

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM NEDENİYLE YIKILAN BİNALARIN FOTOGRAMETRİK
YÖNTEMLERLE TESPİT EDİLEREK ZEMİN VE YAPI PARAMETRELERİNİN
YIKIMLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ: ELBİSTAN-PAZARCIK DEPREMLERİ
ÖRNEĞİ**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR GÜRBÜZ

AĞUSTOS 2024

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM NEDENİYLE YIKILAN BİNALARIN FOTOGRAMETRİK
YÖNTEMLERLE TESPİT EDİLEREK ZEMİN VE YAPI PARAMETRELERİNİN
YIKIMLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ: ELBİSTAN-PAZARCIK DEPREMLERİ
ÖRNEĞİ

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur GÜRBÜZ

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KEMALDERE

ZONGULDAK

Ağustos 2024

KABUL:

Uğur GÜRBÜZ tarafından hazırlanan “Deprem Nedeniyle Yıkılan Binaların Fotogrametrik Yöntemlerle Tespit Edilerek Zemin ve Yapı Parametrelerinin Yıkımlara Etkisinin İncelenmesi: Elbistan-Pazarcık Depremleri Örneği” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
26/08/2024

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KEMALDERE
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR
Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../2024

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Uğur GÜRBÜZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPREM NEDENİYLE YIKILAN BİNALARIN FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLERLE TESPİT EDİLEREK ZEMİN VE YAPI PARAMETRELERİNİN YIKIMLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ: ELBİSTAN-PAZARCIK DEPREMLERİ ÖRNEĞİ

Uğur GÜRBÜZ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KEMALDERE

Ağustos 2024, 67 sayfa

Türkiye’de 6 Şubat 2023 tarihli Kahramanmaraş, Elbistan-Pazarcık merkezli dokuz saat aralıkla gerçekleşen iki büyük depremin (M_w 7.7 ve 7.6), 11 ilde ciddi yıkıcı etkileri olmuştur. Deprem sonrasında birçok kurum hasar tespit çalışmalarında görev alarak yıkılan binaları ve hafif, orta ve ağır hasarlı binaları aylar süren çalışmalar sonunda tespit etmiştir. Medyada, yıkılan binalarda kullanılan yapı malzemeleri ve yüklenici şirketlerin yapım aşamasındaki ihmalleri ve buna bağlı can kayıpları geniş yer bularak uzun süre Türkiye gündemini belirlemiştir. Deprem sonrasında inşaat mühendisleri yapı denetimi, yapı statiği, binaların deprem yükü konularında çalışmalar yapıp görüş belirtirken, jeoloji ve jeofizik mühendisleri ağırlıklı olarak depremin gerçekleştiği faylar, fayların mevcut enerji durumları ve gelecekte beklenen depremler hakkında görüş belirtmişlerdir. Ancak deprem esnasında yıkıma uğrayan yapıların otomatik tespiti, bina özniteliklerinin ve zemin koşullarının yıkılan ve yıkılmayan binalar üzerindeki istatistiki incelemesi konuları gölgede kalmıştır. Deprem sonrasında en kısa zaman dilimi içerisinde doğrudan yıkıma uğrayan binaların tespit edilmesi

ÖZET (devam ediyor)

gereksinimi için ise yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları, düşük yer örnekleme aralıklı (yöa) sayısal yüzey modelleri, konumsal verilerin doğruluğunun kontrolü ve bunların değişim analizlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum deprem, zemin tipi ve yapı statiği konularıyla doğrudan ilişkili olan mühendislik dallarına ek olarak geomatik/harita mühendisliğine olan gereksinimi açıkça ortaya koymaktadır. Böylece, yalnızca yüksek doğruluklu altlık verilerin üretilmesi değil, tüm altlık verilerin doğruluğunun kontrolü, değişim analizlerinin yapılması, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri tabanlarında bulunan bina-zemin öznitelik bilgilerinin temini ve özel analizler için sınıflandırılması, jeolojik ve yapısal verilerin deprem yönetmeliğinde yer alan standartları ve ilgili mühendislik dallarının onayı neticesinde analizlere dahil edilmesi ve istatistiki olarak değerlendirilmesi sonucu doğrudan konuma dayalı ve istatistiksel verilerle açıklanabilecek daha anlamlı sonuçlar ortaya çıkabilecektir. Bu tez çalışmasında Kahramanmaraş merkezli depremlerden etkilenen 62549 binadan yıkılan binaların yüksek doğruluklu coğrafi verilerle (SYM ve hava fotoğrafları) yüksek doğrulukla (%90) otomatik olarak tespiti yapılmıştır. Sonrasında ise topolojik veri tabanından yıkılan, yıkılmayan tüm binaların bina statiğini ilgilendiren öznitelik bilgileri (bina yüksekliği, kat adedi, bodrum etkeni) binalara eklenerek yıkımların etkileri incelenmiş, V_{S30} zemin sertliği değerleri kullanılarak üretilen üç yerel zemin sınıfı ve yüksek doğruluklu sayısal arazi modelleri kullanılarak üretilen sınıflandırılmış “arazi eğimi” deprem yönetmelikleri kapsamında zemin-bina öznitelikleri eşleştirilerek binaların tamamının depremden etkilendiği tüm öznitelikler istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Bu analizler, gelecek depremler ve diğer afetler düşünüldüğünde afet öncesi ve sonrası coğrafi verilerin en kısa sürede analiz edilerek en kısa sürede afet etkilerinin ortaya koyulması daha sonrasında ise risk alanlarının, güvenli alanların ve imar alanlarının belirlenmesi gibi çalışmaların yapılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, hasar tespiti, değişim analizi, eğim analizi, bina çıkarımı

Bilim Kodu: 616.02.00.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETECTION OF COLLAPSED BUILDINGS IN AN EARTHQUAKE USING PHOTOGRAMMETRIC METHODS AND ANALYSIS OF THE EFFECTS OF SOIL AND STRUCTURE PARAMETERS ON COLLAPSES: A CASE STUDY OF THE ELBISTAN-PAZARCIK EARTHQUAKES

Uğur GÜRBÜZ

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Hüseyin KEMALDERE

August 2024, 67 pages

On February 6, 2023, two major earthquakes (Mw 7.7 and 7.6) struck with a nine-hour interval centered in Kahramanmaraş, Elbistan-Pazarcık, causing severe destruction in 11 provinces in Turkey. Following the earthquake, many organizations participated in damage assessment efforts, identifying collapsed buildings as well as those with minor, moderate, and severe damage over several months. The media extensively covered the issues related to the construction materials used in the collapsed buildings and the negligence of the construction companies during the building phase, which led to significant loss of life, keeping the topic in the spotlight of Turkey's agenda for a long time. Post-earthquake, civil engineers focused on structural inspection, structural integrity, and earthquake loads on buildings, while geologists and geophysicists predominantly provided insights about the faults where the earthquake occurred, the current energy states of these faults, and the potential future earthquakes. However, topics such as the automatic detection of collapsed structures, and the statistical

ABSTRACT (continued)

analysis of building attributes and ground conditions on both collapsed and non-collapsed buildings were overlooked. Considering the need for the immediate identification of directly impacted buildings after the earthquake, high-resolution aerial photographs, digital surface models (DSMs) with low ground sampling distance (GSD), verification of the accuracy of spatial data, and change detection analyses are required. This situation clearly demonstrates the necessity for the involvement of geomatics engineering, in addition to other engineering disciplines directly related to earthquakes, ground types, and structural integrity. Consequently, not only the production of highly accurate base data but also the verification of the accuracy of all base data, conducting change analyses, obtaining building-ground attribute information from geographic information systems (GIS) databases, classifying them for special analyses, including geological and structural data in analyses based on earthquake regulation standards and approvals from relevant engineering fields, and statistically evaluating these attributes can result in more meaningful outcomes that can be explained through location-based and statistical data.

In this thesis, the automatic detection of collapsed buildings among 62,549 buildings affected by the Kahramanmaraş-centered earthquakes was performed with high accuracy (90%) using high-accuracy geographical data (DSM and aerial photographs). Subsequently, the impact of collapses was examined by adding attribute information relevant to the structural integrity of all collapsed and non-collapsed buildings from the topological database (such as building height, number of floors, basement factor). The ground-building attributes were statistically evaluated within the scope of earthquake regulations by matching three local ground classes produced using V_{S30} ground stiffness values and classified "terrain slope" produced using high-accuracy digital terrain models. These analyses demonstrate the feasibility of analyzing geographical data in the shortest time possible before and after a disaster to reveal the impacts of the disaster promptly, and subsequently, conducting studies to determine risk areas, safe areas, and zoning areas, considering future earthquakes and other disasters.

Keywords: Earthquake, damage assessment, change analysis, slope analysis.

Science Code: 616.02.00.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KEMALDERE'ye teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince, binaların otomatik çıkarımı aşamasının tamamında desteğini esirgemeyen meslektaşım Müh. Ütğm. Ahmet Ali SOYSAL ve Müh. Ütğm. Fatih KARAKULLUKÇU'ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Deprem mühendisliği ile ilgili kavramların analizlere dahil edilmesi aşamasında desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Eren PAMUK'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmasında kullandığım yüksek çözünürlüklü veriler, ortofoto görüntüler, sayısal yüzey modelleri, sayısal arazi modelleri ve diğer yardımcı veriler için Harita Genel Müdürlüğüne ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Araştırma süresince maddi ve manevi desteklerinden ötürü eşim Betül GÜRBÜZ'e ve tüm aileme sevgi ve saygılarımı sunar, teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
1.1 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
1.2 TEZİN AMACI	5
 BÖLÜM 2 DEPREM VE İLİŞKİLİ KAVRAMLAR.....	 7
 DEPREM VE İLİŞKİLİ KAVRAMLAR	 7
2.1 DEPREMİN TANIMI VE ETKİLERİ	7
2.1.1 Deprem Tanımlanması.....	7
2.1.2 Deprem Büyüklüğü, Şiddeti ve Etkileri.....	8
2.1.3 Türkiye’de Son Yüz Yılda Büyük Depremler	9
2.1.4 Kahramanmaraş Depremleri ve Etki Alanı.....	10
2.2 DEPREM SONRASI OTOMATİK HASAR TESPİTİ.....	12
2.2.1 Ortofoto ve Zamansal Çözünürlük.....	13
2.2.2 Sayısal Yüzey Modelleri ve YÖA Belirlenmesi	14

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3 MATERYAL	17
3.1 ÇALIŞMA BÖLGESİ	17
3.2 SAYISAL ARAZİ MODELİ.....	18
3.3 ZEMİN SERTLİĞİNİN TESPİTİ İÇİN V_{S30} DEĞERLERİNİN KULLANILMASI	21
3.4 TOPOVT TOPOLOJİK VEKTÖR VERİ TABANI	22
BÖLÜM 4 YÖNTEM	25
4.1 DEPREM ÖNCESİ VE SONRASI GÖRÜNTÜLERİN HAZIRLANMASI	25
4.2 DEPREM ÖNCESİ VE SONRASI FARK SAYISAL YÜZEY MODELLERİNİN HAZIRLANMASI	27
4.3 FARK SYM'LERİN İÇERDİĞİ BİNA İÇERMİYEN ALANLARIN AYIKLANMASI	29
4.4 BİNA SINIRLARININ BELİRLENMESİ.....	33
4.5 YIKILAN VE YIKILMAYAN BİNALARIN BİRLEŞTİRİLMESİ.....	39
4.6 SAM VERİSİNDEN EĞİM DEĞERLERİNİN ÜRETİLMESİ	41
4.7 V_{S30} DEĞERLERİNDEN YEREL ZEMİN SINIFLARININ BELİRLENMESİ.....	43
BÖLÜM 5 BULGULAR.....	47
5.1 YIKILAN BİNALARIN SAYISI VE ORANI.....	47
5.2 ARAZİ EĞİMİNİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ.....	48
5.3 BİNA KAT ADEDİNİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ.....	49
5.4 BODRUM KRİTERİNİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ	51
5.5 ZEMİN SERTLİĞİNİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ	52
5.6 BİRLEŞİK PARAMETRELERİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ.....	53
5.6.1 Bina Kat Adedi, Bodrum ve Arazi Eğiminin Birlikte İncelenmesi	54
5.6.2 Bina Kat Adedi ve Yerel Zemin Sınıfının Birlikte İncelenmesi.....	55

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ	67





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Kinematik Sismograf ve Üç Eksenli Geniş Bant Sismograf.....	8
Şekil 2.2 Mw: 7.7 Büyüklüğündeki Pazarcık Depreminin Revize AFAD-RED Tahmini Şiddet Haritası	11
Şekil 2.3 Mw: 7.6 Büyüklüğündeki Elbistan Depreminin Revize AFAD-RED Tahmini Şiddet Haritası	12
Şekil 2.4 30 cm ve 1 metre Geometrik Çözünürlüklü Ortofotoların Görsel Olarak Farkı.....	14
Şekil 2.5 M37a3 Paftasına ait Sayısal Yüzey Modeli.	15
Şekil 3.1 11 İli İçeren OHAL Bölgesi ve Çalışma Alanı.	17
Şekil 3.2 SAM Üretimi Öncesi SYÜM.	19
Şekil 3.3 Sayısal Arazi Modelinin Gösterimi.....	20
Şekil 3.4 USGS'den İndirilen V_{S30} Verisi	22
Şekil 4.1 30 cm Geometrik Çözünürlüklü dö-GÖR.....	26
Şekil 4.2 1 metre Geometrik Çözünürlüklü ds-GÖR.	26
Şekil 4.3 Deprem Öncesi SYÜM.	27
Şekil 4.4 Deprem Sonrası SYÜM.	28
Şekil 4.5 Deprem Sonrası SYÜM ve Yıkılan Binaların Yerleri.	29
Şekil 4.6 K-Means Küme Görünümü.....	30
Şekil 4.7 K-Means Uygulaması Öncesi Binalar ve Diğer Detayların Görünümü.	31
Şekil 4.8 K-means Uygulaması Sonrası Kalan Detaylar.....	32
Şekil 4.9 Ayıklama İşlemleri Tamamlanan fark-SYÜM.	33
Şekil 4.10 Bölütleme Algoritması Uygulanmadan Önceki Bina Sınırları.	34
Şekil 4.11 Aynı Bölgenin İç İçe Yıkılan Binaların Ayırt Edilmiş Görüntüsü.	35
Şekil 4.12 Birleşik Binaların Ayrılması İşlemi.	36
Şekil 4.13 Birleşik Binaların Birbirinden Ayrılması.....	36
Şekil 4.14 Bitişik Nizamlı Binalar.	37
Şekil 4.15 Bitişik Nizamlı Binaların Ayrılması.	37
Şekil 4.16 Yıkılan Binaların Depremden Önceki Görüntüsü.....	38
Şekil 4.17 Yıkılan Binaların Otomatik Tespit Edildiği Deprem Sonrası Görüntü.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.18 Yıkılan ve Yıkılmayan Binaların Birlikte Görünümü (dö-GÖR).	40
Şekil 4.19 Yıkılan ve Yıkılmayan Binaların Birlikte Görünümü (ds-GÖR).....	40
Şekil 4.20 ArcGIS Pro’da Üretilen Eğim Haritası.	41
Şekil 4.21 Raster Veride Piksellerin Yüzde Eğim Değerleri.	42
Şekil 4.22 V_{S30} Verisi Adıyaman	45
Şekil 4.23 V_{S30} Verisinin Piksel Değerleri Tüm Binalara Eklenmiştir.	45
Şekil 5.1 Yıkılan ve Yıkılmayan Binaların Oransal Dağılımı.	47
Şekil 5.2 Doğrudan Arazi Eğimi Etkisinin Grafik Gösterimi.	49
Şekil 5.3 Kat Adetinin Yıkımlara Etkisinin Grafik Gösterimi.	50
Şekil 5.4 3, 4, 5, 6 Katlı Bodrumlu ve Bodrumsuz Binaların Depremde Yıkılma Oranları. ...	52
Şekil 5.5 Yerel Zemin Sınıflarına Göre Yıkılma Oranları.	53
Şekil 5.6 3, 4, 5, 6 Katlı Binalarda %4 Eğim ile %17 Eğim Değerleri Arasında En Yüksek Yıkım Oranına Rastlanmıştır.	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Depremin Merkezinde Büyüklüğü ve Şiddetinin Etkileri.....	9
Çizelge 2.2 Türkiye’de Son Yüz Yılda Yaşanan 7.0 (Mw) Üzerindeki Depremler.	10
Çizelge 4.1 Eğim Değerlerinin Sınıflandırılması.....	43
Çizelge 4.2 TBDY 2018’e göre Yerel Zemin Sınıfları.	44
Çizelge 4.3 V_{S30} Değerlerinin TBDY 2018’de Karşılık Geldiği Zemin Sınıfları.	44
Çizelge 5.1 Yıkılan Binaların Sayısı ve Oranı.	48
Çizelge 5.2 Arazi Eğiminin Yıkılan Binalara Doğrudan Etkisi	48
Çizelge 5.3 Bina Kat Adedinin Depremde Yıkılan Binalara Etkisi.	50
Çizelge 5.4 Bodrum Kriterinin Yıkılan Binalara Etkisi.	51
Çizelge 5.5 Zemin Sınıfının Yıkılan Binalara Doğrudan Etkisi.	53
Çizelge 5.6 Bina Kat Adedi Bodrum ve Arazi Eğiminin Birlikte İncelenmesi.	54
Çizelge 5.7 Bina Kat Adedi ve Yerel Zemin Sınıfının Birlikte İncelenmesi.	55
Çizelge 6.1 Tüm Parametrelere Ait Sonuçlar.....	59



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

m	: Metre
m ²	: Metrekare
km ²	: Kilometrekare
cm	: Santimetre
Mw	: Magnitüd Değeri

KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
dö-SYÜM	: Deprem Öncesi Sayısal Yüzey Modeli
ds-SYÜM	: Deprem Sonrası Sayısal Yüzey Modeli
dö-GÖR	: Deprem Öncesi Ortofoto
ds-GÖR	: Deprem Sonrası Ortofoto
fark-SYÜM	: Fark Sayısal Yüzey Modeli
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
İHA	: İnsansız Hava Aracı
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SYÜM	: Sayısal Yüzey Modeli
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TG-20	: Türkiye Jeoidi-20
TOPOVT	: Türkiye Topoğrafi Vektör Veri Tabanı
TUCBS	: Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi
USGS	: US Geological Survey (ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu)
V₃₀	: İlk 30 Metredeki Zemin Tabakalarının Ortalama Kayma Hızı Değeri
WGS 84	: World Geodetic System 1984 (Dünya Jeodezik Sistemi 1984)



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Deprem, insanlığın ve Türkiye coğrafyasının kaçınılmaz bir gerçeğidir. İnsanlık; depremi engelleyecek güce ve kabiliyete sahip olmadığı için depremin etkilerine karşı tedbir almaya, depremden en az seviyede etkilenecek şekilde yaşam alanları oluşturmaya kısaca depreme hazır bir şekilde yaşamaya mecbur hale gelmiştir. 6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan Kahramanmaraş merkezli 9 saat aralıklı olarak gerçekleşen iki büyük depremin (Mw 7.7 ve 7.6) ağır yıkıcı etkileri deprem gerçeğini bir kez daha hatırlatmıştır. Bu tarihten itibaren yıkımların nedenlerini araştırma amacıyla birçok alanda analizler yapılmıştır. İlk aylarda yapılan zemin ve yapı ile ilgili hasar tespiti, değişim analizleri ve fay hareketlerinin enerji durumlarını inceleyen analiz çalışmaları zamanla yerini yeniden kentleşme ve depreme dirençli yaşam alanlarının oluşturulması gibi tedbir kapsamında yapılan analiz çalışmalarına bırakmıştır. Genel olarak medyada ve toplumun yaygın görüşü olarak yalnızca binanın yapı malzemesinin kalitesi, yüklenici şirketler ve bina yaşı gündemde olsa da, bu kapsamda geomatik/harita mühendisinin üzerine düşen konumsal açıdan arazinin incelenmesi, önceki ve sonraki durum arasındaki değişimleri ifade eden fark analizlerinin en kısa sürede yüksek doğrulukla yapılması, arazi parametrelerinin depremin yıpratıcı etkilerine karşı ortaya çıkan sonuçlarının incelenmesi ve yeniden kentleşme aşamasında planlama ve imar uygulamalarına yardımcı olmaktır. Arazi bileşenlerinin deprem esnasında yapılara olan etkileri incelenmek istediğinde akıllara birçok soru gelmektedir. Bunlardan biri de arazi eğimidir.

Arazi eğimi, arazide belirlenen bir noktanın dikey izdüşümünün, aynı noktanın bulunduğu yüzeye çizilen çizginin yüzey üzerindeki yatay uzunluğuna bölünmesi ile elde edilen, kısaca bir yüzeyin ne kadar dik olduğunu gösteren bir ölçüdür. Deprem etkisiyle yoğun yıkımın yaşandığı bölgelerde yüksek eğimli araziler ile düz araziler arasında bir davranış farklılığı olup olmadığı akıllara gelmektedir. Binalar inşa edilmeden önce zemin etüdü ve arazi tesviyesi yapılırsa da yüksek eğimin getirdiği tüm risklerin tamamen ortadan kaldırılması mümkün olmayabilir.

“Aynı standartlardaki iki zemin ve bina arasında yüksek eğimli araziye yapılan binalar ile düşük eğimli araziye yapılan binalar arasında yıkılma riski açısından fark var mıdır?” sorusunun cevabı alabilmek için. Kahramanmaraş depreminden etkilenen 11 il içerisinde örneklem bölgeler seçilerek, bunların arasında yapılacak kıyasla bu durumun analiz edilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak farklılıklara rastlanırsa aynı kriterler muhtemel depremlerde aynı örneklem değerlerini taşıyan risk alanlarında uygulanacaktır.

1.1 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür incelendiğinde otomatik bina çıkarımı amacıyla çok fazla çalışma olduğu görülmektedir. Genel olarak LiDAR nokta bulutu, hava fotoğrafları, İHA görüntüleri ve eğim haritaları gibi yardımcı veriler farklı çalışmalarda yeterli çözünürlükte kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile binaların renk, şekil, doku gibi özellikleri ile diğer objelerden ayırt edilmesi amaçlanmıştır. Bu ayrımın doğruluğunu artıracak kurallar tanımlanmış ve sonuçları iyileştirici algoritmalarla yararlanılmaya çalışılmıştır. Ancak deprem sonrası otomatik hasar tespitiye yönelik bina çıkarımı çalışmaları sınırlıdır. Deprem sonrası kısa bir zaman dilimi içerisinde yıkılan binaları tespit ederek, doğrudan deprem, yapı ve zemin parametrelerinin yıkımlara etkisini inceleyen birleşik bir çalışma bulunmamaktadır.

Dash vd. (2004), çalışmasında afet sonrası en hızlı şekilde hasarlı yapıların tespitini amaçlamıştır. Lazer verileri kullanılarak öncelikli olarak binaları ve diğer insan yapımı detayları ayırt etme yolu denenmiştir. Daha sonrası ise en büyük sorun olarak binalarla aynı yükseklikte olan ağaçlar karşılına çıkmıştır. Ağaçların yüksekliği ve binalara yakınlığı bina sınırlarının ayırt edilmesi aşamasında ciddi bir problemdir. MSD (Minimum Spanning Disk) yöntemi ile öncelikle binalar belirli bir kurala dayalı daire çapı olarak kabul edilmiş, bina benzeri yapılar kümelenmiştir. Bir binanın kapsayabileceği en küçük alan kural olarak kabul edilmiştir. Daha sonrasında afet öncesi ve sonrası dairelerdeki konum değişiklikleri ve diğer sapmaların değişimi incelenerek hasar tespit sonuçları ortaya konulmuştur. Makalede bahsedilen MSD yönteminin hasar tespitinde aktif kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Kiriş (2021) yüksek lisans tezinde, görüntü segmentasyonu ile entegre edilmiş evrişimli sinir ağları ile deprem sonrası hasarlı binaların otomatik olarak tespiti isimli çalışmasında öncelikle tüm görüntüleri K-means bölütleme algoritmasını kullanarak segmentlere ayırmıştır. Daha sonrasında VGG-16, VGG-19 ve NASNet evrişimli sinir ağı modelleri kullanılarak hasarlı, az

hasarlı ve normal binaların tespiti amaçlanmıştır. Sonuç olarak hasar tespitinde VGG-19, VGG-16 ve NASNet test setinde sırasıyla yaklaşık %69, %66 ve %62.5 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Kayı vd. (2015), 2011 yılı Van depreminde hasar gören binaları uzaktan algılama verileri ile tespit eden bir çalışma yapmıştır. Harita Genel Komutanlığınca 1296 km² lik afet bölgesinin 30 cm çözünürlüğündeki 152 adet hava fotoğrafı UltraCam-X sayısal hava kamerasıyla çekilmiştir. Van depreminin öncesi ve hemen sonrasına ait 4 bantlı hava fotoğrafları kullanılarak doğrudan yıkılan binaların otomatik tespiti yapılmıştır. Çalışmada, hasar tespiti için iki farklı yöntem uygulanmıştır. Hasarlı binaların ortofotodaki farkı ve sayısal yüzey modelleri farkı alınarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Deprem öncesi ve sonrası veriler örneklenerek aynı çözünürlük değerlerine getirilmiştir. Sayısal Yüzey Modeli farkları kullanılarak yıkılan binaların çevresi %91.42 oranında tespit edilmiştir. Doğruluk kontrolü stereo model üzerinden gözle yapılmıştır. Çalışmada bir binanın en az 80 m² alan kaplayacağı ve çevresinin en az 32 m olacağı kabulüyle alan çevre oranı 2.5 olarak belirlenerek bina sınırları elde edilmiş ancak binaları doğal detaylardan ayıran herhangi bir algoritma kullanılmamıştır.

Erdoğan ve Yılmaz (2018), Van depreminin neden olduğu hasarın hava fotoğrafları ve sayısal yüzey modelleri kullanılarak tespitini konu alan çalışmada, Kayı vd. (2015)'in sonuçlarını iyileştirici çalışmalar yaparak makale olarak yayınlamıştır. Çalışmada yine alan/çevre oranı kat sayısı kabulüyle hasarlı binaların tespiti yapılmıştır.

Soysal vd. (2023), Elbistan-Pazarcık'ta yaşanan 6 Şubat 2023 tarihli depremler sonrasında en çok kaybın yaşandığı illerden biri olan Adıyaman şehir merkezinde yer alan binaların otomatik tespitini amaçlayan bir bildiri sunmuştur. Bu bildiride deprem öncesi ve sonrası ortofotolar ve sayısal yüzey modelleri gerekli çözünürlükte kullanılarak yıkılan binaların otomatik çıkarımı amaçlanmıştır. Deprem öncesi ortofotodan otomatik bina çıkarımı yapılarak, fark sayısal yüzey modellerinden yükseklik değişimleri yorumlanmıştır. K-means algoritması ile bina içermeyen pikseller ayıklandıktan sonra bina sınırları çevrelenmiş, iç içe yıkılan binalar ayırt edilmiş ve yükseklik değişimi kurallarına göre yıkılan binalar tespit edilmiştir. Yıkılan binaların tespitinin doğruluğu 11 adet test alanında yapılarak hatalı alanlar ayıklandığında %90'ın üzerinde doğru tespit edildiği görülmüştür. Hatalı sonuçların kazı, dolgu alanları, tır vb. araçlar ve alan kriterini sağlamayan alanlar olduğu gösterilmiştir.

Okay ve Özacar (2023), Türkiye’ye özgü bir V_{S30} modeli üretme amacıyla önemli bir çalışma yapmıştır. V_{S30} değeri, deprem mühendisliğinde kullanılan zeminin ilk 30 metre derinliğindeki ortalama kayma dalgası hızını m/s cinsinden ifade eden bir değerdir. Bu değer zeminin dalgalara nasıl tepki vereceği hakkında büyük anlam ifade etmektedir. Mevcut deprem yönetmeliğinde ve deprem risk haritalarında zemin tipinin belirlenmesi ve risk alanlarının gösterimi için doğrudan ve dolaylı olarak V_{S30} değerleri ve bağıntıları kullanılır. Bu çalışmada üretilen V_{S30} değerleri modeli ortaya çıkan sonuçlar özelinde sadece Türkiye coğrafyasını kapsaması ve güncel bir çalışma olması açısından son derece önemlidir.

Döndüren vd. (2021)’e göre; eşdeğer deprem yükü, yapıların deprem anında vereceği tepkilerin bina ve zemin etkenleri kullanılarak hesaplanmasını esas alır. Türkiye’de son kullanılan deprem yönetmeliği Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)’ dir. Bu çalışmada TBKD 2018 ve DBYBHY (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik) 2007 arasındaki farklılıklar ve benzerlikler kıyaslanmıştır. Zemin tipi, bodrum varlığı ve kat adedi gibi parametreler kullanılarak iki yönetmelik karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, TBDY 2018 ile birlikte zemin etkisinin hesaplarda daha gerçekçi olarak etki oluşturduğu gösterilmiştir. Bina yükseklikleri farklı binalar, düzensizliklerin olduğu taşıyıcı sistem modelleri ya da ŞGDT (doğrusal olmayan hesap yöntemleri) yaklaşımına uygun modeller seçilerek benzer çalışmaların yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Bu metod, performans temelli bir yaklaşımla, yapıların belirli bir seviyede performans seviyesini sağlamasını hedefler ve bu doğrultuda eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması bu değerlerle, yapı analizlerinin yapılmasını içerir.

Uzun ve Korkmaz (2018)’a göre; depremin yapılara etkisinin hesaplanması için birçok metod bulunmaktadır. Bunların içerisinde en sade, en anlaşılır ve uygulaması en kolay olan metod eş değer deprem yükü metodudur. Bu metod, yapıya deprem esnasında etki edecek yatay yükün belirli katsayılar yardımı ile hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu çalışmada Türkiye TBKD ile diğer ülkelerin TBKD’lerinin etkileri kıyaslanmıştır. Türkiye’de uygulanan yönetmeliğin diğer ülkelerle benzerlik gösterdiği, ancak Türkiye TBKD’de kullanılan katsayıların daha hassas sonuçlar elde etmeye olanak sağladığı gösterilmiştir.

1.2 TEZİN AMACI

Otomatik bina çıkarımı, güncel çalışmalarda geniş bir yer tutsa da afet sonrası hasar tespiti için otomatik bina çıkarımını içeren çalışmalar son derece sınırlıdır. Özellikle depremi konu alan bir çalışmada hem otomatik bina çıkarımı, hem de değişim analizlerine yer vermek gerekmektedir. Bu durumda deprem öncesi ve sonrasına ait afet tarihine en yakın yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarına, düşük yöa'na sahip sayısal yüzey modellerine ve ihtiyaca göre birçok diğer veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin yeterli zaman aralığında ve geniş alanlar için tamamının temini ve analizi oldukça zordur. Bu tezin amacı 6 Şubat 2023 Elbistan-Pazarcık depremlemlerinde doğrudan yıkılan ve katları çöken binaları otomatik yöntemlerle tespit ederek, yıkılan binaların her birinin zemin ve yapı parametreleri dikkate alınarak yıkımlara etkisini değerlendirmektedir. Analiz için deprem öncesi ve sonrası coğrafi veriler temin edildikten sonra çeşitli algoritmalar kullanılarak, belirli kurallar dahilinde yıkılan binaların tespiti amaçlanmıştır. Yıkılan binalar tespit edildikten sonra aynı alanlarda üretilen sayısal arazi modeli verisinden arazi eğimleri üretilmiştir. Her bina için zemin sertliğini ifade eden yerel zemin sınıfı belirlenmiştir. İlgili veri tabanından bina kat adedi, bodrum adedi gibi öznitelikler de tüm binalara eklenerek depremin bu öznitelikleri nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu özniteliklerin deprem etkisini inceleyen çalışmalar genellikle yapı ve zemin kavramları ile doğrudan ilgili olan inşaat mühendisliği, jeoloji mühendisliği ve jeofizik mühendisliğine aittir. Sınırlı alanlarda ya da tekil binalarda yapılan bu çalışmalar yıkımların geneli hakkında istatistiksel bir bilgi vermez. Bu çalışmada geomatik/harita mühendisliğinin altlık coğrafi verileri kullanarak yıkılan binaları otomatik olarak tespit edebilmesi, ihtiyaca göre yeni coğrafi veriler üretmesi, ürettiği verileri topolojik veri tabanları ve coğrafi bilgi sistemleri ile eşleştirerek öznitelikleri bir arada kullanabilme yetisinden faydalanılmıştır. Bu veri seti ve yöntemler kullanılarak büyük bir afet sonrası hızlı bir şekilde hasar tespiti yapılabilir ve afetlerin etkileri yorumlanabilir.



BÖLÜM 2

DEPREM VE İLİŞKİLİ KAVRAMLAR

Depremelerin etkileri tanımlanırken, çeşitli ölçüm yöntemlerinin sonucu olarak deprem şiddeti, büyüklüğü gibi etkilerini ifade eden sayısal değerler kullanılır. Bu sayısal değerler ifade edildikleri ölçek türüne göre isimlendirilir.

2.1 DEPREMİN TANIMI VE ETKİLERİ

Depremi etkileri hakkında analizler yapabilmek için öncelikle deprem verilerinin neyi ifade ettiğini bilmek gereklidir. Depremi geçmişten günümüze kadarki evrelerini ve sebep olduğu can ve mal kayıplarını göz önünde bulundurmak, günümüz ile kıyaslayabilmek açısından önem arz eder.

2.1.1 Depremi Tanımlanması

Yerkabuğunda farklı zamanlarda ve farklı büyüklüklerde kırılmalar yaşanır. Bu kırılmalar ani bir şekilde titreşim dalgaları yayarak nüfuz ettiği ortamlarda sarsıntılara sebep olur. Bu engellenemez doğa olayına “deprem” denir. Bir diğer tanımla deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapılarında hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır. Depremi nasıl oluştuğunu, deprem dalgalarının yeryuvarı içinde ne şekilde yayıldıklarını, ölçü aletleri ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve deprem ile ilgili diğer konuları inceleyen bilim dalına "sismoloji" denir (URL-1). Depremler, Şekil 2.1'deki sismometre aletleri ile ölçülür. Sismograf tarafından kaydedilen dalgaının genliği ile sismograf cihazının depremi merkeziine uzaklığı dikkate alınarak depremi büyüklüğü hesaplanır (URL-2).



Şekil 2.1 Kinematik Sismograf ve Üç Eksenli Geniş Bant Sismograf (URL-2).

2.1.2 Depremın Büyüklüğü, Şiddeti ve Etkileri

Depremın büyüklüğü; deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanır. Enerjinin direkt ölçülebilme olanağı olmadığından, Amerika Birleşik Devletlerinden Prof. C. Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan “magnitüd” değeri tanımlanmıştır. Prof. Richter, episantırdan (dış merkez noktası) 100 km uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütme, özel periyodu 0.8 saniye ve sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon Sismografı ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin “magnitüdü” olarak tanımlamıştır. Bugüne dek olan depremler istatistik olarak incelendiğinde kaydedilen en büyük magnitüd değerinin 8.9 olduğu görülmektedir. (31 Ocak 1906 Kolombiya-Ekvator ve 2 Mart 1933 Sanriku-Japonya depremleri (URL-3)).

Büyüklüğü belirlemek için çoğu zaman tek bir sismometrenin sonuçları ile yetinilmez. Depremi farklı yönlerden ve farklı uzaklıklardan izleyebilmiş birçok sismometre ölçümünün ortalaması alınarak daha güvenli bir sonuç elde edilir. Bu büyüklük türleri M_d (süreye bağlı büyüklük), M_l (lokal büyüklük), M_s (yüzey dalga büyüklüğü), M_b (cisim dalgası büyüklüğü), M_w (moment büyüklüğü) olarak sınıflandırılır. Bunların içerisinde en güvenilir olan M_w yani moment büyüklüğü yöntemidir. M_w yöntemi depremin oluşumunun matematiksek bir modelinin yapılması demektir. Bu büyüklük türü, diğerlerine göre en güvenilir olanıdır. Bilim dünyasında, eğer bir deprem için moment büyüklüğü hesaplanabilmişse, diğer büyüklük türlerine gerek kalmadığı düşünülür. Belirleme açısından hepsinden çok daha karmaşıktır.

Esas olarak depremin oluşumunun matematiksel bir modelinin yapılmasına karşılık gelir. Bir araştırmacının gerçekleştirebileceği bilimsel bir çalışma süreci ile hesaplanabilir ve bu yüzden hesaplamaların belirli bir zaman alması kaçınılmazdır. Otomatik olarak uygulamaya konulabilmesi ise zordur, dünyada sayılı birkaç gözlemevinde, sadece belirli bir büyüklüğün üzerindeki depremler için rutin olarak hesaplanmaktadır. Uygulamada, sadece belli bir büyüklüğün üzerindeki depremler için ($M > 4.0$) Moment Büyüklüğü hesaplanabilir (URL-4).

Depremin Şiddeti; depremin büyüklüğünün yer yüzündeki hissedilir etkisini tanımlar. Mercalli ölçeğinde depremin hissedilir ve yıkıcı etkisi I ve XII arasında gruplandırılır (Çizelge 2.1). Mercalli değeri büyüdükçe depremin hissedilebilirliği ve yıkıcı etkisi de büyür. Depremin merkezinden uzaklaştıkça büyüklük değeri değişmeyecektir ancak şiddet değeri azalacaktır. Depremin merkezinden çevreye doğru şiddet etkisi yani Mercalli değeri azalır. Çizelge 2.1’deki büyüklük-şiddet karşılaştırması yalnızca depremin merkez noktası için geçerlidir (URL-6), (URL-7).

Çizelge 2.1 Depremin Merkezinde Büyüklüğü ve Şiddetinin Etkileri (URL-6),(URL-7).

Büyüklük Tanımı	Büyüklük (Richter)	Şiddet (Mercalli)	Etkisi
Çok Çok Şiddetli	8 $\geq$	XII	Her şey yıkılır.
Çok Şiddetli	7 – 7.9	X - XI	Binaların çoğu yıkılır.
Şiddetli	6 – 6.9	VII - IX	Çürük binalar yıkılır.
Orta Şiddetli	5 – 5.9	VI	Herkes hisseder.
Hafif	4 – 4.9	IV - V	Çoğu insan hisseder.
Çok Hafif	3 – 3.9	III	Bazı insanlar hisseder.

2.1.3 Türkiye’de Son Yüz Yılda Büyük Depremler

7.0 ve 7.9 (M_w) büyüklüğü arasındaki depremler “büyük deprem” olarak nitelendirilir. Bu depremlerin büyüklüğüne karşılık gelen açıklaması, büyük alanlarda ciddi hasarlara neden olacağı şeklindedir (URL-8).

Türkiye’de son yüz yılda 1930 ve 2023 yılları arasında 16 adet çok şiddetli deprem meydana gelmiştir. 1939 yılında yaşanan 7.9 M_w büyüklüğündeki Erzincan depremi neredeyse Erzincan ve çevre illerin tamamında ağır yıkımlara sebep olmuştur. 116 binin üzerinde bina zarar görmüştür. Bu depremten altmış yıl sonra 1999 yılında gerçekleşen büyüklükleri sırasıyla, 7.4 (M_w) ve 7.2 (M_w) olan Gölcük ve Düzce depremleri yaklaşık 110 bin binada

ağır hasara sebep olmuştur. Günümüze en yakın deprem ise 6 Şubat 2023 tarihinde 9 saat arayla gerçekleşen 7.7 Mw ve 7.6 Mw büyüklüğündeki Kahramanmaraş merkez Elbistan ve Pazarcık depremleridir. Türkiye’de 11 ilde açıklanan resmi kayıtlara göre 50 bine yakın can kaybı ve 90 binin üzerinde binada ağır hasar ve yıkıma sebep olmuştur. Türkiye’de 1930 ve 2023 yılları arasında gerçekleşen 7.0 Mw büyüklüğü üzerindeki, Richter ölçeğine göre “çok şiddetli deprem” kategorisindeki depremler Çizelge 2.2’de verilmiştir (URL-9).

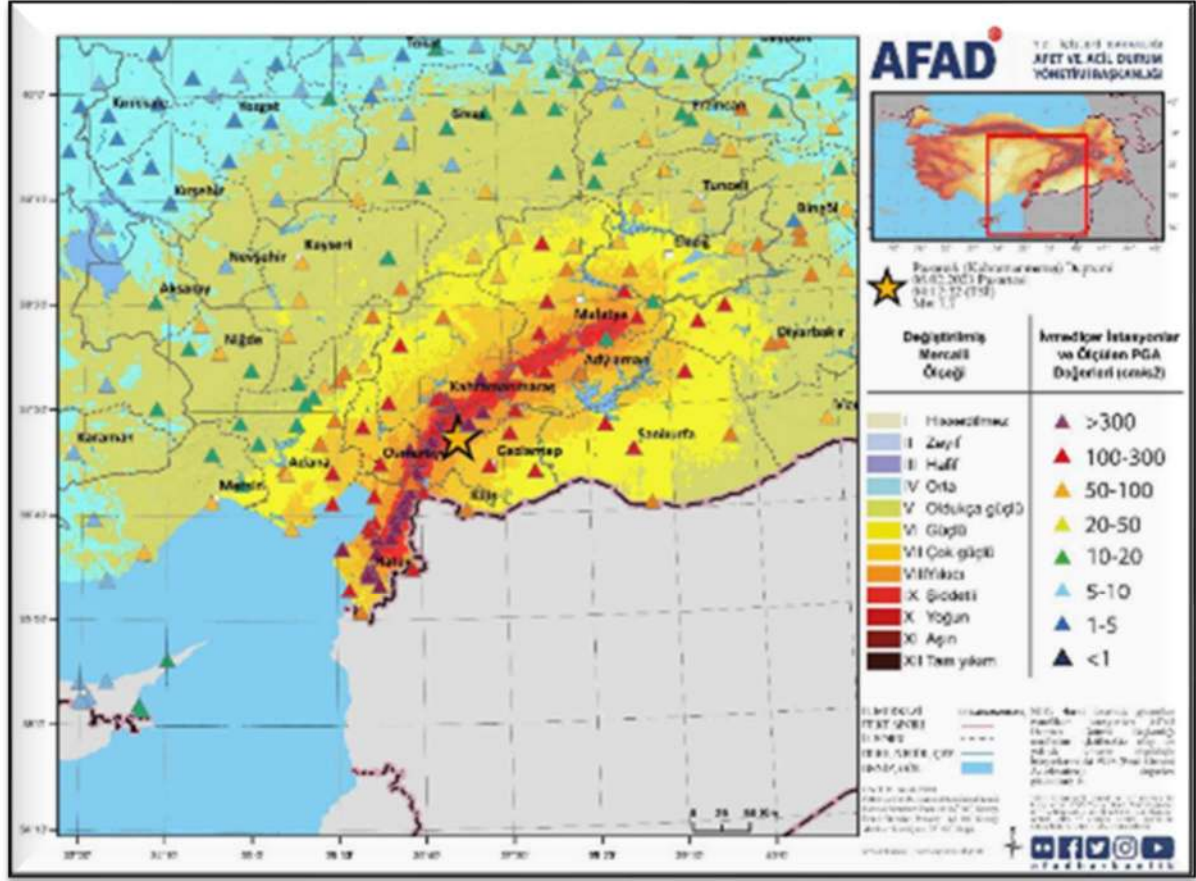
Çizelge 2.2 Türkiye’de Son Yüz Yılda Yaşanan 7.0 (Mw) Üzerindeki Depremler (URL-9).

Merkez Üssü	Büyüklüğü(Mw)	Yılı	Can Kaybı	Hasarlı Bina Sayısı
Hakkari	7.2	1930	2514	3000
Erzincan	7.9	1939	32968	116720
Tokat-Erbaa	7.0	1942	3000	32000
Samsun-Ladik	7.2	1943	4000	40000
Bolu-Gerede	7.2	1944	3959	20865
Çanakkale-Yenice	7.2	1953	265	6750
Muğla - Fethiye	7.1	1957	67	3200
Bolu – Abant	7.1	1957	52	5200
Balıkesir - Manyas	7.0	1964	23	5398
Kütahya- Gediz	7.2	1970	1086	19291
Van – Çaldıran	7.5	1976	340	9232
Kocaeli- Gölçük	7.4	1999	17480	73342
Düzce	7.2	1999	763	35519
Van	7.2	2011	644	17005
Elbistan-Pazarcık	7.7 – 7.6	2023	46104	90609

2.1.4 Kahramanmaraş Depremleri ve Etki Alanı

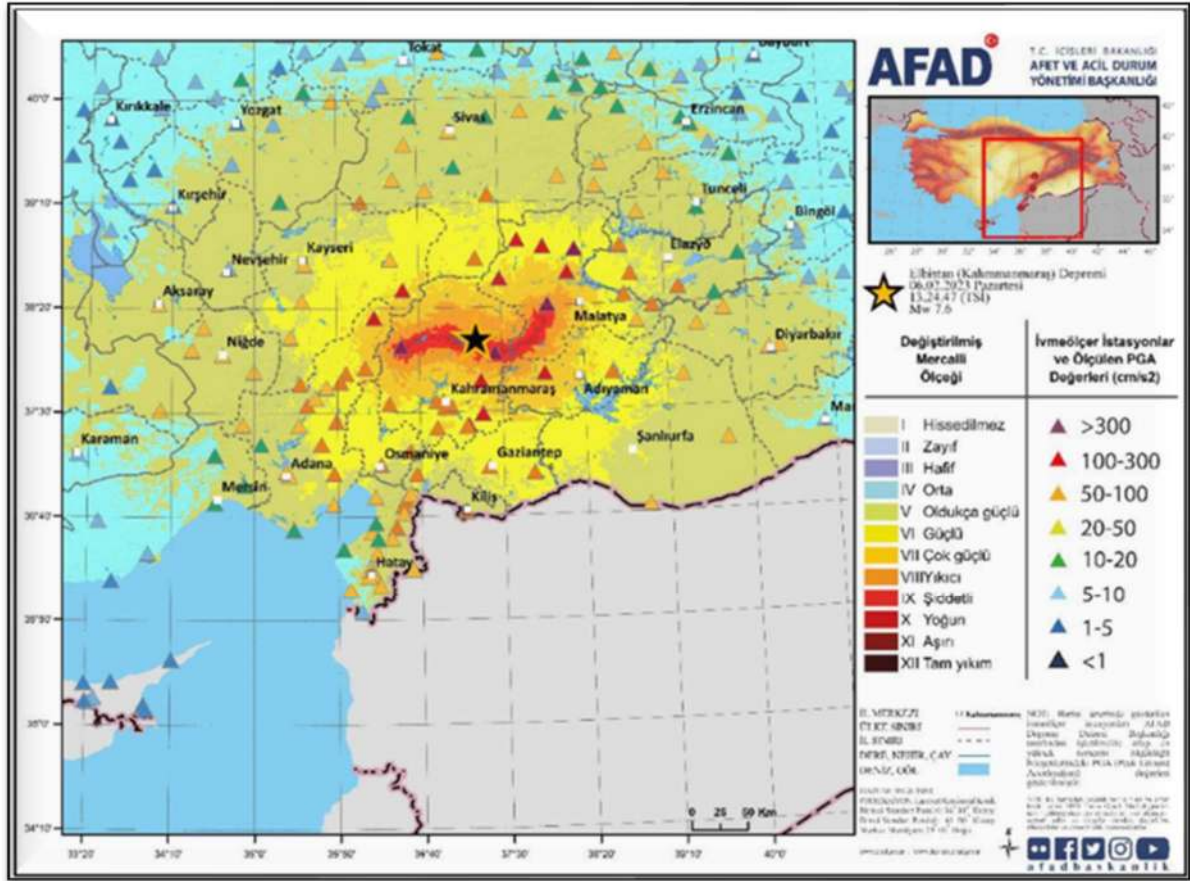
1866 yılında Doğu Anadolu’da; Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) ve Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF)’ın birleştiği noktada gerçekleşen deprem (Muş – Varto Depremi), 2023 yılında kadar DAF’ın ürettiği en büyük deprem olmuştur. 1866 ve 2023 yılları arasında 6.0 – 7.0 (Mw) arasındaki depremler yaşansa da, fay 7.0 (Mw) üzerindeki depremler için potansiyel açıdan suskunluğunu korumuştur. 6 Şubat 2023 Pazarcık – Elbistan (Kahramanmaraş) Mw: 7.7 ve Mw: 7.6 depremleri nedeniyle başta Kahramanmaraş olmak üzere depremden etkilenen Hatay, Gaziantep, Malatya, Diyarbakır, Kilis, Şanlıurfa, Adıyaman, Osmaniye, Adana ile 11. il olarak eklenen Elazığ illerinde olağanüstü hal ilan edilmiş, daha sonra alınan kararla

Bingöl, Kayseri, Mardin, Tunceli, Niğde ve Batman illeri de afet bölgesi olarak ilan edilmiştir. Resmi rakamlara göre, deprem nedeniyle 50783 kişi hayatını kaybederken, 115353 kişi yaralanmıştır (URL10).



Şekil 2.2 Mw: 7.7 Büyüklüğündeki Pazarcık Depreminin Revize AFAD-RED Tahmini Şiddet Haritası (URL-11).

AFAD'ın hazırladığı deprem analiz raporunda depremin merhalli şiddeti etkisi Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'teki gibidir. 90609 binanın hasar gördüğü raporlanmıştır. Bu rakamlara göre içinde bulunduğumuz yüzyılda ülkemizde meydana gelmiş en büyük deprem olan 1939 Erzincan Depremi (Mw: 7.9) ve 1999 Kocaeli depremleriyle birlikte yaşanan en büyük depremlerden biri de Elbistan-Pazarcık depremleridir (URL-12).



Şekil 2.3 Mw: 7.6 Büyüklüğündeki Elbistan Depreminin Revize AFAD-RED Tahmini Şiddet Haritası (URL-11).

Elbistan-Pazarlık depremlerinin diğer depremlere göre yıkıcı etkisinin daha yüksek olmasının bir nedeni de iki büyük depremin aynı gün içinde gerçekleşmesidir.

2.2 DEPREM SONRASI OTOMATİK HASAR TESPİTİ

Deprem sonrası yapılacak hasar tespiti konularından biri de otomatik bina çıkarımı olmalıdır. İlgili kurumlar sahada tüm gücüyle çalışsa bile yüksek çözünürlüklü coğrafi verilerle çok daha kısa bir zamanda, konum bilgisi içeren bulgular elde edilebilir. Hem değişim analizi, hem de otomatik bina çıkarımı yöntemleri bir arada kullanıldığında deprem sonrası yıkılan binaların tespiti de büyük ölçüde mümkün olacaktır.

Afetin yol açtığı zararların tahmini, afet sonrası zarar azaltma sürecinde önemli bir görevdir. Etkilenen bölgedeki yardım ve kurtarma operasyonunu geliştirmek için gerçek zamanlıya yakın bir hasar modelinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla insan yapımı nesnelerin

ıkarılması için uygun yöntemlerle hızlı bir veri toplama yöntemi gereklidir. Lazer tarama verileri, karmaşıık bir kentsel ortamda insan yapımı özelliklerin ortaya çıkarılmasına yönelik modellerin geliştirilmesinde kullanılabilecek yer nesnelerinin yüksekliğini sağlar. Verilerde yer alan nesnelerin çevresi boyunca yükseklik değişimini kullanarak ağaç ve binayı ayırt etmek için çeşitli yöntemler geliştirilebilir (Dash vd. 2004).

Yapılacak çalışmaların kapsamına ve leğine bağlı olarak bina detaylarının toplanması ve sayısallaştırılması farklılıklar göstermekle birlikte yaygın olarak ortofoto görüntü üzerinden elle sayısallaştırma işlemi uygulanmaktadır. Bu yöntem özellikle nüfusun yüksek olduğu yerleşimlerde proje üretim sresinin büyük çoğunluğunu kapsamaktadır. Bu sebeple bina detaylarının otomatik olarak çıkarımı üretim sürecinde zamansal maliyeti büyük oranda azaltacaktır (obanoğlu 2023).

Afet ncesi ve sonrası görüntülerin çekim tarihleri arasında yeni binalar inşa edilebilir, inşaat çalışmaları yapılabilir ve yeni kazı, dolgu alanları oluşabilir. Tüm bu durumlar yapılacak olan otomatik bina çıkarımı ve hasar tespit analizi sonuçlarının doğruluğu düşürecektir. Aynı şekilde veriler, üzerinde tespitin kolaylaşması için yüksek çözünürlükte olmalıdır. Yüksek znrlkl veriler ise analiz süresini uzatabilir. Her iki durum da göz önünde bulundurulurken gerekli geometrik çözünürlük ve ya belirlenerek veriler ihtiyaç duyulan çözünürlüğe getirilebilir.

2.2.1 Ortofoto ve Zamansal znrlk

Ortofoto, resimlerdeki, eğiklik ve arazideki yükseklik farklarından dolayı oluşan görüntü kaymalarının giderilmesi sonucu elde edilen ve harita gibi belirli ve sabit bir leği olan topografik görüntü, diğer bir tanımla, taranmış, geometrik ve perspektif bozulmaları giderilmiş ve bir harita projeksiyonu ya da düz bir dikdörtgen form üzerine oturtulmuş, foto plan olarak da adlandırılan düzeltilmiş hava fotoğrafıdır (URL-13).

Zamansal znrlk, aynı alana ait hava fotoğrafı ya da uydu görüntüsünün ardışık olarak edinimi arasında kalan zaman aralığıdır. Zamansal çözünürlüğün kısa zaman aralıklarında olması beklenilse de, değişim analizlerinde olay öncesine ve olay sonrasına en yakın zaman dilimindeki görüntülerin mevcudiyeti analiz için önem arz eder. Görüntünün olay öncesi ve sonrasına olan zaman aralığı arttıkça analizin doğruluğu ve gerçekliği de azalacaktır.

Depremde yıkılan binaların otomatik tespiti için; Harita Genel Müdürlüğü (HGM) uçuşlarından üretilen 30 cm geometrik çözünürlüklü sayısal ortofotolar kullanılmıştır. Bina sınırlarının belirlenmesi, görsel kontroller gibi bazı işlemlerde zaman kazanmak, veri boyutunu azaltmak için deprem öncesi ve deprem sonrası ortofotolar Global Mapper yazılımında 1 m çözünürlükle örneklenmiştir. M37a3 paftasında 8 bit veri için 30 cm çözünürlükte 5 gb olan veri boyutu, 1 m'ye örneklendikten sonra 500 mb'a kadar inmiştir. Şekil 2.4'te sırasıyla 30 cm ve 1 m çözünürlüklü ortofotoların detayların görünümü açısından farkı gösterilmiştir.



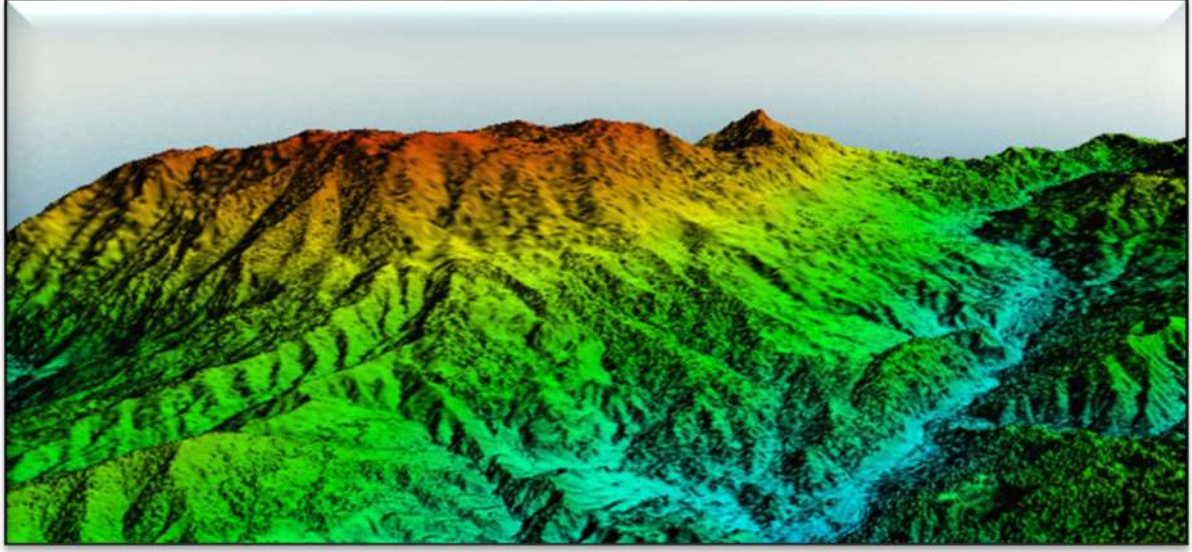
Şekil 2.4 30 cm ve 1 metre Geometrik Çözünürlüklü Ortofotoların Görsel Olarak Farkı.

Yüksek çözünürlüklü verinin ayırt edici özelliği daha yüksek olsa da, gerekli çözünürlüğün üstündeki verilerde boyut ve analiz süresi de katlanarak artacaktır. Özellikle afet sonrası analizler aciliyet arz ettiğinden makul veride çalışmak büyük avantaj sağlamaktadır.

2.2.2 Sayısal Yüzey Modelleri ve YÖA Belirlenmesi

Sayısal yükseklik modelleri (SYM), sayısal yüzey modeli (SYÜM) ve sayısal araz modeli (SAM) kavramlarının genel adıdır. Arazi üzerindeki bina, yol, ağaç gibi detayların yüksekliklerine de ihtiyaç duyulan analizlerde SYÜM verileri, doğrudan araziye ilgilendiren analizlerde ise sam verileri kullanılır.

Yer örnekleme aralığı (yöa) kavramı, sayısal yükseklik modellerinin geometrik çözünürlüğünü ifade etmek için kullanılır. Örneğin yöa değeri 1 metre olan bir SYM verisi her 1 m’de bir, bir noktanın yüksekliğini ifade etmektedir. Yöa değeri raster SYM verilerinde genellikle piksel boyutu ile benzer şeyleri ifade eder. Yöa iki ardışık pikselin orta noktalarının mesafesi olarak tanımlanırken, piksel boyutu ise pikselin uzunluğunu ifade eder. Şekil 2.5’te çalışma alanına ait bir SYÜM verisinin üç boyutlu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.5 M37a3 Paftasına ait Sayısal Yüzey Modeli.

Ortofoto ve SYÜM verileri tüm çalışma sahası için eksiksiz olarak hazır hale getirildikten sonra depremde yıkılan binaların tespiti işlemine başlamak mümkün olacaktır. Depremde yıkılan binaların otomatik tespiti için; deprem öncesi ve deprem sonrası HGM uçuşlarına ait 30 cm çözünürlüklü hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. UltraMap yazılımında bu hava fotoğrafları ve dengeleme dosyaları kullanılarak 30 cm yöa değerine sahip SYÜM verileri üretilmiştir. Deprem öncesi ve sonrası binaların yüksekliğindeki bariz değişiklikler yıkımlar hakkında yüksek oranda doğru bilgiler verebilir.

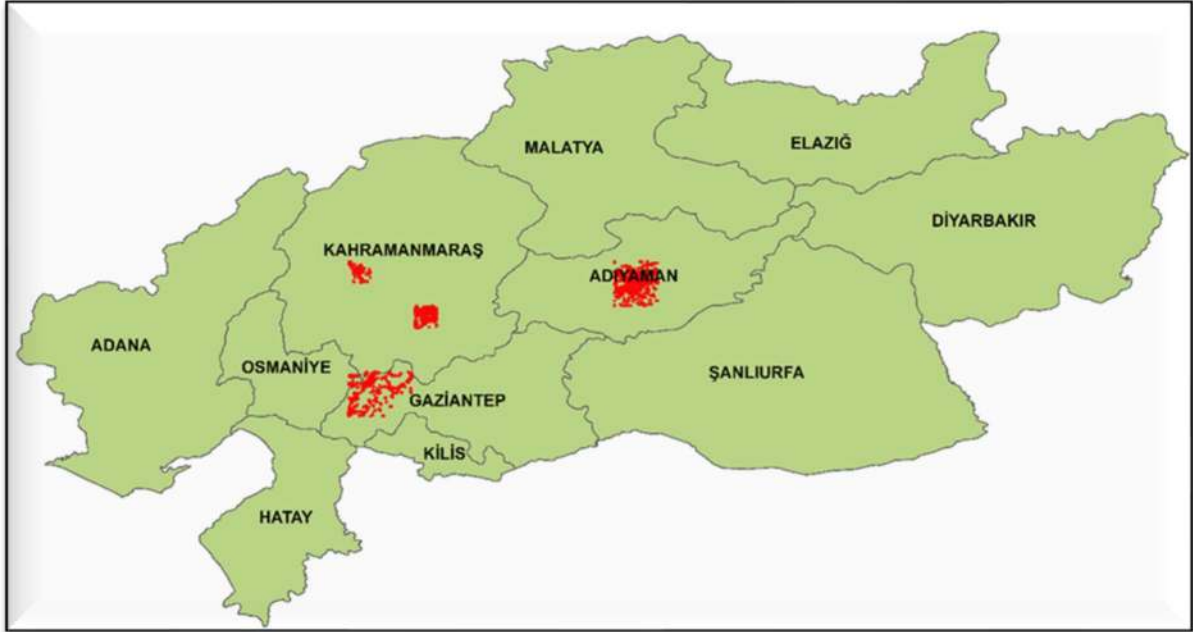


BÖLÜM 3

MATERYAL

3.1 ÇALIŞMA BÖLGESİ

Elbistan-Pazarcık depremlerinden etkilenen 11 il içerisinde Kahramanmaraş (Merkez, Dulkadiroğlu), Adıyaman Merkez, Gaziantep Nurdağı olmak üzere dokuz adet 1:25.000'lik pafta alanını kapsayan alan, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu çalışma sahası seçilirken yoğun yıkımın yaşanması ile adı çokça anılan il ve ilçeler, yoğun şekilde bina içeren alanlar, bu alanların deprem öncesi ve deprem sonrası coğrafi verilerinin eksiksiz bulunması kriterleri dikkate alınmıştır. Başlangıçta çalışma sahası içerisinde bulunan ve analizi önemli görülen Hatay ili, deprem öncesi verilerdeki eksiklik nedeniyle çalışma sahası içerisinde çıkarılmıştır.



Şekil 3.1 11 İli İçeren OHAL Bölgesi ve Çalışma Alanı.

Şekil 3.1 'de kırmızı renk ile gösterilen alanlar çalışma sahasındaki tüm binaları ifade etmektedir. Seçilen paftaların tamamı, neredeyse boş arazi içermeyen yerleşim yerleridir. Bu alanlara ait deprem öncesi ve sonrası tüm gerekli veriler ilgili kurum ve kişilerden temin edilerek analize hazır hale getirilmiştir.

3.2 SAYISAL ARAZİ MODELİ

Sayısal yüzey modeli kullanılarak üretilecek olan bir sayısal arazi modeli, SYÜM'ün içerdiği beşeri yapılar ve bitki örtüsü ayklandıktan sonra ortaya çıkan arazi topoğrafyasını temsil eden üç boyutlu bir yükseklik modelidir. SYÜM verileri sayısız doğal veya yapay detayın en üst noktasından geçen bir yüzeyi temsil ederken, SAM verileri doğrudan yeryüzü topoğrafyasını temsil eder (URL-12). Doğrudan arazi yapısını ve zemin yüksekliklerini içeren analizlerde SYÜM yerine SAM verileri tercih edilmelidir. Genel olarak SAM verilerinin kullanım alanları şu şekildedir.

- Ulaşım ağı planlaması ve ulaşım optimizasyonu
- Eğim, bakı analizleri
- Sulama ağı planlaması ve drenaj çalışmaları
- Haberleşme ağı analizi
- Baraj alanlarının tasarımı
- Ölçü ağı planlaması
- Arazi bilgi sistemleri
- Navigasyon ve yönlendirme
- Şehir ve bölge planlama
- Doğal afet acil eylem planlaması
- Erozyon kontrolü
- Maden rezervlerinin hesaplanması
- Silah sistemlerinin kullanım planlaması
- Radar kaplama alanlarının belirlenmesi
- 3 boyutlu kent modellemesi
- Sayısal ortofoto harita üretimi (Yılmaz vd. 2011).

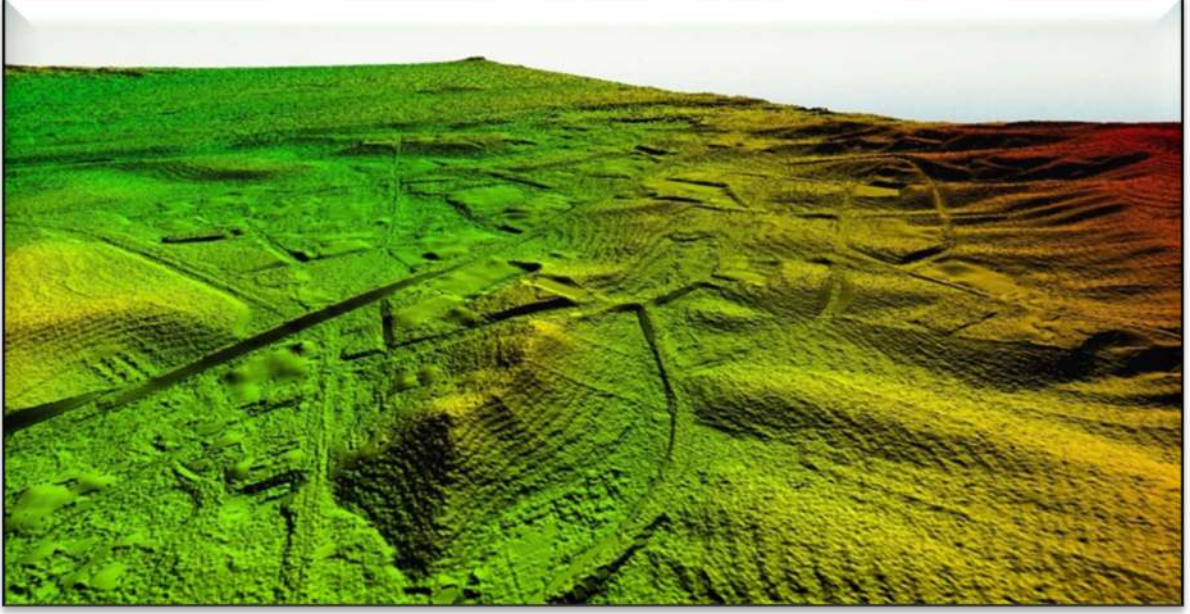
Yıkılan binaların otomatik tespiti aşamasında kullanılan tüm SYÜM verilerinin, arazi eğimi değerlerini elde edebilmek için SAM verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple SYÜM verileri çeşitli filtreleme yöntemleri kullanılarak arazi üzerindeki ek detaylardan arındırılarak SAM verilerine dönüştürülmüştür.

Hava fotoğraflarından SYÜM ve SAM üretimi günümüzde sıklıkla tercih edilmektedir. SAM üretiminde birçok farklı filtreleme yöntemi kullanılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan filtreleme yöntemleri, morfolojik, enterpolasyon ve eğim tabanlı filtrelerdir. Ancak bu çalışmada kullanılan filtreme yöntemi önceden belirlenen iterasyon sayısında ve sadece daha önceki iterasyonlarda filtrelediği noktalardan yararlanarak, arazi yüzeyine ait olmayan objeleri tespit etmektedir. Söz konusu filtreleme yöntemi zaman tasarrufu sağlamak amacıyla, arazi yüzeyine ait olmayan objelerin sınırlarının tespiti için kullanılmış, daha sonra bu sınırlardan faydalanarak arazi yüzeyine ait olmayan objelerin tamamının tespiti sağlanmıştır. Yapılan test çalışmalarında sabit bir eşik değeri ve iterasyon sayısı ile tüm arazi tiplerinde başarı sağlandığı görülmüştür. Sıklıkla hatalar ile karşılaşılan, orman ve büyük yapıların bulunduğu alanlarda başarılı bir performans sergilemiştir (Tavukçu vd. 2023).



Şekil 3.2 SAM Üretimi Öncesi SYÜM.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi tüm syüm verileri filtreleme yöntemi kullanılarak on iterasyon işlemi sonucunda Şekil 3.3’teki SAM verisine dönüştürülmüştür. Görüldüğü üzere SYÜM verisinde net bir şekilde belli olan binalar SAM verisinde arazi seviyesine inmiştir.



Şekil 3.3 Sayısal Arazi Modelinin Gösterimi.

SAM üretimi için deprem öncesi çalışma bölgesine ait dö-SYÜM kullanılmıştır. SAM üretiminde kullanılan filtreler incelendiğinde farklı arazi tiplerinde farklı performanslar sergilediği görülmektedir; ancak filtreleme yöntemlerinin performanslarını etkileyen iki ana etken mevcuttur. Bunlar, araştırma penceresi boyutu ve kullanılan eşik değerleridir. Araştırma penceresinin boyutunun çok küçük veya çok büyük olması hatalı bir filtrelemeye yol açmaktadır. En sık karşılaşılan hatalar, büyük yapıların filtrelenememesi ve arazi yüzeyine ait detayların hatalı olarak filtrelenmesidir. Bu çalışmada araştırma penceresi yerine en yakın komşuların birbirleriyle ilişkisi kullanılarak yeni bir filtreleme yöntemi ortaya çıkarılmıştır. Söz konusu filtreleme yöntemi, önceden belirlenen iterasyon sayısında ve sadece daha önceki iterasyonlarda filtrelediği noktalardan yararlanarak, arazi yüzeyine ait olmayan objeleri tespit etmektedir. Söz konusu filtreleme yöntemi zaman tasarrufu sağlamak amacıyla, arazi yüzeyine ait olmayan objelerin sınırlarının tespiti için kullanılmış daha sonra bu sınırlardan faydalanarak arazi yüzeyine ait olmayan objelerin tamamının tespiti sağlanmıştır. Yapılan test çalışmalarında sabit bir eşik değeri ve iterasyon sayısı ile tüm arazi tiplerinde başarı sağlandığı görülmüştür. Sıklıkla hatalar ile karşılaşılan, orman ve büyük yapıların bulunduğu alanlarda başarılı bir performans sergilemiştir (Tavukçu vd. 2023).

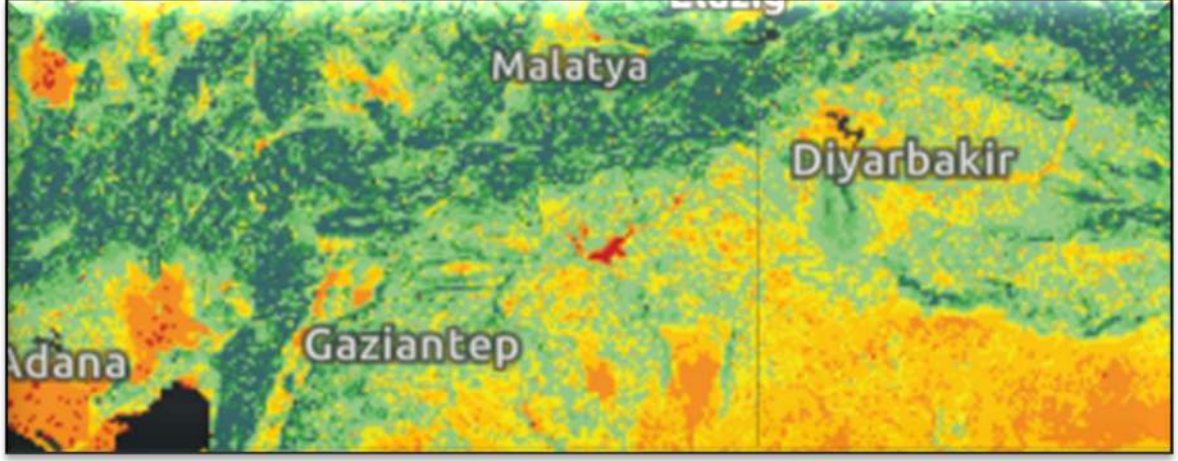
1:25.000 ölçekli dokuz adet pafta alanı için filtreleme ve kenarlaşma algoritmaları kullanılarak on iterasyonla aynı bölgelere ait SAM verileri üretilmiştir. Üretilen veriyi kontrol etmek amacıyla SAM verisinin yükseklikleri ile hali hazırda bulunan TREx-Sam12 (12 metre

çözünürlüklü SAM) verisi ile karşılaştırılmış kentsel alanlarda yüksekliklerin uyumlu olduğu görülmüştür.

3.3 ZEMİN SERTLİĞİNİN TESPİTİ İÇİN V_{S30} DEĞERLERİNİN KULLANILMASI

Yerel zemin sınıfının tespiti amacıyla kullanılan değerlerden biri de V_{S30} değeridir. V_{S30} değeri yerden 30 metre derinlikte ortalama yer kayma dalgası hızının temsili olarak hesaplanan bir değerdir. Kayma dalgası hızı, sismik dalgaların zemin katmanları boyunca yayılma hızını temsil eder ve zeminin sismik davranışını anlamak için önemli bir parametredir. V_{S30} değeri genellikle zemini sınıflandırmak ve sismik zemin tepkisini belirlemek için kullanılır. Kayma dalga hızları zeminin mukavemetini yansıtan bir parametredir. Depremde ağır hasarlı alanların önceden belirlenmesi için deprem parametreleri ve yerel zemin koşullarının bilinmesi hayati önem taşımaktadır. Deprem parametreleri olarak depremin uzaklığı, odak derinliği, büyüklüğü, süresi, ivmesi ve fayın geometrisi gibi parametrelerin bilinmesi deprem senaryoları açısından önemlidir. Deprem hasarında yerel zemin koşullarının etkisi düşünüldüğünde; zemin sıvılaşması, zemin büyütmesi, zemin hakim titreşim periyodu ve yapı periyodu, zeminin ivme değeri, alüvyon kalınlığının etkisi, zeminin taşıma gücü, zeminin V_{S30} değeri, zeminin türü ve bunun gibi parametrelerin belirlenmesi gereklidir. Günümüzde önceden depremin tahmini mümkün değildir, ancak deprem ağır hasar mevkilerinin tahmini mümkündür. Bunun için büyük bir depremi beklemeye gerek yoktur (Uyanık 2015).

V_{S30} değerleri zemin sertliğini ya da yerel zemin sınıfını bilmek açısından önemlidir. Depremde yıkılan binaların üzerinde bulunduğu arazinin zemin bilgisi için V_{S30} değerleri kullanılmıştır. ABD jeoloji araştırmaları kurumu olan USGS, doğrudan ve dolaylı bir çok ölçümle ürettiği tüm dünyanın V_{S30} haritasını açık kaynak olarak resmi sitesinde yayınlamaktadır ve verinin genel görüntüsü Şekil 3.4'deki gibidir (URL-14).



Şekil 3.4 USGS'den İndirilen V_{S30} Verisi (URL-14).

V_{S30} verilerinin renk skalasındaki renklerin ifade ettiği değerler; koyu yeşil, en düşük V_{S30} değerleri (örn. 180 m/s'den düşük); açık yeşil, orta düzey düşük V_{S30} değerleri (örn. 180-360 m/s); sarı, orta düzey yüksek V_{S30} değerleri (örn. 360-760 m/s); turuncu, yüksek V_{S30} değerleri (örn. 760-1500 m/s); kırmızı, en yüksek V_{S30} değerleri (örn. 1500 m/s'den yüksek) olarak tanımlanır.

V_{S30} değerleri, Elbistan-Pazarcık depremlerinden etkilenen çalışma sahasını kapsayan bir dikdörtgenle çevrilerek raster veri formatında indirilmiştir. V_{S30} değerleri bölgesel olarak değişmekle birlikte mekânsal çözünürlük olarak 1 km, 100 m, 10 m'lik piksellerden oluşur. İndirilen V_{S30} haritası Global Mapper yazılımında SYÜM verisi gibi kabul edilmiştir. Piksel değerleri 180 ile 900 arasında değişen V_{S30} değerlerini içermektedir. Yıkılan ve yıkılmayan binalara ait sınırlar da yazılım ekranına yüklendikten sonra koordinat sistemleri eşitlenmiştir. Harita üzerindeki tüm binalar toplu halde seçilerek piksel değerleri tüm binalara yükseklik değeriymiş gibi giydirilmiştir. Bu işlem sonunda yıkılan ve yıkılmayan tüm binalara V_{S30} öznitelik bilgileri eklenmiştir. Son olarak öznitelik tablosunu içeren sütun bina adlarıyla birlikte kaydedilerek daha önceki öznitelik tablosu ile birleştirilmiştir.

3.4 TOPOVT TOPOLOJİK VEKTÖR VERİ TABANI

Türkiye Topoğrafik Vektör Veritabanı (TOPOVT); topoğrafik detayların topolojik vektör verilerle, topoğrafyanın ise eş yükseklik eğrileri ile temsil edildiği, mevki isimlerini ve

yerleşim yeri isimlerini de içeren, tüm ülkeyi kapsayan vektör veritabanıdır (Yılmaz ve Canıberk 2018).

TOPOVT verileri Harita Genel Müdürlüğünde PostgreSQL-PostGIS veri tabanı içerisinde tutulan 1:15.000-1:25.000 ölçekli detay çözünürlüğünde ve doğruluğunda, üç boyutlu ve iki boyutlu olarak hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden üretilen topoğrafyanın eş yükseklik eğrileri ile temsil edildiği, topolojik yapıdaki 365 detayı, mevki ve yerleşim yeri isimlerini içeren, Türkiye'nin tamamını kapsayan verilerden oluşmaktadır. Türkiye'nin tamamına ait TOPOVT vektör verileri 2019 sonu itibarıyla üretilmiştir. Tüm ülke sınırlarını kapsayan 76 adet 1:250.000 ölçekli alandan yıllık ortalama 7-8 adedi bölgesel olarak; YOL, KOPRUGECIT, TUNEL, ALTGECIT detay sınıfları ise tüm ülke sınırlarını kapsayan alanda 2 yıllık periyotlarla güncellenmektedir (URL-15).

TOPOVT veri modelinin TUCBS veri modeline uygun hale getirilmesi (binaların alan toplanması, menfezlerin çizgi toplanması, yolların sadece çizgi toplanması vb.) ve TOPOVT veri modelinin geliştirilmesi çalışmaları kapsamında TOPOVT veri modeli ile TUCBS veri modeli arasındaki dönüşüm dokümanının güncellenme çalışmaları da devam etmektedir (Ağdaş vd. 2021).

TOPOVT verileri depremde yıkılan binalarla ilişkilendirilerek, il ilçe adları, bina kat adetleri, bodrum kriteri ve yıkılmayan binaların alan bilgileri elde edilmiştir. Bu öznetelikler analiz aşaması öncesinde yıkılan ve yıkılmayan tüm binalara eklenmiştir.



BÖLÜM 4

YÖNTEM

Bu bölümde, yıkılan binaların tespit edilmesi için verilerin hazırlanmasından, yıkılan binaların tespitine kadar uygulanan tüm işlemler sırası ile anlatılmıştır. Yıkılan binaların tespit edilmesinden sonra yıkılmayan binalar da TOPOVT veri tabanından çalışma alanına eklenmiştir. Yıkılan ve yıkılmayan tüm binalar hazır hale geldikten sonra zemin ve yapı parametrelerinin öznitelik olarak binalara eklenmesi aşamaları anlatılmıştır.

4.1 DEPREM ÖNCESİ VE SONRASI GÖRÜNTÜLERİN HAZIRLANMASI

Deprem öncesi ortofotolar (dö-GÖR) Harita Genel Müdürlüğü'nün 06 Şubat 2023 tarihi öncesine en yakın tarihli uçuşlarına aittir. Deprem sonrası ortofotolar (ds-GÖR) depremin hemen sonrasındaki birkaç gün içinde hasar tespit amacıyla yapılan HGM uçuşlarına aittir. Dö-GÖR ve ds-GÖR verilerinin ikisi de 30 cm çözünürlüklü hava fotoğraflarından üretilen 30 cm geometrik çözünürlüğe sahip sayısal ortofotolardır. Ortofotolar kullanım amacıyla HGM'den talep edilmiştir. Raster görüntülerin çözünürlük kalitesi arttıkça piksel sayısı ve verinin boyutu artacağından bazen verilerin daha düşük çözünürlükte olması istenebilir. Yıkılan binaların otomatik tespitinin evreleri düşünüldüğünde dö-GÖR ve ds-GÖR, Global Mapper yazılımında 1 metre çözünürlükle yeniden örneklenmiştir. Bu işlemle her 1 km² alandaki piksel sayısı 11 kattan daha fazla azalırken, veri boyutu da benzer oranda azalmıştır. Her iki çözünürlük değerinde de binalar gözle seçilse de binaların dö-GÖR'den sınırların belirlenmesi için ve analiz sonuçlarının görsel kontrolü için yüksek çözünürlüklü görüntü tercih edilmiştir. Algoritmaların pikselleri gezdiği birçok analiz için ise 1 metre çözünürlüklü ortofotolar kullanılmıştır. Şekil 4.1 ve 4.2'de 30 cm çözünürlüklü dö-GÖR ve 1 m çözünürlüklü ds-GÖR verilmiştir.



Şekil 4.1 30 cm Geometrik Çözünürlüklü dö-GÖR.

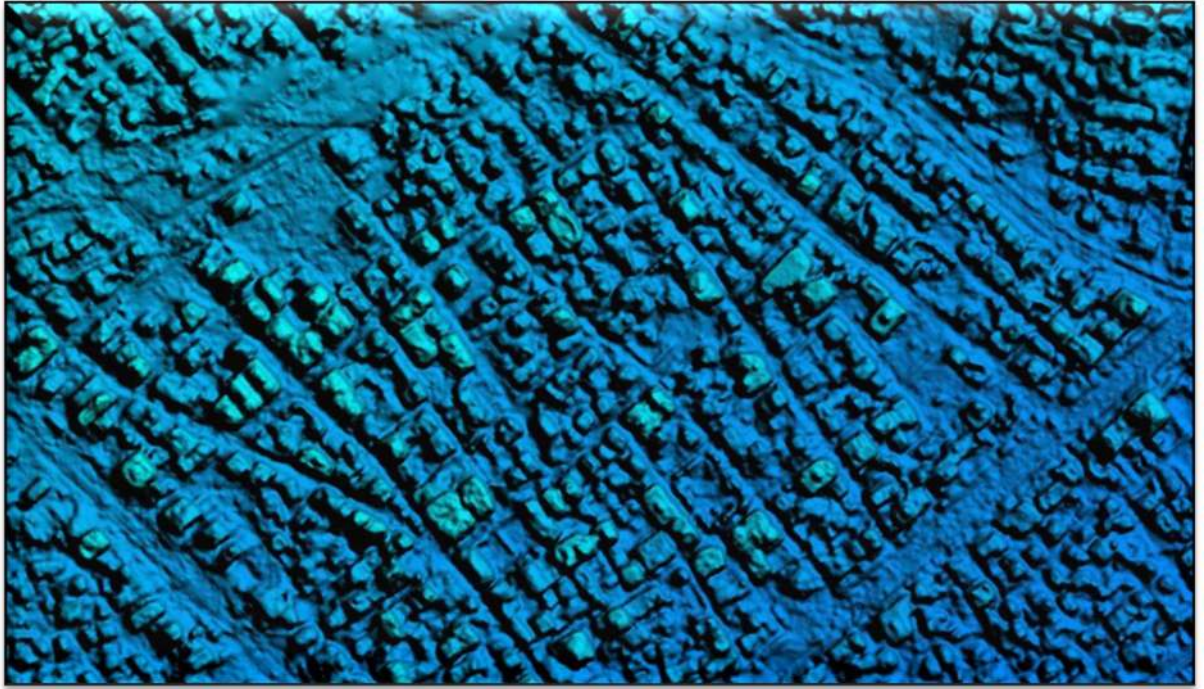


Şekil 4.2 1 metre Geometrik Çözünürlüklü ds-GÖR.

4.2 DEPREM ÖNCESİ VE SONRASI FARK SAYISAL YÜZEY MODELLERİNİN HAZIRLANMASI

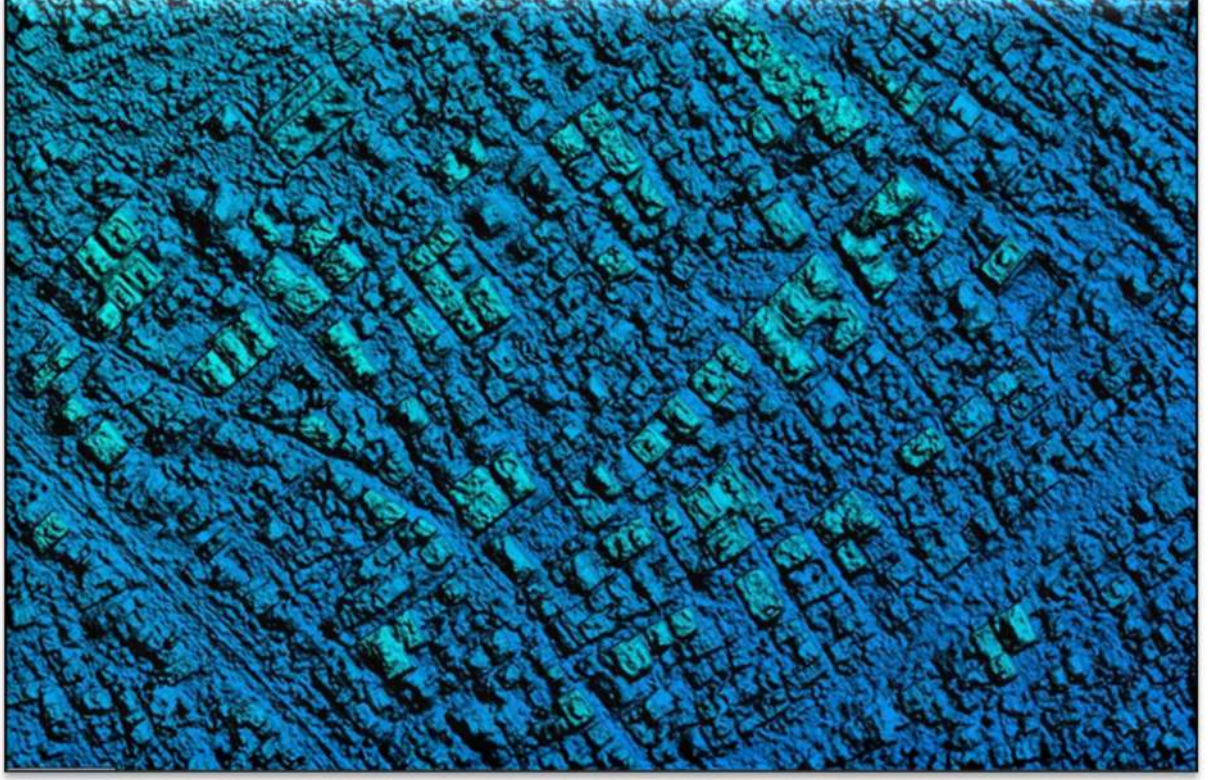
Dö-GÖR ve ds-GÖR'ün üretildiği aynı hava fotoğrafları kullanılarak UltraMap yazılımında 30 cm yer örnekleme aralığında, deprem öncesi ve sonrası sayısal yüzey modelleri üretilmiştir (dö-SYÜM, ds-SYÜM). Bindirmeli hava fotoğrafları üzerinde kamera parametrelerini içeren iç yöneltme parametreleri ve fotoğrafın uzayda konumlandırılması işlemlerini içeren dış yöneltme parametreleri düzeltmeleri yapılmıştır. Ultramap yazılımı bu dengeleme işlemlerini tamamladıktan sonra nokta bulutu verisi üretir ve bu noktaları filtreleyip sınıflandırır. Zemin yüzeyi ve ağaç, bina gibi diğer nesneler sınıflandırıldıktan sonra zemin noktaları kullanılarak enterpolasyon yöntemleri ile tüm noktaları birleştirerek sayısal yüzey modelini oluşturur. Dö-GÖR ve ds-GÖR de bu işlem evrelerinin devamında üretilmektedir.

Dö-GÖR ve ds-GÖR'de olduğu gibi dö-SYÜM ve ds-SYÜM'de de tüm veriler Global Mapper yazılımında 1 metre geometrik çözünürlükle yeniden örneklenmiştir. Böylelikle çalışma alanlarının tamamı için aynı alanı kapsayan 1 m çözünürlüklü ortofoto ve SYÜM'ler hazır hale getirilmiştir.



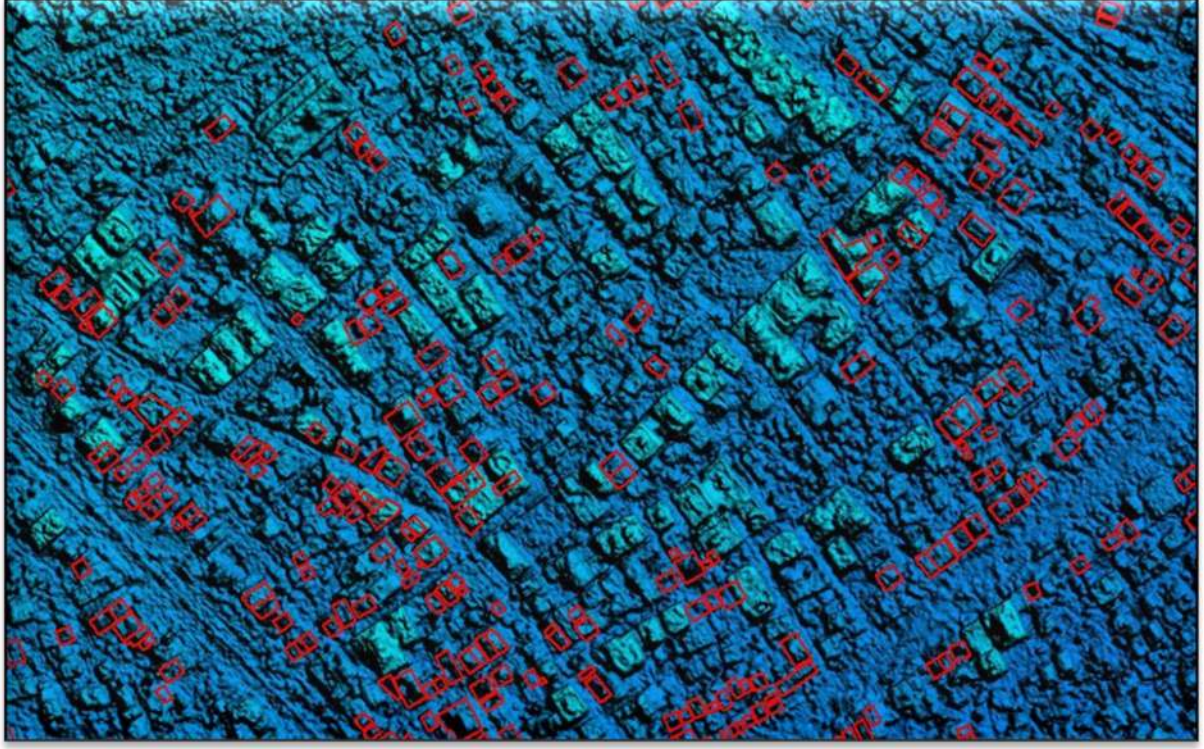
Şekil 4.3 Deprem Öncesi SYÜM.

Şekil 4.3’de dö-SYÜM verisi deprem sonrasında değişime uğramıştır. SYÜM’lerde bu farkı ortofotolardaki gibi gözle ayırmak kolay olmasa da Şekil 4.4’te aynı bölgenin değişimi ayırt edilebilmektedir.



Şekil 4.4 Deprem Sonrası SYÜM.

Şekil 4.4’te yıkıldığı tespit bilinen binaların sınırları Şekil 4.5’te işaretlenmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.5 karşılaştırıldığında değişim açıkça gözlemlenmektedir.



Şekil 4.5 Deprem Sonrası SYÜM ve Yıkılan Binaların Yerleri.

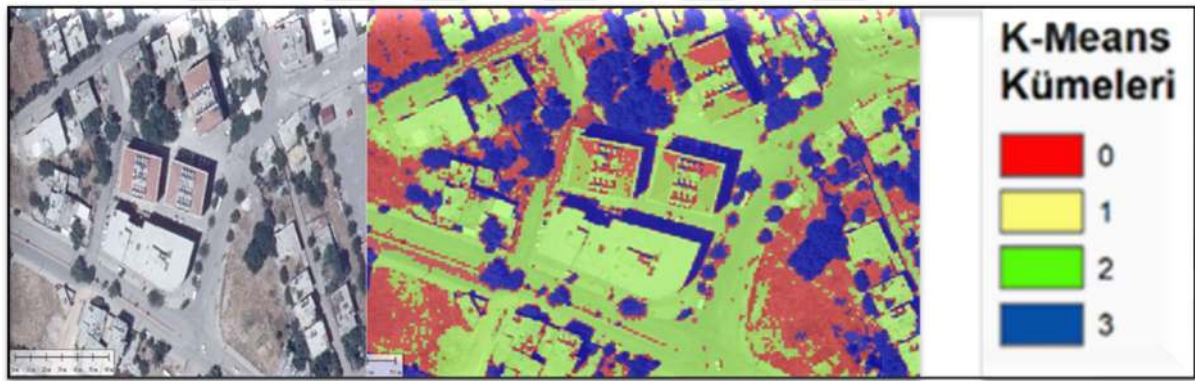
SYÜM'ler hazır hale getirildikten sonra ArcGIS Pro yazılımında hesaplama aracı kullanılarak tüm çalışma alanları için fark-SYÜM'ler üretilmiştir. Bu işlemde raster formattaki üst üste gelen tüm dö-SYÜM ve ds-SYÜM verileri birbirinden doğrudan çıkarılmıştır. Fark-SYÜM'lerin üretilme sebebi yıkılan alanların tespiti yapılırken deprem öncesi yüksek olan bir pikselin deprem sonrası belirli sayıda komşu pikselle birlikte yüksekliğinin düşmesine bağlı olarak yıkımın tespit edilmesidir. Genel olarak bir binanın her katının yüksekliği konut veya ticari olma durumuna göre 3 ile 4 metre arasında olduğu değerlendirilmektedir. Depremde yıkılan binalar için “en az bir katının çökmesi yeterlidir.” kabulü yapılarak yüksekliği 3.5 m'den fazla azalan binaların yıkık bina olarak kabul edilmesi yükseklik kuralı belirlenmiştir. Yüksekliği 3.5 m'den fazla düşen piksellerden bina alanının tespiti için ise, 100 m²'den küçük ve 4000 m²'den büyük alanların bina olmayacağı alan kuralı olarak belirlenmiştir.

4.3 FARK SYM'LERİN İÇERDİĞİ BİNA İÇERMEYEN ALANLARIN AYIKLANMASI

Ds-SYÜM ve dö-SYÜM'ün farkını içeren fark-SYÜM yalnızca yıkık binaları içermez. Bu sebeple fark veri üzerinden bina olmayan alanların ayıklanması gerekmektedir. Yalnızca 100 m²'den küçük ve 4000 m²'den büyük alanların veri üzerinden silinmesiyle bu problemi

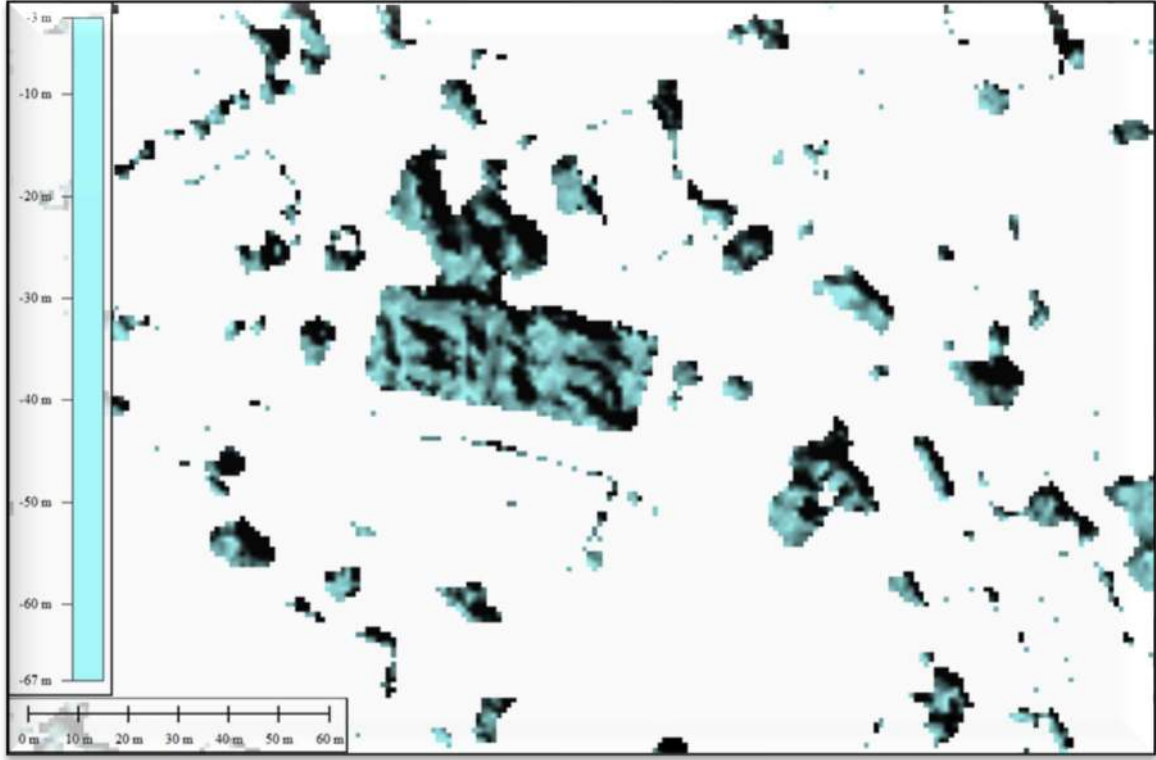
ortadan kaldırmak mümkün değildir; çünkü yıkılan binaların sınırına hemen komşu olan gölge, ağaç vb. detayları içeren pikseller mevcut yıkılan alanlarla temas ettiğinde hem yıkılan binayı hem de binanın alanını tespit etmek karmaşık olacaktır. Ayrıca kış aylarında çekilen dö-GÖR’lerde yaprak dökmüş bitki örtüsü sayısal yüzey modelinde zemin olarak gözükmektedir. Bu sebeple sayısal yüzey modelinde fark olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitki örtüsü farkının SYÜM’den ayıklanması gerekmektedir.

Fark-SYÜM’den bina dışı nesneleri ayıklama aşamasında araştırma yapıldığında, k-means kümeleme algoritmasının uygun olabileceği görülmüştür. 30 cm çözünürlüklü dö-GÖR kullanılarak bu görüntüden gölge ve ağaç içeren piksellerin ayıklanması amaçlanmıştır. K-means algoritmasıyla dö-GÖR 4 kümeye (0,1,2,3) bölütlenmiştir. Şekil 4.6’da aynı alandaki detayların ortofoto görüntüsü ve k-means kümeleri gösterilmiştir.



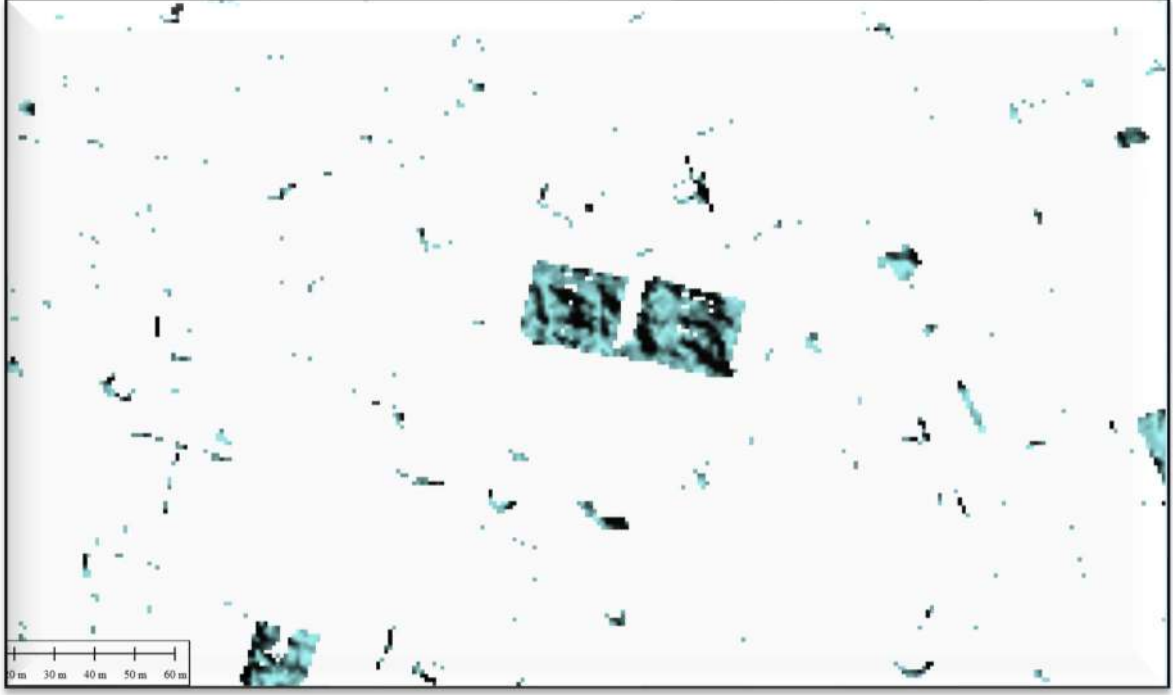
Şekil 4.6 K-Means Küme Görünümü.

Bölütleme sonuçları incelendiğinde gölge ve ağaçların k-means sonuçlarındaki 3. küme içerisinde olduğu görülmüştür. Ortofotodaki k-means sonuçlarına göre 3. küme içerisine gelen tüm piksellerin denk geldiği pikseller, fark-SYÜM üzerinden de silinmiştir.



Şekil 4.7 K-Means Uygulaması Öncesi Binalar ve Diğer Detayların Görünümü.

Şekil 4.7’de k-means algoritması uygulanmadan önce fark-SYÜM verisi üzerindeki bina içermeyen detaylar oldukça fazladır. Şekil 4.7’deki gibi olan çalışma alanındaki tüm veriye k-means uygulanmıştır.



Şekil 4.8 K-means Uygulaması Sonrası Kalan Detaylar.

Şekil 4.8’de, Şekil 4.7’deki bölgenin k-means uygulaması sonrası geldiği durum yer almaktadır. K-means uygulaması sonucu gölge ve ağaçlar fark-SYÜM üzerinden silindikten sonra fark-SYÜM üzerinde halen yıkılan binalar dışında veriler olduğu görülmektedir. Bu sebeple önceden belirlendiği gibi 100 m² den küçük ve 4000 m²’den büyük piksel gruplarını içeren alanlar fark-SYÜM üzerinden silinmiştir. Böylelikle fark-SYÜM üzerinde kazı, dolgu alanları kalmaması amaçlanmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra fark-SYÜM altına Global Mapper yazılımında ds-GÖR verisi açılarak arazi, kullanıcı kontrolü ile gezilmiş, fark-SYÜM üzerinde neredeyse sadece yıkılan binalara ait alanı kapsayan piksellerin kaldığı görülmüştür. Son işlem olarak ise fark-SYÜM verisindeki dolu piksellerin içinde kalan boş pikseller olduğu görülmüş ve bu alanlar enterpolasyon yöntemiyle doldurularak fark-SYÜM üzerinde boşluklu veri bırakılmamıştır.



Şekil 4.9 Ayıklama İşlemleri Tamamlanan fark-SYÜM.

Şekil 4.9'daki gibi tüm ayıklama işlemleri biten değişim verisinde yalnızca bina detaylarını içeren pikseller kalmıştır.

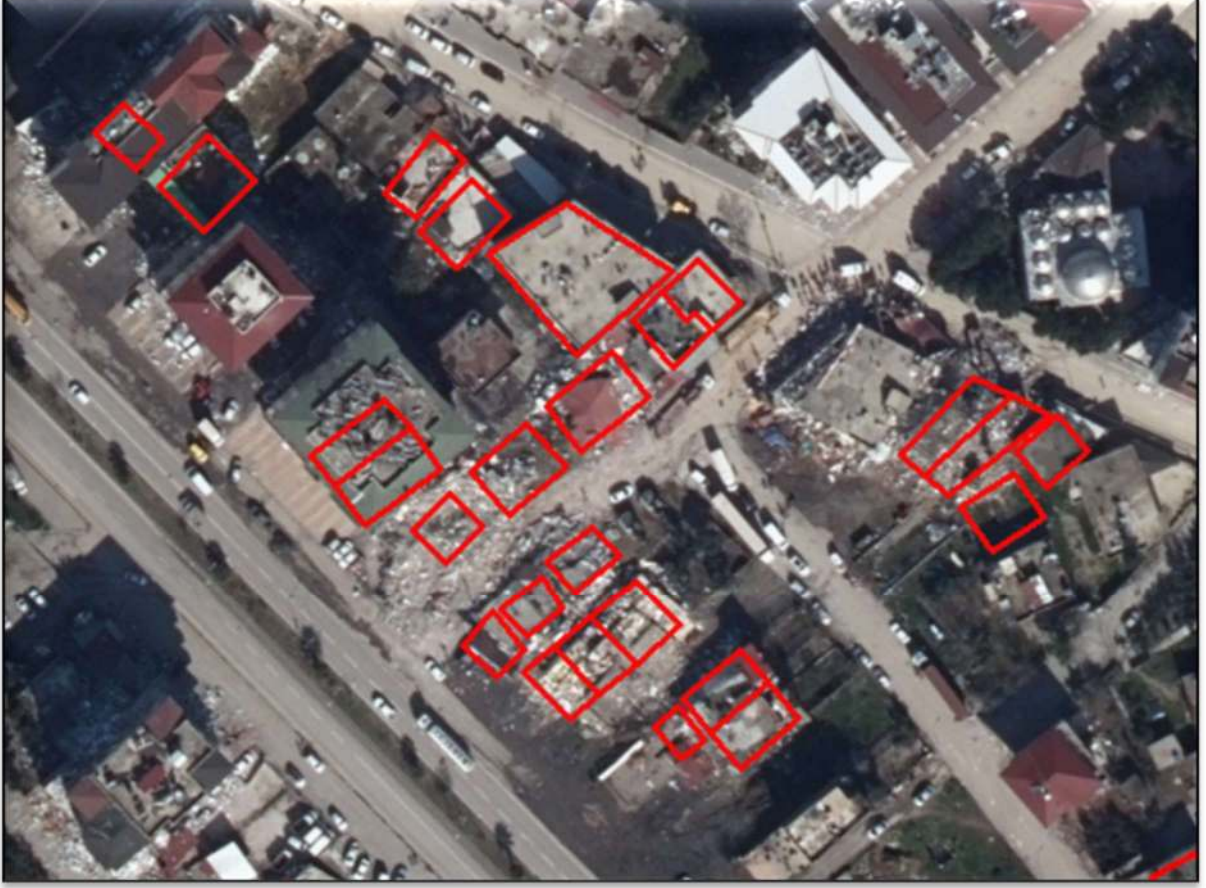
4.4 BİNA SINIRLARININ BELİRLENMESİ

Fark-SYÜM'de bu aşamaya kadar yapılan işlemler veride sadece yıkılan binalara ait piksel gruplarını bırakmıştır. Piksel gruplarının bina sınırlarını içeren vektör veriye dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu aşamada piksel grupları etiketlenmiştir. Bu etiketlenen gruplar piksel gruplarını içeren en küçük dikdörtgen ile vektör veri olarak çevrelenmiştir. Bu işlem en küçük dikdörtgen fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen vektör veri formatındaki dikdörtgenler fark-SYÜM'deki binaların çevresidir.



Şekil 4.10 Bölütleme Algoritması Uygulanmadan Önceki Bina Sınırları.

Bina sınırları, dö-GÖR'den yapılan görsel kontrollerde gerçekten yıkılan alanları temsil etmektedir, ancak iç içe yıkılan komşu binaların tek bina olarak çevrelendiği görülmüştür. Bu durum deprem sonrası veriden yapılan analizde yıkılan binaların yıkılmış alan olarak doğru, ancak yıkılan bina sayısı olarak yanlış sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen yıkık ve hasarlı bina alanlarının içerisindeki tekil binaları tespit etmek amacıyla Meta AI tarafından geliştirilen Segment-Anything bölütleme algortiması kullanılmıştır.



Şekil 4.11 Aynı Bölgenin İç İçe Yıkılan Binaların Ayırt Edilmiş Görüntüsü.

Şekil 4.10'daki bina sınırı sonuçlarında 13 bina varken, Şekil 4.11'de aynı alanda 25 bina olduğu görülmüştür. Yıkılan binaların sınırlarının tamamı için Segment-Anything bölütleme algortiması uygulandığından 1711 olan yıkılan bina sayısı, 2515'e yükselmiştir. 2515 bina, tüm yapılacak analizlerde kullanılacak olan ve çalışma alanının tamamını içeren yıkılmış olarak kabul edilecek toplam bina sayısıdır.

Bölütleme algoritmaları büyük ölçeklerde iyi sonuçlar vermediğinden ve dö-GÖR tamamında çalıştırmanın da sınırlı bilgisayar donanımları ile zor olması nedeniyle "cuda aracı" ile GPU (Ekran kartı işlemcisi) kullanılmış, ne büyük ne de çok küçük alanlarda çalıştırmaktan ziyade, deprem öncesi ortofolarda önceki işlem adımlarından elde edilen fark-SYÜM'deki bina alanlarının, vektör verileri 50 m genişletilmiş çevresini kapsayacak bölgede bu algoritma çalıştırılmış ve bu ölçekte yapılan bölütleme tekil binaların tespitinde iyi sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.12 Birleşik Binaların Ayrılması İşlemi.

Şekil 4.12’de gölgeleri temas eden iki bina ve birleşik alanları gösterilmiştir. Bina gölgeleri ve ağaçların tekil bina tespitini etkilediği görüldüğü için dö-GÖR’den bulunan k-means sonuçları çıkarılmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra bitişik nizamlı binaların ayrımı kolaylaşmıştır. Bitişik nizamlı binalar birbirinden ayrılarak bina sınırları son halini almış ve vektör veri olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.13’te birleşik binalar, farklı renklerde gösterilerek ayrılmıştır.



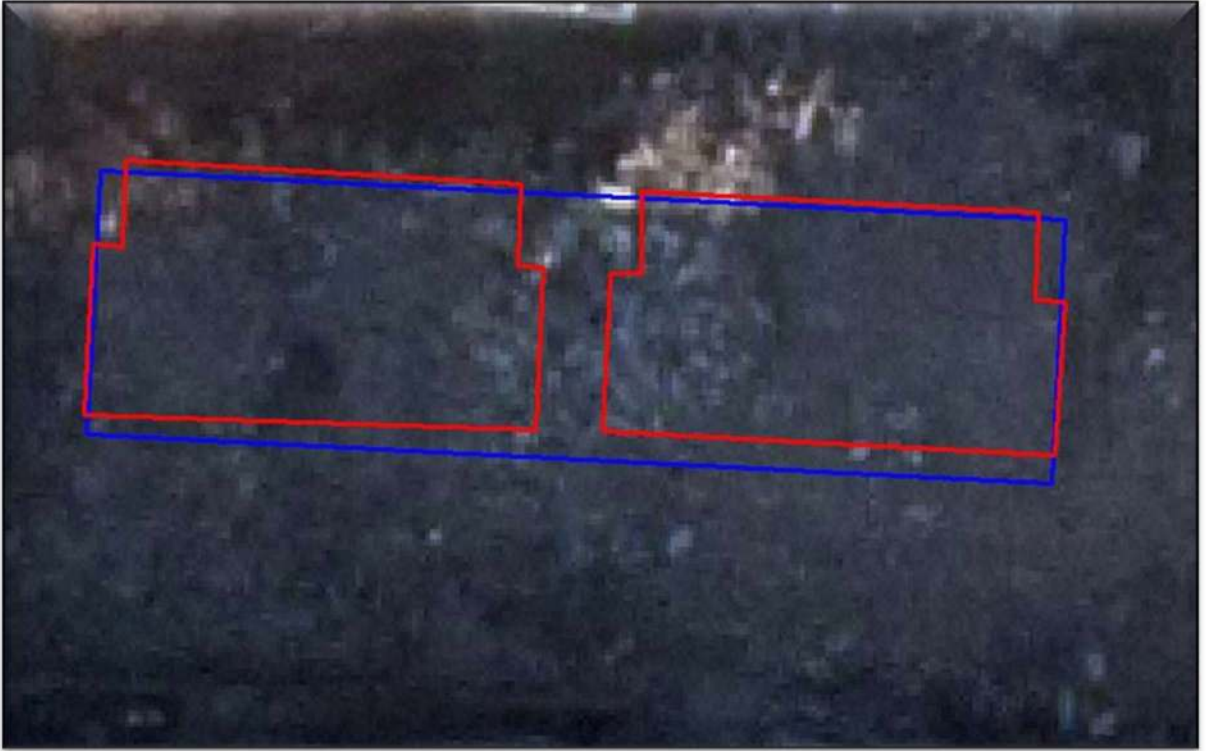
Şekil 4.13 Birleşik Binaların Birbirinden Ayrılması.

Sonuç olarak, tüm tespit işlemleri tamamlandıktan ve hatalı olan binalar görsel kontrollerle veri üzerinden temizlendikten sonra 2515 adet yıkılan bina tespit edilmiştir.



Şekil 4.14 Bitişik Nizamlı Binalar.

Şekil 4.14’de yıkılan iki binanın dö-GÖR verisi yer almaktadır. Bina gölgeleri birbiri ile temas ettiğinden Şekil 4.15’deki mavi sınır iki binayı tek bina olarak ifade etmektedir. Bölütleme işlemini göstermek açısından iyi bir örnektir.



Şekil 4.15 Bitişik Nizamlı Binaların Ayrılması.

Şekil 4.15’te mavi alan içindeki iki bina birbirinden ayrılmış ve kırmızı renkli iki alanın temsil ettiği iki adet yıkılan bina tespit edilmiştir. Tüm işlemler bittikten sonra çalışma alanını içeren dö-GÖR ve ds-GÖR üzerine yıkılan binaların alanları belirgin bir şekilde açılarak çalışma alanındaki yıkılan binaların sonuçları incelenmiştir.



Şekil 4.16 Yıkılan Binaların Depremden Önceki Görüntüsü.

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17, dö-GÖR ve ds-GÖR arasındaki yıkılan binaların tamamının tespit edildiği bir alanın belirgin bir örneğidir.



Şekil 4.17 Yıkılan Binaların Otomatik Tespit Edildiği Deprem Sonrası Görüntü.

4.5 YIKILAN VE YIKILMAYAN BİNALARIN BİRLEŞTİRİLMESİ

Deprem sonrası zemin ve yapı parametrelerinin etkilerini incelerken, yalnızca yıkılan binalar değil, yıkılmayan binalar da analize dahil edilmiştir. Toplam bina sayısı, yıkılan bina sayısı ve yıkılmayan bina sayısı ayrı ayrı incelendiğinde daha anlamlı istatistiksel verilerin ortaya çıktığı görülmüştür. Yıkık binaların tespiti aşamasında 2515 binanın doğrudan yıkıldığı tespit edilmişti. Bu binalarla birlikte yıkılmayan binaların sınırlarına da ihtiyaç duyulmaktadır. ArcGIS yazılımının birleştirme ve ilişkilendirme özellikleri kullanılarak, TopoVT topoğrafik veri tabanında öncelikle otomatik olarak tespit edilmiş yıkılan binalar ağırlık merkezinin denk geldiği binalarla birebir eşleştirilmiştir. Sonuçlar kontrol edildikten sonra, çalışma alanına ait 9 adet 1:25000 ölçekli pafta içerisinde kalan tüm diğer binalar yıkılmayan bina olarak kaydedilmiştir. Yıkılan ve yıkılmayan binalara veritabanından il, ilçe, alan, çevre ve eğer varsa yapı tipi gibi özel bilgiler öznitelik olarak eklenmiştir. Bu özniteliklerin eklenmesiyle il ve ilçelerde de bölgesel olarak istatistiksel sonuçlar elde edebilmek mümkün hale gelmiştir.



Şekil 4.18 Yıkılan ve Yıkılmayan Binaların Birlikte Görünümü (dö-GÖR).

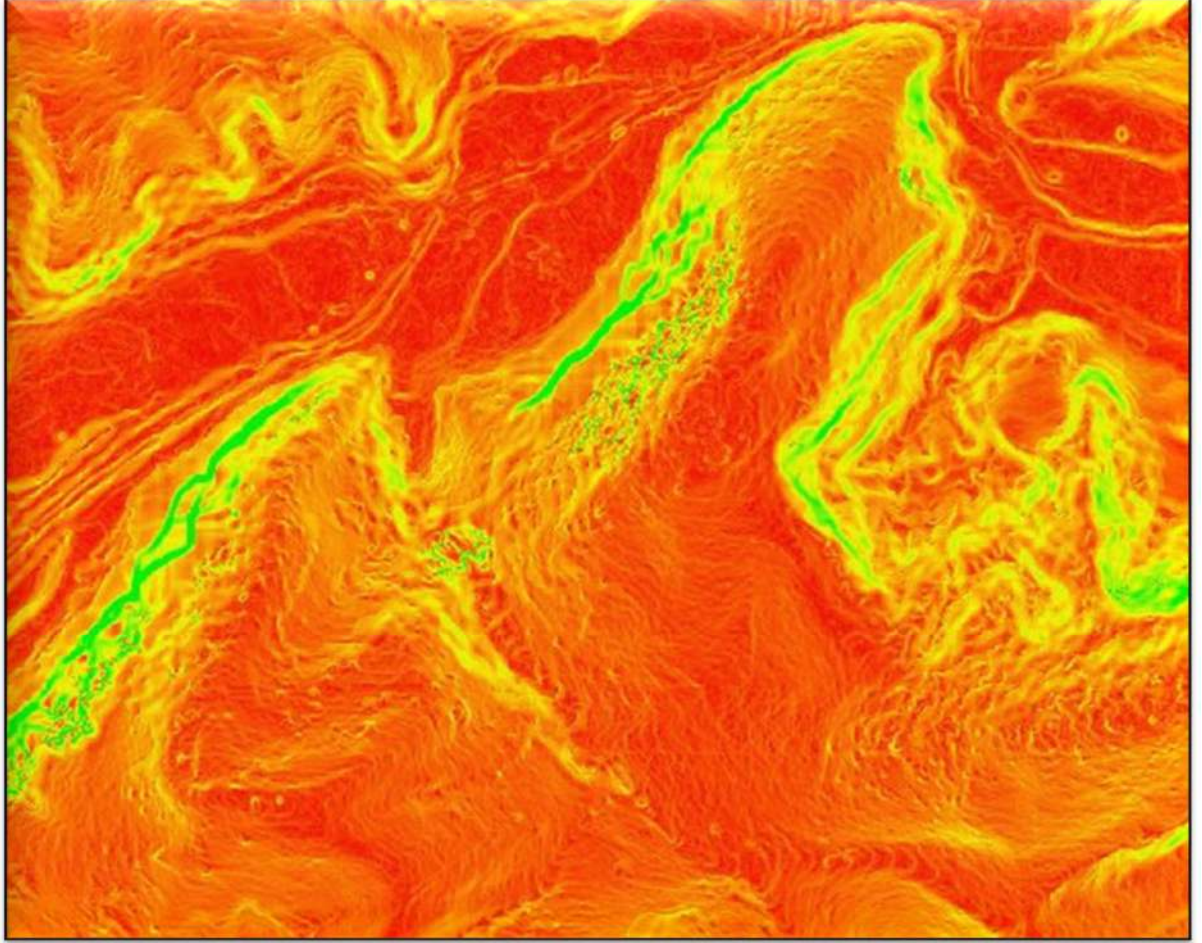
Şekil 4.18 ve 4.19’da yıkılan ve yıkılmayan binaların dö-GÖR ve ds-GÖR verileri yer almaktadır. Depremın yıkılan binalara etkisini anlayabilmek için yeşil ve kırmızı sınırların her ikisine de ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.19 Yıkılan ve Yıkılmayan Binaların Birlikte Görünümü (ds-GÖR).

4.6 SAM VERİSİNDEN EĞİM DEĞERLERİNİN ÜRETİLMESİ

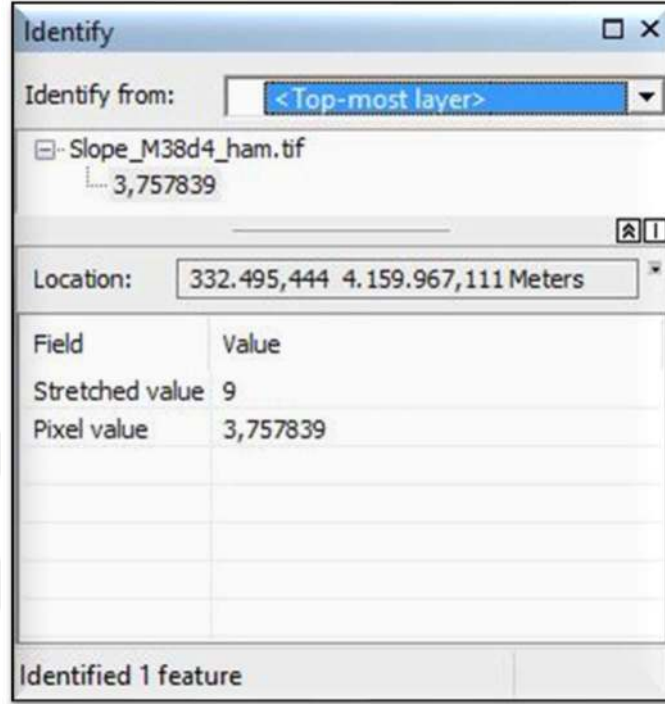
Eğim, yeryüzündeki herhangi iki nokta arasındaki yükseklik farkının, yine bu iki nokta arasındaki yatay uzunluğa oranı veya tanjant değeridir. Bu değere karşılık gelen yüzde değer arazinin sayısal olarak eğim değeridir. Arazi için eğim değerleri ifade edilirken genellikle % eğim değerleri kullanılır. Eğimli araziye yapılan binaların zemini düzeltilse de çeşitli nedenlerle arazi eğimi yapıların deprem davranışını etkileyebilir.



Şekil 4.20 ArcGIS Pro’da Üretilen Eğim Haritası.

Şekil 4.20’de eğim değerlerinin elde edildiği eğim verisi yer almaktadır. Dö-SYÜM verileri kullanılarak tüm çalışma sahası için Bölüm 3.2’de anlatıldığı gibi SYÜM verilerinden filtreme yöntemleri ile SAM verileri üretilmiştir. Kenar işlemleri ve düzeltmeleri tamamlanan SAM verileri arazi eğimi değerlerinin elde edilmesi amacıyla kullanılacaktır. Eğim değerlerinin üretilmesi için ArcGIS Pro yazılımının “Slope” aracı kullanılmıştır. Tüm SAM verileri için “yüzde eğim” değerleri üretilmiştir. Eğim değerleri üretilirken, beraberinde

Üretilen otomatik sınıflandırmaya ait sınıflar analiz aşamasındaki dağılıma göre şekilleneceği düşünülerek göz ardı edilmiştir.



şekil 4.21 Raster Veride Piksellerin Yüzde Eğim Değerleri.

Depremde yıkılan ve yıkılmayan tüm binalara ağırlık merkezinin, SAM verisinde denk geldiği pikselin şekil 4.21'deki gibi piksel değeri % eğim değeri olarak öznitelik olarak eklenmiştir. Sınıflandırılmamış eğim değerleri öznitelik tablosuna kaydedilerek ilgili sütün diğer zniteliklerdeki gibi excel formatına dnştrlmştir. Analiz aşamasında eğim değerlerinin dağılımına göre sınıflandırılmasının daha doğru olacağı dşnlmştir.

Eğim dağılımları incelendiğinde yüzde değer olarak eğim sınıflarının <4, 4-7, 7-11, 11-17, 17-26, 26-40 ve >40 olmak üzere yedi adet olmasına karar verilmiştir. Eğim değeri ve eğim sınıfı eşleştirmesinin bir rneği izelge 4.1'de yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Eğim Değerlerinin Sınıflandırılması.

Eğim Değeri	Eğim Sınıfı
0,9	<4
5,7	4-7
9,2	7-11
12,6	11-17
23,3	17-26
34,2	26-40
57	>40

4.7 V_{S30} DEĞERLERİNDEN YEREL ZEMİN SINIFLARININ BELİRLENMESİ

Bölüm 3.3'te V_{S30} kavramının zemin sertliği ile bağlantısı açıklanmıştı. V_{S30} değeri arttıkça zeminin sertliğinin de arttığı kabul edilmektedir. "TBDY 2007" Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre yumuşak zeminden sertte doğru Z1, Z2, Z3, Z4 olmak üzere dört çeşit zemin tipi varken, "TBDY 2018" de zemin çeşidi artırılarak ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF olmak üzere altı çeşit zemin tipi tanımlanmıştır. Bu zemin tiplerinden ZA en sert zemin iken, ZF en yumuşak zemin sınıfını ifade etmektedir. 2007 ve 2018 TBDY yönetmeliklerinde tanımlama yapılırken 0 ile 1500 arasında değişen V_{S30} değerlerinde herhangi bir değişiklik olmazken, değer aralıkları kısaltılarak yerel zemin sınıfı altıya yükseltilmiştir. Çizelge 4.2'de TBDY 2018'de yer alan V_{S30} değerlerinin yerel zemin sınıfı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 TBDY 2018’e göre Yerel Zemin Sınıfları.

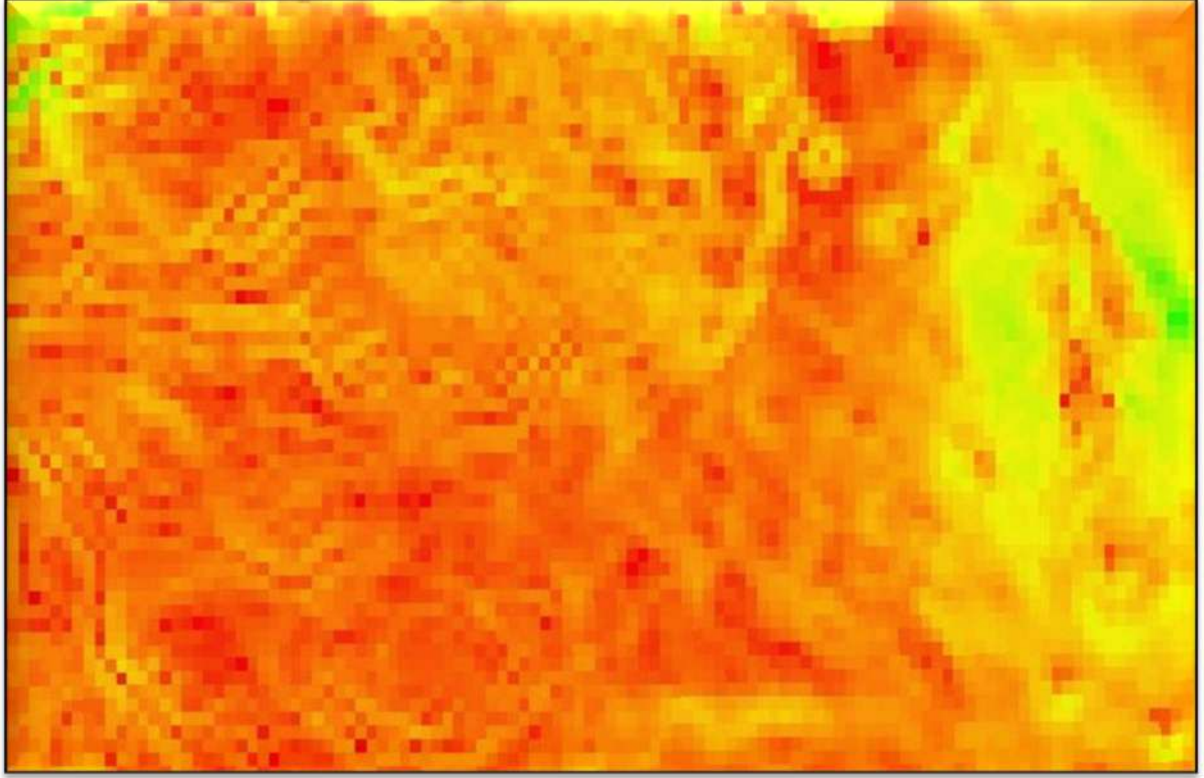
Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

USGS’nin V_{S30} verileri 180 ile 900 değerleri arasında değişmektedir. Bu değerlere göre TBDY 2018’deki ZB, ZC, ZD analiz aralığı içinde kalmaktadır. Analize dahil edilmeyen aralıkta kalan ZA, ZE ve ZF özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminlerdir. Deprem etkilerinin araştırılması için yalnızca orta sağlamlıkta kaya zeminler olan ZB, çok sıkı kum ve sert kil tabakaları olan ZC, orta sıkılıkta kum ve çakıl içeren ZD kullanılmıştır. Buna göre çalışma alanındaki zeminler V_{S30} değerlerine göre üç gruba ayrılmıştır. Bu zeminler sertliğine ve kalitesine göre Çizelge 4.3’teki gibi çok sert zemin (ZB), orta sert zemin (ZC), yumuşak zemin (ZD) olarak isimlendirilmiştir.

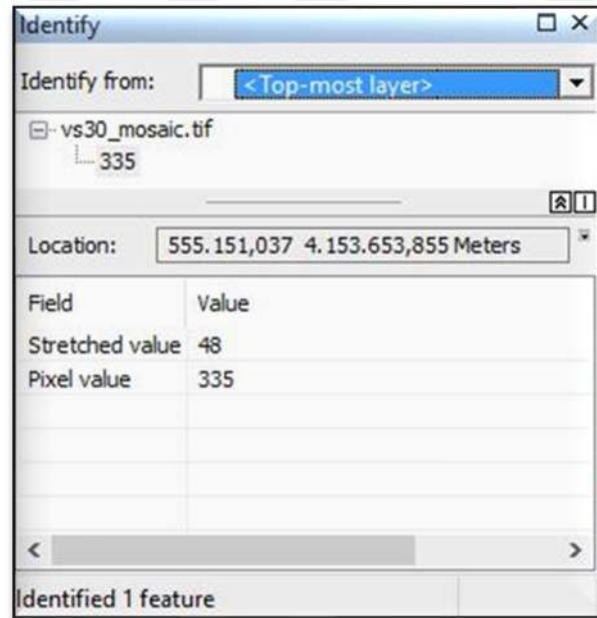
Çizelge 4.3 V_{S30} Değerlerinin TBDY 2018’de Karşılık Geldiği Zemin Sınıfları.

Zemin Sertliği	Yerel Zemin Sınıfı	V_{S30} Değeri
Çok Sert Zemin	ZB	760 < ZB < 900
Orta Sert Zemin	ZC	360 < ZC < 760
Yumuşak Zemin	ZD	180 < ZD < 360

Şekil 4.22’de V_{S30} verisinin piksel görünümü verilmiştir. Şekil 4.23’de ise herhangi bir pikselin binaya karşılık gelen değeri gösterilmiştir.



Şekil 4.22 V_{S30} Verisi Adiyaman (URL-13).



Şekil 4.23 V_{S30} Verisinin Piksel Değerleri Tüm Binalara Eklenmiştir.

Tüm binalara öznitelik olarak eklenmiş haldeki V_{S30} değerlerini içeren tabloya aralık değerine göre yerel zemin sınıfı ve karşılık geldiği zemin tipi isimlendirilmesinin de eklenmesi gerekmektedir. Bu sebeple vektör veri sınıfına ait öznitelik tablosu ArcGIS yazılımında excel formatına dönüştürülmüştür. Daha sonra V_{S30} değerlerini içeren sütundaki her değer için yerel zemin sınıfını ve zemin tipini ayrı birer sütuna yazacak şekilde excel komutu yazılmıştır. Bu işlem sonunda her binaya ait V_{S30} değeri, zemin tipi ve yerel zemin sınıfı öznitelik tablosunda analize hazır hale getirilmiştir.

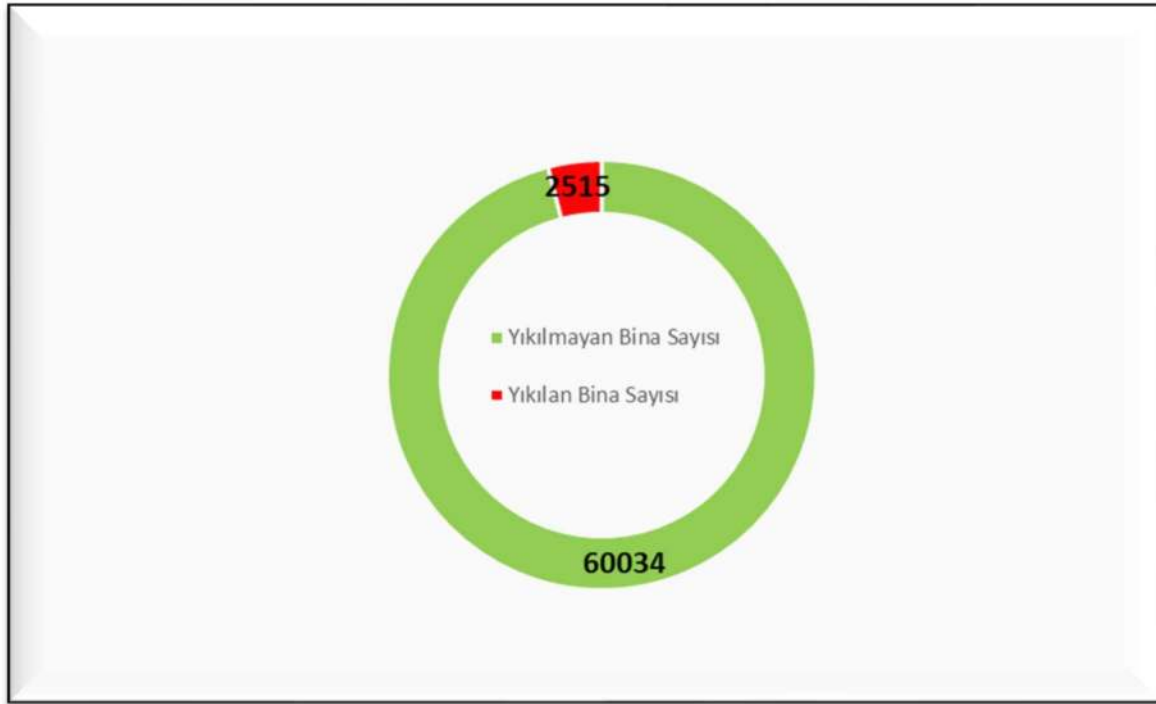


BÖLÜM 5

BULGULAR

5.1 YIKILAN BİNALARIN SAYISI VE ORANI

Çalışma alanı içerisine giren binaların tamamında yıkılan 2515 bina ve bu binalara topovt veri tabanından eklenen yıkılmayan 60034 bina tüm öznitelikler için değerlendirilmiştir. Toplam 62549 binadan %4.02'sinin deprem esnasında yıkıldığı veya bu binaların en az bir katının çöktüğü tespit edilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Yıkılan ve Yıkılmayan Binaların Oransal Dağılımı.

Her iki duruma ait binaların tamamına tüm değerlendirme parametreleri öznitelik olarak eklendikten sonra tüm özniteliklerin etkisini inceleyen hesaplama işlemlerine başlanmıştır. Hesaplama işlemleri tüm verileri içeren excel dosyasından filtreleme menüsü kullanılarak kontrollü olarak yapılmıştır. Çizelge 5.1'de yıkılan binaların sayısı ve oranı verilmiştir.

Çizelge 5.1 Yıkılan Binaların Sayısı ve Oranı.

Toplam Bina Sayısı	Yıkılan Bina Sayısı	Yıkılmayan Bina Sayısı	Yıkılma Oranı
62549	2515	60034	%4.02

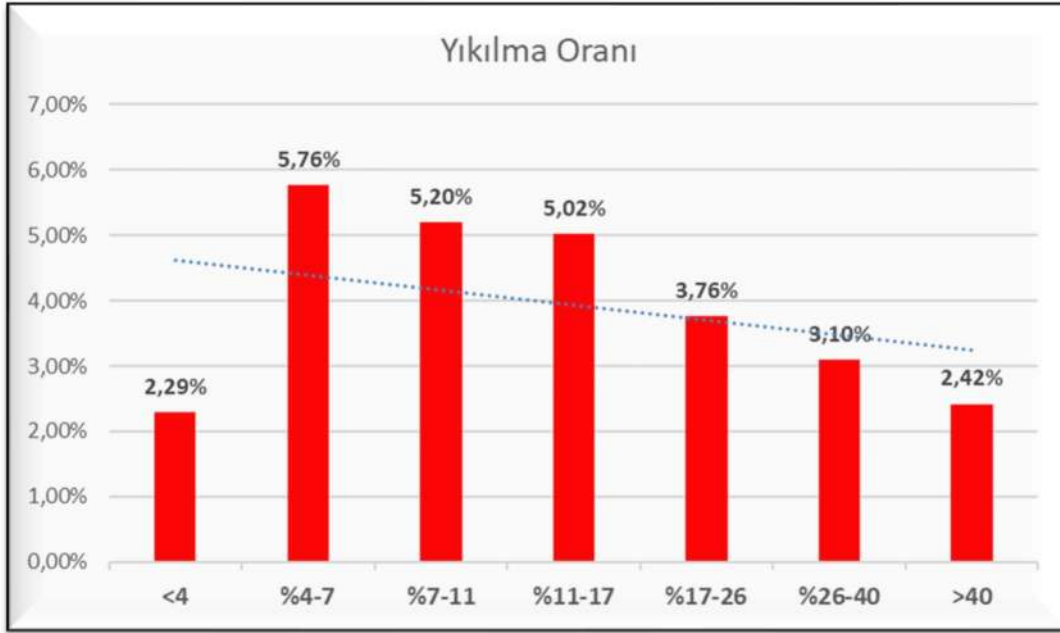
5.2 ARAZİ EĞİMİNİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ

ArcGIS Pro yazılımında “Slope” aracı kullanılarak daha önceden üretilen tüm SAM verilerinden arazi eğim değerleri elde edilmiştir. Eğim sonuçları yüzde değer, olarak her bir binaya eklenmiş ve değer aralığının denk geldiği <4, 4-7, 7-11, 11-17, 17-26, 26-40 ve >40 olmak üzere yedi eğim sınıfı için ayrı ayrı incelenmiştir. Eğimin yıkılan binalara doğrudan etkisi incelenmek istenildiğinde, aynı eğim sınıfına sahip binalardan yıkılan binaların, tüm binalara oranı hesaplanmıştır. Çizelge 5.2’de arazi eğiminin yıkılan binalara etkisi verilmiştir.

Çizelge 5.2 Arazi Eğiminin Yıkılan Binalara Doğrudan Etkisi.

Eğim Sınıfı	Yıkılan Bina	Toplam Bina	Yıkılma Oranı
<4	361	15744	%2.29
%4-7	471	8169	%5.76
%7-11	549	10543	%5.20
%11-17	567	11288	%5.02
%17-26	345	9156	%3.76
%26-40	172	5547	%3.10
>40	51	2104	%2.42

Doğrudan arazi eğiminin etkisinin incelendiği sonuçlara göre en yüksek yıkım oranı %4-7 eğim sınıfı içerisindeki binaların olduğu görülmüştür. Arazi eğimi etkisinin tek başına incelendiği sonuçlara göre arazi eğiminin etkisi için kesin bir yargıda bulunmak mümkün değildir. Bu sonuçlara göre arazi eğimi arttıkça, yıkılma oranının artmadığı aksine %11-17 eğim değerlerinden itibaren düştüğü görülmüştür.



Şeki 5.2 Doğrudan Arazi Eğimi Etkisinin Grafik Gösterimi.

Şekil 5.2’de arazi eğiminin eğim sınıflarına göre doğrudan etkisi gösterilmiştir. Arazi eğiminin diğer öznitelikler ile beraber etkisi de incelenecektir. Bu birleşik etkileri incelerken %4 eğim ile %17 eğim arasında yıkım oranının yüksek olduğu göz önünde bulundurularak öznitelikler değerlendirilecektir.

5.3 BİNA KAT ADEDİNİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ

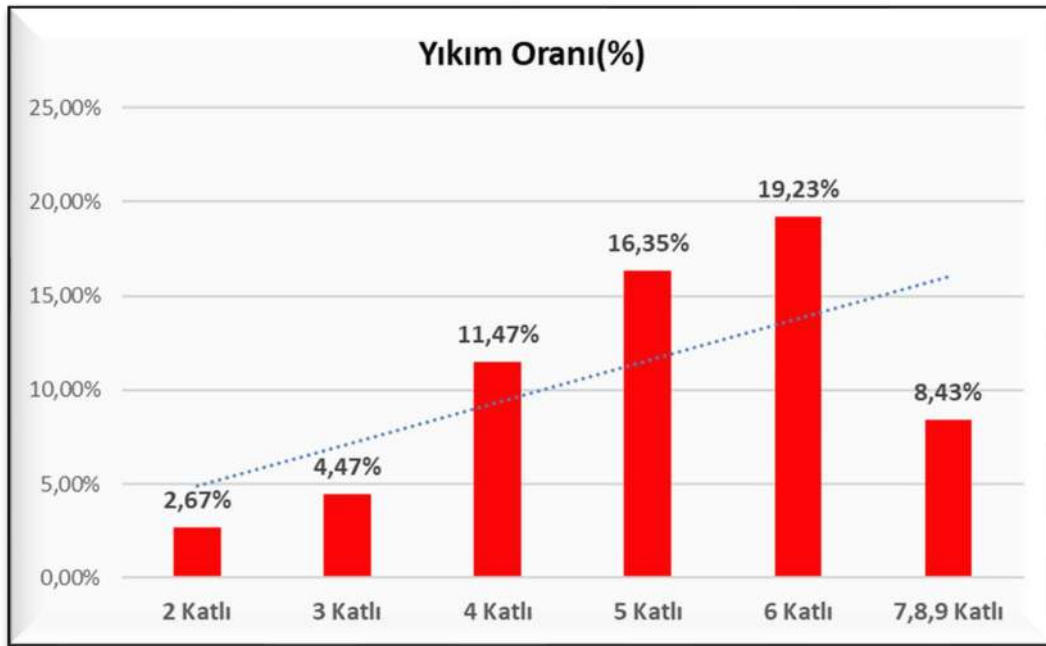
Bina kat adedi, binanın zemin üstündeki katların sayısını ifade eder. Bina kat adedinin artması, binanın yüksekliği ve ağırlığıyla beraber birçok etkenin de devreye girmesine neden olur. Bu etkiyi araştırmak için TBDY 2018’de eşdeğer deprem yükü metodu kavramı kullanılır. Eşdeğer deprem yükü hesaplanırken bina yükseklik sınıfı ve V_{S30} değerlerinden elde edilen zemin sınıfları da kullanılır. Bu metoda göre binanın yüksekliğinin artması deprem yükünü de artıracaktır; ancak bu çalışmada doğrudan inşaat mühendisliğini ilgilendiren eşdeğer deprem yükü hesabı yerine geomatik/harita mühendisliğinin coğrafi verileri ve özniteliklerini toplu şekilde değerlendirme ve analiz etme yetisi kullanılarak yıkıma etki eden kat adedi ve zemin sınıfı istatistiki olarak ilişkilendirilmiş, bunların yıkımlara etkisi binaların yapı malzemeleri ve özel durumları dikkate alınmadan doğrudan değerlendirilmiştir. 1 katlı binalar konteyner, akaryakıt istasyonu, sundurma gibi detayları da içerdiğinden yıkım oranı değerinin sağlıklı olmadığı düşünülerek analize dahil edilmemiştir. Yıkım oranları kesin

olarak bina olduğu bilinen iki katlı binalardan itibaren değerlendirilmiştir. Doğrudan kat adedinin yıkımlara etkisi incelendiğinde; Çizelge 5.3'te gösterilen yıkım oranları elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 Bina Kat Adedinin Depremde Yıkılan Binalara Etkisi.

Bina Kat Adedi	Toplam Bina Sayısı	Yıkılan Bina Sayısı	Yıkılmayan Bina Sayısı	Yıkım Oranı
2 Katlı Binalar	19557	524	19033	%2.67
3 Katlı Binalar	6621	296	6325	%4.47
4 Katlı Binalar	2406	276	2130	%11.47
5 Katlı Binalar	2018	330	1688	%16.35
6 Katlı Binalar	896	155	651	%19.23
7, 8, 9 Katlı Binalar	1067	90	977	%8.43

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi; iki katlı binalardan, altı katlı binalara kadar yıkılma oranı belirgin olarak artmaktadır. 6 katlı binalarda %19.23 olan yıkılma oranı ise 7, 8 ve 9 katlı binalarda ciddi bir azalmayla %8.43'e gerilemiştir. Bina kat adedi arttıkça, yıkım oranı da artacaktır çıkarımına uymayan bu durumun nedeni araştırıldığında doğu illerinde 6 kattan yüksek binaların yapımının son yıllarda arttığı görülmüştür. Ayrıca 7, 8, 9 katlı binaların tamamının bodrum kata sahip olduğu, çoğu binanın ise iki bodrum katına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 5.3 Kat Adedinin Yıkımlara Etkisinin Grafik Gösterimi.

Yapılan analizlerde binaların yapım yılı kriteri kullanılmadığından bu yüksek katlı binalardaki yıkım oranının aniden düşmesinin nedeninin, genç yapılar olması, yeni yönetmeliklere göre yapılması ve bodrum katlarından dolayı dayanıklılığının artması olduğu düşünülmektedir.

5.4 BODRUM KRİTERİNİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ

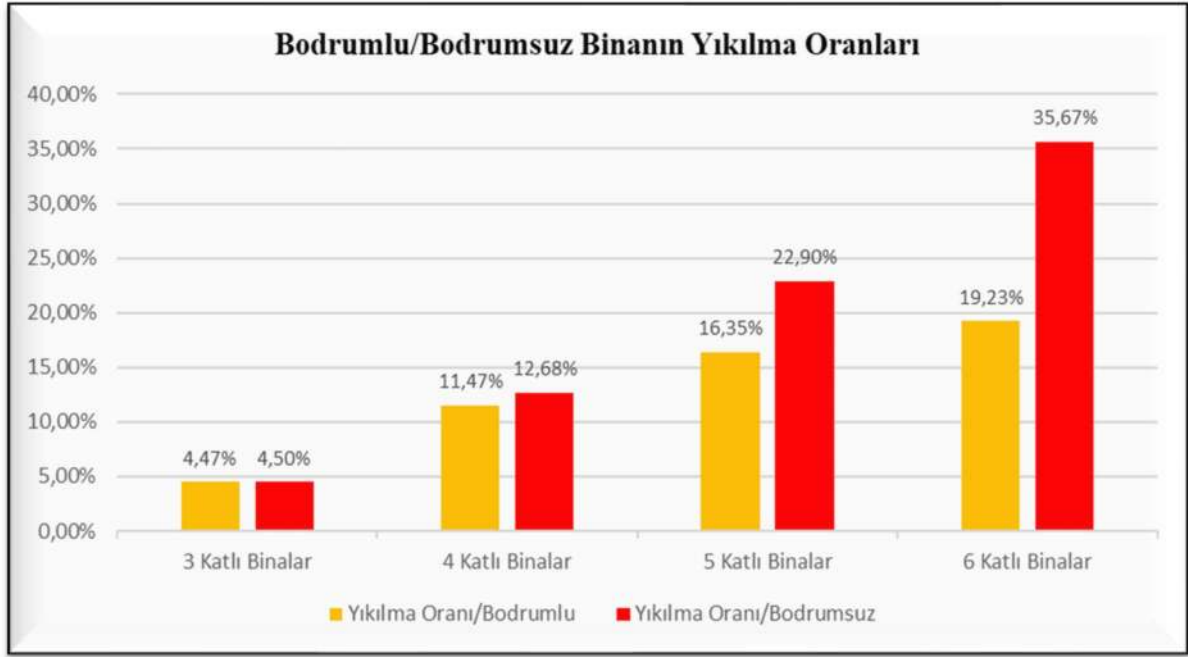
6 Şubat 2023 tarihli depremlerle ilgili belediyelerin imar ve bayındırlık komisyonu raporuna göre deprem sonrası yapılacak yapılarda; imar planında zemin+3 kat ve üzeri yapılarda en az 1(bir) bodrum kat (veya uygun kazıklı temel) yapılarak temellerin sağlam zemine oturtulması zorunludur; ancak zemin+3 kattan düşük yapılarda parsel bazlı yapılacak jeolojik ve jeoteknik etüt raporlarındaki zemin değerleri bodrum kat yapılmasına gerek görmüyorsa bu tip yapılarda bodrum kat zorunluluğu aranmaz. Zemin +7 kat ve üzeri yapılarda ise en az 2 bodrum kat yapılması zorunludur.

Binaların bodruma sahip olup olmaması, bina zemininin derinliği ile doğrudan ilgilidir. Bodrum katın binanın deprem davranışını etkileme durumu incelendiğinde ise Şekil 5.4'te gösterilen yıkım oranları ortaya koyulmuştur. Bodrumların etkisi incelenirken 3, 4, 5 ve 6 katlı binalar analize dahil edilmiştir. Bodrumlu ve bodrumsuz binaların depremden etkilenme durumları Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Bodrum Kriterinin Yıkılan Binalara Etkisi.

Bina Kat Adedi	Bodrumlu/Yıkılan Bina Oranı(%)	Bodrumsuz/Yıkılan Bina Oranı(%)	Genel Yıkım Oranı (%)
3 Katlı Binalar	%4.30	%4.50	%4.47
4 Katlı Binalar	%9.03	%12.68	%11.47
5 Katlı Binalar	%11.74	%22.90	%16.35
6 Katlı Binalar	%14.80	%35.67	%19.23

7, 8, 9 katlı binalar daha yüksek olmasına rağmen neredeyse tamamı bodruma sahip genç yapılar olduğundan sadece %8.43'lük genel bir yıkım oranına sahip olduğundan analize dahil edilmemiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde özellikle 4, 5 ve 6 katlı binalarda bodrum kriterinin yıkılma oranını ciddi yönde etkilediği, bodrumu olan binaların depreme karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.4 3, 4, 5, 6 Katlı Bodrumlu ve Bodursuz Binaların Depremde Yıkılma Oranları.

5.5 ZEMİN SERTLİĞİNİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ

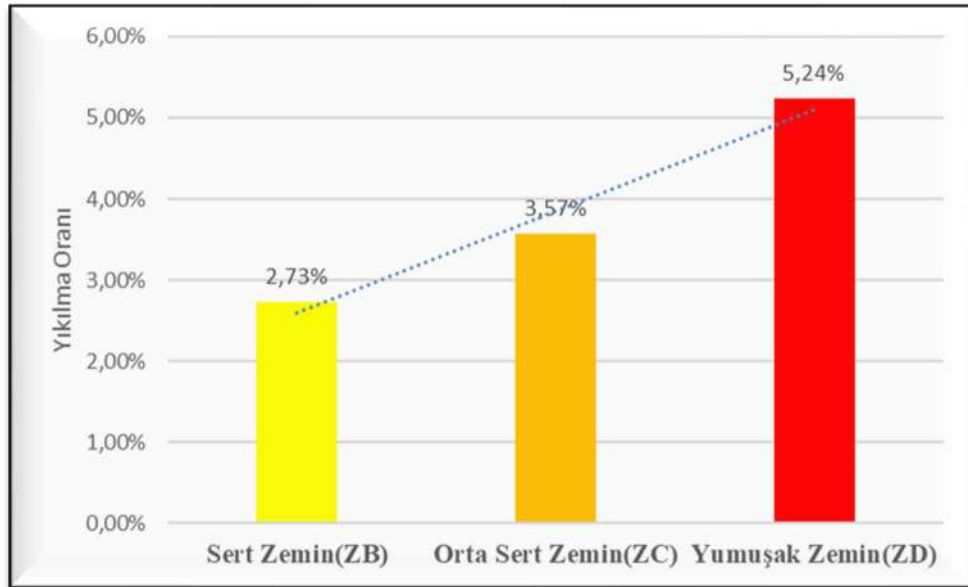
Binaların bağlı olduğu zeminleri tespit etmek amacıyla zemin sertliğini ifade eden V_{S30} değerleri kullanılmıştır. Bu değerler USGS'in açık kaynak verilerinden elde edilmiştir. USGS'in 180 ile 900 arasında değişen V_{S30} değerleri TBDY'de yer alan zemin sınıflarından ZB, ZC ve ZD sınıflarına denk gelmektedir. Bu yerel zemin sınıfları sırasıyla sert, orta sert ve yumuşak olarak tanımlanan zeminlerdir. Tüm binalara öncelikle V_{S30} değerleri, daha sonra ise eşit olduğu yerel zemin sınıfı ve sınıf tanımları öznitelik olarak eklenmiştir. Sonrasında zemin sertliği ile ilgili doğrudan ve dolaylı analizler yapılarak zemin kalitesinin binaların deprem davranışına etkisi incelenmiştir.

Yerel zemin sınıfının yıkılan binalara doğrudan etkisi incelendiğinde ZB yerel zemin sınıfında yer alan 4308 binadan 118 binanın yıkıldığı, ZC yerel zemin sınıfında yer alan 39389 binadan, 1408 binanın yıkıldığı, ZD yerel zemin sınıfında yer alan 18854 binadan, 989 binanın yıkıldığı görülmüştür. Çizelge 5.5'te yer alan oranlara göre zemin sertliği arttıkça, binaların yıkılma oranının azaldığı görülmüştür.

Çizelge 5.5 Zemin Sınıfının Yıkılan Binalara Doğrudan Etkisi.

Yerel Zemin Sınıfı	Sert Zemin (ZB)	Orta Sert Zemin (ZC)	Yumuşak Zemin (ZD)
Yıkılma Oranı	%2.73	%3.57	%5.24

Çizelge 5.5'teki oranlara göre orta sert zemine yapılan bir binanın yumuşak zemine yapılan binaya göre %30 oranla daha güvenli olduğu, sert zemine yapılan bir binanın yumuşak zemine yapılan bir binaya göre %92 daha güvenli olduğu görülmüştür. Binalara, bina yapı malzemesi ve yapı yılı gibi özel kriterler öznitelik olarak eklenememiştir. Bu özel kriterlerin eklenmesi durumunda bu oranların artıp azalabilecekleri de açıktır. Yine de bu oranlar zemin sertliği arttıkça binaların deprem davranışının güçleneceği konusunda ciddi sonuçlar ortaya koymaktadır. Şekil 5.5'te yerel zemin sınıfının yıkımları etkileme oranları gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Yerel Zemin Sınıflarına Göre Yıkılma Oranları.

5.6 BİRLEŞİK PARAMETRELERİN DEPREMDE YIKILAN BİNALARA ETKİSİ

Arazi eğimi, bina kat adedi, bodrum kat kriteri, zemin sertliği parametrelerinin her birinin depremde yıkıma olan etkileri doğrudan incelenmiştir. Ancak bu parametreler tek başına anlamlı sonuçlar ifade etmeyebilir. Bir binada tüm bu parametreler bir arada bulunduğundan bu etkilerin birbirleri ile bağlantılı olarak incelenmesi de gerekmektedir. Birleşik parametreleri incelerken doğrudan etkilerde ortaya çıkan ayırt edici sonuçlar yönlendirici olmuştur. Yalnızca bodrumlu binalar incelenirken doğrudan değil, kat adedi ile birlikte

incelenmesi uygun görülmüş ve 3, 4, 5, 6 katlı binaların bodrumlu, bodrumsuz haldeki deprem davranışları bir arada incelenmiştir.

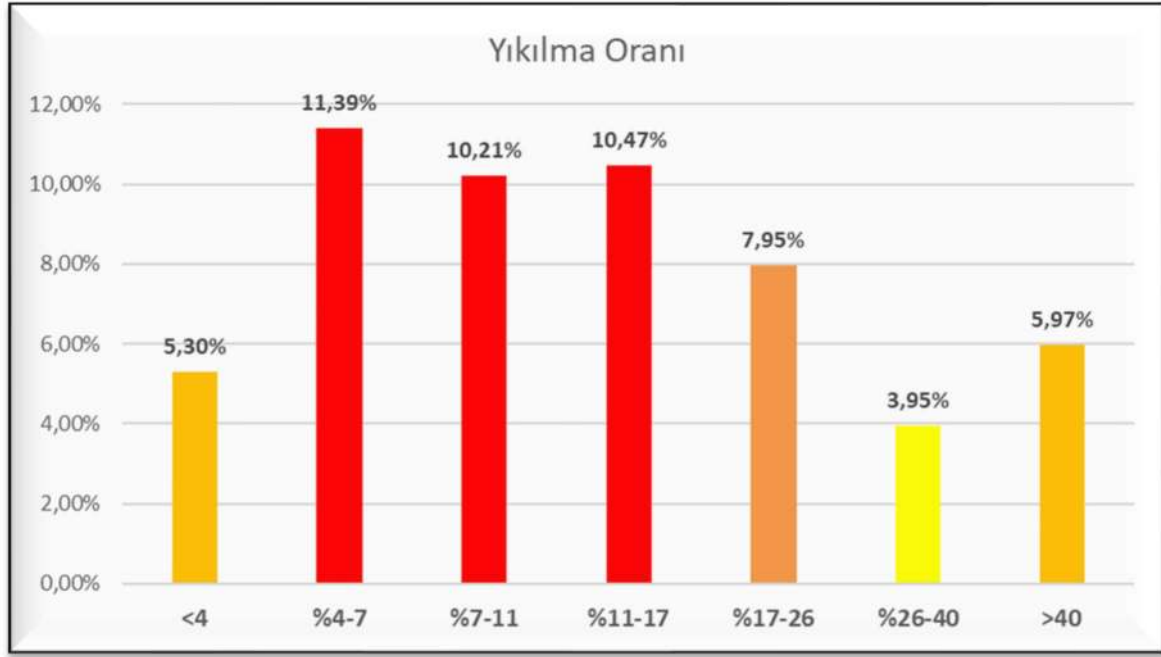
5.6.1 Bina Kat Adedi, Bodrum ve Arazi Eğiminin Birlikte İncelenmesi

Bina kat adedinin doğrudan yıkımlara etkisi incelendiğinde en yüksek yıkım oranının 3, 4, 5, 6 katlı binalarda olduğu görülmüştür. En yüksek yıkılma oranı %19.23 oran ile 6 katlı binalardadır. Bodrum kriteri incelendiğinde ise aynı kat adedine sahip 5 ve 6 katlı binalarda bodrumlu binaların, bodrumsuz olanlara göre ciddi oranda dayanıklı olduğu görülmüştür. Bu iki parametreye ek olarak eğim sınıflarının davranışı göz önünde bulundurulmuştur. 3, 4, 5, 6 katlı ve bodrumsuz binaların önceden belirlenen yedi ayrı eğim sınıfına göre deprem davranışı incelenmiştir. Bu birleşik parametrelerin yıkımlara olan etkisi Çizelge 5.6’da yer almaktadır.

Çizelge 5.6 Bina Kat Adedi Bodrum ve Arazi Eğiminin Birlikte İncelenmesi.

Bina Kat Adedi	Bodrum Kat	Eğim Sınıfı	Yıkılma Oranı
3, 4, 5, 6 Kat	Bodrumsuz	<4	%5.30
3, 4, 5, 6 Kat	Bodrumsuz	%4-7	%11.39
3, 4, 5, 6 Kat	Bodrumsuz	%7-11	%10.21
3, 4, 5, 6 Kat	Bodrumsuz	%11-17	%10.47
3, 4, 5, 6 Kat	Bodrumsuz	%17-26	%7.95
3, 4, 5, 6 Kat	Bodrumsuz	%26-40	%3.95
3, 4, 5, 6 Kat	Bodrumsuz	>40	%5.97

Eğim sınıflarına göre yıkılma oranı incelendiğinde %11.39 ile en yüksek yıkılma oranının yine %4-7 eğim sınıfında olduğu görülürken, %7-11 ve %11-17’nin aynı şekilde en yüksek yıkılma oranını temsil eden üç sınıf olduğu görülmüştür. Şekil 5.6’da 3, 4, 5, 6 katlı bodrumsuz binaların eğim sınıflarına göre etkilenme durumu verilmiştir.



Şekil 5.6 3, 4, 5, 6 Katlı Binalarda %4 Eğim ile %17 Eğim Değerleri Arasında En Yüksek Yıkım Oranına Rastlanmıştır.

5.6.2 Bina Kat Adedi ve Yerel Zemin Sınıfının Birlikte İncelenmesi

Bina kat adedinin yıkımlara etkisi incelendiği, en yüksek yıkım oranının 5 ve 6 katlı binalarda olduğu görülmüştür. Bu binaların zemin tipi incelendiğinde genellikle orta sert ve yumuşak zeminlere inşa edildiği görülmüştür. Çalışma alanındaki 62549 binadan 4308 adet binayı sert zeminli binalar, 39389 adet binayı orta sert zeminli binalar, 18852 adet binayı ise yumuşak zeminli binalar oluşturmaktadır. Deprem bölgesinin ağırlıklı zemin tipi orta sert zeminli binalardır. Sert zeminli binalar tüm binaların yaklaşık %15'i kadarıdır. En fazla yıkıma uğrayan 5 ve 6 katlı binaların yerel zemin sınıfına göre yıkım oranı incelendiğinde;

Çizelge 5.7 Bina Kat Adedi ve Yerel Zemin Sınıfının Birlikte İncelenmesi.

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Kat Adedi	Yıkılma Oranı
ZB	Sert	5 ve 6 Kat	%0
ZC	Orta Sert	5 ve 6 Kat	%8.80
ZD	Yumuşak	5 ve 6 Kat	%24.71

Çizelge 5.7'deki sonuçlara göre sert zeminli binaların hiçbirinin yıkılmadığı görülmüştür; ancak bu analize dahil edilen 1829 binadan sadece 4'ü sert zemine sahiptir. Yumuşak zeminli ve 5 ve 6 katlı binalar ise orta sert zeminli binalara göre ciddi oranda yıkıma uğramıştır. Bu sonuca göre yerel zemin sınıfının binaların deprem davranışına etkisi net bir şekilde görülebilir. Zemin sertliği arttıkça, binaların depremde yıkılma oranı da azalmıştır.



BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Deprem bölgesi içerisinde kalan çalışma alanında toplam 62549 binanın depremden etkilenme durumu incelenmiştir. Yıkılan binaların yüksek çözünürlüklü coğrafi veriler kullanılarak otomatik bina çıkarımı ve değişim analizleri sonucunda tespiti yapıldığında, 2515 adet binanın yıkıldığı tespit edilmiştir. Bu bina sayıları dikkate alındığında, depremde binaların %4.02'sinin doğrudan yıkıldığı ya da en az bir katının çöktüğü görülmüştür.

Arazi eğiminin yıkımlara etkisi, SAM verilerinden üretilen eğim değerleri yedi gruba ayrılarak incelenmiştir. Yüzde eğim değerleri, <4, 4-7, 7-11, 11-17, 17-26, 26-40 ve >40 olmak üzere yedi eğim sınıfına ayrılmıştır. Binanın eğim değeri arttıkça, yıkılma oranının artma eğilimi incelenmiştir. Çizelge 5.2'deki yıkım oranlarına göre en yüksek yıkım oranı 4-7 eğim sınıfı için %5.76 olarak hesaplanmış ve bu en yüksek oranı %5.20 ve %5.02 ile yakın eğim değerleri olan 7-11 ve 11-17 eğim sınıfları izlemiştir. Düz ve aşırı eğimli olan <4 ve >40 eğim sınıflarında ise %2.29 ve %2.42 yıkım oranları ile yıkımların neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak %4 ve %17 eğim değerleri arasında en yüksek yıkım oranına rastlanırken minimum ve maksimum eğim değerlerine sahip eğim sınıflarında düşük oranlarda yıkım olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre eğim değeri arttıkça, binaların daha kolay yıkılacağı düşüncesi ortadan kalkmaktadır. Bu durumun nedenleri incelendiğinde yüksek eğime inşa edilen binaların genellikle sert zeminlere sahip olduğu görülmüştür. %4 ve %17 arası eğim değerlerinde ise binaların genellikle yumuşak zemin (ZD) ve orta sert zemin (ZC)'e inşa edildiği görülmüştür.

Arazi eğiminin tek başına kesin bir sonuç ifade etmediği düşünüldüğünden; 3, 4, 5, 6 katlı ve yıkılma ihtimali daha yüksek olduğu değerlendirilen bodrumu olmayan binalar birlikte incelenmiştir. Çizelge 5.6'daki değerlere göre yine %4 eğim ve %17 eğim değerleri arasında binaların ortalama olarak %11'inin yıkıldığı görülmüştür. Bu oran maksimum ve minimum eğim sınıfları olan <4 ve >40 eğim sınıflarında yine neredeyse aynı ve ortalama %5 düzeyindedir.

Binaların, kat adedine göre yıkımlardan nasıl etkilendiği incelendiğinde; binalara eklenen kat özniteliklerinden 2, 3, 4, 5, 6 ve 7, 8, 9 katlı binalar incelenmiştir. Çizelge 5.3'te yıkım oranları verilmiştir. Yıkım oranları iki katlı binalarda %2.67, üç katlı binalarda %4.47, dört katlı binalarda %11.47, beş katlı binalarda %16.35, altı katlı binalarda %19.23 ve 7,8,9 katlı binalarda %8.43'tür. Yıkım oranlarından açıkça görüldüğü üzere kat adedi arttıkça yıkım oranı artmış ancak 7, 8, 9 katlı binalarda bu oran ciddi bir düşüş göstermiştir. Bu durumun sebepleri düşünüldüğünde 7 kat ve üzeri binaların tamamına yakınının yapımına yakın zamanda izin verilen genç yapılar olduğu, bodrum katlara sahip olduğu ve yeni yönetmeliğe göre yapıldığı görülmüştür. Binaların tamamına ait bina yaşı verisi olmadığı için bu durum sayısal verilerle açıklanamamıştır. Yıkımın en yüksek olduğu bina kat adetleri ise 5 ve 6 katlı binalardır. Bu şehirlerin dokusuna bakıldığında özellikle 5 ve 6 katlı binaların eski yıllarda yapılan binalar olduğu ve 6 kattan daha yüksek binalara geçmişte izin verilmediği görülmüştür. Tüm kat adedi sonuçları değerlendirildiğinde Elbistan-Pazarcık depremlerinden en çok etkilenen binalar %19.23 ile altı katlı binalar ve %16.35'lik yıkılma oranı ile beş katlı binalardır. Beş ve altı katlı binalarda yaklaşık olarak her 5 binadan biri doğrudan yıkılmıştır.

Bodrum katlar, binanın zeminle bağlantısının derinleşmesi açısından önemlidir. Bu nedenle yapıyı sağlamlaştıracağı düşünülür. Bodrumun binanın deprem davranışını ne oranda etkilediği merak konusudur. Bodrumun depremde yıkım oranını nasıl etkilediği 3, 4, 5 ve 6 katlı binalar için ayrı ayrı incelenmiştir. Çizelge 5.4'te kat adedi arttıkça, bodrumsuz binaların bodrumlu binalara göre ciddi anlamda yıkıma uğradığı görülmüştür. Bina kat adedi arttıkça bodrumsuz binaların yıkım oranı da bariz şekilde artmıştır. Üç katlı binalarda bodrumlu ve bodrumsuz binaların oranı birbirine yakinken, dört katlı binalardan itibaren bodrum etkisi belirgin hale gelmiştir. Beş katlı ve bodrumlu binalarda %11.74 olan yıkım oranı, bodrumsuz binalarda %22.90'a yükselmiştir. Altı katlı ve bodrumlu binalarda %14.80 olan yıkım oranı, bodrumsuz binalarda %35.67'ye yükselmiştir. Sonuç olarak özellikle üç katlı binalardan itibaren binaların bodrumlu olarak yapılmasının, binaların deprem davranışını olumlu etkileyebileceği görülmüştür.

Zemin sertliğinin, yani yerel zemin sınıfının binaların deprem davranışını doğrudan nasıl etkilediği incelenmiştir. V_{S30} değerlerinden TBDY 2018'de yer alan V_{S30} değer aralıklarına göre zemin; yumuşak (ZD), orta (ZC) ve sert zemin (ZB) olmak üzere üç yerel zemin sınıfına ayrılarak bu öznitelik çalışma alanındaki tüm binalara eklenmiştir. Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi yumuşak zeminlerde %5.24 olan yıkım oranı, orta sertlikteki zeminlerde %3.57 ve sert

zeminlerde %2.73'tür. Doğrudan zemin etkisi bu oranlar göz önüne alınarak değerlendirildiğinde, zemin sertliği arttıkça binanın depreme dayanıklılığının da artacağı açıkça ortaya çıkmaktadır.

Zemin sertliği ve bina kat adedi bir arada değerlendirildiğinde ise sert zemine inşa edilen beş ve altı katlı binaların hiçbirinin yıkılmadığı ancak yumuşak zemine inşa edilen beş ve altı katlı binaların ciddi anlamda yıkıldığı görülmüştür. Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi orta sert zeminlerde %8.80 olan yıkım oranı, yumuşak zeminlerde %24.71'dir. Sonuç olarak, sert zeminli binaların depremde dayanıklı bir duruş sergilediği görülürken, yumuşak zemine inşa edilen beş ve altı katlı her 5 binadan 1'inin doğrudan yıkıldığı görülmüştür. Bu sonuçlarla, özellikle üç kattan daha yüksek binaların orta sert ve sert zeminlere yapılmasının depremde yıkılma riskini en aza indireceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.1 Tüm Parametrelere Ait Sonuçlar.

Parametre Türü	Riskli	Orta Riskli	Güvenilir
Bina Kat Adedi	4, 5, 6 Kat	4, 7, 8, 9 Kat	1, 2 ve 3 Kat
Yerel Zemin Sınıfı	Yumuşak Zemin	Orta Sert Zemin	Sert Zemin
Arazi Eğimi	%4 ve %17 arası	%17 ve %40 arası	-
Bodrumuz Yapı	5, 6, 7, 8, 9 Kat	3 ve 4 Kat	1 ve 2 Kat

Çizelge 6.1'de 6 Şubat 2023 depremlerinde binaların depremde etkilendiği tüm parametrelerin analiz edildiği bulgular toplu şekilde ifade edilmiştir. Bu bulgular her deprem ve her şehir için kesin sonuçlar ortaya koymasa da Türkiye'deki kentlerin ve binaların yapılarının benzer olması açısından yorumlamaya imkan verecektir. Özellikle yumuşak zemine inşa edilen ve bodrumu olmayan yüksek binaların yıkılma ihtimalinin çok yüksek olduğu, sert zemine inşa edilen ve bodrumu olan yüksek binaların eğimli araziye inşa edilse dahi depremde yıkılma ihtimalinin düşük olduğu değerlendirilmiştir.

Bütün sonuçlar değerlendirildiğinde, parametrelerin bazılarının tek başına anlamlı sonuçlar ortaya koymadığı ancak bu parametrelerin diğerleriyle beraber yorumlandığında belirgin sonuçlar ortaya koyulabildiği görülmüştür. Türkiye bir deprem ülkesidir ve son yüzyılda büyük depremler yaşamıştır. Depreme karşı dirençli yapıların yapılması hem can kayıplarını azaltacak hem de afet sonrası arama-kurtarma çalışmalarını daha etkin ve hızlı bir hale

getirecektir. 6 Şubat 2023 Elbistan-Pazarcık depremleri yıkıcı etkileri bakımından, depreme hazırlıklı olunması, yapıların sağlamlaştırılması ve deprem etkilerini en aza indirici şekilde çalışmalar yapılması gerektiği hakkında tüm dünyaya büyük bir örnektir.

Depremın yıkıcı etkilerinin nedenleri merak edildiğinde birçok mühendislik dalının kendi alanında ve ilişkili olduğu alanlarda çalışmalar yapması gerekliliği oldukça açıktır. Yalnızca jeoloji mühendisliği, jeofizik mühendisliği, inşaat mühendisliği değil; zemin, yapı, yapı malzemeleri ve projelerle ilgilenen tüm mesleklerin birlikte hareket ederek bu bilimsel çalışmaları yapması daha geniş kapsamlı bilimsel çalışmaları ortaya çıkaracaktır.

Bu tez çalışmasına yapı ve zemin parametrelerinin dahil edilmesi aşamasında, bu alanda uzman kişiler tarafından görüş alınmıştır. Tespit edilen yıkık binalara bu parametreler ve bazı verilerden üretilen parametreler öznitelik olarak eklendikten sonra istatistiki analizler yapılmıştır. Bu parametreler sınıflandırılırken ve yorumlanırken, Türkiye Bina Deprem Yönetmelikleri (TBDY), AFAD deprem analiz raporları ve belediyelerin bayındırlık komisyonu raporları da incelenerek parametrelerin etkilerinin gerçeğe uygunluğu sağlanmıştır.

Dash vd. (2004), deprem sonrası hasar tespitini en hızlı şekilde gerçekleştirmek istediği çalışmasında, deprem öncesi ve sonrası coğrafi verilerin kullanılması ve değişimlerin ayırt edilmesi konusunda gerçekçi sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu tip çalışmalarda ortak amaç, deprem sonrasında en hızlı şekilde bariz yıkımları ortaya koymak ve müdahale sürecini en hızlı şekilde yapabilmektir. Büyük alanlara nüfuz eden afetlerde coğrafi veriler üzerinde yapılan değişim analizleri ile hasarlı yapıları hızlı bir şekilde tespit etmek hem zaman kazandıracak, hem de müdahalenin öncelik sırasını belirleyebilecektir.

Otomatik bina çıkarımı ve değişim analizi, deprem sonrası hasarlı yapı tespiti çalışmalarında geomatik/harita mühendisliğinin temel konularıdır. Hem coğrafi verilere ve konum bilgisine olan hakimiyet, hem de bu verileri dönüştürme ve örnekleme gibi durumlara karar verilmesi konusundaki tecrübesi sebebiyle geomatik/harita mühendisi, tespit ve analiz işlemlerinde oldukça avatajlıdır. Ayrıca, tespit sonrası elde edilen hasarlı yapılara, coğrafi bilgi sistemlerinden birçok parametreyi öznitelik olarak dahil etme işlemleri de topolojik verilerin ve CBS yazılımlarının iyi tanınmasını gerektirmektedir. Geomatik/Harita mühendisi bu verileri birleştirme, karar verme ve yorumlama aşamasında da tecrübe sahibidir. Uzaktan

algılama, fotogrametri, jeodezi ve CBS ana bilim dalları altlık veri üretimi ve analiz aşamasında büyük rol oynamaktadır. Bu nedenlerden dolayı deprem öncesi ve sonrası çalışmalarda doğrudan ve dolaylı olarak geomatik/harita mühendisliğinin bu bilgi ve yeteneklerinden faydalanılması yararlı olacaktır.

Bölüm 4'te anlatılan tespit yöntemi kullanılarak deprem öncesi veriler analize hazır halde bulundurulduğunda, deprem sonrası fotogrametrik çekimin gerçekleştirildiği uçuş en kısa sürede yapılarak depremden birkaç saat sonra yıkılan binaları doğrudan ortaya koymak ve sayısal değerlerle raporlamak mümkün olacaktır. Deprem sonrası arama kurtarma faaliyetleri ve bu binalara açık yolların tespiti de hız kazacaktır. Özellikle büyük depremlerin beklendiği bölgelerde deprem sonrası hasar tespitini en hızlı ve en doğru şekil yapabilmek için deprem öncesi coğrafi veriler güncel ve analize hazır bulundurulmalıdır. Deprem sonrası en kısa süre içerisinde bölgenin havadan fotoğraflanması tespitini en hızlı şekilde yapılabilmesi açısından en önemli etkidir. Zemin ve yapı parametrelerinin incelenmesi ise deprem sonrası yapılacak incelemeler arasında yer alacağından aynı şekilde aciliyet gerektirmez.

Yapıların depremde yapı ve zemin parametrelerinden etkilenme durumu referans kabul edilerek mevcut kentsel alanların gelecek depremlerden etkilenme durumu tahmin edilebilir ve yeni imar alanları belirlenirken bu sonuçlar göz önünde bulundurulabilir. Yine aynı sonuçlar referans kabul edilerek, deprem beklenen başka bölgelerde aynı parametrelere sahip binaların risk durumu tahmin edilebilir.

Türkiye'de yapıların bina yaşının toplanması tartışma konusudur. Binaların yapı yaşını içeren bir CBS verisi olmadığından, yapılan tüm analizler yapı yaşı göz önünde bulundurulmadan yapılmıştır. CBS'nin Türkiye'deki temel konularından olan binaların yapım yılının toplanması ve aynı standartta depolanması, yapılan tüm analizleri daha anlamlı kılacaktır.



KAYNAKLAR

- Ağdaş T, Canıberk M ve Yüksek B** (2021) Topoğrafik Vektör Veritabanı(TOPOVT) Yeni Bütünleme Sistemi, *11. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu*, 12-14 Mayıs 2022, Mersin, Türkiye
- Ameri B ve Fritsch D** (2019) Automatic 3D Building Reconstruction Using Plane-Roof Structures, Stuttgart, Almanya, 1-11.
- Çobanoğlu H** (2023) Yüksek Çözünürlüklü Görüntülerden Otomatik Bina Çıkarımı, *Yüksek Lisan Tezi*, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak, 103 s.
- Dash J, Steinle E, Singh R P ve Böhr H P** (2004) Automatic Building Extraction From Laser Scanning Data: An Input Tool For Disaster Management, 317-322.
- Döndüren M S, Hava Ş ve Ecemiş A S** (2021) Betonarme Bir Binanın Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Analizi. *KONJES*, 9(2): 327-342.
- Kayı A, Yılmaz A ve Erdoğan M** (2015) Depremde Hasar Gören Binaların Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Tespiti, *8. TUFUAB Teknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs 2015, Konya, Türkiye, 226-230.
- Kiriş R** (2021) Görüntü Segmentasyonu ile Entegre Edilmiş Evrişimli Sinir Ağları ile Deprem Sonrası Hasarlı Binaların Otomatik Olarak Tespiti, *Yüksek Lisans Tezi*, Gümüşhane Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afet Yönetimi Ana Bilim Dalı, Gümüşhane, 80 s.
- Okay H B ve Özacar A A** (2024) A Novel VS30 Prediction Strategy Taking Fluid Saturation into Account and a New VS30 Model of Türkiye, Ankara, Türkiye, 1048-1065
- Soysal A, Karakullukçu F, Gürbüz U, Kemaldere H, Karabörk H ve Makineci B** (2023) Yüksek Çözünürlüklü Ortofotolar ve Sayısal Yüzey Modelleri İle Deprem Sonrası Hasarlı Yapıların Belirlenmesi, *12. TUFUAB Teknik Sempozyumu*, 24-26 Mayıs 2023, Sivas, Türkiye
- Tavukçu B, Tapan K S ve İşcan L** (2023) Sayısal Yüzey Modelinden Sayısal Arazi Modeli Üretimi, *12. TUFUAB Teknik Sempozyumu*, 24-26 Mayıs 2023, Sivas, Türkiye
- TBDY** (2018), Afet Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, 18 Mart 2018, Türkiye
- URL-1**<<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/bilgi/depremnedir/index.htm#KONU1Eri>>, Ziyaret Tarihi: 05.05.2024.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-10** <https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmaras%20%20Depremleri_%20On%20Degerlendirme%20Raporu.pdf>, Ziyaret Tarihi: 18.05.2024.
- URL-11** <<https://deprem.afad.gov.tr/content/91>>, Ziyaret Tarihi: 18.05.2024.
- URL-12** <<https://www.harita.gov.tr/urun/sayisal-arazi-modeli-saml2-yalnizca-kamu-kurumlari-icin/492>>, Ziyaret Tarihi: 19.05.2024.
- URL-13** <<https://www.harita.gov.tr/terimler-sozlugu/post>>, Ziyaret Tarihi: 02.06.2024.
- URL-14** <<https://usgs.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8ac19bc334f747e486550f32837578e1>>, Ziyaret Tarihi: 19.05.2024.
- URL-15** <<https://www.harita.gov.tr/urun/turkiye-topografik-veritabani-topovt-verisi/5>>, Ziyaret Tarihi: 01.06.2024.
- URL-2** <<https://tr.wikipedia.org/wiki/Sismograf>>, Ziyaret Tarihi: 06.05.2024.
- URL-3** <<https://www.afad.gov.tr/depremin-buyuklugu-ve-siddeti-ayni-kavramlar-midir>>, Ziyaret Tarihi: 06.05.2024.
- URL-4** <<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/genel-bilgiler/>>, Ziyaret Tarihi: 06.05.2024.
- URL-5** <https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf>, Ziyaret Tarihi: 18.05.2024.
- URL-6** <<https://web.archive.org/web/20101030134831/http://www.abag.ca.gov/bayarea/eqmaps/doc/mmi.html>>, Ziyaret Tarihi: 17.05.2024.
- URL-7** <<https://www.britannica.com/science/Richter-scale>>, Ziyaret Tarihi: 18.05.2024.
- URL-8** <<https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/magnitude-types>>, Ziyaret Tarihi: 18.05.2024.
- URL-9** <<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/turkiyede-son-yuzyilda-gerceklesen-buyuk-depremler>>, Ziyaret Tarihi: 06.05.2024.
- Uyanık O** (2015) Deprem Ağır Hasar Alanlarının Önceden Belirlenmesi ve Şehir Planlaması için Makro ve Mikro Bölgelelendirmelerin Önemi, Isparta, Türkiye, 25-38.
- Uzar M ve Yastıklı N** (2021) LiDAR ve Hava Fotoğraflarının Füzyonu ile Otomatik Bina Çıkarımı, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara, Türkiye.
- Uzun M ve Korkmaz H H** (2018), Deprem Bölgesindeki Bazı Ülkelerde Eşdeğer Deprem Yüğü Metodunun Karşılaştırılması. *S.Ü Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, 7(1): 189-212.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Yalçınkaya E** (2023), 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi (Mw=6.4) Kuvvetli Hareket Kayıtlarının İncelenmesi, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırmama Merkezi Bülteni*, İstanbul, Türkiye
- Yılmaz A ve Canıberk M** (2018) Real Time Vector Database Updating System, A Case Study for Turkish Topographic Vector Database (TOPOVT). *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (2): 73-79.
- Yılmaz A ve Erdoğan M** (2018) Detection Of Building Damage Caused By Van Earthquake Using Image And Digital Surface Model (DSM) Difference. *International Journal of Remote Sensing*, 40(2): 1-15.
- Yılmaz İ, Tiryakioğlu İ, Taktak F ve Uysal M** (2011) Sayısal Arazi Modellerinin Oluşturulmasında GZK GPS Yönteminin Kullanılması, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(3): 1-8.



ÖZGEÇMİŞ

Uğur GÜRBÜZ, 2010 yılında lise öğrenimimi Elazığ'da tamamladım. 2011 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümüne başlayarak 2015 yılında lisans eğitimimi tamamladım. 2022 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimime başlayarak 2024 yılında tamamladım. Mesleki hayatımı Ankara Harita Genel Müdürlüğünde sürdürmekteyim.

