Geometric Features From Multi-Source Point Clouds, Iot Perception Mine Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Chine, 1-5.
- Yamazaki, F., Liu, W., ve Moya, L., 2017. Extraction of Building Damage due to 2016 Kumamoto Earthquake from PALSAR-2 Data, Japan.
- Zhang, R., Li, H., Duan, K., You, S., Liu, K., Wang, F., ve Hu, Y., 2020. Automatic detection of earthquake-damaged buildings by integrating UAV oblique photography and infrared thermal imaging, Remote Sensing, China, 12-16.
- URL-1, <https://info.vercator.com/blog/LiDAR-vs-point-clouds>. 28 Eylül 2021.
- URL-2, <https://sinopguncel.wordpress.com/2020/01/26/turkiyenin-deprem-kusaklari>. 11 Aralık 2021.
- URL-3, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/07/20170703-8.htm>. 15 Şubat 2022

ÖZGEÇMİŞ

Ömer CANÖZÜ İlk ve ortaöğretimini Trabzon Ata İlköğretim Okulunda tamamladı. Lise eğitimini 2013 yılında Trabzon'un Araklı ilçesinde bulunan Araklı Anadolu lisesinde tamamladı. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliğini kazanarak lisans eğitimini 2017 yılında tamamladı. Lise ve üniversite dönemleri boyunca amatör olarak farklı futbol kulüplerinde görev aldı. 2017 yılında mezun olduğu aynı üniversitede yüksek lisans programına başladı. Şu anda “Binalardaki 3 Boyutlu Değişimlerin Otomatik Olarak Tespit Edilmesini Sağlayacak Bir Yazılımın Geliştirilmesi” adlı TÜBİTAK 1512 projesinde yazılım personeli olarak çalışmaya devam etmektedir. İyi seviyede İngilizce bilmektedir.