



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**OLAY YERİNİN 3 BOYUTLU ŞEKİLDE KAYDA ALINMASI VE
MEKANSAL VERİNİN ADLİ ANALİZDE KULLANIMI**

Derviş Emre AYDIN

**DİSİPLİNLERARASI ADLİ BİLİMLER ANABİLİM DALI
KRİMİNALİSTİK PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz AR**

**ANKARA
2025**

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OLAY YERİNİN 3 BOYUTLU ŞEKİLDE KAYDA ALINMASI VE
MEKANSAL VERİNİN ADLİ ANALİZDE KULLANIMI**

Derviş Emre AYDIN

**DİSİPLİNLERARASI ADLİ BİLİMLER ANABİLİM DALI
KRİMİNALİSTİK PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

DANIŞMAN

Doç. Dr. Yılmaz AR

ANKARA

2025

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Olay Yerinin 3 Boyutlu Şekilde Kayda Alınması ve Mekansal Verinin Adli Analizde Kullanımı” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Derviş Emre AYDIN

Tarih:

İmza:

KABUL VE ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Disiplinlerarası Adli Bilimler Anabilim Dalı
Kriminalistik Programında
Derviş Emre AYDIN tarafından hazırlanan
“OLAY YERİNİN 3 BOYUTLU ŞEKİLDE KAYDA ALINMASI VE MEKANSAL VERİNİN
ADLİ ANALİZDE KULLANIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak
OY BİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 13.02.2025

İmza

Prof. Dr. Nergis CANTÜRK

Ankara Üniversitesi

Jüri Başkanı

İmza

Prof. Dr. Süleyman TOSUN

Hacettepe Üniversitesi

Üye

İmza

Doç. Dr. Yılmaz AR

Ankara Üniversitesi

Üye

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

İmza

Prof. Dr. Fügen AKTAN

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Olay Yerinin 3 Boyutlu Şekilde Kayda Alınması ve Mekansal Verinin Adli Analizde Kullanımı

Geleneksel olay yeri inceleme ve kayıt altına alma yöntemleri bu zamana kadar birçok olayın çözümünde fayda sağlamış olsalar da olay yerinin doğası gereği birçok sınırlılığı da bünyesinde barındırmaktadır. Üç boyutlu kayıt teknolojileri ise, olay yerini tüm detayları ile kaydetmeyi ve daha sonra incelemeyi sağlayan son derece güçlü araçlar sunmaktadır. Bu çalışmada, olay yerinin üç boyutlu şekilde kayda alınmasında LiDAR ve Photogrammetry teknolojilerinin etkinliği ve elde edilen mekansal verinin adli analizde kullanım olanakları incelenmiştir. Araştırma kapsamında LiDAR ve Photogrammetry yöntemleri test edilmiş; tarama doğruluğu, fiziksel detay yakalama kapasitesi ve işleme süresi gibi performans ölçütleri karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında, LiDAR ve Photogrammetry taraması yapan 3D Scanner App, MetaScan ve Recon3D uygulamalarının hassasiyet ve doğruluk seviyeleri, kontrollü bir deney ortamında değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Recon3D uygulamasının en yüksek doğruluk performansını sergilediğini, ancak sınırlı çıktı formatlarının kullanım alanını kısıtladığını göstermiştir. Photogrammetry teknolojisinin dar alan taramalarında yüksek detay yakalama kapasitesine sahip olduğu görülse de ölçüm doğruluğunun önemli olduğu durumlarda LiDAR teknolojisinin tercih edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Araştırmanın ikinci aşamasında, iç ve dış mekanlarda geniş alan taramaları gerçekleştirilmiş, detay yakalama kapasitesi bakımından Photogrammetry ile yapılan taramaların, yakın planlarda başarılı sonuçlar vermesine karşın geniş alanlarda ciddi bozulmalar yaşandığı görülmüştür. Çalışmanın son aşamasında, taramalar neticesinde elde edilen mekansal verinin adli analizdeki kullanım olanakları değerlendirilmiş, LiDAR ile taranan bir otomobil modeli üzerinde temsili bir mermi yolu analizi yapılmıştır. Bu amaçla, üç farklı mermi yolu analizi yönteminin temel özelliklerini bünyesinde barındıran Bullet Trajectory Creator adında bir Blender Add-on'u geliştirilmiştir.

Araştırma bulguları, üç boyutlu tarama teknolojilerinin olay yeri kaydı ve analiz süreçlerinde insan hatasını azaltma, süreçleri hızlandırma ve daha anlaşılır temsiller sunma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, teknolojilerin doğru ve etkili kullanımı için uygulamaların sınırlılıklarının daha iyi anlaşılması gerekmektedir.

Anahtar Sözcükler: LiDAR, mekansal veri, mermi yolu analizi, olay yeri incelemesi, photogrammetry.

SUMMARY

3D Recording of Crime Scene and the Use of Spatial Data in Forensic Analysis

Although traditional crime scene documentation and examination methods have significantly contributed to solving numerous cases, they inherently possess certain limitations due to the nature of crime scenes. Three-dimensional recording technologies offer powerful tools to document crime scenes in their entirety and facilitate detailed analysis afterward. This study investigates the effectiveness of LiDAR and Photogrammetry technologies in three-dimensional crime scene documentation and evaluates the potential applications of the resulting spatial data in forensic analysis. The research tested LiDAR and Photogrammetry methods, comparing their performance in terms of scanning accuracy, physical detail capture capacity, and processing time.

In the first phase of the study, the accuracy and precision of three LiDAR and Photogrammetry-based mobile applications—3D Scanner App, MetaScan, and Recon3D—were evaluated in a controlled experimental setting. The results revealed that the Recon3D application exhibited the highest accuracy but was limited by its restrictive output formats, which constrain its usability. While Photogrammetry technology exhibited a high capacity for capturing fine details in narrow-area scans, it was determined that LiDAR technology should be preferred in scenarios where measurement accuracy is of critical importance.

In the second phase, large-scale indoor and outdoor scans were conducted. It was observed that while Photogrammetry produced effective results in capturing fine details in small, confined areas, it experienced significant distortions when applied to large-scale environments. In the final phase, the applicability of spatial data obtained from these scans in forensic analysis was assessed. A representative bullet trajectory analysis was performed on a car model scanned using LiDAR. For this purpose, a Blender add-on named Bullet Trajectory Creator, incorporating the core features of three distinct bullet trajectory analysis methods, was developed.

The findings of this research demonstrate that three-dimensional scanning technologies have the potential to reduce human error, accelerate processes, and provide more comprehensive representations in crime scene documentation and analysis. However, the effective and accurate application of these technologies requires a deeper understanding of their limitations.

Keywords: Bullet trajectory analysis, crime scene investigation, LiDAR, photogrammetry, spatial data.

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
Özet	iv
Summary	v
İçindekiler	vi
Önsöz	x
Simgeler ve Kısaltmalar	xi
Şekiller	xii
Çizelgeler	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Olay Yeri İnceleme ile İlgili Kavramlar ve Hukuksal Arka Planı	2
1.1.1. Olay	2
1.1.2. Olay Yeri	2
1.1.3. Bulgu ve Delil Kavramları	2
1.1.3.1. Bulgu	2
1.1.3.2. Delil	3
1.1.3.2.1. Delil Türleri	3
1.1.3.2.2. Delil Özellikleri	4
1.1.3.2.3. Delil Değerlendirme Araçları	5
1.1.3.2.3.1. Bilirkişi İncelemesi	5
1.1.3.2.3.2. Keşif	6
1.1.4. Olay Yeri İncelemesi ve Hukuksal Arka Planı	6
1.1.4.1. Anayasa	7
1.1.4.2. Kanunlar	8
1.1.4.2.1. 5271 Sayılı Ceza Muhakemesi Kanunu (CMK)	8
1.1.4.2.2. 5237 Sayılı Türk Ceza Kanunu (TCK)	8
1.1.4.2.3. 2559 Sayılı Polis Vazife ve Salahiyet Kanunu (PVSK)	8
1.1.4.3. Yönetmelikler	9
1.1.4.3.1. Emniyet Genel Müdürlüğü Olay Yeri İnceleme ve Kimlik Tespit Birimleri Yönetmeliği (EGMOYİY)	9
1.1.4.3.2. Polisin Adli Görevlerinin Yerine Getirilmesinde Delillerin Toplanması, Muhafazası ve İlgili Yerlere Gönderilmesi Hakkında Yönetmelik	10
1.2. Olay Yeri İncelemesi	10
1.2.1. Soruşturmalarda Takip Edilen Adli Bilim İlkeleri	11
1.2.1.1. Değişim İlkesi	11
1.2.1.2. Kimliklendirme İlkesi	12

1.2.1.3. Bireyselleştirme İlkesi	12
1.2.1.4. Yeniden Yapılandırma İlkesi	12
1.2.2. Olay Yeri İnceleme Süreçleri	13
1.2.2.1. Olay Yerinin Korunması	13
1.2.2.2. Olay Yeri Araştırması	15
1.2.2.2.1. Şerit Yöntemi	15
1.2.2.2.2. Izgara Yöntemi	16
1.2.2.2.3. Bölge Yöntemi	17
1.2.2.2.4. Spiral Yöntem	18
1.2.2.3. Olay Yerinde Bulunan İz ve Bulgular	18
1.2.2.3.1. Temas Kaynaklı Oluşan İzler	19
1.2.2.3.2. Darbe ve Zorlama Kaynaklı Oluşan İzler	21
1.2.2.3.3. Biyolojik Kökenli Bulgular	22
1.2.2.3.4. Diğer İz ve Bulgular	23
1.2.3. Olay Yerinin ve Bulguların Kayıt Altına Alınması	25
1.2.3.1. Geleneksel Yöntemler	25
1.2.3.1.1. Fotoğraf ve Video Kaydı	26
1.2.3.1.2. Kroki ve El Çizimleri	27
1.2.3.1.3. Manuel Ölçümler	28
1.2.3.2. Geleneksel Yöntemlerin Sınırlılıkları	28
1.2.3.2.1. İnsan Hatası	29
1.2.3.2.2. Düşük Hassasiyet	29
1.2.3.2.3. Görüntü Bozulmaları	29
1.2.3.2.4. Tahrifat Olasılığı	29
1.2.3.2.5. Kısıtlı Zaman ve Maliyet	30
1.2.3.2.6. Görsel Sınırlılıklar	30
1.3. Olay Yerinin Kayıt Altına Alınmasında Kullanılabilecek Yeni Teknolojiler	31
1.3.1. Üç Boyutlu Kayıt ve Görselleştirme Araçları	32
1.3.1.1. Fotogrametri (Photogrammetry)	32
1.3.1.2. Lazer Tarama (LiDAR)	34
1.3.1.3. Nöral Parlaklık Alanları (NeRF)	37
1.4. Olay Yeniden Yapılandırması ve Adli Analiz Yöntemleri	38
1.4.1. Mekansal Verinin Olay Yeniden Yapılandırması ve Adli Analizde Kullanımı	42
1.4.2. Mermi Yolu Analizi	43
1.4.2.1. Sondaj Yöntemi (Probing Method)	43
1.4.2.2. Elips Yöntemi	44
1.4.2.3. Giriş Yöntemi	47
1.4.2.4. Dijital Ortamda Mermi Yolu Analizi	48
1.4.3. Kan Lekesi Model Analizi	51

1.4.4. Kaza ve Çarpışma Analizi	54
1.5. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	55
1.5.1. Literatürdeki Benzer Çalışmalar	57
1.5.2. Araştırmanın Özgün Yanı ve Araştırma Hipotezleri	59
2. GEREÇ VE YÖNTEM	61
2.1. Araştırma Araçları	61
2.1.1. Tarama Cihazı (Tablet)	61
2.1.2. Üç Boyutlu Tarama Uygulamaları	62
2.1.2.1. 3D Scanner App (v2.1.3)	62
2.1.2.2. MetaScan (v2.9.7)	62
2.1.2.3. Recon 3D (v1.9.3)	63
2.1.3. Mekansal 3B Veri İşleme ve Dönüştürme Uygulamaları	64
2.1.3.1. CloudCompare	64
2.1.3.2. MeshLab	64
2.1.3.3. Blender (3.4.0.)	65
2.1.4. İstatistiksel Analiz Uygulamaları	65
2.2. Yöntem	65
3. BULGULAR	68
3.1. Tarama Sonuçları	68
3.1.1. 3D Scanner App Tarama Sonuçları	68
3.1.1.1. Ayakkabı İzi (3D Scanner App-LiDAR)	68
3.1.1.2. Ayakkabı İzi (3D Scanner App-Photogrammetry)	69
3.1.1.3. İç Mekan (3D Scanner App-LiDAR)	70
3.1.1.4. İç Mekan (3D Scanner App-Photogrammetry)	71
3.1.1.5. Dış Mekan - Otomobil (3D Scanner App-LiDAR)	71
3.1.1.6. Dış Mekan - Otomobil (3D Scanner App-Photogrammetry)	73
3.1.2. MetaScan Tarama Sonuçları	73
3.1.2.1. Ayakkabı İzi (MetaScan)	73
3.1.2.2. İç Mekan (MetaScan)	74
3.1.2.3. Dış Mekan - Otomobil (MetaScan)	75
3.1.3. Recon 3D Tarama Sonuçları	76
3.1.3.1. Ayakkabı İzi (Recon 3D)	76
3.1.3.2. İç Mekan (Recon 3D)	78
3.1.3.3. Dış Mekan - Otomobil (Recon 3D)	80
3.2. Analiz	81
3.2.1. LiDAR Tarama Hassasiyetleri ve Doğruluklarının Karşılaştırılması (Ayakkabı İzi)	81
3.2.2. LiDAR ve Photogrammetry Ölçüm Doğruluklarının Karşılaştırılması (Ayakkabı İzi)	83

3.2.3. LiDAR ve Photogrammetry Taramalarının Fiziksel Detay Yakalama Kapasitelerinin Karşılaştırılması (Ayakkabı İzi)	83
3.2.4. LiDAR ve Photogrammetry Taramalarının İşleme Sürelerinin Karşılaştırılması (Ayakkabı İzi)	84
3.2.5. LiDAR ve Photogrammetry İç Mekan Taramalarının Karşılaştırılması	84
3.2.6. LiDAR ve Photogrammetry Dış Mekan Taramalarının Karşılaştırılması	86
3.2.7. Bullet Trajectory Creator ile Mermi Yolu Analizi ve Olay Yeniden Yapılandırması	88
4. TARTIŞMA	100
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	108
EKLER	115
Ek 1. 3D Scanner App LiDAR Tarama Sonuçları	115
Ek 2. 3D Scanner App Photogrammetry Tarama Sonuçları	116
Ek 3. MetaScan Tarama Sonuçları	117
Ek 4. Recon 3D Tarama Sonuçları	118
ÖZGEÇMİŞ	119

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, olay yeri inceleme süreçlerinde yenilikçi teknolojilerin kullanılabilirliğini araştırarak adli bilimlere katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Geleneksel yöntemlerin sınırlılıklarını ele alarak, özellikle LiDAR ve Photogrammetry teknolojilerinin sunduğu olanakları değerlendiren bu çalışma, olay yerinin kayda alınması işlemlerinin; doğruluk, detay yakalama kapasitesi ve hız açısından nasıl daha etkili hale getirilebileceğine dair somut veriler sunmaktadır.

Araştırmamızın temelleri, olay yeri inceleme süreçlerinde hata oranını azaltacak, delillerin kayda alınmasını kolaylaştıracak ve bu verilerin daha kapsamlı analiz edilmesi ve daha etkili yeniden yapılandırmalara olanak tanıyacak yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacına dayanmaktadır.

Tez sürecinde, LiDAR sensörü içeren bir tablet ve çeşitli mobil uygulamalar kullanılarak farklı ortamlarda yapılan taramaların hassasiyeti ve doğruluğu test edilmiş, elde edilen sonuçlar ışığında bu teknolojilerin adli analizlerde kullanım olanakları tartışılmış, mermi yolu analizi için bir program geliştirilmiş ve örnek bir olay yeniden yapılandırması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen herkese teşekkür ederim. Özellikle danışman hocam Doç. Dr. Yılmaz AR'a akademik rehberliği ve teşvik edici yaklaşımı için; aileme, her zaman yanımda oldukları için; ve meslektaşım Av. Melike POLAT'a, değerli fikirleri ve desteği için minnettarım. Bu tezdeki bilimsel tartışmaların ve ortaya konulan önerilerin, adalet sistemine yeni bir perspektif kazandırması ve daha ileri araştırmalara zemin hazırlaması en büyük temennimdir.

Son olarak, bu çalışmanın adli bilimler alanında daha güvenilir, hızlı ve erişilebilir yöntemlerin geliştirilmesine katkı sunmasını ümit ediyorum.

SİMGELER ve KISALTMALAR

2B	İki Boyutlu
3B	Üç Boyutlu
AR	Augmented Reality
CMK	Ceza Muhakemesi Kanunu
DNA	Deoksiribonükleik Asit
EGMOYİY	Emniyet Genel Müdürlüğü Olay Yeri İnceleme ve Kimlik Tespit Birimleri Yönetmeliği
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measurement Unit
LiDAR	Laser Imaging Detection and Ranging
NeRF	Neural Radiance Fields
PVSK	Polis Vazife ve Salahiyet Kanunu
TCK	Türk Ceza Kanunu
VR	Virtual Reality

ŞEKİLLER

Şekil 1.1.	Şerit yöntemi	16
Şekil 1.2.	Izgara yöntemi	16
Şekil 1.3.	Bölge yöntemi	17
Şekil 1.4.	Spiral yöntemi	18
Şekil 1.5.	2B ve 3B kroki örnekleri	31
Şekil 1.6.	Havadan çekilmiş fotoğraflarla oluşturulan bir fotogrametri uygulaması	32
Şekil 1.7.	Yerden çekilmiş fotoğraflarla oluşturulan bir fotogrametri uygulaması	33
Şekil 1.8.	LiDAR sistemlerinin genel çalışma mekanizması	34
Şekil 1.9.	Endüstriyel LiDAR sistemi ve tarama çıktısı	35
Şekil 1.10.	İç mekanda yapılmış bir LiDAR taraması çıktısı	35
Şekil 1.11.	Havadan sistemlerde fotogrametri ve LiDAR uygulamasına dair bir gösterim	36
Şekil 1.12.	NVIDIA Instant NeRF ile oluşturulmuş bir 3 boyutlu sahne	38
Şekil 1.13.	Spesifik olaylarda yeniden yapılandırma yaklaşımının akış diyagramı	40
Şekil 1.14.	Dinamik olaylarda yeniden yapılandırma yaklaşımının akış diyagramı	41
Şekil 1.15.	Sondaj yöntemi ile yapılan mermi yolu ölçümü ve kullanılan ekipmanlar	44
Şekil 1.16.	Çarpışma açısı ve mermi deliğindeki kısa ve uzun eksenler	45
Şekil 1.17.	Elips eksenini kullanılarak atış açısının hesaplanması	45
Şekil 1.18.	Yükselme/alçalma açısının tespit edilmesi	46
Şekil 1.19.	Yükselme açısına göre karşı dik kenarın uzunluğunun tespit edilmesi	46
Şekil 1.20.	Atıcının hedef noktaya olan uzaklığının tespit edilmesi	47
Şekil 1.21.	Bullet Trajectory App (V1.3) ile mermi yolu analizi	49
Şekil 1.22.	Giriş yöntemi için kullanılan problemler ve dijital küreler	50
Şekil 1.23.	FARO Zone 3D - Hata payı eklenmiş mermi yolu konileri	50
Şekil 1.24.	Geleneksel yöntemle yapılan Kan Lekesi Model Analizi	52
Şekil 1.25.	Faro Zone 3D uygulaması ile yapılan çarpışma açısı hesaplaması	53
Şekil 1.26.	Faro S350 ve Recon 3D ile yapılan mekansal taramalar	53
Şekil 1.27.	LiDAR tarayıcı ile havadan kaydedilmiş bir kaza olayı	54
Şekil 2.1.	İpad Pro 2020 Kamera ve LiDAR Sensör Grubu	61
Şekil 2.2.	Alçı tozunda oluşturulmuş ayakkabı izi	65
Şekil 3.1.	3D Scanner App uygulaması ile yapılan LiDAR tarama sonuçları	68
Şekil 3.2.	3D Scanner App uygulaması ile yapılan Photogrammetry tarama sonuçları	69
Şekil 3.3.	3D Scanner App iç mekân LiDAR tarama sonuçları	70
Şekil 3.4.	3D Scanner App iç mekân Photogrammetry tarama sonuçları	71

Şekil 3.5.	3D Scanner App (5mm) dış mekan otomobil LiDAR tarama sonuçları	72
Şekil 3.6.	3D Scanner App dış mekan otomobil Photogrammetry tarama sonuçları	73
Şekil 3.7.	MetaScan uygulaması ile yapılan LiDAR tarama sonuçları	74
Şekil 3.8.	MetaScan iç mekan LiDAR tarama sonuçları	75
Şekil 3.9.	MetaScan dış mekan otomobil LiDAR tarama sonuçları	75
Şekil 3.10.	Recon 3D uygulaması ile yapılan LiDAR tarama sonuçları	76
Şekil 3.11.	e57 formatındaki nokta bulutu kümesinin yakın plan gösterimi	76
Şekil 3.12.	MeshLab ile işlenmiş Recon 3D LiDAR tarama sonucu	77
Şekil 3.13.	MeshLab ile işlenmiş Recon 3D LiDAR tarama sonucu (yakın plan)	78
Şekil 3.14.	Recon 3D iç mekan LiDAR taraması 1	79
Şekil 3.15.	Recon 3D iç mekan LiDAR taraması 2	79
Şekil 3.16.	Recon 3D dış mekan-otomobil LiDAR taraması	80
Şekil 3.17.	3D Scanner App ile yapılan Photogrammetry ve LiDAR taramaları	83
Şekil 3.18.	3D Scanner App-LiDAR, MetaScan-LiDAR, Recon3D-LiDAR ve 3D Scanner App-Photogrammetry iç mekan tarama sonuçları	85
Şekil 3.19.	3D Scanner App-LiDAR, MetaScan-LiDAR, Recon3D-LiDAR ve 3D Scanner App-Photogrammetry dış mekan-otomobil tarama sonuçları	87
Şekil 3.20.	Faro Zone 3D ile yapılan mermi yolu analizi uygulaması	88
Şekil 3.21.	Kürelerin konumlarını ve silindir eksen açısını hesaplayan kod parçası	90
Şekil 3.22.	Blender ortamında seçilen kürelerin merkezleri arasındaki doğrultu ve girilen değerler referans alınarak silindir ve atış konisini oluşturan kod parçası	91
Şekil 3.23.	Otomobilin sağ arka ve sol ön kapı camındaki temsili mermi giriş deliklerine yerleştirilen dijital küreler	92
Şekil 3.24.	İki küre arasındaki doğrultu boyunca oluşturulan silindir	93
Şekil 3.25.	Silindirin eksen açısının tespit edilmesi	93
Şekil 3.26.	Atıcının boy ve omuz yüksekliği	94
Şekil 3.27.	Mermi giriş deliğinin zeminden yüksekliği	95
Şekil 3.28.	Atış mesafesi hesaplamasında kullanıcı tarafından girilen bilgiler	95
Şekil 3.29.	Uygulama arayüzü ve yeni bilgiler referans alınarak oluşturulan atış konisi	96
Şekil 3.30.	Atış konisi ile mekansal ölçümlerin birlikte gösterimi	96
Şekil 3.31.	Olay yerinde bulunan kovan ve ayakkabı izleri	97
Şekil 3.32.	Atıcının atış konisi ve bulgular doğrultusunda olay yerinde konumlandırılması	98
Şekil 3.33.	0.57 derece genişleme açısı ile oluşturulan atış konisi	98
Şekil 3.34.	Yeniden yapılandırma sonucunda atıcının X ekseninden görünümü	99
Şekil 3.35.	Atıcının Y ve Z eksenlerinden görünümü	99

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1.	LiDAR ve Fotogrametri yöntemlerinin karşılaştırılması	36
Çizelge 2.1.	iPad Pro (2. Nesil) özellikleri	61
Çizelge 2.2.	3D Scanner App (v2.1.3) özellikleri	62
Çizelge 2.3.	MetaScan (v2.9.7) özellikleri	63
Çizelge 2.4.	Recon 3D (v1.9.3) özellikleri	64
Çizelge 3.1.	3D Scanner App uygulaması ile yapılan dış mekan taramalarına dair bilgiler	72
Çizelge 3.2.	Ayakkabı izi taramaları ile toplanan verilerin ortalamaları	81
Çizelge 3.3.	Ayakkabı izi uzunluk ölçümlerine dair Welch testi sonuçları	81
Çizelge 3.4.	Ayakkabı izi uzunluk ölçümlerine dair Kruskal Wallis H Testi sonuçları	82
Çizelge 3.5.	Gruplar arası farklılık için post-hoc karşılaştırması (Dunnet T3)	82
Çizelge 3.6.	LiDAR ve Photogrammetry uzunluk ölçümlerine dair Welch testi sonuçları	83
Çizelge 3.7.	3D Scanner App LiDAR ve Photogrammetry fiziksel detay yakalama kapasiteleri Welch testi sonuçları	84
Çizelge 3.8.	3D Scanner App Lidar ve Photogrammetry işleme süreleri Mann-Whitney U testi sonuçları	84
Çizelge 3.9.	Geniş ölçekli iç mekan tarama sonuçları	86
Çizelge 3.10.	3D Scanner App uygulaması ile yapılan otomobil taramalarındaki plaka uzunluk verileri	87

1. GİRİŞ

Suç olaylarının gerçekleştiği mekanlarda yapılan incelemeler adli soruşturmanın ilk basamağını oluşturur ve olayın aydınlatılmasında önemli bir rol oynar. Olay yerinden toplanacak bulgular ve izler neticesinde fail, mağdur ve mekan arasındaki ilişkiler kurulur. Olay yeri incelemelerinin etkili sonuçlar vermesi araştırmaların bilimsel ve sistematik şekilde yapılmasına bağlıdır. Aynı zamanda olay yeri incelemesi neticesinde elde edilen bulguların delil niteliği kazanması için inceleme süreçlerinin hukuka uygun yürütülmesi de gerekmektedir.

Bir suç haberinin adli soruşturmada görevli mercilere ulaşması ile başlayan ceza muhakemesinin temel amacı, insan haklarına saygılı bir şekilde maddi gerçeğe ulaşmaktır (Kunter vd., 2010, 29). Maddi gerçek araştırması kapsamında; suçun kimin tarafından işlendiği, hukuka uygun şekilde elde edilmiş olan ispat araçları ile tespit edilir (Birtek, 2017, 8). Bu açıdan soruşturma konusu olayı aydınlatacak olan delillerin, toplanması, muhafaza altına alınması ve analiz edilmesi süreçlerinin kanuni prosedürlere uygun olması gerekmektedir.

Çalışmamızın giriş bölümünde ilk olarak olay, olay yeri, olay yeri inceleme kavramları ve soruşturma süreçlerinin dayanağı olan hukuksal metinler ele alınacaktır. İkinci bölümde olay yeri incelemelerinde takip edilen aşamalar, olay yerinin ve bulguların kayıt altına alınmasında kullanılan geleneksel yöntemler değerlendirilecek olup üçüncü bölümde ise olay yerinin kayda alınmasında kullanılabilecek üç boyutlu kayıt ve görselleştirme teknolojileri ele alınacaktır. Dördüncü bölümde ise yeni teknolojilerin adli analiz ve olay yeniden yapılandırılmalarında kullanımı değerlendirilecektir.

Araştırma aşamasında ise; ilk olarak bir ayakkabı izi, LiDAR tarayıcıya sahip bir tablet ve üç farklı mobil uygulama ile taranacak olup tarama sonuçları tarama doğruluğu ve fiziksel detay yakalama kapasitesi üzerinden karşılaştırılacaktır. Bir sonraki aşamada geniş çaplı iç mekan ve dış mekan taramaları yapılacak olup son olarak elde edilen mekansal verinin adli analizde kullanım olanakları ele alınacaktır.

1.1. Olay Yeri İnceleme ile İlgili Kavramlar ve Hukuksal Arka Planı

1.1.1. Olay

Olay, ilgi çeken veya çekebilecek nitelikte olan her türlü iş, hadise, vaka şeklinde tanımlanabilir. Bu genel tanım içerisinde adli bir soruşturmaya konu eylemler de yer almakta olup çalışmamızda kullanacağımız olay kavramı bu kapsamı ile sınırlı olacaktır. Bu kapsamda; olay, kanunlarda açıkça suç olduğu belirtilen fiil ve hareketlerin belirli bir zaman ve mekânda gerçekleşmesi şeklinde ifade edilebilir (EGMOYİY, 2008).

1.1.2. Olay Yeri

Olayın meydana geldiği yer, dinamik bir alanı temsil eder ve olayın işleniş şekline ve mağdur ile fail arasındaki ilişkiye göre şekillenir. Bu bağlamda, olayın başladığı, sürdüğü ve sonuçlandığı tüm alanlar olay yeri kavramı içinde değerlendirilir. Bu alanlar içerisindeki her bulgu olayın aydınlatılması açısından önemli hale gelebilir. Aynı zamanda olaya dair bulgular sadece olayın meydana geldiği yerle sınırlı olmayıp, olaya dahil olan kişilerin üzerinde ve taşıdıkları yerlerde de bulunabilir. Olayın soruşturulması ve çözümlenmesinde, fail, mağdur ve olay yeri arasındaki ilişkinin belirlenmesi büyük önem taşır (Seyhan, 2019, 48).

1.1.3. Bulgu ve Delil Kavramları

1.1.3.1. Bulgu

Bulgu, olay yeri incelemesi sırasında olay yeri, fail ve mağdur arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla suç mahallinde bulunan her türlü fiziksel nesne ve izi ifade eder (Öztürk vd., 2017, 22). Başka bir deyişle, bulgu; delil niteliği taşıyabilecek her türlü iz, eser, emare, belirti, nesne, belge, eşya veya materyal şeklinde tanımlanabilir (EGMOYİY, 2008).

Parmak izi, ayakkabı izi, ayak izi, kan lekesi, cam kırıkları gibi bir olaydan geriye kalan ya da olayın doğası gereği ortaya çıkan her türlü bulgu genellikle olayın tamamı hakkında değil sadece

bir veya birkaç parçası hakkında bilgi verir (Yenisey, 2007, 9). Bulgular tek başlarına yargılama konusu suçun şüpheli tarafından işlendiğini doğrudan ispat etmezler. Olayın gelişiminin ortaya konulmasında ilgili mercilere yardımcı olan tamamlayıcı ispat araçlarıdır (Birtek, 2017, 26).

Bir bulgu yargılama konusu olaya dair maddi gerçeğin bir parçasını teşkil edecek derecede yakın bir bilgi verdiği durumlarda artık delil olarak sınıflandırılabilir (Erem, 1978, 398). Hüküm kurulurken diğer deliller ile birlikte değerlendirilerek veya onları tamamlayıcı şekilde kullanılmaları mümkündür (Birtek, 2017, 27).

1.1.3.2. Delil

Ceza muhakemesinde, fiilin fail tarafından işlenip işlenmediğini belirleme süreci aynı zamanda bir ispat sürecidir ve bu süreç yargılama makamının hukuka uygun araçları kullanarak tam bir kanaate varması ile tamamlanır. Yargılama makamının tam bir kanaate varmak için kullandığı araçlar, ispat vasıtaları yani delillerdir (Öztürk vd., 2000). Diğer bir deyişle deliller maddi gerçeğin araştırılması sürecinde yargılama konusu olayı aydınlatma potansiyeline sahip ispat araçlarıdır. Her delil bir bulgudur, ancak her bulgu delil niteliği taşımayabilir. Bulguların delil olarak kabul edilmesi, olayın aydınlatılmasına katkı sağlamasına, başka bir deyişle ispata elverişli olmasına bağlıdır (Kunter vd., 2010). Delil, hukuki bir ihtilafı çözmeye, suç fiilini kanıtlama, suçun aydınlatılması ve sanıkların tespiti için kullanılan, yasaklanmamış ve hukuka uygun şekilde elde edilen her türlü bulgu olarak da tanımlanmıştır (Öztürk vd., 2017, 22).

1.1.3.2.1. Delil Türleri

Delilleri; beyan delilleri, belge delilleri ve maddi deliller olmak üzere üç ana başlık altında incelemek de mümkündür. Tanık, sanık ve mağdurların ifadeleri beyan delili kapsamında yer alır. Belge delilleri ise muhakeme konusu olaya dair delil oluşturabilecek her türlü yazı ve bu yazılar aracılığıyla yapılan açıklamalardan oluşur. Maddi deliller ise; bir suçun işlenmesiyle bağlantılı olan fiziksel nesnelere aittir. Hemen hemen her türlü fiziksel bulgu, bir ceza soruşturmasında maddi delil haline gelebilir. Maddi deliller; işlenen suçun yeniden yapılandırılmasına, fail, mağdur ve olay yeri ilişkisinin kurulmasına yardımcı olan ispat araçlarıdır (Öztürk vd., 2000).

1.1.3.2.2. Delil Özellikleri

Beyan veya maddi niteliği olan bulguların delil olarak kabul edilmesi noktasında öğretilerde bir takım unsurlara sahip olması gerektiği düşünülmüş ve delillerin sahip olması gereken özellikler belirlenmiştir. Bunlar; olayı temsil edicilik, akla ve mantığa uygunluk, gerçekçilik, erişilebilirlik/mevcudiyet, sağlamlık ve güvenilirlik, müştereklik, hukuka uygun elde edilmiş olma şeklinde sıralanabilir (Centel ve Zafer, 2014, 211).

Her şeyden önce bir delilin hükme esas alınabilmesi için *hukuka uygun şekilde elde edilmiş olması* gerekmektedir. İnsan hakları maddi gerçeğe ulaşma sürecinde yok sayılmayacak değerler olduğu için hukuka aykırı şekilde elde edilmiş bir bulgunun delil vasfını kazanması da mümkün olmayacaktır (Birtek, 2017, 45).

Olayı temsil edicilik özelliği, delillerin inceleme konusu olayın tamamını veya bir kısmı hakkında bilgi vermesini gerekli kılar. Olay hakkında doğrudan kanaat oluşturma potansiyeli olan, olaya dair görüntü ve ses kayıtları, olayda kullanılan suç aleti gibi bulgular ispat açısından en iyi delillerdir. Bu özellikten hareketle olayla ilgisi olmayan veya olaya dair bilgi vermeyen bulguların delil olarak sınıflandırılması da mümkün olmaz (Birtek, 2017, 48).

Bulguların olayın aydınlatılması noktasında elverişli olup olmadığının değerlendirilebilmesi için öncelikle *mahkemece bilinir* yani *erişilebilir* olması gerekmektedir (Yenisey, 2007, 7). Erişilemeyen delillerin olayı temsil ediciliğinden bahsetmek mümkün olmadığı gibi bu delillerin duruşmada tartışılması da mümkün olmayacaktır (Birtek, 2017, 62). Bu şartlar altında erişilemediği için duruşmada tartışılmayan delillere dayanılarak hüküm kurulması adil yargılanma hakkının ihlali anlamına gelecektir.

Delillerin müşterek olması özelliği, olayın taraflarının delillere ulaşmalarını ve tartışabilmelerini zorunlu kılar. Bu noktada delillerin duruşmada ikame edilmiş olması tek başına müştereklik özelliğini karşılamaz, müştereklik özelliğinin sağlanması için tarafların erişilebilir olan delillere dair iddia ve savunmalarının dinlenmesi gerekir (Aydın, 2014, 51). Bazı durumlarda delillerin anlaşılabilmesi teknik uzmanlık gerektirir, tarafların mahiyetini bilmedikleri bir delile karşı itiraz

etmeleri veya savunma yapmaları mümkün olamayacağı için bu tarz durumlarda bilirkişiye başvurulması gerekmektedir (Yenisey, 2007, 15).

1.1.3.2.3. Delil Değerlendirme Araçları

Niteliği bilinmeyen bir bulgu ya da beyanın duruşmada tartışılabilmesi mümkün değildir. Bu kapsamda olaya dair bulguların tarafların tamamı tarafından anlaşılabilmesi, olguların tespit edilmesi ve delilin anlamlandırılabilmesi için delil değerlendirme araçlarına ihtiyaç duyulur (Kunter vd., 2010, 1394). Hakimin, uzmanlık konusu alanda bilgili olması yeterli olmayıp, söz konusu delilin yargılamanın tüm taraflarınca anlaşılması ve içeriğinin öğrenilebilir olması gerekmektedir (Birtek, 2017, 217). Bu doğrultuda delil değerlendirme araçlarının gerçeğe ulaşmak için kullanılan bir aracı niteliğinde olduğunu söylenebilir.

Delilin doğasından kaynaklı özellikler olan, temsil edici ve erişilebilir olma gibi özellikler haricinde kalan; hukuka uygunluk, güvenilirlik, müştereklik ve mantığa uygunluk şeklindeki diğer delil özellikleri delil değerlendirme araçlarında da bulunması gereken özelliklerdir (Birtek, 2017, 218).

Başlıca delil değerlendirme araçları olarak bilirkişi incelemesi ve keşif işlemi gösterilebilir. Keşif işleminin olay ile bağlantı kurulabilecek çevresel koşul ve değişiklikleri doğrudan gözlenebilir kılması, doğrudan delil değerlendirme aracı olarak sınıflandırılmasına neden olmuştur. Bilirkişi incelemesi ise başkaca bir uzmanın değerlendirmesini yansıttığı için dolaylı bir delil değerlendirme aracı olarak sınıflandırılmaktadır (Birtek, 2017, 218).

1.1.3.2.3.1 Bilirkişi İncelemesi

Delilleri değerlendirecek olan merciler çoğu zaman, olaya dair bulguların niteliğini anlamak için gerekli uzmanlık bilgisine sahip olmadıklarından, bu bulguları anlamlandırmak ve içeriğini tüm taraflara anlaşılır şekilde aktarmak için bilirkişilere başvurmak gerekir. Bu kapsamda başvuru bilirkişiler, uzmanlık bilgilerini kullanarak maddi vakıalara dair bilimsel sonuçlar çıkarır ve olayın çözümlenmesinde yetkili mercilere yardımcı olurlar (Ünver ve Hakeri, 2013, 362).

Bilirkişilik yapılabilecek konulara dair bir sınırlama getirilmemiş olup, çözümleri uzmanlık veya teknik bilgi gerektiren her konuda bilirkişiyeye başvurmak mümkündür (Erem, 1978, 435). Bilirkişi tarafından hazırlanan rapor ya da bilirkişi mütalaası delil niteliğinde olmayıp incelemeye konu belge ya da bulgunun niteliğini ortaya koyan bir delil değerlendirme aracıdır (Erem, 1978, 433; Yenisey, 2007, 18).

1.1.3.2.3.2 Keşif

Keşif işlemini olay yerinde kalan ve olayı temsil etme ihtimali bulunan iz ve bulguların algılanması ve tespit edilmesi olarak tarif etmek mümkündür (Center ve Zafer, 2014, 296). Genel anlamda bir delil değerlendirme aracı iken bazı istisnai durumlarda delil elde etme aracı olarak da kullanılmaktadır. Soruşturma süreci içerisinde ve gecikmesinde sakınca bulunan durumlarda Cumhuriyet savcısı tarafından yapılan keşif işlemi delillerin tespit edilmesi ve muhafaza altına alınması amacıyla yapılır. Kovuşturma aşamasında yapılan keşif işleminin amacı ise çoğunlukla beyan delilleri ve maddi delillerin olayı temsil ediciliklerinin, sağlamlıklarının ve güvenilirliklerinin tespit edilmesidir (Birtek, 2017, 248).

1.1.4. Olay Yeri İncelemesi ve Hukuksal Arka Planı

Olay yeri incelemesi, suç konusu olabilecek bir olayın aydınlatılması amacıyla, olay yerinde delil niteliği taşıyabilecek her türlü bulgunun bilimsel ve teknik yöntemler kullanılarak araştırılmasıdır (EGMOYİY, 2008). Olay yerindeki bulguların tespit edilmesi, kayıt altına alınması ve belgelenmesi ile ilgili işlemlerde delilin hukuki niteliğinin korunması için delil gözetim zincirine dikkat edilmesi gerekmektedir (Seyhan, 2019, 83).

Soruşturma aşamasında yapılan işlemlerin Anayasa ve Kanunlara uygun olması gerekmektedir. Olay yeri incelemesi de soruşturma sürecinin en önemli parçalarından birisi olup olay yeri incelemelerinin yeterliliğini etkileyen faktörlerin başında, olay yerini yönetme yetki ve sorumluluğuna kimin sahip olduğunu ve hangi prosedürlerin takip edilmesi gerektiğini tanımlayan yönetmelikler yer alır. Türkiye’de olay yeri inceleme süreçlerinde takip edilmesi gereken genel ilkeler Anayasa ve 5271 Sayılı Ceza Muhakemesi Kanunu ile belirlenmiş olup uygulamaların detayları ise Emniyet Genel Müdürlüğü Olay Yeri İnceleme ve Kimlik Tespit

Birimleri Yönetmeliği (2008) ve Polisin Adli Görevlerinin Yerine Getirilmesinde Delillerin Toplanması, Muhafazası ve İlgili Yerlere Gönderilmesi Hakkında Yönetmelik (1983) kapsamında belirlenmiştir.

1.1.4.1. Anayasa

Türkiye Cumhuriyeti Anayasası ceza yargılaması bağlamında maddi gerçeğe ulaşma sürecinin; temel hak ve hürriyetleri ihlal etmeksizin yürütülmesini ve delillerin hukuka uygun olarak toplanmasını güvence altında almaktadır. Bu bağlamda olay yeri inceleme prosedürleri de ancak Anayasa tarafından çizilen çerçeveye uygun şekilde tanımlanabilir.

Anayasa'nın 15. maddesinde “...suçluluğu mahkeme kararı ile saptanıncaya kadar kimse suçlu sayılamaz” denilerek suçlu sayılmanın hukuka uygun prosedürlerin tamamlanmasına bağlı olduğu; 17. maddesinde “...Kimseye işkence ve eziyet yapılamaz; kimse insan haysiyetiyle bağdaşmayan bir cezaya veya muameleye tabi tutulamaz...” denilerek suçlamanın işkence ve eziyet ile elde edilen bulgu veya itiraf üzerine kurulamayacağı; 19. maddesinde “...Suçluluğu hakkında kuvvetli belirti bulunan kişiler; ancak kaçmalarını, delillerin yok edilmesini veya değiştirilmesini önlemek maksadıyla veya bunlar gibi tutuklamayı zorunlu kılan ve kanunda gösterilen diğer hallerde hâkim kararıyla tutuklanabilir. Hâkim kararı olmadan yakalama, ancak suçüstü halinde veya gecikmesinde sakınca bulunan hallerde yapılabilir; bunun şartlarını kanun gösterir...” denilerek delillerin korunması bağlamında alınacak özgürlüğü sınırlayıcı tedbirlerin kanunda belirtilen şartlarla sınırlı olduğu düzenlenmiştir.

Yine Anayasa'nın Konut Dokunulmazlığı başlıklı 21. maddesi de olay yeri inceleme süreci ile yakından bağlantılı olup konut içerisinde yapılacak olan olay yeri incelemesinin gecikmesinde sakınca bulunan bir durum olmadıkça hakim kararına bağlı olduğu vurgulanmış olup konut haricindeki olay yerlerinde böyle bir sınırlamaya yer verilmemiştir. Anayasa'nın 38. maddesinde ise “...Kanuna aykırı olarak elde edilmiş bulgular; delil olarak kabul edilemez ...” denilerek suçlamanın ancak hukuka uygun şekilde elde edilmiş delillere dayandırılabilceği güvence altına alınmıştır.

1.1.4.2. Kanunlar

1.1.4.2.1. 5271 Sayılı Ceza Muhakemesi Kanunu (CMK)

Soruşturmaları yürütmekle görevli olan Cumhuriyet savcılarının yetkilerinin CMK'nın 160 ve 161. maddeleri ile düzenlendiği görülmekte olup; maddi gerçeğin araştırılması ve adil bir yargılamanın yapılabilmesi için, Cumhuriyet savcısının emrindeki adli kolluk görevlileri marifetiyle, şüphelinin lehine ve aleyhine olan delilleri toplayarak muhafaza altına almakla ve şüphelinin haklarını korumakla yükümlü olduğu vurgulanmaktadır.

CMK'nın 206. ve 217. maddeleri delillerin sahip olması gereken niteliklere ilişkindir. CMK'nın 217/2. maddesinde “*yüklenen suç, hukuka uygun bir şekilde elde edilmiş her türlü delille ispat edilebilir*” denilmekte, CMK'nın 206/2. maddesinin a bendinde “*ortaya konulan delilin kanuna aykırı olarak elde edilmesi durumunda reddolunacağı*”nın bir kere daha vurgulandığı görülmektedir. CMK'nın 217/1 maddesinde yer alan “*Hâkim, kararını ancak duruşmaya getirilmiş ve huzurunda tartışılmış delillere dayandırabilir. Bu deliller, hâkimin vicdani kanaatiyle serbestçe takdir edilir*” hükmü ile karara dayanak olacak delillerin duruşmaya getirilmesinin ve taraflarca tartışılmasının şart olduğu belirtilmektedir.

1.1.4.2.2. 5237 Sayılı Türk Ceza Kanunu (TCK)

TCK'nın 257. maddesinde “Görevi Kötüye Kullanma” suçu düzenlenmiş olup olay yeri görevlilerinin kasten veya ihmal suretiyle görevlerinin gereklerine aykırı hareket etmesi başkaca bir suç oluşturmadığı takdirde bu madde kapsamında değerlendirilecektir.

TCK'nın 281. maddesinde “Suç Delillerini Yok Etme, Gizleme veya Değiştirme Suçu” düzenlenmiş olup maddenin ikinci fıkrasında yer alan “*suçun kamu görevlisi tarafından göreviyle bağlantılı olarak işlenmesi halinde, verilecek ceza yarı oranında artırılır.*” hükmü olay yeri görevlileri açısından ağırlaştırıcı bir hali tarif etmektedir.

1.1.4.2.3. 2559 Sayılı Polis Vazife ve Salahiyet Kanunu (PVSK)

PSVK'nın 2. maddesinde polisin kanunlar kapsamında suç delillerinin tespiti için yetkili amirin sözlü emirlerini derhal yerine getireceği düzenlenmekte olup cumhuriyet savcısının talimatı da alınmalıdır. PVSK Ek madde 4'te ise; polisin görevli bulunduğu mülki sınırlar içinde karşılaştığı suç olayında suç delillerini tespit, muhafaza ve yetkili zabıtaya teslim etmekle görevli olduğu belirtilmiştir. Yine Ek madde 5'te; polisin hizmet branşına, yeri ve zamanına bakılmaksızın bu konuda harekete geçmesi gerektiği tekrar vurgulanmıştır. Bu iki düzenleme bir suç olayı ile karşılaşan polislerin olay yeri inceleme ekipleri gelmeden önce olay yerinin ve delillerin güvenliğini sağlamakla yükümlü olduklarını göstermektedir.

1.1.4.3. Yönetmelikler

1.1.4.3.1. Emniyet Genel Müdürlüğü Olay Yeri İnceleme ve Kimlik Tespit Birimleri Yönetmeliği (EGMOYİY)

2008 yılında yürürlüğe giren bu yönetmelikle, emniyet teşkilatı içerisindeki kriminal dairelerin kuruluş, görev, çalışma usul ve esasları ile bu birimler tarafından yerine getirilecek teknik hizmetler düzenlemektir.

Yönetmeliğin 30. maddesinde olay yeri inceleme ekiplerinin araştırma ve inceleme yapmakla görevli olduğu suçların sıralandığı görülmektedir. Bu kapsamda; “a) Kasten öldürme, intihar ve diğer şüpheli ölüm vakaları, b) Kimliği belirsiz ceset veya toplu mezar incelemeleri, felaketlerde kimlik tespiti, c) Kasten yaralama, silahla meydana gelen olaylar, ç) Cinsel saldırı, çocukların cinsel istismarı, d) Yağma, hırsızlık, e) Bombalama ve patlama olayları, f) şüpheli yangın ve kundaklama, g) Mala zarar verme, ğ) Neticesi sebebiyle ağırlaşmış işkence, h) Kişiyi hürriyetinden yoksun bırakma, ı) Ölümle sonuçlanan faili meçhul trafik kazaları, i) Cumhuriyet savcısı tarafından talep edilen diğer suçlarda” olay yeri inceleme ekipleri görevlidir.

Yönetmeliğin 31. maddesinde nitelikli suçlarda olay yeri incelemelerinin, 32. maddesinde ise bomba ve patlama sonrası olay yeri incelemelerinin genel usul ve esaslarının düzenlendiği görülmektedir.

Yönetmeliğin 33. ve 34 maddesinde, araştırma ve incelemesi yapılacak her türlü iz ve delil özel veya teknik yöntemlerle kayda alınması ve mukayese edilmesi işlemleri düzenlenmekte olup 34. maddede ekspertiz ve inceleme birimlerine gelen iz, eser, emare ve diğer suç delillerinin fotoğrafları, ambalajları açılmadan ve açıldıktan sonra ölçekli olarak çekilip negatiflerinin muhafaza edileceği belirtilmektedir.

Yönetmeliğin ikinci bölümünde ise laboratuvar hizmetleri, delillerin teslim alınması, delillerin incelenmesi ve iz geliştirme işlemlerine ilişkin usul ve esasların düzenlendiği görülmektedir.

1.1.4.3.2. Polisin Adli Görevlerinin Yerine Getirilmesinde Delillerin Toplanması, Muhafazası ve İlgili Yerlere Gönderilmesi Hakkında Yönetmelik

1983 tarihinde yürürlüğe giren bu yönetmelik ile polisin olay yerine gidişi öncesinde, olay yerinde ve sonrasında takip edeceği aşamalar tarif edilmektedir. Olay yerine, ayrıntılı bir şekilde hazırlanan plan doğrultusunda gecikmeksizin gidilmesi ve yapılan planlamada personel sayısı ve inceleme için gerekli teçhizatın belirtilmesi, olay yeri tedbirlerinin alınması, sistematik araştırma yürütülmesi, toplanması gereken iz ve bulgular, delillerin toplanması, muhafazası, ambalajlanması ve ilgili yerlere gönderilmesi işlemlerinde takip edilmesi gereken prosedürler belirtilmektedir.

Yönetmeliğin 9. maddesinde olay yeri planının olayın mahiyet ve önemine göre olay yerinin, tekniğine uygun yapılması gerektiği belirtilmektedir. Yönetmeliğin 10. maddesinde, olay yerinin sistematik incelemesinin uzmanlarca yapılması gerektiği, soruşturma sorumlusunun, bilimsel ve teknik incelemeleri yaparken uzmanlardan (parmak izi uzmanı, patlayıcı madde uzmanı, balistik uzmanı vb.) yararlanacağı belirtilmektedir. Yönetmeliğin 11. maddesinde ise yapılan tüm işlemlerin tutanak altına alınması gerektiği belirtilmiştir.

1.2. Olay Yeri İncelemesi

Söz konusu olayın gerçekten adli bir yönü olup olmadığını ve tahmin edildiği şekliyle meydana gelip gelmediğini tespit edebilmek için yapılması gereken işlemlerin başında olay yerinin incelenmesi gelmektedir. Olayın aydınlatılması ve ilgili mercilerin olayla ilgili bir karar

vermesini sağlamak amacıyla; olay yeri, fail ve mağdur/maktul arasındaki ilişkiyi kurma potansiyeline sahip olan tüm bulguların toplanması ve kayıt altına alınması gerekir. Bu süreçte takip edilmesi gereken bazı ilke ve yaklaşımlar vardır.

1.2.1. Soruşturmalarda Takip Edilen Adli Bilim İlkeleri

Adli bilim uygulamaları büyük ölçüde birbiriyle ilişkili dört prensip üzerine inşa edilmiştir: (1) değişim ilkesi, (2) kimliklendirme ilkesi, (3) bireyselleştirme ilkesi ve (4) yeniden yapılandırma ilkesi. Olay yerlerinde ve adli tıp laboratuvarlarında gerçekleştirilen her türlü araştırma, karşılaştırma, deneysel analiz veya yorumlamanın bu dört prensipten bir veya birkaçını takip etmesi gerekmektedir (Jayaprakash, 2022).

1.2.1.1. Değişim İlkesi

Değişim İlkesi, adli bilimlerde temel bir kavram olup, ilk kez Edmund Locard (1877–1966) tarafından ortaya atılmıştır. Bu ilke, temas eden iki nesne arasında mutlaka bir iz aktarımı meydana geldiğini savunur. Locard'ın “her temas bir iz bırakır” şeklindeki ifadesi, suç ve delil arasındaki bağlantıyı anlamada önemli bir yol göstericidir. Inman ve Rudin (2000), bu ilkeyi daha geniş bir bağlamda ele almış ve şu şekilde ifade etmişlerdir: “Bir suç eyleminin gerektirdiği fiziksel yoğunluk ve karmaşıklık göz önüne alındığında, hiç kimse arkasında iz bırakmaksızın hareket edemez. Fail, olay yerinde mutlaka bir iz bırakır ya da oradan kendi üzerinde ya da kullandığı nesnelere üzerinde bir iz taşır.”

Değişim İlkesi, adli bilimlerin pek çok alanında, özellikle olay yeri inceleme ve fiziksel delil analizinde kritik bir rehber olarak kullanılmaktadır. Olay yerinde bırakılan veya taşınan izler, fail ile suç arasındaki bağlantıyı kurmada önemli bir kanıt sağlar. Değişim İlkesi, yalnızca fiziksel temasla sınırlı değildir; aynı zamanda biyolojik, kimyasal ve dijital izleri de kapsayarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu nedenle, suçun aydınlatılmasında iz aktarımına dair ipuçlarının değerlendirilmesi, adli soruşturmaların vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir.

1.2.1.2. Kimliklendirme İlkesi

Kimliklendirme İlkesi, bir maddenin fiziksel, kimyasal veya biyolojik kimliğinin, mevcut analitik yöntemlerle mümkün olan en yüksek kesinlikte belirlenmesini ifade eder (Saferstein ve Roy, 2018). Bu süreç, adli bilimlerde maddenin doğasını tanımlamak ve sınıflandırmak için kritik bir adımdır. Kimliklendirme yapılacak madde, ait olduğu madde sınıfına özgü ayırt edici veya benzersiz özelliklere dayanılarak analiz edilir. Bu işlem, önceden belirlenmiş ve doğrulanmış protokoller kullanılarak gerçekleştirilir (Jayaprakash, 2013). Örneğin, kimyasal bir madde analizinde kullanılan spektroskopi veya kromatografi gibi teknikler, maddenin yapısını belirlerken biyolojik örneklerde DNA analizleri bireysel kimliği tespit etmek için kullanılır. Kimliklendirme süreci, maddenin sadece sınıfını belirlemekle sınırlı kalmaz; aynı zamanda onu diğer benzer maddelerden ayıran özellikleri de tanımlar. Bu nedenle, bu ilke adli bilimlerde yalnızca kanıtları analiz etmek için değil, aynı zamanda delillerin yasal geçerliliğini sağlamak için de temel bir prensiptir.

1.2.1.3. Bireyselleştirme İlkesi

Bireyselleştirme, bir bulgunun hangi kaynaktan geldiğini belirlemek için kullanılan bir süreçtir. Bu süreçte, bulgu üzerindeki benzersiz olduğu düşünülen özellikler, görsel desenler ve kaynak nesne arasındaki mekânsal ilişki incelenir (Evelt ve Williams, 1996). Benzersizlik kavramı, fiziksel eşleşmeler veya parmak izleri gibi, bir bulgunun kesin olarak belirli bir kaynaktan geldiğini gösteren fiziksel kanıtlarla desteklenir (Jayaprakash, 2022).

1.2.1.4. Yeniden Yapılandırma İlkesi

Olay yeniden yapılandırmasını, olay yerinden elde edilen bulgular ile olayın nasıl gerçekleştiğine dair mantıksal bir kurgu inşa edilmesi işlemi olarak tarif etmek mümkündür. Başka bir deyişle, adli bir olayın oluşumu sırasında hangi hareketlerin hangi sıra ile meydana geldiğine dair çıkarım yapmak için fiziki delillerin bilimsel yöntemler ve tümevarım/tümdengelim metodları kullanılarak ilişkilendirilmesi ve yorumlanmasıdır (ACSR, 2024).

Adli bir olayın yeniden yapılandırılması, özellikle ölüm şeklinin belirsiz olduğu durumlarda “olay nasıl meydana geldi?” sorusunu yanıtlamak için kullanılabilecek en önemli bilimsel yöntemdir (Becker, 2005). Genellikle altı temel adımın takip edildiği döngüsel bir süreçte: öncelikle soru belirlenir, soruyu çözmek için veri toplanır, bir hipotez öne sürülür, hipotezle ilgili tahminlerde bulunulur, tahminler test edilir ve sonuca varılır (Gardner ve Bevel, 2009). Yeniden yapılandırma sürecindeki fiziksel bulgular ve gözlemler gerçekleri ortaya çıkarır; deliller bir hipotezle tutarsız olduğunda, hipotezin delillere uyacak şekilde değiştirilmesi gerekir (Becker, 2005).

1.2.2. Olay Yeri İnceleme Süreçleri

Olay yeri inceleme sürecinde baştan sona takip edilmesi gereken farklı aşamalar mevcuttur. Standart bir olay yeri inceleme süreci, adli olaya dair ilk haberin ilgili birimlere ulaşması ile başlar. Olay yerine giden ekipler, olay yerinde tıbbi yardıma ihtiyacı olan birisi olup olmadığını tespit eder ve yardıma ihtiyacı olan varsa yardım çağrısında bulunur. Bu aşamadan sonra delillerin kaybolmaması için olay yeri güvenliğinin sağlanması, olay yerinin iç ve dış sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Olay yerinin ilk hali ile fotoğraflanması oldukça önemli bir aşamadır. Bu aşamada olay yerinin kamera ile video kaydına da alınması tavsiye edilir. İlk fiziksel inceleme olay yerinin gözlem yolu ile incelenmesidir. İlk değerlendirme keşfinde tespit edilen giriş hattından ilerlenir ve olay yerinde kirlenme ve bulaşmaya mahal verilmemesi gerekir. Sonrasında bulgu araması için ön hazırlıklar yapılır, olay yerindeki bulguların aranmasına başlanır. Tespit edilen bulgular numaralandırılır, bulguların ölçekli şekilde fotoğrafları çekilir. Fotoğraflanan bulgular usulüne uygun şekilde toplanır, paketlenir ve etiketlenir. Olay yerinden ayrılmadan önce son kontroller yapılır. Olay yeri incelemesi ile ilgili rapor yazılır ve olay yeri krokisi çizilir. Olay yerinden elde edilen bulguları ilgili birimlere teslim edilmesi ile süreç tamamlanmış olur (Seyhan, 2019, 105-107).

1.2.2.1. Olay Yerinin Korunması

Olay yerinde, ilk olarak herhangi bir kişinin tıbbi yardıma ihtiyacı olup olmadığını tespit etmek ve bu kişilerle ilgilenecek acil müdahale ekibini ayarlamak ilk müdahaleyi yapan kişilerin

sorumluluğundadır. Aynı zamanda, ilk müdahaleyi yapan kişiler olay yerine müdahale eden personelin de güvenliğini sağlamalıdır. Olay yerindeki güvenlik ihtiyaçları giderildikten sonra, verimli ve etkili bir inceleme için olay yeri araştırması düzenli ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilmelidir (Ogle ve Plotkin, 2017).

Olay yerinde alınacak tedbirlerin ilgili yönetmeliğin 5. maddede düzenlendiği görülmektedir. Bu kapsamda; yaralıları ilk müdahalenin ve tahliye işlemlerinin yapılacağı, seyirci kalabalığının uzaklaştırılacağı, olay yeri giriş ve çıkışları kontrol altında tutulacağı, trafik akışının devamının sağlanacağı, olay yeri yakınında bulunan şahıslar kontrol edileceği, delillerin bozulması, değişmesi kaybolması önleneceği, mevcut oldukları takdirde failerin muhafaza altına alınacağı, tanıkların ifadeleri alınmadan olay yerinden uzaklaşmalarının önleneceği, failerin tanıklarla ve tanıkların birbirleriyle konuşmalarının önleneceği düzenlenmiştir (Yönetmelik, 1983).

CMK'nın 168. maddesinde adli kolluğa olay yeri tedbirleri kapsamında zor kullanma yetkisi verildiği görülmektedir. CMK'nın 169. maddesi ile soruşturma evresinde yapılan işlemlerin tamamının tutanağa geçirilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Olay yerinde yapılan işlemler sırasında delillerin kirlenmesini önlemek için, deliller toplanmadan önce olay yerinin uygun şekilde korunması gerekmektedir. Önleme tedbirleri arasında olay yerine erişimin yalnızca görevli kişilerle sınırlandırılması, olay yerinde delillerin gelişigüzel incelenmesinin engellenmesi, olay yerinin sert hava koşullarından korunması ve delillerin uygun şekilde paketlenmesi yer alır. Bu önlemlere uyulması, olay yerinden elde edilen fiziksel bulguların bütünlüğünün korunmasına yardımcı olacaktır (Ogle ve Plotkin, 2017).

Olay yerinin korunması için, ilk olarak şerit veya barikat benzeri engeller kullanılarak olay yerine görevli olmayan kişilerin girişinin önlenmesi gerekmektedir. İnceleme alanının ilk aşamada geniş tutulması ve daraltılarak ilerlenmesi tavsiye edilir (Polat, 2009, 221). Olay yerine maktul veya mağdur yakınlarının, basın ve meraklı kitlenin girişi engellenmeli, olay alanının dışında basın ve diğer yetkililer için bilgilendirme alanı oluşturulmalıdır. Açık alanların korunması için çadır, branda ve benzeri sistemler kullanılmalıdır. Olay yerinin ilk aşamada fotoğraf ve video ile kayıt altına alınması gerekmektedir. Gereksiz personel yoğunluğundan ve dikkatsiz davranışlarından kaçınılmalı, olay yerinde meydana gelen her türlü değişiklik not edilmelidir. Olay yeri insani ihtiyaçlar için kullanılmalıdır (Sander, 1997, 35).

1.2.2.2. Olay Yeri Araştırması

Olay yeri incelemesi, olay yerindeki herhangi bir fiziksel bulgunun sistematik şekilde aranması olarak tanımlanır. Olay yerinin belgelenmesine ve mevcut fiziksel bulguların toplanmasına yönelik sistematik bir yaklaşım, fiziksel bulguların bütünlüğünün korunması ve delillerin mahkemede kabul edilebilir olmasını sağlayacak tüm gerekli adımların atıldığından emin olmak için esastır. Olay yeri incelemesine yönelik sistematik bir yaklaşım aynı zamanda soruşturma ekibinin zamanını ve kaynaklarını en verimli ve etkili şekilde kullanmasını da sağlar.

Olay yerinde yapılacak sistematik incelemelerin ilgili yönetmeliğin 6. maddesinde düzenlendiği görülmektedir. Bu kapsamda olay yerinde gözlem yoluyla yapılan ilk incelemede, faillerin; giriş yeri ile bu yere nasıl girildiği, asıl saldırı hedefinin ne olduğu, giriş yeri ile asıl saldırı hedefi arasında izlenen yolun, çıkış yerinin, asıl saldırı hedefi ile çıkış yeri arasında izlene yolun ve uğrayabilecek diğer yerlerin tespit edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Yapılacak bu tespit sonrasında olay yerinin belirli bir nokta seçilmek suretiyle, belirli bir istikamete doğru hareket edilerek incelenmesi gerektiği ifade edilmektedir (Yönetmelik, 1983).

Olay yerini sistematik şekilde aramak için kullanılan birkaç farklı yöntem vardır. Yöntemin seçimi olay yerinin boyutuna ve sayısına, aranacak olay yeri tipine ve arama için mevcut personel sayısına bağlıdır. Kullanılan başlıca yöntemler şerit yöntemini, ızgara yöntemini, bölge yöntemini ve spiral yöntemini içerir (Jayaprakash, 2022).

1.2.2.2.1. Şerit Yöntemi

Şerit yöntemi, çeşitli disiplinlerde kullanılan bir araştırma tekniği olup, olay yeri incelemesinin yanı sıra doğal kaynakların etkin yönetimi, çevre koruma ve arazi kullanım planlaması gibi alanlarda kullanımı mevcuttur. Geniş alanlara yayılan olay yerleri incelemelerinde tercih edilen bir yöntemdir (Ogle ve Plotkin, 2017, 45).

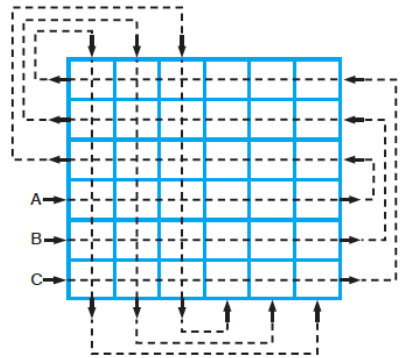


Şekil 1.1. Şerit Yöntemi (Ogle ve Plotkin, 2017, 43)

Şerit yöntemi ile yapılacak olan bir olay yeri araştırmasının ilk adımı araştırma alanının belirlenmesidir. Sonrasında araştırma alanı içinde belirli aralıklarla paralel şeritler oluşturulur. Bu şeritler genellikle belirli bir genişlik ve uzunluğa sahiptir ve arazi özelliklerine, araştırmanın amacına ve kullanılan ekipmana bağlı olarak değişebilir. Şeritlerin oluşturulmasından sonra şeritler boyunca saha araştırmasına başlanır. Araştırma sırasında delil olabilecek bir şeye rastlandığında arama durdurulur ve ekibin sorumlusuna bilgi verilir. Şerit yöntemi, geniş alanlara yayılan olay yerlerini araştırmak için tercih edilir, araştırmanın sistemli bir şekilde yapılmasını sağlar ve araştırılan alanın kapsamlı bir şekilde incelenmesini mümkün kılar (Kaygısız, 2005, 63; Ogle ve Plotkin, 2017, 45).

1.2.2.2 Izgara Yöntemi

Izgara yöntemi, şerit yöntemine benzer şekilde geniş bir alana yayılmış olan olay yerlerinde detaylı bir araştırma yapmak için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, araştırmacıların olay yerini parçalara bölerek her bir parçayı ayrıntılı bir şekilde incelemesine olanak tanır.

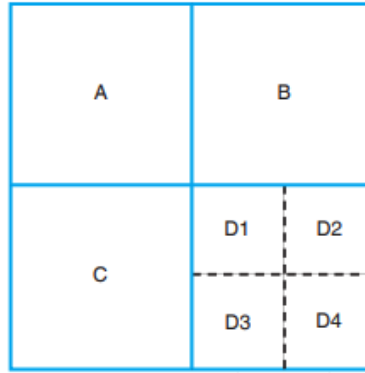


Şekil 1.2. Izgara Yöntemi (Ogle ve Plotkin, 2017, 43)

İlk olarak olay yerinde genellikle uzun çubuklar veya kılavuz teller kullanılarak dikdörtgen veya kare düzeninde bir ızgara oluşturulur. Eşit parçalara ayrılan olay yerine giren araştırmacılar önce kuzey-güney istikametinde, sonrasında ise doğu batı istikametinde araştırma yaparlar. Araştırmacılar çift yönlü çalışması aynı bölgenin iki kez gözden geçirilmesini sağlar (Kaygısız, 2005, 64; Ogle ve Plotkin, 2017, 46).

1.2.2.2.3. Bölge Yöntemi

Bölge metodu, bir olay yerini daha büyük ve geniş kapsamlı alanlara bölmek ve her bir bölgenin ayrıntılı bir şekilde incelenmesini sağlayan bir tekniktir. Bu yöntem, genellikle büyük ölçekli veya karmaşık olay yerlerinde tercih edildiği gibi ev gibi kapalı alanlarda da uygulanabilir. Aynı zamanda kan lekesi desenlerinin, ateşli silah mermilerinin yörüngelerinin veya olay yerinin her bir bileşeni arasındaki karşılıklı ilişkinin büyük önem taşıdığı analizlerde bulguların konumu ve şekillerinin kaydedilmesi için de tercih edilen yöntemdir (Ogle ve Plotkin, 2017, 46).

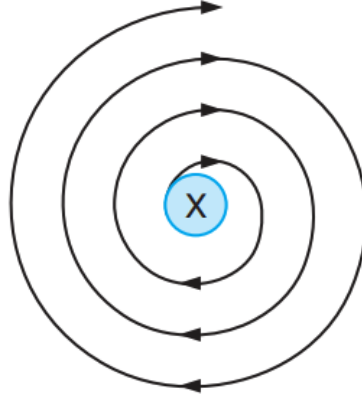


Şekil 1.3. Bölge Yöntemi (Ogle ve Plotkin, 2017, 44).

Bölge yönteminde ilk olarak, olay yerinin genel alanı belirlenir ve daha küçük bölgelere bölünür. Bu bölgeler, olayın gerçekleştiği yere göre şekillendirilebilir veya olay yerinin coğrafi ve fiziksel özelliklerine dayalı olarak belirlenebilir. Örneğin, bir cinayet olayında, olay yerinin iç ve dış mekan bölgelerine ayrılması yaygın bir uygulamadır (Ogle ve Plotkin, 2017, 46).

1.2.2.2.4. Spiral Yöntem

Spiral yöntemde, araştırma ekibi olay yerinin merkezinden başlar ve çevresine ulaşınca kadar merkezden dışarı doğru spiral bir yol izler (iç mekan veya daha küçük dış mekan olay yerleri için önerilmez). Spiral yöntem, araştırma ekibinin görülmesi kolay çok büyük nesnelere aradığı geniş alanlarda arama yaparken tercih edilen bir yöntemdir (Ogle ve Plotkin, 2017, 46) .



Şekil 1.4. Spiral Yöntemi (Ogle ve Plotkin, 2017, 44).

1.2.2.3. Olay Yeri Bulunan İz ve Bulgular

Olay yerleri olayın aydınlatılmasını sürecinde önemli katkılar sağlayacak olan birçok iz ve bulguyu bünyesinde barındırır. İyi bir olay yeri araştırmacısının karşılaşması olası iz ve bulguların farkında olması, olası bir delil kaybını önleyecektir.

İlgili yönetmeliğin 6. maddesinde olay yeri incelemesinde bulunabilecek iz ve bulgular belirtilmektedir. Bulunması muhtemel iz ve bulgular; failerin veya mağdurun bedenlerine ait kıl, kan, tırnak vb. parçalar, failerin veya mağdurun üzerinden düşme ihtimali olan eşyalar; suçu işlemeye elverişli ateşli veya ateşsiz silahlar; olay yerinde kalma ihtimali olan mermi çekirdeği, kovan gibi parçalar; olay yerinde bulunması muhtemel çeşitli izler (parmak izi vb.) olayın aydınlatılmasına yarayacak diğer hususlar, belirlenir, etiketlenir ve not edilir (Yönetmelik, 1983).

Çalışmamızın bu bölümünde olay yerlerinde karşılaşılabilecek muhtemel olan iz ve bulgular ele alınacak olup olayın çözümünde kullanılacak olan bulguların bunlarla sınırlı olmadığı unutulmamalıdır.

1.2.2.3.1. Temas Kaynaklı Oluşan İzler

Parmak ve El İzleri

Parmak izleri, adli soruşturma tarihinin başlangıcından bu yana faillerin tespit edilmesinde kullanılan en yaygın ve en değerli fiziksel kanıt türlerinden birisidir. Sahip oldukları değişmez-değiştirilemez olma, benzersiz ve kimliklendirilebilir olma özellikleri onları birçok delilden daha değerli kılmaktadır. Bilgisayarlı parmak izi arama sistemlerinin gelişmesiyle birlikte olayların çözümlenmesine yaptıkları katkı giderek artmıştır (Ogle ve Plotkin, 2017, 102).

Parmak izlerini “Görünen” ve “Görünmeyen” olmak üzere iki gruba ayırmak mümkün olup, görünür parmak izleri, izlerin kan, boya, un gibi aracı maddeler ile aktarılması ya da yapışkan veya mum türevi maddelere basılması ile oluşurken, görünmeyen parmak izleri ise papil hatları üzerindeki organik sıvıların temas ettiği yüzeye aktarılması sonucu oluşurlar (Bayer, 2003, 126).

Parmak izinin türü ve kondisyonuna göre tespit edilme yöntemi de değişmektedir. Görünür parmak izlerini fotoğraflayarak kayda almak, görünmeyen parmak izlerini ise uygun teknikler (tozlama vb.) kullanarak tespit etmek mümkündür (Sander, 1997, 166).

Elin iç yüzeyinde de parmaklarda olduğu gibi karakteristik izler bulunmaktadır. Bu izler de parmak izlerine benzer şekilde olayın aydınlatılması sürecinde kullanılabilir. Avuç izleri aynı zamanda elin konumu, büyüklüğü gibi detaylara dair de bilgi verir, izin olay yerinde basit bir taslağı çıkartmak ve hızlı bir araştırma yürütmek mümkündür (Polat, 2009, 269).

Ayak ve Ayakkabı İzleri

Fiziksel bir suç olayı söz konusu olduğunda, dikkatli bir inceleme ile failin ayak veya ayakkabı izlerinin bulunma ihtimali yüksektir. Ayak izleri olay yerindeki hareketlerin yanı sıra taşıdıkları maddeler ile olay yerine nereden ulaşıldığı gibi soruşturmanın ilerletilmesi açısından başkaca

önemli bilgiler sağlayabilir. Toplanan bulgular ile tanıkların ve şüphelilerin ifadeleri test edilebilir. Bu nedenle olay yerine girişler sınırlandırılmalı, mevcut izlerin bozulması ya da yeni izler oluşması engellenmelidir. Ayak izleri, ayağın çıplak olup olmamasına ve bastığı zeminin durumuna göre iki ayrı başlıkta sınıflandırılmaktadır (Kaygısız, 2005, 103).

Çıplak ayak izleri, faillerin ses çıkarmama veya başka bir amaçla ayakkabı ve çorap giymedikleri durumlarda zeminde bıraktıkları izlerdir. Faillerin ayakkabı giydiği durumlarda ise olay yerinde giydikleri ayakkabıya ait izler bulunmaktadır (Bayer, 2003, 162).

Basılan zemine göre yapılan sınıflandırma ise negatif ve pozitif olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Yumuşak bir zemine basılması neticesinde oluşan izler negatif ayak izleri olarak adlandırılır. Bu tarz izler genellikle kum, killi toprak, yeni dökülmüş beton veya asfalt zeminlerde görülür. Pozitif ayak izleri ise ayakkabı tabanından aktarılan çamur, boya, toprak, kan, vb. maddelerin sert zeminler üzerinde bıraktığı izlerdir (Bayer, 2003, 163).

Ayak izleri fotoğraflandıktan sonra izin türüne göre uygun yöntem kullanılarak (yapışkan plastere aktarma veya kalıp alma vb.) aktarma işlemi uygulanır. Fotoğrafların çekiminde ölçek kullanılması, ilk olarak dik açı ile, sonrasında farklı noktalardan ışık vererek farklı açılardan çekim yapılması, doğru ışıklandırma sağlanması, yüzeyin yansıtıcılık derecesine göre flaş tercihi ayarlanması, karakteristik özelliklerin yakalanması ve çekim yapılan konumların belirtilmesi tavsiye edilmektedir (Kaygısız, 2005, 108).

Negatif ayak izlerinin oluştuğu zeminlerde derinlik unsuru da ön plana çıkmaktadır. Üç boyutlu olan bu izlerin oluşturduğu boşluğa dişçi alçısı, su ve sertleştirici sprey dökülerek izin kalıbı alınmaktadır. Sonrasında yapılacak olan mukayese işlemlerinin aynı özellikteki zeminde oluşturulan izler ile yapılması gerektiği unutulmamalıdır (Büker, 2013).

Ayak izleri ayağın veya ayakkabının karakteristik özellikleri üzerinden faile ulaşılmasını sağlar, aynı zamanda Prouille formülü olarak adlandırılan yöntem ile çıplak ayak izi uzunluğundan failin yaklaşık boyu da tahmin edilmektedir ($Boy\ uzunluğu = 2 \times (\text{Çıplak ayak izi uzunluğu (m)}) / 0,287 - 0,05m$) (Sander, 1997, 192).

Isırık ve Diş İzleri

Isırık neticesinde oluşan diş izleri, faillerin teşhis edilmesinde kullanılan bir diğer iz örneğidir. İnsanların diş yapısı, sayısı ve dişlerdeki dolgular gibi farklılıklar diş izlerini karakteristik kılarlar. Bu açıdan diş izlerine dair bulguların toplanması ve laboratuvar incelemesine tabi tutulması önemlidir. Aynı zamanda diş izleri üzerinde tükürük ve kan gibi DNA örneği içermesi muhtemel vücut sıvıları da bulunabileceği için DNA incelemeleri de yapılmalıdır. Postmortem değişiklikler izleri etkileyebileceği için ceset üzerindeki ısırık izleri, ölümden sonraki sekiz saat içinde değerlendirilmelidir. Yine gıda maddelerinde de zamanla çürüme ve başkaca değişiklikler meydana gelebileceği için üzerindeki izlerin deforme olabileceği unutulmamalıdır (Kaygısız, 2005, 118; Büker, 2013, 311).

1.2.2.3.2. Darbe ve Zorlama Kaynaklı Oluşan İzler

Faillerin olay yerine girerken veya olayın kendi iç dinamiğinde yaşanan etkileşimlerden kaynaklanan izler de olayın aydınlatılması sürecinde kullanılan iz çeşitleri arasındadır. Başka bir nesneyle uygulanan kuvvet sonucunda genellikle zor uygulanan nesne üzerinde hasar meydana gelir ve çizikler ortaya çıkar. Bu izlerin incelenmesi kullanılan aletin ve uygulanan kuvvetin tespit edilmesini sağlayabilir. İzlerin kayda alınması genellikle fotoğraf çekimi, kalıplama ve gibi yöntemlerle gerçekleştirilir. İzlere eşlik etmesi muhtemel kan, yağ, boya gibi maddelerin varlığını ortaya çıkarmak için ise fiziksel ve kimyasal yöntemler tercih edilir (Kaygısız, 2005, 90).

Alet İzleri

Olay sırasında kullanılan aletlerin bıraktığı izler "alet izleri" olarak sınıflandırılmaktadır. Olay yerinde bulunan alet izleri üzerinden failin olayda kullandığı aletin tespiti mümkün olabilir. Bıçak, tornavida, balta, levye, kısıkaç, keski, demir makası vb. aletler genellikle teşhis edilebilir izler bırakırlar (Polat, 2016, 375). Genellikle zorlama veya kuvvet uygulaması kaynaklı oluşan çizik veya kazıntılar şeklinde ortaya çıkan bu izlere olay yerinin farklı bölgelerinde rastlanma ihtimali vardır (Büker, 2013, 298).

Alet izleri, genellikle basınç veya sürtünme sonucu oluşur. Bazı izler, gözle görülebilirken bazılarının tespit edilmesi için mikroskop altında incelenmesi gerekir. Alet izlerinin incelenmesiyle, aletin yapısı veya büyüklüğü hakkında bilgi edinilir. Ayrıca, failin kullandığı el, pozisyon ve uygulanan kuvvet de izler üzerinde yapılacak detaylı incelemeler sonrasında tespit edilebilmektedir. Suçun işlenmesinde kullanılan aletlerin bıraktığı izler, detaylı şekilde fotoğraflanır, kalıp alma gibi yöntemlerle aktarılır ve mikroskop kullanılarak incelenir. İzin fotoğrafı çekilirken üzerinde bulunduğu nesnenin tam olarak neresinde olduğu anlaşılacak şekilde fotoğrafı çekilmelidir. İzin bozulma riski varsa yakın plan fotoğraflar tercih edilmeli, ayrıntıların belirgin hale gelmesi için yatay ışık kullanılmalıdır. Metal izlerde oksidasyonu önlemek için yağlı film ile kaplanması tavsiye edilmektedir (Polat, 2016, 376). İnceleme sırasında izin orijinalliği korunmalıdır. İzler üzerinde alçılama vb. kalıp çıkarma yöntemlerinin son çare olarak uygulanması tavsiye edilir (Kaygısız, 2005, 115).

1.2.2.3.3. Biyolojik Kökenli Bulgular

Biyolojik kökenli bulgularla, cinayet, yaralama ve cinsel saldırı gibi suç olayların sıklıkla karşılaşılmaktadır. Olay yerinde, mağdur ve faillerin üzerinde bulunma ihtimalleri yüksek olduğu için önemli delillerdir. Bu bulgular genellikle çıplak gözle görülemeyebilir ve bazen lekeler şeklinde mevcut olabilir. Vücut sıvıları ve artıkları, DNA analizine imkan tanıdıkları için olayın aydınlatılmasında kritik bir rol oynar ve özellikle failin kimliğinin tespit edilmesinde önemli bir faktördür (Polat, 2016, 321).

Vücut Sıvıları

Kan, meni, idrar, ter ve mekonyum delil niteliği taşıyan başlıca vücut sıvıları olarak sayılabilir. Biyokimya alanındaki gelişmeler sayesinde vücut sıvılarından elde edilen DNA örnekleri sayesinde bulguların kimlere ait olduğu tespit edilebilmektedir (Ergüzel, 2014).

Şiddet suçlarının büyük bir bölümünde kan lekeleri ile karşılaşmak olasıdır. Kanın temas ettiği yüzeyde bıraktığı izler olayın nasıl gerçekleştiğine dair bilgiler verebilmektedir. Kan lekesi model analizi adı verilen yöntem ile olayın yeniden yapılandırılması da mümkün olmaktadır.

Olay yerinde bulunan kan lekeleri ile, bir kan damlasının düşme açısı, düşme yüksekliği, gidiş yönü, vücudun hangi bölgesinden çıktığı, kullanılan alet gibi olayın oluş şekli hakkında birçok bilgiye ulaşmak mümkündür (Polat, 2016, 322).

Vücut Dokuları

Olay yerlerinde en sık karşılaşılan vücut dokularını ise; saç, vücut kılları, kemik, diş, deri parçası, kepek, gaita şeklinde sıralamak mümkündür. Vücut sıvılarına benzer şekilde olay yerinden toplanan vücut dokuları üzerinden de mağdur ve failin kimliğine ulaşmak mümkündür. Özellikle kemik ve dişler çürüme ve yanmaya karşı dayanıklı oldukları için morfolojik, serolojik ve radyolojik yöntemler uygulanarak incelenmeleri ve olayın üzerinden çok uzun süre geçmiş olsa da olayı aydınlatacak bilgiler vermeleri mümkündür (Kaygısız, 2005, 140).

1.2.2.3.4. Diğer İz ve Bulgular

Tekerlek İzleri

Lastik izleri de ayakkabı izlerine benzer şekilde olayın aydınlatılmasında kullanılan izlerden birisidir. Araç tekerleklerinin dokusu, çap ve genişlikleri, şekli, olukların yapısı ve üretici tarafından konulan işaretler genel bir ayırım yapmak için kullanışlıdır. Aynı üretim serisi içerisinde olan tekerlekler standart bir yapıya sahip oldukları için doğrudan sonuca götürmeler de olay yerine gelmiş olan aracın türü hakkında bilgi verebilirler. Tekerlekler aynı zamanda üretim kaynaklı olmayan zaman içerisinde kullanım nedeniyle oluşmuş birçok karakteristik iz de barındırabilirler, kullanım sırasında oluşan yıpranmalar tekerleklere yapısal anlamda karakteristik bir özellik kazandırır (Bayer, 2003, 180).

Tekerlek izlerinin tespiti için en iyi yöntem izin türüne göre kalıp alma ya da fotoğraf çekimidir. Tekerlek izi fotoğrafları ölçekli ve ölçeksiz şekilde dik açı ile çekilmeli, doğru ışıklandırma ile detayların ortaya çıkarılması sağlanmalı, karakteristik olduğu düşünülen özellikler için ayrıca yakın plan çekimleri yapılmalı ve fotoğrafların hangi konumdan çekildiği kayıt altına alınmalıdır. Tekerleğin dönüş mesafesinin tam olarak kayıt altına alınmasına dikkat edilmelidir (Kaygısız, 2005, 114).

Lifler

Çoğu olay yerinde, olaya dahil olan kişilerin giysilerine ait lif ve küçük kumaş parçalarını bulmak mümkündür. Özellikle hırsızlık ve trafik kazalarında sıkça rastlanan bu deliller, yakalanmış bir şüpheli varsa üzerindeki giysilerden hareketle çıkarım yapmaya yardımcı olur. Bu deliller, mağdur veya failin kimliğini belirlemede önemli ipuçları sağladığı gibi, mağdur ile fail arasındaki ilişkiyi ortaya koymaya da yardımcı olur. Ayrıca, liflerin özelliklerinden yola çıkarak menşei ve hangi fabrikada üretildiği belirlenebilir, bu sayede kişinin cinsiyeti, boyu, kilosunu ve vücut yapısı hakkında tahminler yapılması da olasıdır (Ergüzel, 2014).

Dijital Bulgular

Gelişen teknoloji ile birlikte olay yerlerinin de birer dijital bulgu deposu haline geldiğini söylemek mümkün. Cep telefonları, tabletler, bilgisayarlar ve güvenlik sistemlerine ve kameralara ait kayıtların tutulduğu serverlar günümüzde en yaygın dijital delil gruplarıdır. Günümüzde CD ve DVD'ler artık birer aksesuar gibi görünse de olay yeri incelemesinde göz ardı edilmemesi gereken dijital bulgulardır.

Olay yerinde bulunan bir dijital bulguya nasıl el konulacağı ve üzerinde nasıl arama yapılacağı CMK'nın 134. maddesinde tarif edilmekte olup belirtilen prosedüre aykırı şekilde yapılan aramalar bulgunun delil değerini ortadan kaldıracaktır.

Dokümanlar ve Yazılı Metinler

Olay yerinde sıkça rastlanan maddi bulgulardan bir diğeri ise yazılı metinler ve dokümanlardır. Özellikle intihar vakalarında olay yerinde bulunan bir intihar mektubunun gerçekten ölen kişi tarafından mı yazıldığı olayın aydınlatılması açısından önem arz eder. Maktulün veya failin üzerinden çıkan her türlü el yazılı metin yazan kişinin kimliğinin belirlenmesinde kullanılabilir. El yazısı üzerine inceleme yapmak bilimsel yöntemlerin takip edildiği ayrı bir uzmanlık gerektirir (Ergüzel, 2014).

1.2.3. Olay Yerinin ve Bulguların Kayıt Altına Alınması

Herhangi bir olay yeri incelemesinin yasal gerekliliklerinden birisi de, olay yerinin uygun şekilde belgelenmesi ve delillerin toplanmasıdır. Her olay yerinin kendisini diğerlerinden ayıran bir takım benzersiz özellikleri olmasına rağmen, olay yerinin durumunu düzgün bir şekilde belgelemek amacıyla her olay yeri için karşılanması gereken bir takım gereksinimler vardır. Olay yerinin uygun şekilde belgelenmesi, herhangi bir adli işlemden savcılarının, avukatların ve hakimlerin gözünde olay yerini yeniden oluşturmak için gerekli olan notları, fotoğrafları ve çizimleri yeterli şekilde içermelidir (Ogle ve Plotkin, 2017).

Geleneksel metotların kullanıldığı olay yeri dokümantasyonu; soruşturma ilerledikçe not almayı, eskizler hazırlamayı ve fotoğraf çekmeyi içerecek şekilde devam eden bir süreç olmalıdır (Ogle ve Plotkin, 2017). Aksi durumda olay yeri araştırmasında tutarlılık kaybolur ve boşluklar oluşur, bu durum delil bütünlüğünü tehlikeye düşürür. Olay yerinin üç boyutlu lazer tarayıcılar ile tarandığı yeni dokümantasyon yönteminde ise olay yeri ilk aşamada bütün halde kayda alındığı için tutarsızlık riski de ortadan kalkacaktır.

Çalışmamızın bir sonraki bölümünde olay yeri araştırması ve dokümantasyonunda kullanılan geleneksel yöntemler ile 3 boyutlu dijital tarama yöntemleri karşılaştırılacaktır.

1.2.3.1. Geleneksel Yöntemler

Olay yerinin sistematik şekilde kayıt altına alınması sürecinde; fotoğraflama, video kaydı, kroki ve tutanak olmak üzere dört temel işlem olduğu görülmektedir (Seyhan, 2019, 108). Geleneksel olay yeri veri toplama yöntemleri uzun yıllar boyunca adli olayların aydınlatılmasında hayati bir rol oynamıştır (Raneri, 2018). Fakat, teknolojinin ilerlemesi ile birlikte sadece iki boyutlu kayıt almaya imkan tanıyan geleneksel yöntemlerin çok da verimli olmadığı görülmüştür. Bu noktada adli olayların aydınlatılabilmesi için daha kesin ve güvenilir olay yeri inceleme yöntemleri arayışına başlanmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel yöntemleri destekleyecek şekilde fotogrametri ve 360 derece görüntüleme araçları da kullanılmaya başlanmıştır (Seyhan, 2019, 109).

1.2.3.1.1. Fotoğraf ve Video Kaydı

Fotoğraf ve video gibi kayıt araçları, olay yerinin kayda alınmasında kullanımı kolay ve uygulama maliyeti düşük temel kayıt araçları olmuştur (Berezowski vd., 2020). Araştırmacıların olay yerinde yaşananları daha iyi anlayabilmeleri için görsel bulguları kayıt etmelerine olanak tanır (Zubańska, 2018). Görsel olarak kaydedilen olay yeri gelecekte farklı uzmanlar tarafından yeniden ele alınıp değerlendirilebilir (Urschler vd., 2014).

Olay yeri fotoğrafının çekilmesine ilişkin düzenlemelerin ilgili yönetmeliğin 8. maddesinde yapıldığı görülmektedir. Bu kapsamda; olay yeri incelemesi neticesinde belirlenen önemli yerlerin fotoğraflanmalıdır. Tespit edilen tüm iz ve deliller fotoğraflanmalı; çekimler, ölçekli ve farklı açılardan yapılmalıdır. Her çekimin en az iki poz olması gerektiği belirtilmektedir (Yönetmelik, 1983). Ölçekle yapılan yakın plan çekimlerinin mutlaka ölçeksiz olarak da yapılması gerektiği tavsiye edilmektedir (Seyhan, 2019, 115).

Fotoğraf ve video çekimlerinde olay yeri şartlarına ve bulguların türlerine göre farklı teknikler kullanılabilse de takip edilmesi tavsiye edilen genel ilke; fotoğraf ve video çekimlerinin genel, orta mesafe ve yakın plan olmak üzere üç aşamalı olarak yapılması şeklindedir. Genel çekimler, olay yerinin konumunu ve genel görünümün orijinal halini tespit etmek için yapılır. Orta mesafe çekimler ile bulguların konum ve pozisyonlarının da belgelenmesi amaçlanır. Bunun için en az iki bulgunun birbiriyle veya bulgu ve olay yerindeki sabit bir noktayı içerisine alacak kare tespit edilip çekim yapılmalıdır. Yakın plan çekimleri özellikle bulguların karakteristik özelliklere sahip olduğu düşünülen durumlarda önem kazanır. Genellikle numara ve ölçek kullanılarak yapılır. Ölçek, uygun kontrastta olmalı ve bulgunun boyutunun anlaşılabilmesi için bulguya paralel olarak konumlandırılmalıdır. Bulguların üzerindeki rakam, yazı ve işaretlerin okunabilmesi önemlidir (Ogle ve Plotkin, 2017).

Soruşturma görevlileri, kayıtların yorumlaması için tek bir bakış açısının yetersiz oluşunun farkındadır, bu nedenle birden fazla açıdan görüntü çekimi yapılır. Ayrıca merceğin bükülmesinden kaynaklanan görüntü bozulması gibi durumlarla karşılaşıldığında birden fazla görüntü çekilir (Gonzalez-Aguilera ve Gomez-Lahoz, 2008).

Olay yerinin video kaydına alınması, fotoğraf çekimini destekleyici ve doğrulayıcı kanıtlar elde

edilmesini sağlar. Kamera kaydında devamlılık söz konusu olduğu için olay yerinin daha bütünsel ve gerçekçi bir görüntüsü elde edilebilir. Genel tavsiyelere ek olarak, kamera çekimlerinde olay yerinin dıştan merkeze doğru genel görünüm çekiminin yapılması, zoom kullanıldıysa zoomdan çıkılmadan çekime devam edilmemesi, sabit olarak çekim yapılması, çekim esnasında hareket edilmemesi, çekim yapılan yerlerin birbirini tamamlayacak şekilde olması, çekimlerde bütünlük olması, yapılan geçişlerin takip edilebilmesi tavsiye edilmektedir (Seyhan, 2019, 110-114).

1.2.3.1.2. Kroki ve El Çizimleri

Kağıda çizilen kroki ve el eskizleri, düşük maliyetli ve pratik dokümantasyon araçlarıdır. Olay yeri inceleme ekiplerinin veri toplamak için sınırlı süreleri vardır, zaman geçtikçe olay yerinin kirlenmesi/kontaminasyonu ve delil bütünlüğünün bozulması riski doğar (Streefkerk vd., 2013). Krokiler, olay yerindeki verileri hızlı bir şekilde kayıt altına almak için kullanılır ve aynı zamanda olay yerinde olmayan, tanıklar tarafından tarif edilen -bir failin yüzü veya vücut özellikleri- gibi detaylar da el eskizleri ile kayda alınır.

Geleneksel yöntemler ile çekilen iki boyutlu fotoğraflar, olay yerindeki farklı noktalar ve bulgular arasındaki mesafeleri bütünsel bir şekilde görme imkanı tanımaz. Bu eksikliği gidermek için farklı noktalar arasındaki ölçümlerin işlendiği krokilerden faydalanılır. Krokiler, olayın nasıl gerçekleştiğini tahmin etmede faydalı araçlardır. Olaya dair bütünsel bir bakış açısına sahip olmak için fotoğraf ve krokilerin birlikte kullanılması tavsiye edilmektedir (Seyhan, 2019, 115).

Olay yeri krokisinin nasıl oluşturulacağı ilgili yönetmeliğinde 7. maddede düzenlenmiştir. Bu kapsamda; olay yerinde bulunan deliller toplanmadan olay yeri krokisi yapılması gerektiği vurgulanmaktadır. Hazırlanacak olan krokide, iz ve delillerin bulunduğu yerlerin, kesin ve doğru alınmış ölçülerin, hava durumunun, olayın zamanının, dosya numarasının, krokiyi yapanın isminin, yönlerin ve birimin adının mutlaka yazılması gerektiği belirtilmiştir (Yönetmelik, 1983).

Krokinin hazırlanması sürecinde, bulgular toplanmadan önce aralarındaki mesafelerin ölçülmesi, her bulgunun sabit iki noktaya olan uzaklığının, krokisi çizilecek alanın pusula ile yönünün, olay yerindeki ışık ve ortam ısı gibi çevresel koşulların, olay yerinde olay ile bağlantılı olduğu

düşünülen araçların motor sıcaklığının, kapı ve cam durumlarının, genel hasar durumunun, çamur, boya gibi yabancı maddelerin tespit edilerek kroki üzerinde belirtilmesi tavsiye edilmektedir (Aydın vd., 2005).

Olay yeri krokileri; dik açılı koordinatlarla çizim, üçgenleme metoduyla çizim, referans hattı metoduyla çizim, açı ölçer metoduyla çizim, çapraz projeksiyon metoduyla çizim şeklinde farklı yöntemlerle yapılabilir, olayın özelliğine göre kullanılacak olan kroki yöntemine karar verilmektedir (Seyhan, 2019, 116-119).

Olay yeri fotoğrafları ve krokiler etkili bir soruşturma süreci için oldukça önemli belgeleme araçlarıdır. Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi, Yüksel Erdoğan ve Diğerleri/Türkiye kararında (Başvuru no. 57049/00), soruşturma görevlilerinin olay yerinin fotoğraflarını çekmemiş olmasını, binanın iç ve dışının krokisini çizilmemesini, çatışma sırasında kafede bulunan güvenlik mensuplarının konumlarının gösterildiği bir olay yeri planı hazırlanmamasını etkili bir soruşturma yürütülmemesi olarak değerlendirmiş ve Avrupa İnsan Hakları Sözleşmesinin 2. maddesi ile korunan yaşam hakkının ihlal edildiğine karar vermiştir. (Ertuğrul, 2009).

1.2.3.1.3. Manuel Ölçümler

Olay yeri fotoğrafları ve videolar güvenilir kayıtlar olarak kabul edilseler de mesafeler konusunda tek başlarına bilgi vermezler. Bu nedenle, yapılan el çizimlerine ve fotoğraflara ilgili ölçümlerin (uzunluk, genişlik ve yükseklik) eşlik etmesi gerekir. Geleneksel şekilde yapılan bu ölçümler; şerit metre, lazer veya bu ikisinin bir kombinasyonu ile gerçekleştirilir (Raneri, 2018).

1.2.3.2. Geleneksel Yöntemlerin Sınırlılıkları

Günümüz olay yeri incelemelerinde başlıca veri toplama araçları; fotoğraf, video ve el ölçümlerinin işlendiği krokilerdir (Raneri, 2018; Tredinnick vd., 2019). Geleneksel yaklaşımla tutulan bu kayıtlar değişikliğe açıktır ve kayıtların tahrif edilme olasılığı da yüksektir (Wang vd., 2019). Bu gibi sınırlılıklardan dolayı yıllar içinde olay yeri dokümantasyonu için daha objektif, kesin ve kapsamlı çözümler üzerine çalışılmıştır (Wang vd., 2019). Olay yeri fotoğrafçılığı ve el çizimleri gibi temel yöntemler geçerliliğini sürdürecektir olsa da bunlar neticede üç boyutlu (3D)

olay yeri ortamının iki boyutlu (2D) temsilleridir (Raneri, 2018; Zubańska, 2018).

Geleneksel yöntemlerle ilgili literatürde saptanan sınırlılıkları; insan hatası, düşük hassasiyet, görüntü bozulmaları, tahrifat olasılığı, zaman kısıtı ve görsel sınırlılıklar şeklinde altı başlık altında sıralamak mümkündür (Raneri, 2018).

1.2.3.2.1. İnsan Hatası

Her olay yeri inceleme uzmanı bireysel bir bakış açısına sahiptir ve işini en iyi şekilde yapmak isteyenler bile, özellikle karmaşık durumlarda zaman zaman hata yapabilirler (Wang vd., 2019). Sabahın erken saatlerinde yüzüncü ölçümünü kaydeden bir görevlinin X ve Y eksenlerini karıştırma, bir telemetre okumasını yanlış yazma veya bir bulguyu gözden kaçırma ihtimali her zaman mevcuttur (Raneri, 2018).

1.2.3.2.2. Düşük Hassasiyet

Doğru bir olay resmi oluşturmak için, olay yeri inceleme ekipleri olası kanıt parçalarını belirlemeli ve ardından bir şerit metre veya lazer telemetre kullanarak bir alan içindeki konumlarını manuel olarak ölçmelidir (Tredinnick vd., 2019). Ölçüm sırasında yapılan hatalar, bir kanıtın kapsam dışı bırakılmasına ya da önemi hakkında ciddi tartışmalara yol açabilir (Raneri, 2018).

1.2.3.2.3. Görüntü Bozulmaları

Olay yerinin bütünü tek bir karede yakalamak ve fotoğraflamak faydalı olabilir, ancak bu şekilde toplanan panoramik görüntüler, görüntü işlemenin doğası gereği yanıltıcı olabilir ve perspektif projeksiyonu, lens bozulmaları ve odak uzaklığı gibi değişkenlerden kaynaklı bazı bozulmalar yaşanabilir (Raneri, 2018; Bostanci, 2015).

1.2.3.2.4. Tahrifat Olasılığı

Olay yerinin kayda alınması sürecinde; kanıtların silinmemesi, değiştirilmemesi veya

kirletilmemesi hayati öneme sahiptir (Streefkerk vd., 2013). Fotoğraflama, video kaydı ve kroki oluşturma gibi geleneksel dokümantasyon yöntemlerinin değiştirilmeye açık oluşu, olay yeri hakkındaki bilgileri güvenli bir şekilde saklamayı zorlaştırır (Hołowko vd., 2016). Geleneksel yöntemlerle toplanan veriler görsel işleme yazılımları ile kolaylıkla manipüle edilebilir veya bozulabilir.

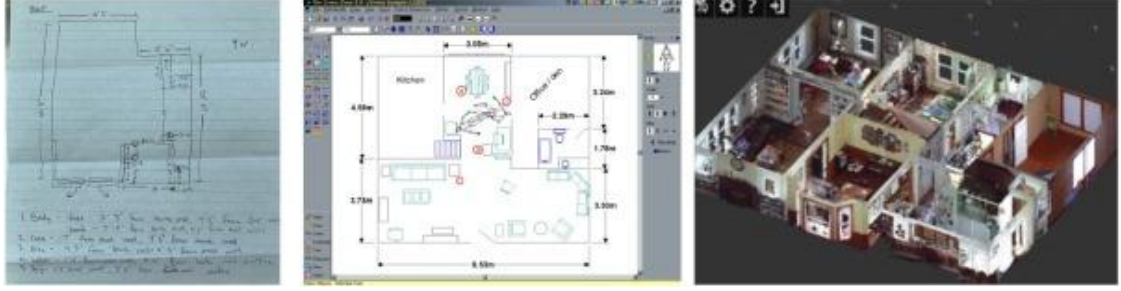
1.2.3.2.5. Kısıtlı Zaman ve Maliyet

Olay yeri inceleme ekiplerinin olay yerini kayda almak ve bulguları toplamak için hızlı hareket etmesi gerekmektedir. Fakat kan lekeleri gibi kayda alınmasında hassas olunması gereken bulgular söz konusu olduğunda tek bir uzmanın çıkarım yapabilmesini sağlayacak kadar kan lekesini el çizimleri ile toplayabilmesinin dört buçuk saati bulabildiği görülmektedir (Silverman ve Thompson, 2018, 18). Olay yerindeki tüm detayları elle çizmek uzun zaman gerektiren bir iş olduğu gibi, insan hatasından kaynaklı sorunlara da neden olabilir. El çizimleri ile toplanan olay yeri detaylarının dijital ortama aktarılması da sürecin uzamasına ve ek maliyetlere neden olacaktır (Tredinnick vd., 2019; Bostanci, 2015).

1.2.3.2.6. Görsel Sınırlılıklar

Fotoğraftan elde edilecek bilgi sınırlı düzeydedir. Özellikle kan lekeleri söz konusu olduğunda, olay yerindeki hangi lekelerin kan lekesi olduğunu kestirmek, önemli ve küçük lekeleri görmek ya da olay yerindeki diğer nesnelerin birbirleri ile ilişkisini farklı perspektiflerden yakalamak için klasik fotoğraflama işlemi yetersiz kalmaktadır (Silverman ve Thompson, 2018, 3).

Geleneksel olay yeri inceleme ve yeniden yapılandırma yöntemleri bu zamana kadar birçok olayın çözümünde fayda sağlamış olsa da olay yerinin 3 boyutlu doğası nedeniyle birçok ayrıntı kaçırılmaktadır (Sieberth vd., 2019). Üç boyutlu görüntüleme, bir soruşturma görevlisinin olay yerini tüm detayları ile kaydetmesini ve daha sonra incelemesini sağlayan son derece güçlü bir yöntemdir (Zubańska, 2018). Bu nedenle, yersel lazer tarama teknolojileri ile olay yeri taramaları yapılarak, dijital modellerin VR (Virtual Reality - Sanal Gerçeklik) ve AR (Augmented Reality - Artırılmış Gerçeklik) gibi teknolojiler ile birlikte interaktif şekilde analizi için çeşitli yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır.



Şekil 1.5. Olay yeri inceleme uzmanının aldığı ölçümlerle oluşturulan 2 boyutlu elle çizilmiş kroki örneği (solda). Bir bilgisayar programı aracılığı ile delillerin konumlandırıldığı dijital 2 boyutlu kroki çizimi örneği (ortada). 3D taramış bir sahnedan elde edilen 3D olay yeri modeli örneği (sağda) (Tredinnick vd., 2019).

1.3. Olay Yerinin Kayıt Altına Alınmasında Kullanılabilecek Yeni Teknolojiler

Son yıllarda görselleştirme teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişim sayesinde üç boyutlu kayıt araçlarının; mimarlık, arkeoloji, tıp, film endüstrisi ve adli bilimler gibi çok farklı alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Üç boyutlu modellere duyulan ihtiyaç bu alandaki uygulama ve yazılım talebini de artırmış, kullanımı kolay ve son kullanıcı odaklı yeni teknolojilerin gelişimi hızlanmıştır (Duran vd., 2017).

Üç boyutlu olay yeri krokileri ve dijital modeller, uzun yıllardır adli olayların çözümünde ve olay analizlerinde kullanılmaktadır. Dijital üç boyutlu tarama teknolojisindeki gelişmeler ise olay yerlerinin hızlı bir şekilde kayıt altına alınarak üç boyutlu modellerinin çıkarılması için yeni fırsatlar doğurmuştur. Soruşturma süreçlerinde, olay yerlerine ulaşılmasını, kapsamlı bir inceleme yapılmasını veya tekrar keşif düzenlenmesini engelleyen sınırlayıcı durumlarla karşılaşılabilir. Olay sonrasında geçen süre ve olay yeri ile temas kuran insan sayısı, delillerin kirlenmesi ve yok olması riskini de artırmaktadır. Bu tarz sorunlu durumların önüne geçmek için olay yerinin ilk haliyle ve hassas bir şekilde kayda alınması oldukça önemli olup dünya çapındaki büyük adli bilim laboratuvarlarının olay yerlerinin üç boyutlu bir ortamda belgelenmesi amacıyla yeni görselleştirme teknolojilerini kullandığı görülmektedir (Dath, 2017).

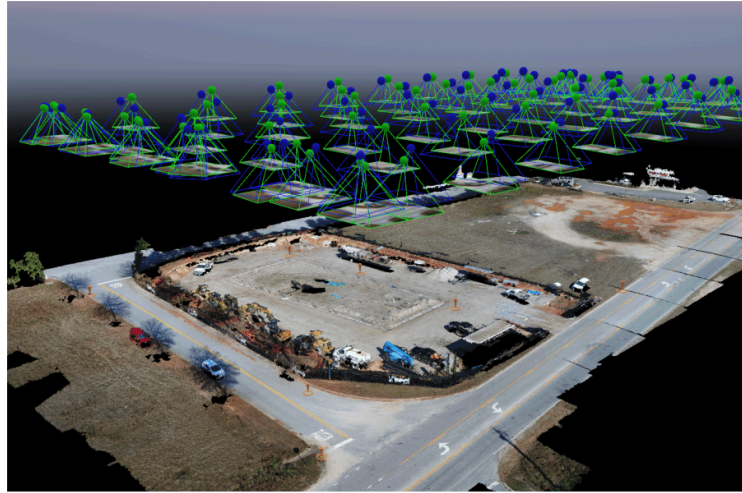
Üç boyutlu şekilde kayda alınan olay yerleri, dijital ortamda keşif yapma imkanı tanıdığı gibi üç boyutlu modellerin etkileşimli doğası sayesinde araştırmacılar kendilerini olay yerinde

konumlandırarak potansiyel bir tanığın olayın meydana geldiği sırada neye tanık olabileceğini veya olamayacağını deneyimleyebilirler. Gerçek dünya ortamının hassas bir şekilde yeniden yaratılması neticesinde ileri sürülen iddiaların doğruluğunu birinci şahıs bakış açısıyla araştırmak mümkün hale gelmektedir. Aynı zamanda, kan lekesi model analizi ve mermi yolu hesaplamaları gibi olay yeniden yapılandırılmalarının görselleştirilmesi de mümkün hale gelecektir (Notowitz, 2023).

1.3.1. Üç Boyutlu Kayıt ve Görselleştirme Araçları

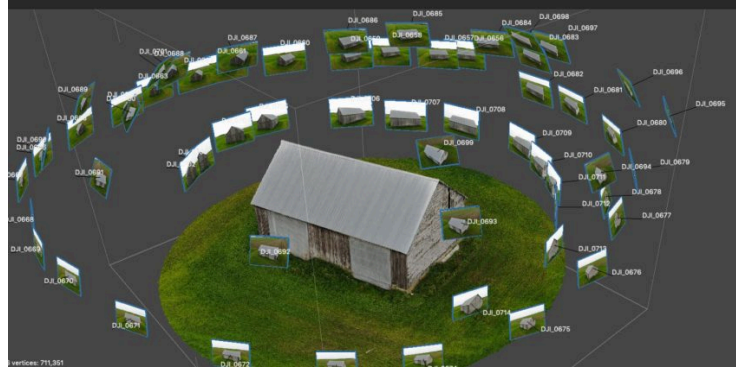
1.3.1.1. Fotogrametri (Photogrammetry)

Fotogrametri, kayıt altına alınacak olan objenin ya da mekanın genellikle farklı açılardan çekilmiş olan birkaç fotoğrafı kullanılarak uzaydaki şeklinin, boyutlarının ve konumunun hassas bir şekilde belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş bir görselleştirme yöntemidir. Uzun süredir çeşitli sektörlerde önemli bir araç olarak kullanılan fotogrametri teknolojisi farklı perspektiflerden yakalayan çok sayıda fotoğrafın üç boyutlu bir model oluşturmak için işlenmesi temeline dayanır (JOUAV, 2024). Fotoğraflar ile metrik ölçümlerin kullanıldığı bu tekniğin amacı, kayıt altına alınacak olan objelerin ayrıntılı, bütünsel ve üç boyutlu bir görüntüsünün yakalanmasıdır. Fotoğraf temelli ölçümlerinin, aslına uygun perspektifler oluşturmak için geliştirilen optik yöntemler ile yaygınlaştığı görülmektedir (Bostancı, 2023).



Şekil 1.6. Havadan çekilmiş fotoğraflarla oluşturulan bir fotogrametri uygulaması (JOUAV, 2024).

Fotogrametri uzun yıllardır üzerine çalışılan bir alan olmasına karşın özellikle görüntü işleme alanındaki gelişmeler ile yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Gelişen yazılım teknolojisi sayesinde kaydedilen görüntüler konumsal veriler ile birleştirilerek, kayıt altına alınan ortamın kapsamlı bir görünümünü sunan üç boyutlu bir model oluşturulabilmektedir (JOUAV, 2024). Günümüzde daha küçük objelerin detaylı üç boyutlu modellerinin oluşturulması, yüksek boyutlu veri setlerinin kısa sürelerde işlenmesi; homojen ve daha doğru nokta bulutları oluşturulması mümkün hale gelmiştir (Heuchel vd., 2011).



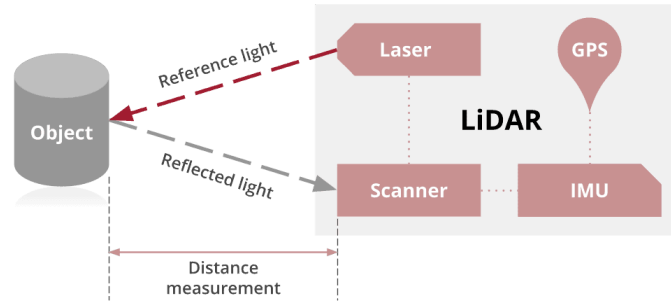
Şekil 1.7. Yerden çekilmiş fotoğraflarla oluşturulan bir fotogrametri uygulaması (Bitfab, 2024).

Geniş alanlarda tutarlı görüntüler oluşturması, GPS/IMU desteği ile daha yüksek geometrik doğruluk sağlaması, daha fazla nokta yoğunluğu elde edilebilmesi, iki boyutlu görüntü bilgisinin üç boyutlu nokta kümesini zenginleştirilmesi, kentsel alanlarda yan yüzeylerin görüntü kenarlarından maliyetsiz şekilde elde edilmesi fotogrametrik yöntemin avantajları olarak gösterilmektedir (Leberl vd., 2010). Ortam ışığı ve fotoğraf kalitesi sonuçlar üzerinde belirleyici olup hava koşullarının kötü ve bitki örtüsünün sık olduğu alanlarda düşük performans göstermektedir (Wiechert vd., 2012; JOUAV, 2024).

Fotogrametri genellikle bir sonraki başlıkta değinilecek olan LiDAR teknolojisinden daha uygun maliyetli bir teknolojidir. Dokular ve renkler de dahil olmak üzere görsel ayrıntıları yakalamada başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu anlamda gerçekçi temsillerin önemli olduğu işlemler için elverişli olduğu söylenebilir. Çeşitli dron platformlarına ve kamera kurulumlarına uyum sağlayabilen esnek bir uygulama alanı vardır. LiDAR sistemleri ile karşılaştırıldığında son kullanıcının açısından daha erişilebilirdir (JOUAV, 2024).

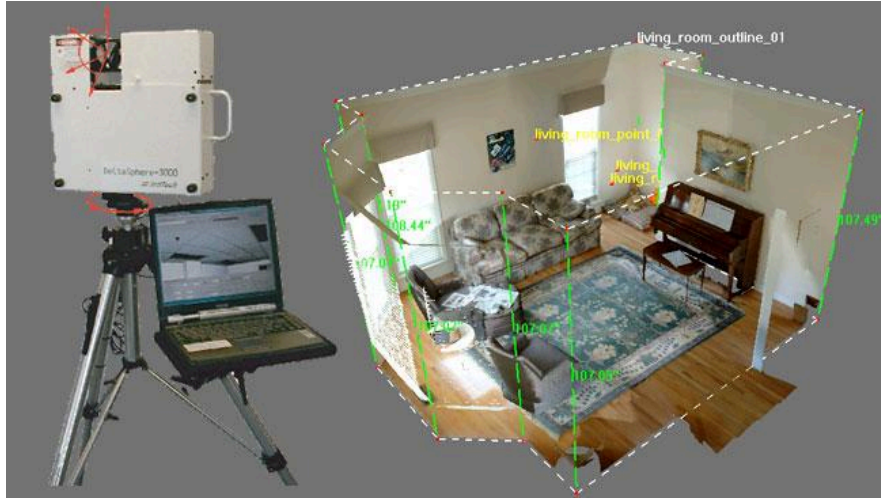
1.3.1.2. Lazer Tarama (LiDAR)

Lazer tarama teknolojisi, üç boyutlu dokümantasyon ve görselleştirme açısından güvenilir ve hassas bir veri toplama aracı olarak değerlendirilmektedir (Dath, 2017). Sistem, lazer tarayıcı ve hedef nokta arasındaki mesafenin ölçülmesi prensibine dayalı çalışır. Mesafe ölçümü için; ışığın gidiş/dönüş zamanı, üçgenleme, faz farkı veya dalga metodu gibi farklı teknikler kullanılmaktadır (Lichti ve Gordon, 2004).



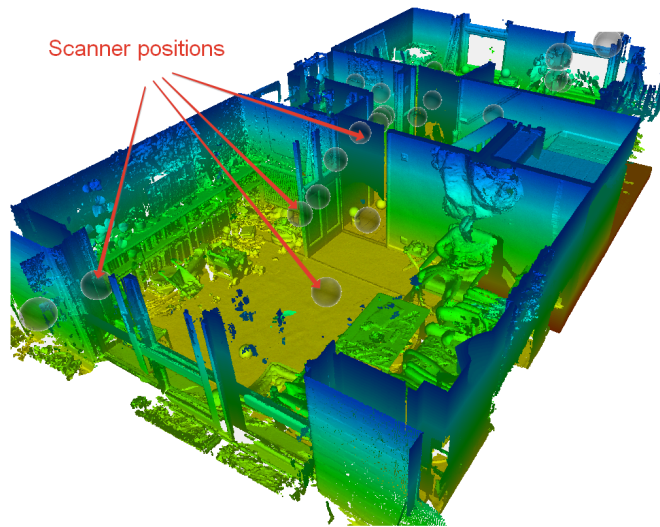
Şekil 1.8. LiDAR sistemlerinin genel çalışma mekanizması (Mosaic51, 2021).

Günümüzde en yaygın şekilde kullanılan lazer tarama teknolojisi *Laser Imaging Detection and Ranging* (LiDAR) olarak adlandırılan optik uzaktan algılama teknolojisidir. LiDAR, belirli bir mesafedeki hedefin uzaklığını belirlemek amacıyla, yüzeylere gönderilen lazer ışınların ölçülmesi şeklinde çalışır (Wen vd., 2013). Cihaz içerisindeki algılayıcılar, ışınların yüzeylerden sekme süresini hesaplar, LiDAR tarayıcısı tarafından toplanan verilerle 3 boyutlu bir nokta bulutu haritası oluşturulur (Bahirat ve Prabhakaran, 2017). LiDAR sistemlerinin sahnenin kapsamlı bir temsilini oluşturmak için uydulardan elde edilen Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) verileri ve sensörün yönü ve hareketi hakkında bilgi sağlayan IMU'lar ile desteklendiği uygulamalar da mevcuttur. Farklı teknolojilerin oluşturduğu kompleks sistem sayesinde ortamdaki nesnelerin şeklini ve konumunu yakalayan detaylı ve doğru bir 3B nokta bulutu oluşturulması sağlanır (JOUAV, 2024).



Şekil 1.9. Endüstriyel kullanım için geliştirilmiş bir yersel LiDAR sistemi ve tarama çıktısı (Hildebrand, 2010).

LiDAR teknolojisinin avantajları; x, y ve z koordinatlarını hassas şekilde belirlenmiş çok sayıda nokta içeren bir nokta bulutu sağlaması, güneş ışığına gereksinimi olmadığından gündüz veya gece fark etmeksizin veri toplanmasına imkan tanınması, sistemle entegre kameralar ile eş zamanlı şekilde fotoğraf veya video çekimi olanağının bulunması, kayıt sırasında çoklu dönüş ve tam dalga özellikleri sayesinde daha fazla bilgi toplanması şeklinde sıralanabilir. Sisli ve yağmurlu havalarda ve dumanlı ortamlarda ve yansıtıcı yüzeylerde sınırlı performans gösterip hatalı sonuçlar üretmesi ve veri işlemlerinde yardımcı programlara ihtiyaç duyulması ise dezavantajları olarak sıralanabilir (Vosselman ve Maas, 2010).



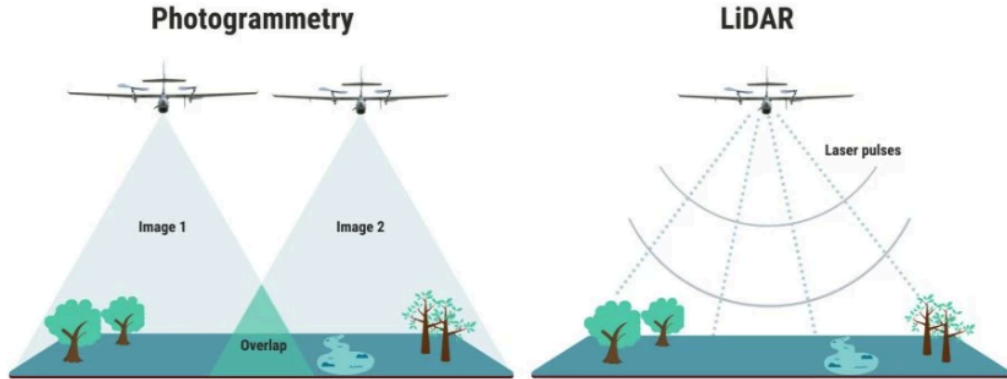
Şekil 1.10. İç mekanda yapılmış bir LiDAR taraması çıktısı (Alby, 2022).

LiDAR sistemleri, yüksek tarama hassasiyetleri ile ön plana çıkarlar, bu özellikleri karmaşık ayrıntıları minimum hata payı ile yakalamalarını sağlar. Bu açıdan yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda tercih edilen sistemlerdir (JOUAV, 2024).

Çizelge 1.1. LiDAR ve Fotogrametri yöntemlerinin karşılaştırılması (JOUAV, 2024).

Özellikler	LiDAR	Fotogrametri
Doğruluk	Yüksek	Orta
Işığa bağımlılık	Hayır	Evet
Maliyet	Yüksek	Düşük
Renk bilgisi	Sınırlı	Yüksek
Kullanım kolaylığı	Orta	Kolay
Çok yönlü kullanım	Orta	Yüksek
İşlem süresi	Hızlı	Yavaş

LiDAR taramalarının yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel maliyet olarak görülürken 2020 yılından itibaren Apple şirketi tarafından geliştirilen bazı iPad ve iPhone modellerine LiDAR tarayıcıların entegre edilmesi maliyet sorununu bir nebze ortadan kaldırmıştır (Vogt vd., 2021). LiDAR ve Fotogrametri yöntemleri tek başına kullanılabildiği gibi bu yöntemlerin entegrasyonu ile oluşturulmuş daha gelişmiş görselleştirme yöntemleri de vardır (JOUAV, 2024).



Şekil 1.11. Havadan sistemlerde fotogrametri ve LiDAR uygulamasına dair bir gösterim (JOUAV, 2024).

Olay yerinin LiDAR tarayıcılarla belgelenmesi, yıllar sonra bile olay yerinin üç boyutlu olarak incelenmesine, ölçülmesine ve hassas analizler yapılmasına olanak sağlar (Barazzetti vd., 2012). LiDAR taramalar ile olay yerlerini, olayın hemen sonrasındaki hali ile analiz etmek (mermi yolu, görüş açısı, bulgular arasındaki ilişki açısından), görselleştirmek ve yeniden yapılandırmak mümkün hale gelmektedir (Dath, 2017).

LiDAR taramalarında sahnedeki tüm objeler arasındaki mesafelerin yüksek hassasiyetle ölçülmesi olay yerindeki bulguların birbiri ile ilişkisine dair analizler yapmayı kolaylaştırır. LiDAR taramaları ile oluşturulan 3 boyutlu olay yeri modeli ile ihtiyaca göre farklı zamanlarda bulgular arasındaki ilişkiler tekrar tekrar analiz edilebilir.

1.3.1.3. Nöral Parlaklık Alanları (NeRF)

Nöral Parlaklık Alanları (NeRF) 2 boyutlu görüntülerden veya görüntü koleksiyonlarından 3 boyutlu sahneleri modellemek için derin öğrenme yöntemini kullanan yeni bir görselleştirme tekniğidir (Yılmaz, 2023). Klasik üç boyutlu rekonstrüksiyon metodları karşısında bir alternatif olarak giderek popülerleşmekte olup NVIDIA'nın geliştirdiği Instant NeRF teknolojisi TIME dergisi tarafından 2022 yılının en iyi buluşu olarak gösterilmiştir (Lindzon, 2022).

NeRF teknolojisi bir sahneyi, uzaydaki bir noktanın rengini ve opaklığını, parlaklık alanlarının tanıtılmasıyla tahmin eder. Birden fazla 2B görüntüden temel sahne temsilini öğrenmek için sinir ağlarını eğiterek karmaşık 3B sahneleri oluşturmayı amaçlar ve bu sayede sahnenin yeni görünümününün üretilmesine olanak tanır (Yılmaz, 2023).



Şekil 1.12. NVIDIA Instant NeRF ile oluşturulmuş bir 3 boyutlu sahne (Lindzon, 2022).

NVIDIA'nın geliştirdiği Instant NeRF yazılımının açık kaynaklı olması nedeniyle üç boyutlu model oluşturma uygulamalarında yaygın şekilde kullanılmaya başlandığı görülmektedir (NVLabs, 2022). Fakat bu teknoloji mevcut 2 boyutlu görüntüyü tahminleyerek 3 boyutlu sahneler oluşturduğu için her ne kadar kusursuz görünse de gerçekten farklı temsiller üretme potansiyeli taşımakta olup olay yerinin kayıt altına alınması ve belgelenmesinde tek başına kullanımının uygun olmadığı değerlendirilebilir.

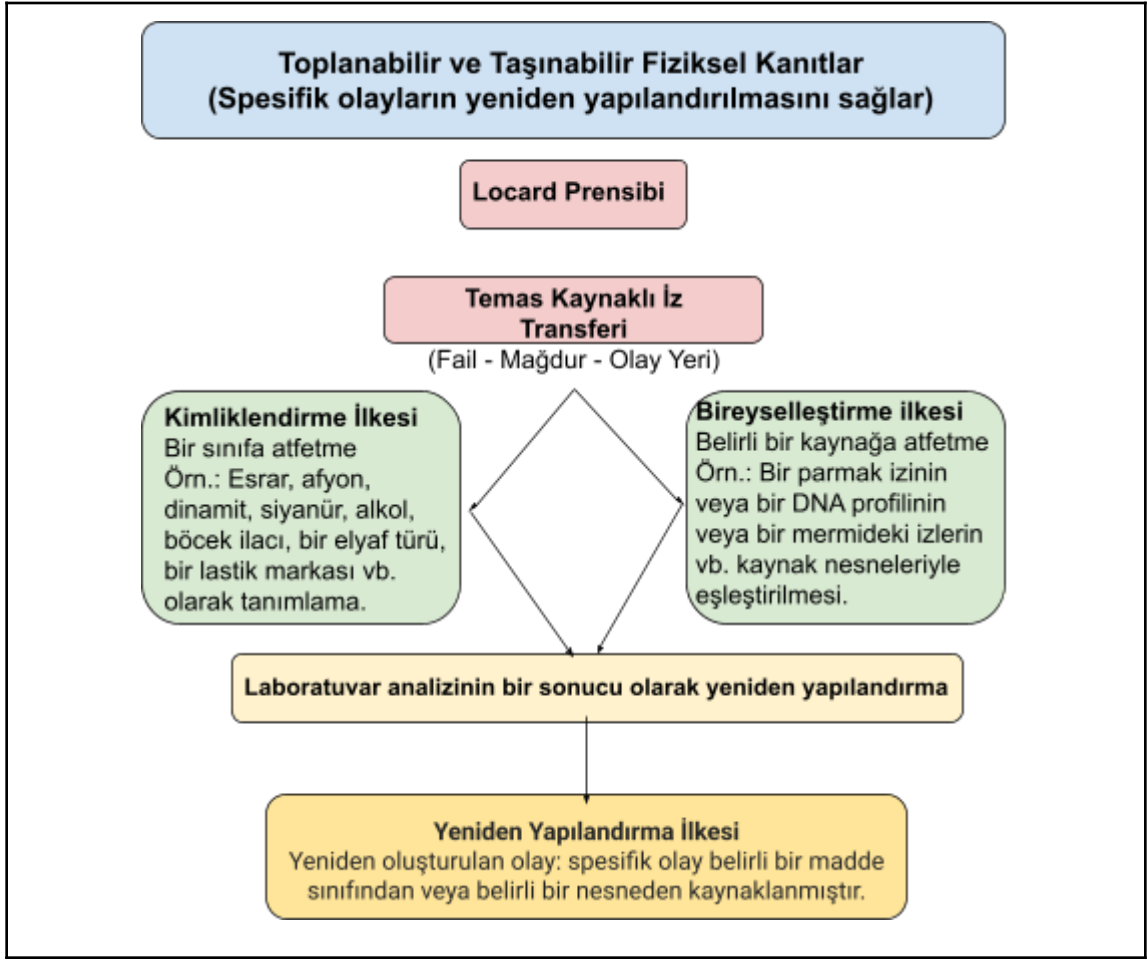
1.4. Olay Yeniden Yapılandırması ve Adli Analiz Yöntemleri

Olay yeniden yapılandırması, adli bir olayın oluşumu sırasında hangi hareketlerin hangi sıra ile meydana geldiğine dair çıkarım yapmak için fiziki delillerin bilimsel yöntemler ve tümevarım/tümdengelim metodları kullanılarak ilişkilendirilmesi ve yorumlanmasıdır (ACSR, 2024). Yeniden yapılandırmanın olayın çözümüne olan etkisi nedeniyle soruşturma süreci ve olay yeri incelemesi yeniden yapılandırmayı mümkün kılacak şekilde planlanmalıdır. Bu planlama, bulguların toplanmadan önce, orijinal hali ve konumları korunarak fotoğraflanmasını, bütünsel olarak kroki ve çeşitli dokümantasyon araçları ile kayıt altına alınmasını gerektirir. Olay yerinin korunamadığı ve bütünsel şekilde kayıt altına alınmadığı durumlarda yeniden yapılandırma işlemine geçilmesi de mümkün olmayacaktır.

Olay yeniden yapılandırması, olay yerinin ve fiziksel kanıtların ilişkilendirildiği çeşitli metotlar uygulanarak inşa edilen uzun bir süreçtir. Toplanan bulgular, yapılan ölçümler ve kayıt altına alınan görüntüler ile yeniden oluşturulan olay yeri, bütünsel bir analiz yapma fırsatı tanır. Bu sayede failerin ve mağdurların olay öncesindeki, olay anındaki ve olay sonrasındaki hareketlerine dair bir çıkarım yapılabilir. Olayın nasıl ve hangi sıra ile gerçekleştiği üzerine teoriler geliştirilebilir. Yeniden yapılandırma olaya dair nerede, nasıl, ne zaman sorularına cevap ararken neden sorusu bu kapsama dahil değildir (Inman ve Rudin, 2000). Olay yerinin yeniden yapılandırılmasının bir diğer amacı da; mekan ve içerisindeki kanıtlar arasındaki ilişkinin kovuşturma aşamasında avukatlar, hâkim ve bilirkişiler tarafından gözlemlenebilmesidir (Maloney vd., 2011)

Olayın tamamının ya da belirli bir bölümünün yeniden yapılandırılması yapılabileceği gibi spesifik bir bulgunun da yeniden yapılandırılması yapılabilir. Bu kapsamda yeniden yapılandırmalar için birçok farklı kategori oluşturulduğu görülmektedir. *Durum yeniden yapılandırmalarında*, olayın gidişatının, yönün, aktörlerin veya nesnelerin pozisyonlarının, ilişkilerinin ve koşulların canlandırmasına odaklanılmaktadır. Olay yerinde bulunan kan lekeleri ve cam kırıkları gibi fiziksel kanıtların örüntüleri üzerine uzmanlaşmış yeniden yapılandırma alt alanları da bulunmaktadır. Yine ateşli silahlarla yapılan atışların yeniden yapılandırılması da ayrı bir uzmanlık alanı olarak karşımıza çıkmaktadır (Lee vd., 2001).

Geleneksel bakış açısına sahip olan yazarlar yeniden yapılandırmayı, maddi delil analizi sırasında kurulan 'ilişkilendirmenin' bir dalı olarak görmektedir (Sutton vd., 2016; Saferstein ve Roy, 2018). Bu tarz bir yeniden yapılandırmanın kapsamı *spesifik olaylar* ile yani; olay yerinden toplanan fiziksel bir bulgu ile şüpheliden alınan örnek arasında ilişki kuran laboratuvar sonuçları ile sınırlıdır.

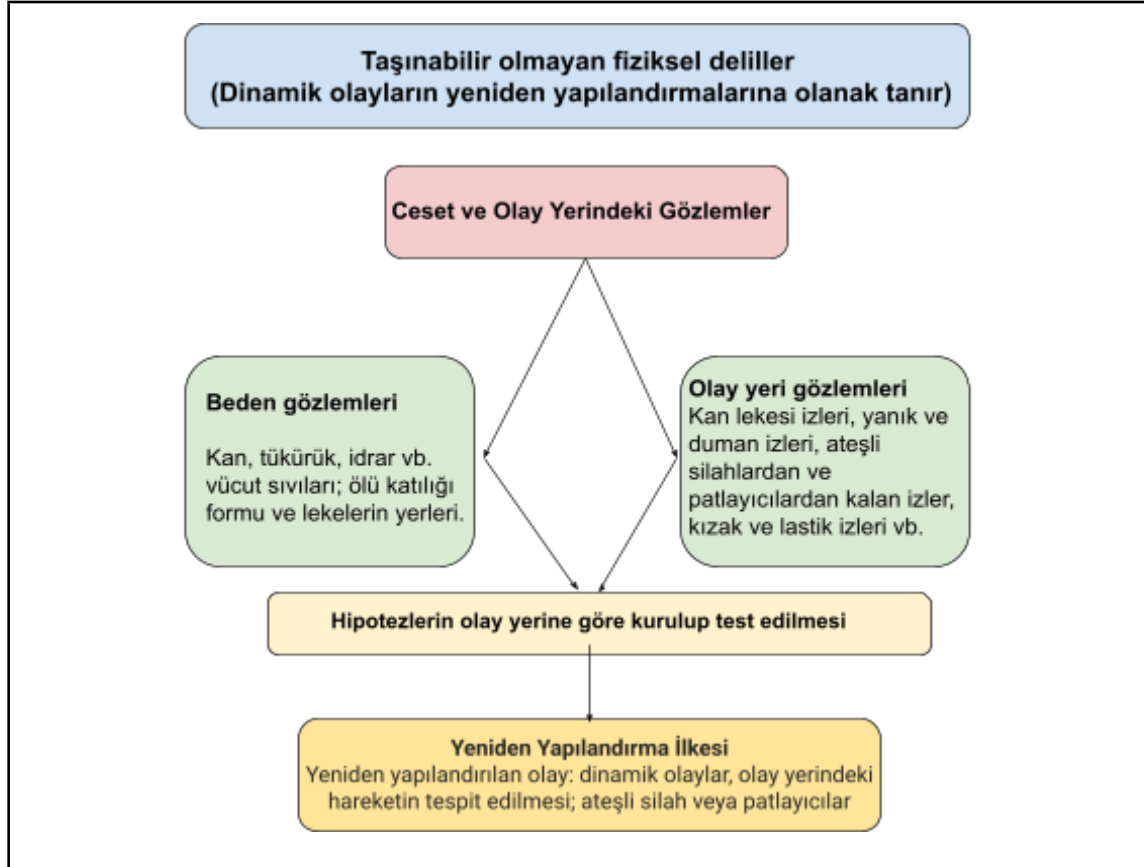


Şekil 1.13. Spesifik olaylarda yeniden yapılandırma yaklaşımının akış diyagramı (Jayaprakash, 2022, 10).

Sharman ve Elliot (2000) gibi yazarlar, olay yerindeki çeşitli izleri, lekeleri, hasarları ve eşyaları da, yeniden yapılandırma yaparken hipotez kurmak için yararlı bilgi kaynakları olarak görmektedir. Laboratuvar analizi yapılan delillere ek olarak; kan lekeleri, cam kırıkları ve atış olaylarıyla ilgili olan deliller de olayın yeniden yapılandırılması sırasında faydalı olduğu kabul edilen analizler arasındadır (Suboch, 2016).

Yeniden yapılandırmayı, toplanabilir fiziksel kanıtların laboratuvar analizi ile sınırlandırmak, olay yerlerinde yalnızca gözlemlenebilen ancak toplanamayan ve dolayısıyla laboratuvar analizi yapılamayan delillerin yeniden yapılandırmaya dahil edilmesini engelleyecektir. Bu sınırlandırma olay yeri yeniden yapılandırmasının genel kapsamını daraltacağı için dinamik olayların yeniden yapılandırılmasında daha farklı bir yaklaşımın takip edilmesi gerekir (Şekil 1.14).

Dinamik olay yeniden yapılandırılmalarında, olay yerinde yapılan bir gözlem temel alınarak bir hipotez oluşturulur, oluşturulan hipotez adli bilim alanında kabul gören öncüllere karşı test edilir.



Şekil 1.14. Dinamik olaylarda yeniden yapılandırma yaklaşımının akış diyagramı (Jayaprakash, 2022, 11).

Adli bilim laboratuvarlarında yapılan analizlere dayanan yeniden yapılandırmalar genellikle *spesifik olaylara* işaret eder. Bir şüphelinin kıyafetindeki kan lekesinin olay yerindeki kan lekesi ile eşleştiğini tespit eden bir laboratuvar analizi, *spesifik bir olayın*, yani olay yerindeki kan lekesinin şüphelinin kıyafetine temas etmesi ve aktarılmasının yeniden yapılandırılmasını sağlar. Bu tarz bir yeniden yapılandırma, laboratuvar analizinin doğal bir sonucudur. Yeniden yapılandırmacının herhangi bir hipotez kurmasına ve test etmesine gerek yoktur (Ogle ve Plotkin, 2017).

Buna karşılık, suç olayının yeniden yapılandırılması için olay yerindeki gözlemlenebilir kanıtların kullanıldığı dinamik yeniden yapılandırma yaklaşımında iki belirgin avantaj olduğu

görülmektedir. Birincisi, yeniden yapılanma olay mahallinde yapılır ve bu nedenle soruşturma sürecinde daha hızlı ilerleme sağlanır. İkincisi bu tarz bir gözleme dayalı yaklaşım dinamik olayların yeniden yapılandırmasına olanak sağlar. Dinamik olaylar, bir hareket unsuru içeren faaliyetleri belirtir. Dinamik olay yeniden yapılandırmaları kategorisine giren popüler yeniden yapılandırmalardan biri, kan lekesi model analizi uygulamasıdır. Kan, idrar ve tükürük gibi vücut sıvılarının akış düzenlerindeki dinamik farklılıkların analizinin, olaya dahil olan kişilerin beden duruşlarını yeniden yapılandırmada yararlı olduğu ortaya konmuştur (Jayaprakash, 2022).

Patlayıcıların yüzeylerde neden olduğu oyuk izleri, parçalanma veya yaralanma şekilleri; pompalı tüfekten atılan saçmalar, seken mermilerin oluşturduğu izler veya merminin camda oluşturduğu kırıklar gibi nesnelere üzerinde iz bırakan olaylar da benzer şekilde dinamik bir analize tabi tutulabilir. Taşınması mümkün olmayan fakat gözlemlenebilir olan bu bulgular, olay yerinde değişiklik yaşanmadan kaydedilmelidir.

1.4.1. Mekansal Verinin Olay Yeniden Yapılandırması ve Adli Analizde Kullanımı

Üç boyutlu dijital kayıt araçları sayesinde olay yerinin hızlı bir şekilde kayıt altına alınması, olası bozulmalardan kaynaklı hataları engellerken tekrarlanabilir analizler de daha doğru yeniden yapılandırmaları mümkün kılmaktadır. Olay yerinin üç boyutlu şekilde muhafaza edilmesi farklı alanlarda uzmanlaşan adli bilimcilerin ortak bir çalışma yapmasına imkan tanıdığı gibi sonrasında bozulma ihtimali olan olay yerlerinde dijital bir keşif yapılma olanağı da sağlamış olur.

Laboratuvar ortamına taşınması mümkün olmayan çevresel bulguların analiz edildiği dinamik olay yeniden yapılandırmaları söz konusu olduğunda üç boyutlu kayıt ve görselleştirme teknolojileri geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha fazla olanak sunmaktadır (Kottner vd., 2023). Patlamalar, silahlı çatışmalar ve kesici delici aletlerin kullanıldığı dinamik olaylarda olay yerindeki izler olayın aydınlatılmasında kritik rol oynarlar (Ogle ve Plotkin, 2017). Olay yerindeki izlerin üç boyutlu ortama aktarılması ile mermi yolu analizi, kan lekesi model analizi ve çarpışma analizi gibi uygulamaları daha pratik şekilde gerçekleştirmek mümkündür (Chase ve Liscio, 2023; Stevenson ve Liscio, 2024).

1.4.2. Mermi Yolu Analizi

Adli bilim uzmanları, ateşli silahların kullanıldığı olaylarda birçok önemli bileşeni belirlemek için balistik biliminden faydalanmaktadır. Olay yerindeki bir duvarda, tavanda ya da otomobilde yer alan mermi delikleri, olayda ne tür bir silah kullanıldığı, atıcının mermi deliğinden ne kadar uzakta olduğu ve atıcının boyu hakkında bilgiler verebilir. Bu bağlamda yapılan adli analizlerin bütünü “bullet trajectory reconstruction (mermi yolu yeniden yapılandırması)” olarak adlandırılır (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016).

Çarpma noktasındaki yatay açı (azimut açısı) ve dikey açı (eğim açısı) mermi yolu analizinde kullanılan iki temel bileşen olup mermi giriş delikleri arasındaki ilişkiye veya ilk mermi giriş deliğinin şekline ve boyutlarına dayanarak merminin atış yörüngesi tahmin edilmektedir (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016). Mermi ateşlendiği andan itibaren birçok dış faktörün etkisi altındadır ve tahmini yörüngenin doğruluğu; merminin geliş açısına, hedef malzemenin özelliklerine ve uygulanan analiz yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016).

Uygulamada mermi yolu analizi için kullanılan üç temel yöntem olduğu görülmektedir: (1) birinci ve ikinci mermi delikleri arasındaki yörüngenin tespit edildiği “probing method/sondaj yöntemi”, (2) birinci giriş deliğinin iki boyutlu şeklinin kullanıldığı “ellipse method/elips yöntemi” ve (3) birinci giriş deliğinin üç boyutlu özelliklerinin kullanıldığı “lead-in method/giriş yöntemi” (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016).

1.4.2.1. Sondaj Yöntemi (Probing Method)

Birinci ve ikinci mermi giriş delikleri veya merminin kalın malzemelerdeki giriş ve çıkış delikleri arasındaki konumsal ilişkinin temel alınarak iki nokta arasındaki yörüngenin tahmin edilmesi yaklaşımı “sondaj yöntemi” olarak adlandırılır. Uygulamada iki delik arasındaki yörüngeyi tespit etmek için proplar (yörünge çubukları) kullanılmaktadır. Manuel yapılan işlem sırasında öncelikle yörünge çubukları sabitlenip açı ölçümü yapılır, sonrasında çubuk üzerine yerleştirilen lazer ile mermi yolu oluşturulur (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016; Penven, 2018).

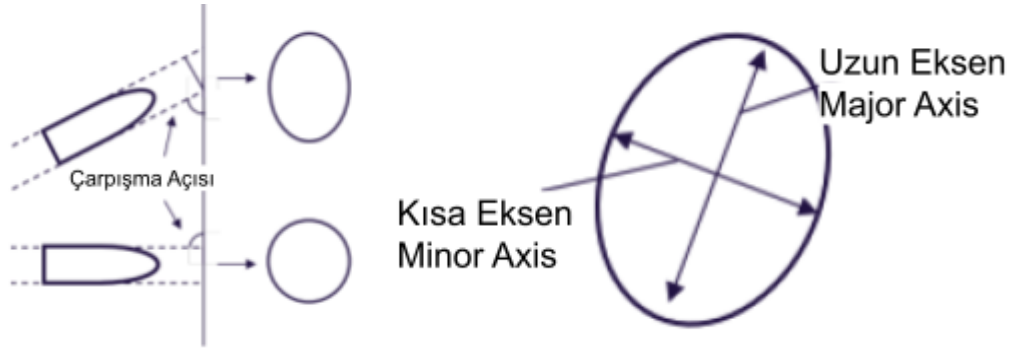


Şekil 1.15. Sondaj yöntemi ile yapılan mermi yolu ölçümü ve kullanılan ekipmanlar (Penven, 2018).

Hesaplanan yörüngenin doğruluğu, iki nokta arasındaki mesafe ve hedef malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016).

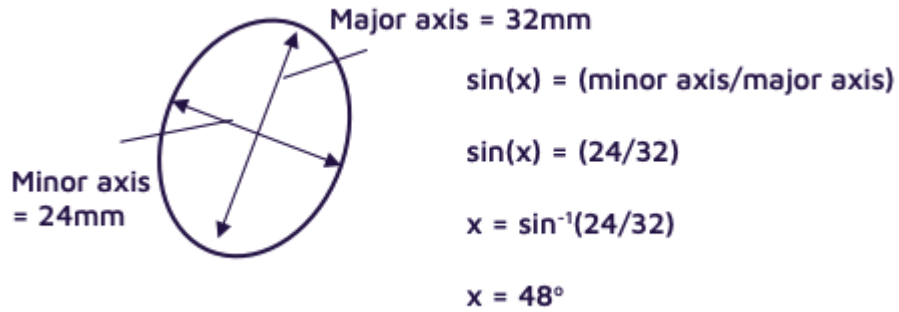
1.4.2.2. Elips Yöntemi

Mermi yolu analizinde kullanılan ikinci yöntem ise; birinci mermi giriş deliğinin eliptik şeklinin temel alındığı elips yöntemidir. Hedef malzemeye dik olarak yapılan atışlar genellikle tam dairesel bir şekil oluştururken geliş açısı azaldıkça giriş deliğinin şekli uzayarak eliptik bir form kazanmaktadır (Hueske, 2016). Eliptik şeklin, uzun (major axis) ve kısa (minor axis) eksen uzunlukları kullanılarak yapılan trigonometrik hesaplama ile merminin geliş açısı tespit edilebilir. Birinci mermi giriş deliğinin boyutlarını, kumpas veya giriş deliğine bir elips yerleştirerek ya da bir grafik programı kullanarak ölçmek mümkündür (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016; Hueske, 2016).



Şekil 1.16. Çarpışma açısı ve mermi deliğindeki kısa ve uzun eksenler (Bullet Trajectory Analysis, 2024).

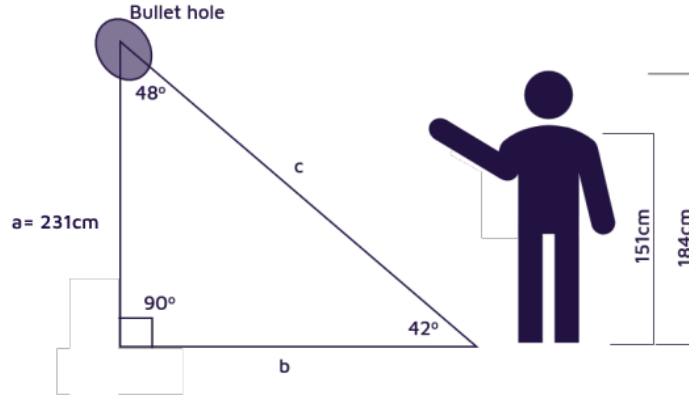
Merminin çarpma açısını, atıcının mesafesini ve atıcının yüksekliğini belirlemek için temel trigonometrik formüllerden faydalanılır (Sin = Karşı/Hipotenüs, Cos = Komşu/Hipotenüs, Tan = Karşı/Komşu). Atış noktasını tahmin etmek için ilk olarak çarpma açısı hesaplanmalıdır. Çarpma açısı, elips şeklindeki mermi giriş deliğinin büyük ve küçük eksen uzunlukları ölçüldükten sonra sinüs fonksiyonu ($\sin(i) = \text{kısa eksen uzunluğu/uzun eksen uzunluğu}$) kullanılarak belirlenmektedir (Bullet Trajectory Analysis, 2024). Kısa eksen uzunluğu 24 mm, uzun eksen uzunluğu 32 mm olan bir elips için çarpma açısı 48° olacaktır (Şekil 1.17.).



Şekil 1.17. Elips eksenini kullanarak atış açısının hesaplanması (Bullet Trajectory Analysis, 2024).

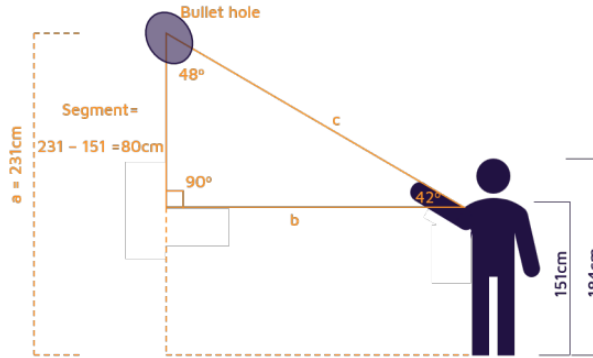
Çarpma açısının hesaplanmasından sonra, dik üçgen özellikleri kullanılarak atıcının yeri belirlenebilir. Bir üçgenin iç açılarının toplamı her zaman 180° olmalıdır. Mermi deliğinden zemine bir dikme indirilir ve açı 90° olarak kabul edilir. Dolayısıyla, ikinci açı (çarpma açısı) eliptik mermi deliğinden belirlendikten sonra üçüncü açı da hesaplanabilir. Üçüncü açı, mermi

deliği atıcının omzundan yüksekteyse, yükselme açısı; alçaktaysa alçalma açısı olarak adlandırılır (Bullet Trajectory Analysis, 2024). Çarpma açısının 48° olarak tespit edildiği ve hedefin atıcının omzundan yüksekte olduğunu varsayılan aşağıdaki örnekte, yükselme açısı 42° olarak hesaplanacaktır (şekil 1.18.).



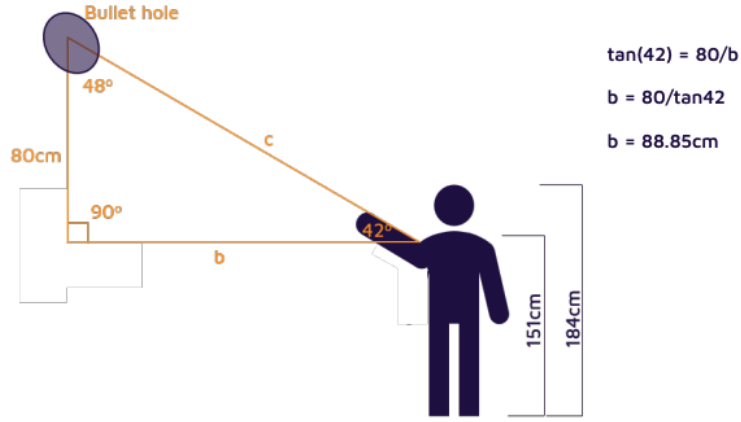
şekil 1.18. Yükselme/alçalma açısının tespit edilmesi (Bullet Trajectory Analysis, 2024).

Atış noktası hesaplanırken ilk olarak mermi deliğinin yüksekliği (dik üçgenin a kenarı) atıcının omuz yüksekliğinden çıkarılır ve yükselme açısına göre karşı dik kenarın uzunluğu bulunur. Mermi yüksekliğinin 231 cm olduğu, atıcının omuz yüksekliğinin 151 cm olduğu aşağıdaki örnekte yükselme açısına göre hesaplamaya dahil edilecek olan karşı dik kenar uzunluğu 80 cm olarak bulunacaktır (şekil 1.19.).



şekil 1.19. Yükselme açısına göre karşı dik kenarın uzunluğunun tespit edilmesi (Bullet Trajectory Analysis, 2024).

Yükselme açısına göre karşı dik kenarın uzunluğu hesaplandıktan sonra, Tanjant fonksiyonu ($\tan(i) = \text{Karşı/Komşu}$) kullanılarak atış mesafesini belirlemek mümkündür (Bullet Trajectory Analysis, 2024). Karşı dik kenarın uzunluğunun 80 cm olduğu aşağıdaki örnekte, atıcının hedef noktaya olan uzaklığı (b kenarı) 88,85 cm olarak bulunacaktır.



Şekil 1.20. Atıcının hedef noktaya olan uzaklığının tespit edilmesi (Bullet Trajectory Analysis, 2024).

70° ile 90° arasındaki geliş açılarında mermi giriş deliklerinin şekillerini ayırt etmenin zorlaşması ve sinüs fonksiyonunun geliş açısı yükseldikçe ölçüm hatalarına karşı hassas olması nedeniyle elips yönteminin yalnızca 70°'nin altındaki geliş açılarında kullanılması gerektiğine dair öneriler olsa da hassas bir ölçüm yapıldığında 89°'ye kadar doğru sonuç verdiğini gösteren araştırmalar da mevcuttur (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016).

1.4.2.3. Giriş Yöntemi

Son olarak, bir yörünge çubuğunun birincil mermi giriş deliğinin ilk birkaç milimetrelik bölümüne yerleştirilmesi ile yapılan mermi yolu analizine “lead-in method/giriş yöntemi” adı verilir. Bu yöntemde, bir yörünge çubuğu birincil mermi girişine yerleştirilir, işlem sırasında birincil mermi girişinin yalnızca ilk birkaç milimetrelik kısmı kullanılmalıdır. Aksi durumda hedef malzemedeki deformasyon, sapma ve yapısal bozulmalardan kaynaklı etkiler hataya neden olabilir (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016).

Uygulamada kullanılan yöntemlerin doğruluk ve hassasiyet performansları, giriş çıkış deliği sayısı, atış açısı ve hedef materyalin türüne göre farklılık göstermektedir. Sondaj yöntemi ancak iki ardışık mermi deliğinin var olduğu durumlarda kullanılabilir. Elips ve giriş yönteminin uygulanabilmesi için ise tek bir giriş deliği yeterlidir. Araştırmalar sondaj yönteminin diğer yöntemlere kıyasla çoğu durumda daha doğru tahminler ürettiğini gösterirken düşük olay açıları söz konusu olduğunda; mermi ile hedef materyal arasındaki etkileşimden kaynaklı merminin sapması nedeniyle elips veya giriş yönteminin daha doğru sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Sadece giriş deliğinin mevcut olduğu durumlarda ise elips yönteminin giriş yöntemine kıyasla daha doğru ve hassas sonuçlar ürettiği gözlenmiştir.

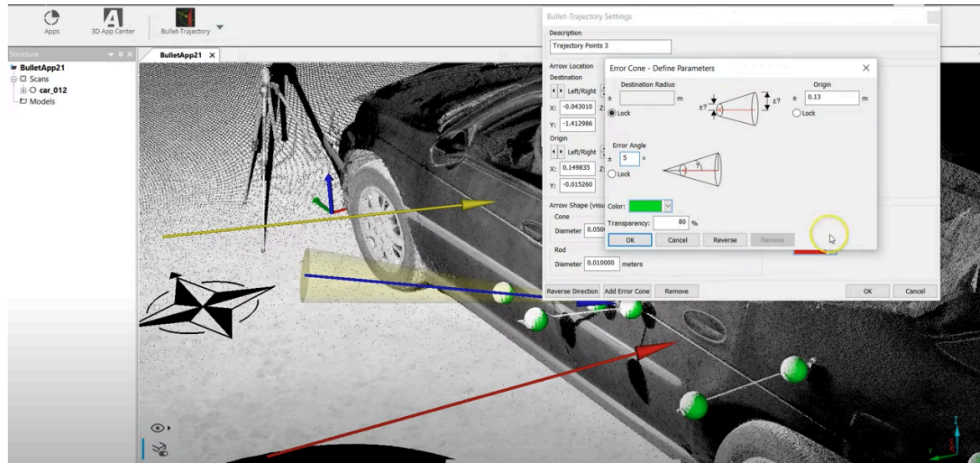
Literatürde, olay yerlerinde karşılaşılabilecek farklı hedef materyallerin (alçıpan, mdf, demir sac, cam vb.) sapma etkilerine ilişkin çok sayıda araştırma yapıldığı da görülmektedir (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016). Olay yerlerinde sıklıkla karşılaşılan hedef materyallerden birisi de otomobil camlarıdır. Lamine edilmemiş standart bir araba camının, 9 mm'lik bir merminin yörüngesi üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, mermilerin camdan 90°, 60° veya 30° çarpma açılarıyla geçerken sırasıyla 0,52°, 1,029°, 4,63° derece sapma oluşturduğu tespit edilmiştir (Bold, 2020). Lamine edilmiş camla yapılan başka bir çalışmada ise; lamine camın, mermi yörüngesi ve atıcının hesaplanan konumuna etkisinin mermi yolu analizinde kullanılan genel olarak kabul görmüş negatif beş derece ile pozitif beş derece aralığında olduğunu göstermiştir (Wigus vd., 2013).

1.4.2.4. Dijital Ortamda Mermi Yolu Analizi

Üç boyutlu kayıt ve görselleştirme teknolojileri, olay yerlerini hızlı şekilde, yüksek hassasiyetle kayıt altına alabilme potansiyelleri ve ölçümlerin tekrarlanabilir olması nedeniyle mermi yolu analizinde giderek daha popüler hale gelmiştir (Chase ve Liscio, 2023). Dijital ortamda mermi yolu analizi yapmak için FARO Zone 3D Trajectory Tools, Bullet Trajectory App ve IMS Map isimli farklı programlar kullanıldığı görülmektedir (FARO Zone 3D, 2018; Bullet Trajectory App, 2016)

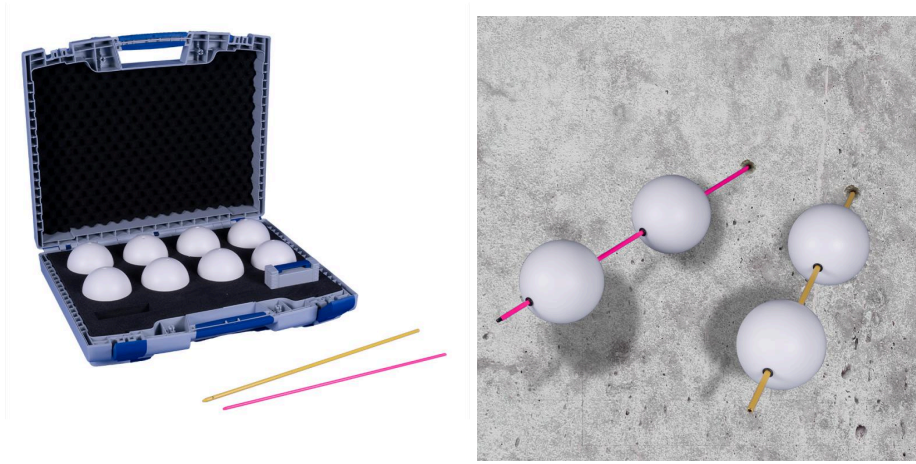
Dijital üç boyutlu taramaların kullanıldığı mermi yolu analizinde, mermi girişine en yakın yörünge açısının kullanılması ve bu açının mümkün olduğunca geriye doğru düz bir çizgiyle modellenmesi tavsiye edilmektedir (FRIES, 2023). Bu sayede geleneksel metodlardan daha

güvenilir bir mermi yolu modeli oluşturulmuş olur. Pratik uygulamada, standart tipte tabanca ve tüfeklerle yapılan kısa mesafeli atışlarda (9-18m) tahmini mermi yörüngesi düz bir çizgi olarak kabul edilse de; atış mesafesi, namlu çıkış hızı (kullanılan ateşli silah ve mühimmata göre) ve hedef materyalin etkisi gibi özelliklerinden kaynaklanan birçok değişken mevcuttur (Mattijssen ve Kerkhoff, 2016). Bu değişkenleri analize dahil etmek için tespit edilen yörüngeye beş derecelik bir “güven aralığı/hata payı” eklenir ve olası atış noktalarını gösteren bir koni oluşturulur (Wigus vd., 2013; FRIES, 2023).



Şekil 1.21. Bullet Trajectory App (V1.3) ile mermi yolu analizi (Bullet Trajectory App, 2016).

Yakın mesafeli atışlarda büyük bir değişkenlik göstermese de daha uzak mesafelerden yapılan atışlarda hata payının önemi artmaktadır. Geleneksel yöntemlerle hata payını genişleyen beş derecelik bir koni ile göstermek mümkün olmadığı için dijital modeller sayesinde atış noktaları çok daha kesin şekilde belirlenebilir. Tek bir silah ile birden fazla atış yapılması durumunda dijital olarak oluşturulan beş derecelik konilerin kesişim noktası çok daha kesin bir şekilde atış noktasını işaret edecektir (FRIES, 2023).



Şekil 1.22. Giriş yöntemi için kullanılan problemler ve dijital küreler.



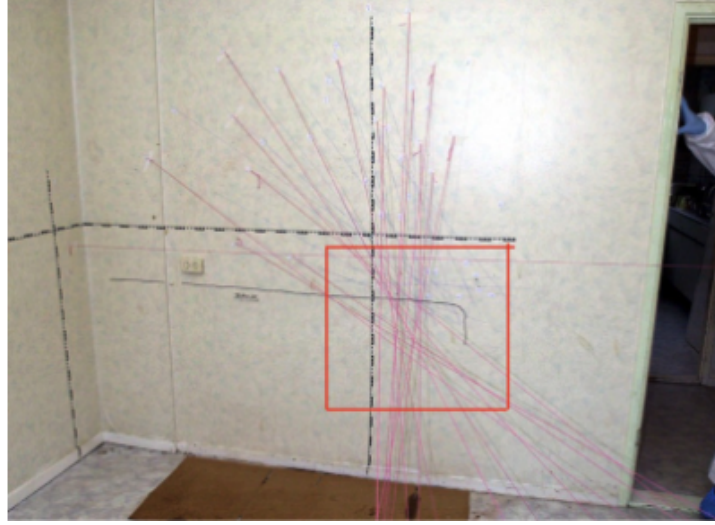
Şekil 1.23. FARO Zone 3D - Hata payı eklenmiş mermi yolu konileri (ScanTraining, 2018).

1.4.3. Kan Lekesi Model Analizi

Kan Lekesi Model Analizi (Bloodstain Pattern Analysis - BPA), adli bilim uzmanlarının olay yerindeki kan lekelerini inceleyerek olayın nasıl gerçekleştiğine dair temel bilgiler edinmesini sağlayan bir adli analiz yöntemidir. Kan lekelerinin analiz edilmesi ile; eylemlerin sırası, fail veya mağdurun konumu ve olayın oluş mekaniği hakkında bilgiler edinilebilir. Çevresel koşulların ve kanın fiziksel davranışının incelendiği bu yöntemde toplanan bulgular amaca uygun ve doğrulanmış teknikler ile analiz edilerek olayın nasıl gerçekleştiğine dair bir çıkarım yapılmaktadır (Carter, 2001).

Kanın biyolojik yapısı; yoğunluk, viskozite ve yüzey gerilimi gibi fiziksel özelliklerini etkileyerek farklı çevresel koşullarda farklı dağılımlar göstermesine neden olur (Attinger vd., 2013). Bir nesnenin sıvı kan kaynağına çarpmasıyla oluşturduğu çarpma desenleri çarpmanın meydana geldiği anda kan kaynağının fiziksel konumunu, yerini belirlemek için kullanılmaktadır (Carter, 2001).

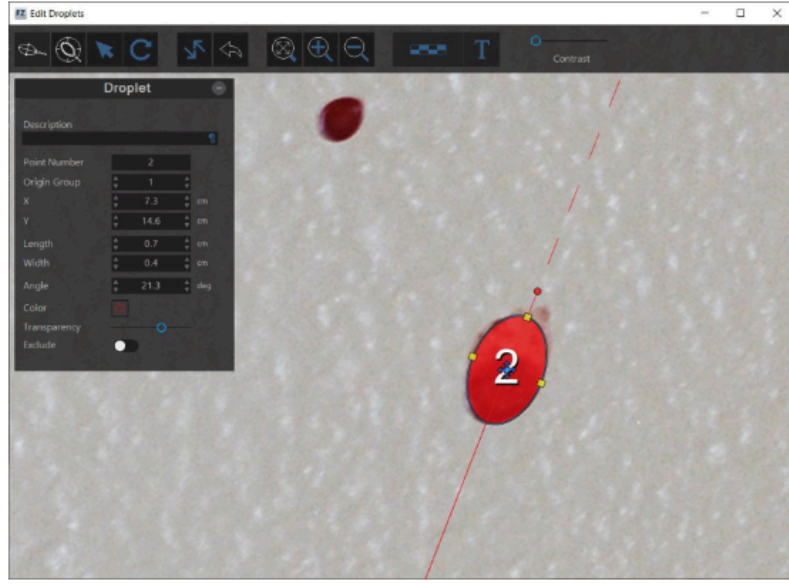
Geleneksel yaklaşımda analize başlanırken ilk olarak olay yeri görsel olarak incelenir ve analiz için uygun kan lekeleri seçilir. Seçilen lekeler numaralandırılır ve yanlarına ölçek veya işaretleyiciler yerleştirilir. Daha doğru sonuçlar elde etmek için kan deseninin her iki ucundan örnekler seçilmesi tavsiye edilmektedir. Seçilen lekeler, yatay (azimut açısı) ve dikey (eğim açısı) açıyı belirlemek için elips yöntemine göre ayrı ayrı fotoğflanır ve boyutlandırılır. Çarpma açısı, mermi yolu modeli oluşturulurken kullanılan elips yöntemine benzer şekilde Sinüs fonksiyonu ($\sin(i) = \text{Kan lekesinin kısa eksenini} / \text{kan lekesinin uzun eksenini}$) kullanılarak hesaplanır (Illes ve Boués, 2011). Hesaplanan çarpışma açıları doğrultusunda ipler gerilir ve kan kaynağının tahmini konumu görsel olarak oluşturulur (Şekil 1.24.).



Şekil 1.24. Geleneksel yöntemle yapılan Kan Lekesi Model Analizi

Geleneksel yöntemlerle yapılan fiziksel uygulamaların saatler sürmesi; uzmanların dikkatlerinin dağılmasına neden olurken aynı zamanda olay yerinin kirlenme ve bozulma ihtimalini de arttırmaktadır. Bu sorunların önüne geçmek için BackTrack ve HemoSpat gibi ipe dizme yönteminin sanal olarak yapılabileceği yazılımlar geliştirilmiştir (Hakim ve Liscio, 2015). Araştırmalar bilgisayar destekli çözümlerin; işlem süresini, insan hatasını ve olay yerinde bulunması gereken araştırmacı sayısını azalttığını göstermektedir (Raneri, 2018).

Taşınabilir LiDAR tarayıcılarındaki gelişmeler geleneksel Kan Lekesi Model Analizi yöntemleri üzerinde de önemli bir etkiler yaratmıştır. LiDAR kayıtları ile yapılan analizlerin geleneksel tekniklerle karşılaştırıldığında kabul edilebilir hata oranına sahip olduğu tespit edilmiştir (Hakim ve Liscio, 2015). Endüstriyel amaçlı geliştirilen FARO LiDAR tarayıcılarıyla yapılan birçok araştırma doğruluk ve hata oranının kabul edilen standartlarda olduğunu ve geleneksel yöntemlere iyi bir alternatif oluşturduğunu göstermiştir (Stevenson ve Liscio, 2024).



Şekil 1.25. Faro Zone 3D uygulaması ile yapılan çarpışma açısı hesaplaması (Stevenson ve Liscio, 2024).

Apple marka LiDAR sensör içeren bir mobil cihaz ve Recon-3D tarama uygulaması ile yapılan bir çalışmanın sonuçları ise Recon-3D uygulaması ile yakalanan mekansal verinin Kan Lekesi Model Analizinde kullanımı için yeterli olduğunu göstermiştir (Stevenson ve Liscio, 2024).



Şekil 1.26. Faro S350 ile yapılan mekansal tarama (solda), Recon 3D ile yapılan mekansal tarama (sağda) (Stevenson ve Liscio, 2024).

1.4.4. Kaza ve Çarpışma Analizi

Kaza ve çarpışma analizleri, fizik, mühendislik ve adli bilim uzmanlarının ortak bir çalışma yürütmelerini gerektiren kompleks süreçlerdir. Bir çarpışma olayında; çarpışma öncesi, çarpışma ve çarpışma sonrası olmak üzere incelenmesi gereken üç temel aşama mevcuttur. Bu bağlamda yapılacak bir analizde; tehlikeli durumun en erken algılanabileceği zaman ve yer, tehlikenin ilk algılandığı zaman ve yer, çarpışmanın kaçınılmaz olduğu zaman ve yer, sürücünün çarpışmayı önlemek için eyleme geçtiği zaman ve yer, çarpışma sırasında ilk temasın gerçekleştiği nokta, aracın durduğu noktanın tespit edilmesi gerekmektedir (Kwasnoski, 2003).

Bu sorulara cevap vermek ve doğru bir analiz yapabilmek için ilk olarak olay yerinde mevcut olan farklı nitelikteki çok sayıda bulgunun eksiksiz olarak toplanması gerekmektedir. Olayın nasıl gerçekleştiğine dair bir tahmin yürütebilmek ancak olay yerinin ve her bulgu için yapılan spesifik analizlerin birlikte değerlendirilmesi ile mümkün olacaktır (Kwasnoski, 2003). Olay yerinin ve hasar alan araçların değişikliğe uğraması kaza analizleri için gereken önemli bilgilerin kaybolmasına neden olabilir. Lazer tarama teknolojisi sayesinde olay yerindeki ayrıntıları hızlı şekilde yakalamak, belgelemek ve analiz etmek mümkündür. LiDAR taraması ile elde mekansal veri uzmanların olay yeri modeli üzerinden hassas ölçümler yapmalarına olanak tanımaktadır (Faro Technologies, 2020).



Şekil 1.27. LiDAR tarayıcı ile havadan kaydedilmiş bir kaza olayı

Bir aracın çarpışma öncesi hareketinin analizi, aracın hızı ve ağırlığı ile bağlantılı olan kinetik enerjisinin tespit edilmesi ile mümkündür. Bir çarpışma olayında aracın kinetik enerjisi ve hızını azaltan birçok faktör (yol yüzeyi, düzensiz hareket, temas edilen nesne ve araçlar) bulunmaktadır (Kwasnoski, 2003). Olay yerindeki coğrafi özelliklerin kazaya olan etkisini anlamak için arazi koşullarının ve yapısının kayda alınması ve incelenmesi gerekmektedir. Yol koşullarını, engelleri ve çevresel hasarları bir LiDAR tarayıcı ile ilk anda kayda almak ve mekansal veriyi sonrasında yapılacak olan analizlerde kullanmak mümkündür (Faro Technologies, 2020).

Araç hızının doğru bir şekilde belirlenmesi kazanın oluşumunu anlamak ve sorumlu olan kişileri belirlemek için kritik bir aşamadır. Aracın hızının tespit edilmesinde en yaygın şekilde kullanılan yöntem ise olay yerindeki lastik izlerinden hız hesaplama yöntemidir. Yoldaki lastik izleri frenleme mesafesi açısından da önemli bilgiler verir. Bu nedenle izlerin bozulma olmadan ölçekli bir şekilde kayda alınması oldukça kritiktir (Kwasnoski, 2003). LiDAR teknolojisi sayesinde; lastik ve kayma izleri ile diğer yüzey bozulmalarını hassas bir şekilde kaydetmek mümkündür. Elde edilen mekansal veri üzerinden çarpışmaya yol açan olay sırası, araçların hızı ve davranışı hakkında analizler yapılabilir (Faro Technologies, 2020).

Hız tespitinde kullanılan diğer bir yöntem ise ezilme/hasar analizidir. Bir aracın kalıcı şekilde deformasyona uğraması için gereken hız (enerji), otomobil çarpışma testleri sonuçlarına başvurularak analiz edilebilir. Ezilme enerjisi hesaplanırken, her bölgede hasara neden olmak için gereken enerji çarpışma testlerinden edinilen bilgiler ile modellenir ve hız tahmini yapılır (Kwasnoski, 2003). Araçlardaki ezilme ve hasarın doğru bir şekilde belgelenmesi için hızlı hareket edilmelidir. LiDAR teknolojisi sayesinde hasarın kapsamını hızlı bir şekilde kaydetmek ve herhangi bir değişiklik yapılmadan kanıtları korumak mümkündür. Hasarın hızlı ve doğru bir şekilde kaydedilmesinin akabinde elde edilen mekansal veri sonraki analizlerde kullanılabilir (Faro Technologies, 2020).

1.5. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Olay yeri incelemeleri, sistemli ve planlı şekilde yürütülmesi gereken süreçlerdir. Süreç baştan sona; olay yerinde alınması gereken tedbirler, gözlem yoluyla yapılacak ilk inceleme, olay yerinin araştırılması ve toplanabilecek bulgulara dair çeşitli işlemleri içerisinde barındırır. Bu sistematik içerisinde olay yerinin ve delillerin bütün halde kayda alınması ancak kroki çizimi

aşamasında gerçekleşmektedir. Krokinin çizilmesi aşamasına gelinmeden önce olay yeri tedbirleri alınmakta, gözlem yoluyla ilk inceleme yapılmakta, uygun yöntem belirlenerek sistematik araştırma yürütülmekte, bulgular tespit edilip delil araştırması tutanak altına alınmaktadır. Süreç belirli bir sistematik içerisinde yürütülse de yapılan işlemlerin doğasından kaynaklanan öncelik sıralaması nedeniyle olay yerinin müdahaleye açık bir alan olduğu görülmektedir.

Geleneksel araçlarla yapılan olay yeri belgeleme süreci, bulguların ayrı ayrı ve olay yerinin bütün halde çekildiği, farklı açı ve ışıklarda farklı perspektiflerin kullanıldığı kompleks bir süreçtir. Üç boyutlu kayıt teknolojileri tek seferde bütüncül bir kayıt alma imkanı tanıdığı için geleneksel araçların sınırlılıklarını ortadan kaldıran olanaklar sunmaktadır. Fakat ister geleneksel ister üç boyutlu kayıt araçları kullanılsın, olay yerinin kaydedilmesi için fazla zaman yoktur ve tekrar tekrar yapılacak olan çekimler sorunlu durumlara neden olabilir. Olay yerinde kayıt altına alınan bir izin, olası kaynağını tespit edebilmek için yapılan mukayese süreçleri ise adli analiz kapsamında olup, laboratuvar ortamında yapılan işlemlerde yapılacak karşılaştırmanın türüne göre tekrarlı işlemler yapmak mümkündür.

Dış mekanda bir otomobile silahla ateş edilmesine dair kurgusal bir olayı ele aldığımızda, soruşturma süreci ilk olarak olay yerinin incelenmesi ve bulguların kayıt altına alınması ile başlayacaktır. Araç üzerindeki mermi giriş ve çıkış izleri, atış sonrası silahtan çıkan boş kovan, kovanın bulunduğu yer, olay yerindeki ayak izleri gibi bulgular, şüphelinin tespit edilmesi ve olayın yeniden yapılandırılması için hayati öneme sahiptir. Üç boyutlu kayıt araçları hayati öneme sahip olan tüm bu bulguları mevcut konumları ile birlikte kayıt altına alabilir.

Olay yeri ve bulgular kayıt altına alındıktan sonra farklı adli analizler yapmak mümkündür. Kayıt altına alınan ayakkabı izi, olay günü yakalanan ve şüpheli olduğu değerlendirilen bir kişiye ait ayakkabı ile karşılaştırılabilir. Bu senaryoda, eşleştirme için şüpheliden alınan ayakkabı kullanılarak bir mukayese iz oluşturulmalıdır. Sonrasında olay yerinde kayıt altına alınan iz ile mukayese iz karşılaştırılır. Otomobil üzerindeki mermi giriş ve çıkış delikleri kullanılarak, tahmini atış açısı belirlenebilir. Geleneksel yöntemler kullanılarak alınan ölçümlerle bu şekilde spesifik analizler yapmak mümkündür. Fakat olayın tam olarak nasıl gerçekleştiğini ortaya koymak için dinamik bir olay yeniden yapılandırmasına ihtiyaç vardır.

Dinamik bir olayın yeniden yapılandırılması süreci farklı adli analizler neticesinde elde edilen sonuçların birleştirildiği bir süreçtir. Oluşturulan atış yörüngesinin, olay yerindeki kovan ve ayakkabı izlerinin konumları ile eşleştirilmesi neticesinde atış yapan kişinin boyu tahmin edilebilir. Tam tersi şekilde, potansiyel şüphelinin fiziksel özellikleri ile atış yörüngesi eşleştirildiğinde, çevresel bulguların destekleyici kanıtlar sunup sunmadığı kontrol edilebilir. Yapılan spesifik analizler dinamik bir yeniden yapılandırma analizine dahil edildiğinde, olayın kim tarafından nasıl gerçekleştiği daha net bir şekilde ortaya konacaktır. Olası senaryoların test edilebilmesi için üç boyutlu bir olay yeri modeline ihtiyaç vardır ve geleneksel yöntemlerle üç boyutlu modeller oluşturmak oldukça maliyetli ve zaman alıcı bir süreçtir.

Üç boyutlu kayıt araçları adli analizlerde kullanılacak olan iz ve bulguları, hassas bir şekilde kaydetmenin yanı sıra, dinamik olay yeniden yapılandırması için gerekli olan üç boyutlu olay yeri modelinin de tek sefer de kaydedilmesi olanağı tanımaktadır. Genel soruşturma maliyeti düşürecek olan bu durum farklı adli uzmanların aynı ortam üzerinde çalışabilmelerini sağladığı için zamandan da tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

Araştırmamızın merkezinde; olay yerinin pratik şekilde üç boyutlu kaydını sağlayacak LiDAR ve Photogrammetry teknolojilerini içeren mobil uygulamaların farklı ortamlarda test edilip karşılaştırılması ve elde edilen mekansal verinin adli analizde ve olay yeniden yapılandırmasında kullanım olanaklarının araştırılması yer almaktadır.

1.5.1. Literatürdeki Benzer Çalışmalar

Literatürde olay yerinin üç boyutlu şekilde kayda alınmasına dair çalışmaların, 2010'lu yıllarda başladığı, yapılan araştırmaların üç boyutlu taramaların geleneksel yöntemlere göre artı ve eksi yönlerine odaklandığı görülmektedir (Tredinnick vd., 2019). Mobil uygulamalar ile yapılan çalışmalar ise Apple markasının 2020 yılından itibaren dahili LiDAR sensör içeren tablet ve telefonları tanıtmaya başlamıştır. Endüstriyel amaçlı kullanılan yersel LiDAR cihazlarının maliyetinin yüksek olması, iPhone veya iPad cihazları kullanılarak daha düşük maliyetli olay yeri taramaları yapılması olanaklarının araştırılmasına neden olmuştur. 2022 yılında adli araştırmacıların kullanımına sunulan Recon 3D iOS uygulaması da bu amaçla geliştirilen mobil uygulamaların ilk örneğini oluşturmaktadır (Kottner vd., 2023).

Kottner vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada; iPhone 13 Pro cihazı ve Recon-3D mobil uygulaması kullanılarak kurgusal iki farklı sahne taraması (iç ve dış mekan) yapıldığı görülmektedir. İç mekan taraması için kurgusal bir olay yeri hazırlanmış, dış mekan taraması için ise park halindeki bir araba kullanılmıştır. Her senaryonun birden çok kez kayıt altına alındığı çalışmada; taramalar ile gerçek ölçümler arasında, 0,22 cm'lik ortalama mutlak hata ve 0,18 cm'lik standart sapma olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda veri toplama işleminin her taramada 2 dakikadan az sürdüğü raporlanmıştır. Basit ve hızlı şekilde 3 boyutlu kayıt olanağı sunan iPhone 13 Pro cihazı ve Recon-3D uygulamasının, adli araştırmacılar için, olay yerinin belgelenmesinde kullanışlı bir araç olduğu değerlendirilmiştir.

Liscio ve Lim (2023) tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise; altmış öğrenciden kurgusal olarak oluşturulan bir olay yeri sahnesinde Recon 3D uygulaması ile 10 ölçüm almaları istendiği görülmektedir. Katılımcıların aldıkları ölçümlerin ortalama mutlak hatanın yaklaşık olarak 1 cm olduğu ve herhangi bir katılımcı için maksimum hatanın 10 cm olduğu raporlanmıştır.

Mobil cihaz ve uygulamalar ile yapılan araştırmaların, olay yerinin üç boyutlu şekilde kayıt altına alınmasının yanı sıra elde edilen mekansal verinin, mermi yolu analizi ya da kan lekesi model analizi gibi çeşitli adli analizlerde kullanım olanaklarına odaklandığı görülmektedir (Chase ve Liscio, 2023; Stevenson ve Liscio, 2024).

Chase ve Liscio (2023) tarafından yapılan araştırmada, Recon 3D uygulaması ile yapılan üç boyutlu taramaların mermi yolu analizinde kullanım olanakları araştırılmıştır. Araştırmanın ilk aşamasında, kontrollü bir kapalı ortamda ahşap bir panele on iki yörünge çubuğu (prob) yerleştirilmiş ve taranmıştır. Yatay açı için ortalama hatanın 0.14° (SS: 0.30°), dikey açı için ise -0.05° (SS: 0.25) olarak bulunduğu raporlanmıştır. Araştırmanın ikinci aşamasında, dış mekanda beş yörünge çubuğu yerleştirilen bir otomobil taranmıştır. Dış mekanda yapılan testte, yatay açı için ortalama hatanın 0.03° (SS: 0,28), dikey açı için ise 0.22° (SS: $0,36^{\circ}$) olduğu raporlanmıştır. Elde edilen sonuçların karasal lazer tarayıcı kullanılan diğer çalışmalara benzer olduğu değerlendirilmiştir.

Stevenson ve Liscio (2024) tarafından yapılan araştırmada ise, Recon 3D uygulaması ile elde edilen mekansal verinin, kan lekesi model analizinde kullanım olanakları araştırılmıştır. Araştırmanın sonuçları, Recon-3D'nin olay yerindeki kan lekelerinin kayıt altına alınmasında

başarılı ve uygun fiyatlı bir uygulama olduğunu ve kan lekesi model analizi için kabul edilebilir sonuçlar sağladığını göstermektedir.

Montgomerie vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, ayakkabı ve ayakkabı izleri üzerinde yapılan üç boyutlu taramaların hassasiyeti ve doğruluğu araştırılmıştır. İzler, olay yerlerinde bulunması muhtemel üç farklı ayakkabı tipi kullanılarak oluşturulmuş, Artec Spider LiDAR tarayıcısı kullanılarak üç boyutlu şekilde kayıt altına alınmıştır. CloudCompare yazılım paketi kullanılarak yapılan ölçümlerde ayakkabı ve ayakkabı izi arasındaki farkın ortalama 0.45 mm (SS: 0.29 mm) olarak bulunduğu raporlanmıştır.

1.5.2 Araştırmanın Özgün Yanı ve Araştırma Hipotezleri

Literatürde mobil tarayıcı cihazlarla yapılan çalışmaların tarama doğruluğu ve spesifik adli analizler için gerekli olan ölçümlere odaklandığı görülmekte olup farklı analizlerin tek bir mekansal veri üzerinde birleştirildiği bütüncül bir yeniden yapılandırma sürecine dair bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bu çerçevede çalışmamızın öne çıkan özgün yanı, olay yerinin üç boyutlu kayıt araçları ile taranması sonrasında elde edilen mekansal verinin farklı adli analizlerin yer aldığı bütünsel bir yeniden yapılandırma sürecinde kullanılması olacaktır. Yine literatürde ayakkabı izlerinin üç boyutlu şekilde kayıt altına alınmasına dair farklı çalışmalar olsa da, Apple cihaz ve farklı iOS uygulamalarının ayakkabı izlerindeki tarama hassasiyeti ve doğruluğunun karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Araştırmamızın ilk aşamasında, olay yerinde bulunan veya mukayese için oluşturulan bir ayakkabı izi kayıt altına alınırken kullanılabilecek en hassas ve doğru kayıt aracı ve teknolojinin hangisi olduğu araştırılmıştır. Bu kapsamda, LiDAR tarayıcı içeren bir tablet ile üç farklı mobil uygulamanın tarama hassasiyeti ve doğruluklarının bir ayakkabı izi üzerinden karşılaştırılması planlanmıştır. Yine ayakkabı izi üzerinden 3D Scanner App uygulaması ile yapılan LiDAR ve Photogrammetry taramalarının tarama doğruluğu, fiziksel detay yakalama kapasitesi ve işleme zamanları karşılaştırılmıştır. Araştırma için aşağıdaki hipotezler kurulmuştur:

1- 3D Scanner App, MetaScan ve Recon3D uygulamaları ile yapılan LiDAR taramalarının ölçüm doğrulukları arasında anlamlı bir fark vardır.

2- 3D Scanner App uygulamasının LiDAR ve Photogrammetry taramaları arasında ölçüm doğruluğu bakımından anlamlı bir fark vardır.

3- 3D Scanner App uygulamasının LiDAR ve Photogrammetry taramaları arasında fiziksel detay yakalama kapasitesi bakımından anlamlı bir fark vardır.

4- 3D Scanner App uygulamasının LiDAR ve Photogrammetry taramaları arasında işleme zamanı (process time) bakımından anlamlı bir fark vardır.

Araştırmamızın ikinci bölümünde ise iç ve dış mekanlarda geniş ölçekli şekilde taramalar yapılmış ve geniş alanlar kayıt altına alınırken kullanılacak en hassas ve doğru kayıt aracı ve teknolojinin hangisi olduğu araştırılmıştır. Ayakkabı izi taraması ile elde edilen sonuçlar, geniş alan taramaları ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak, farklı koşullar altında ölçüm doğruluğu açısından fark olup olmadığının araştırılması amaçlanmıştır.

Araştırmamızın son aşamasında, dış mekanda bir otomobile ateşli silahla ateş edilmesi olayına dair kurgusal bir olay yeri sahnesi hazırlanmıştır. Dış mekanda en optimum sonuçları veren uygulama ile geniş bir olay yeri taraması yapılarak, kayıt altına alınan olay yeri ve bulguların, dinamik bir olay yeniden yapılandırmasında kullanılırken takip edilmesi gereken aşamaların araştırılması amaçlanmıştır. Olay yeri sahnesi içerisinde mermi yolu analizi yapabilmek için Bullet Trajectory Creator adında bir Blender Add-on'u geliştirilmiştir. Ayakkabı izi eşleştirmesi ile tespit edilen potansiyel şüphelinin fiziksel özellikleri ve çevresel bulgular Bullet Trajectory Creator'a girilerek tahmini atış yörüngesi oluşturulmuş, tek bir mekansal veri üzerinde yeniden yapılandırma sürecinin tamamlanması olanakları araştırılmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

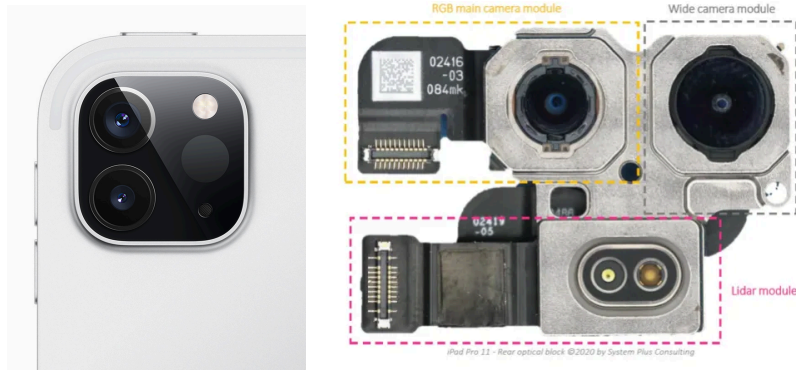
2.1. Araştırma Araçları

2.1.1. Tarama Cihazı (Tablet)

Araştırmamızda, LiDAR tarayıcı içeren Apple marka bir tablet kullanılmıştır. iPad Pro (2. Nesil) marka tabletin ekran boyutu 11 inç olup 128 GB dahili kapasiteye sahiptir (Apple, 2024).

Çizelge 2.1. iPad Pro (2. Nesil) özellikleri

iPad Pro (2. Nesil) 11 inç	Özellikler
Çip	64 bit mimariye sahip A12Z Bionic çip, Neural Engine, Tümleşik M12 yardımcı işlemci
İşletim Sistemi	iPadOS 18.0.1
Kamera	Geniş: 12 MP, $f/1.8$ diyafram Ultra Geniş: 10 MP, $f/2.4$ diyafram ve 125° görüş alanı 2 kat optik uzaklaştırma; 5 kata kadar dijital zoom Beş bileşenli lens (Geniş ve Ultra Geniş)
Sensörler	Face ID; LiDAR Tarayıcısı ; Üç eksenli jiroskop; İvmeölçer ; Barometre; Ortam ışığı sensörü



Şekil 2.1. İpad Pro 2020 Kamera ve LiDAR Sensör Grubu (Patterson vd., 2020)

2.1.2. Üç Boyutlu Tarama Uygulamaları

2.1.2.1 3D Scanner App (v2.1.3)

3D Scanner App, LiDAR tarayıcı içeren Apple ürünleri için geliştirilmiş olan bir iOS uygulamasıdır. Mekansal tarama için farklı birçok tarama moduna sahip olup kullanılacak olan tarama modu seçildikten sonra kameranın taranacak ortama ve nesnelere yöneltilmesi yeterlidir. LiDAR tarama sonuçları cihaz üzerinde, Photogrammetry taramaları ise cloud ortamında ya da bilgisayarda işlenmektedir. Uygulama içerisindeki tüm modlar ve özellikler ücretsiz olarak sunulmaktadır (3D Scanner App, 2024).

Çizelge 2.2. 3D Scanner App (v2.1.3) özellikleri

Tarama Modları	LiDAR Hassasiyeti	Process (Texture+ Detail)	Ölçüm Seçenekleri	Tarama Video Kaydı	Çıktı Dosya Türü
LiDAR LiDAR Advanced PointCloud Photogrammetry TrueDepth RoomPlan	Depth 0.3-5.0 metre Resolution 5mm - 50mm Confidence Low Medium High	HD Fast Custom	Uzunluk Alan Hacim (Volume)	VAR	.OBJ .GLTF .GLB .STL Point Cloud (PCD, PLY, PTS, XYZ,LAS, e57) .DAE .FBX

2.1.2.2 MetaScan (v2.9.7)

Metascan, iOS 15 veya üzeri işletim sistemine sahip 2015 ve sonraki tüm iPhone veya iPad'leri desteklemekte olan bir mekansal tarama uygulamasıdır. LiDAR modunda kullanım için LiDAR tarayıcıya sahip bir cihaz gerekmektedir. Tarama sonuçları cihaz üzerinde işlenmektedir. Uygulamayı ücretsiz olarak kullanabilmek mümkün olup, gelişmiş özellikleri için aylık veya yıllık üyelik planı satın alınması gerekmektedir (Metascan, 2024).

Çizelge 2.3. MetaScan (v2.9.7) özellikleri

Tarama Modları	LiDAR Hassasiyeti	Process (Texture+Detail)	Ölçüm Seçenekleri	Tarama Video Kaydı	Çıktı Dosya Türü
LiDAR Photogrammetry	15mm	Fast (30mm grid -medium resolution) Standart (20mm grid -high resolution) Pro - Ücretli (15mm grid -full resolution)	Uzunluk	VAR	Ücretsiz .USDZ Ücretli .OBJ .GLTF .STL .FBX Point Cloud (PLY, XYZ,LAS)

En iyi tarama sonuçları için; aydınlık, iyi aydınlatılmış alanların seçilmesi, kamera lenslerinin temiz olduğundan emin olunması, taramaya başlamadan önce lenslerin bir bezle silinmesi, taramaya başlamadan önce izlenen özellik noktalarının (renkli noktalar) sabit görüldüğünün kontrol edilmesi, tarama yapılan yüzey ile 50-30 cm mesafe bırakılması, çok hızlı hareket edilmemesi, şeffaf, parlak veya yansıtıcı yüzeylerin taranmasından kaçınılması tavsiye edilmektedir (Metascan, 2024).

2.1.2.3 Recon 3D (v1.9.3)

Recon 3D, LiDAR tarayıcıya sahip iPhone veya iPad'leri desteklemekte olan bir iOS uygulamasıdır. Mekansal veriye ihtiyaç duyulan her alanda kullanabilme olanağı sunan uygulamanın hedef kullanım alanı ise olay yeri incelemeleri olarak ifade edilmektedir. Fotogrametri moduna da sahip olan uygulama, 200 adede kadar fotoğraf veya 10 adede kadar video yüklemeye olanak tanımaktadır. Tarama sonuçları cihaz veya bulut üzerinde (ücretli) işlenebilir. Taramalar yalnızca e57 formatında nokta bulutu verileri olarak dışa aktarılır. Uygulamanın ücretsiz versiyonu sınırlı tarama zamanı (30 sn) ve 10 kere tarama yapabilme/işleyebilme olanağı sunmakta olup, gelişmiş özellikleri için aylık veya yıllık üyelik planı satın alınması gerekmektedir (Recon-3D, 2024).

Çizelge 2.4. Recon 3D (v1.9.3) özellikleri

Tarama Modları	LiDAR Hassasiyeti	Process (Texture+Detail)	Ölçüm Seçenekleri	Tarama Video Kaydı	Çıktı Dosya Türü
LiDAR Photogrammetry	Resolution 1mm-30mm Depth 1-30 m	Resolution 1mm-30mm	YOK	VAR	.e57

2.1.3. Mekansal 3B Veri İşleme ve Dönüştürme Uygulamaları

2.1.3.1. CloudCompare

CloudCompare, üç boyutlu nokta bulutlarını ve mesh yapılarını işlemek için geliştirilen açık kaynak kodlu, ücretsiz bir uygulamadır (CloudCompare, 2024). Recon3D uygulaması ile yapılan taramalar yalnızca e57 formatında nokta bulutu verileri olarak dışa aktarılmakta olup verinin ölçümü için aracı programlar kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda e57 formatında nokta bulutu verilerinin ölçümünde CloudCompare v.2.13.2 uygulaması kullanılmıştır.

2.1.3.2. MeshLab

MeshLab, üç boyutlu üçgen ağları işleme ve düzenleme için geliştirilmiş açık kaynak kodlu, ücretsiz bir uygulamadır. Üç boyutlu ağları düzenleme, temizleme, iyileştirme, inceleme, işleme, dokulandırma ve dönüştürme için bir dizi araç sağlar. Üç boyutlu sayısallaştırma araçları/cihazları tarafından üretilen ham verileri işlemek için kullanılmaktadır (MeshLab, 2024). Özellikle nokta bulutu verileri içerdikleri renk bilgisini noktalar üzerinde tuttıkları için tam anlamı ile bir doku/texture yapısına sahip değildirler. Recon3D uygulaması ile yapılan taramalar yalnızca e57 formatında nokta bulutu verilerinden oluşmaktadır, bu kapsamda modele doku özelliği kazandırılması ve .OBJ gibi işlenebilir bir formata çevrilmesi için açık kaynaklı MeshLab 2023.12 uygulaması kullanılmıştır.

2.1.3.3. Blender (3.4.0.)

Blender, ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir üç boyutlu ortam geliştirme uygulamasıdır. Üç boyutlu modelleme, animasyon, simülasyon, işleme, birleştirme, hareket izleme, video düzenleme ve oyun oluşturma gibi çok farklı işlemleri desteklemektedir. Uygulamayı özelleştirmek ve özel araçlar (add-ons) geliştirmek için Blender'ın Python betiği API'sini kullanmak mümkündür (Blender, 2024). Mobil tarama uygulamalarından alınan çıktıları karşılaştırmak ve kurgusal bir olay yeri senaryosunda mermi yolu analizinde kullanacağımız Bullet Trajectory Creator Add-on'u geliştirmek için Blender 3.4.0. uygulaması kullanılmıştır.

2.1.4 İstatistiksel Analiz Uygulamaları

İstatistiksel analiz için; IBM SPSS Statistics (2024) programı ve alternatif olarak Python programlama dili ile yazılmış olan açık kaynak kodlu *Scipy* kütüphanesinin *stats* modülü kullanılmıştır (PyCharm ortamında).

2.2. Yöntem

Araştırmamızın ilk aşamasında ayakkabı izini çıkaracağımız deney ortamı oluşturulmuştur. İzin belirgin olması için alçı tozu kullanılmış, bu amaçla 32x42 cm yarı saydam plastik bir kutu içerisine 3 kg alçı tozu dökülmüştür. Alçı tozunun yüzeye orantılı şekilde dağılması sağlanmış sonrasında 44 numara bir spor ayakkabının sol teki ile yüzeyde 29.5 cm uzunluğunda bir ayakkabı izi oluşturulmuştur. Deney ortamına, izi bozmayacak şekilde, ölçekleme için kullanılacak olan iki cetvel (L-Siyah ve Standart) yerleştirilmiştir.



Şekil 2.2. Alçı tozunda oluşturulmuş ayakkabı izi

Deney ortamı hazırlandıktan sonra; ayakkabı izi 3D Scanner App, MetaScan ve Recon3D uygulamaları ile 20'şer kez LiDAR taraması ile taranmıştır. 3D Scanner App uygulaması ile 20 kez de Photogrammetry modunda tarama gerçekleştirilmiştir. Taramalar uygulamaların izin verdiği en yüksek hassasiyette, yeterli ışık seviyesinde, yaklaşık 50 cm uzaklıktan yapılmıştır. Tarayıcı ekranında taranmamış alan kalmayana kadar tarama işlemine devam edilmiştir. LiDAR taramaları uygulama aracılığı ile tablet üzerinde işlenmiş ve üç boyutlu modeller oluşturulmuştur. Photogrammetry taramaları ise uygulama üzerinden bilgisayara aktarılmış ve bilgisayarda işlenmiştir. Bu işlemler sırasında her ölçüm için tarama zamanı ve işleme zamanı bilgileri ayrı ayrı kaydedilmiştir.

Oluşturulan üç boyutlu modellerde, 3D Scanner App ve MetaScan uygulamalarındaki dahili uzunluk ölçümü özelliği kullanılarak ayakkabı izinin topuktan uç noktasına kadar olan uzunluğu ölçülmüştür. Recon3D uygulaması dahili ölçüm özelliği içermediği için .e57 formatında nokta bulutu şeklinde alınan çıktılar CloudCompare programına aktarılmış ve ölçüm yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. 3D Scanner App uygulaması ile yapılan LiDAR ve Photogrammetry taramaları açısından ise; tarama doğrulukları, fiziksel detay yakalama kapasitesi ve işleme zamanına dair veriler arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Tarayıcıların fiziksel detay yakalama kapasitelerini görsel anlamda karşılaştırmak için modeller eş zamanlı şekilde Blender ortamına aktarılmış ve incelenmiştir. Recon3D uygulaması sadece .e57 formatında nokta bulutu şeklinde çıktı verdiği için nokta kümesi önce MeshLab programına aktarılmış, ardından nokta bulutu üzerindeki renk bilgisi dokuya aktarılarak .OBJ formatına dönüştürülmüştür. Sayısal karşılaştırılma için ise modeller üzerindeki Vertices (tepe noktası) sayılarının ortalamalarına bakılmıştır.

Uygulamaların geniş ölçekli iç mekan tarama performanslarını karşılaştırmak için, mutfak ve balkon alanlarının kullanıldığı kurgusal bir olay yeri sahnesi hazırlanmıştır. Kırmızı renkli gıda boyası ile temsili kan lekeleri oluşturulmuş ve her uygulama ile ayrı ayrı bütünsel taramalar yapılmıştır. Tarama sonuçları görsel özellikleri üzerinden karşılaştırılmıştır.

Uygulamaların geniş ölçekli dış mekan tarama performanslarını karşılaştırmak için Fiat Sedici marka (2007 model) bir otomobil kullanılmıştır. Park halindeki otomobilin sol arka ve sağ ön camına mermi giriş çıkış deliklerini temsilen kare şeklinde bantlar yerleştirilmiş, her uygulama ile ayrı ayrı bütünsel taramalar yapılmıştır. Tarama sonuçları görsel özellikleri üzerinden karşılaştırılmış aynı zamanda tarafımızca geliştirilen Bullet Trajectory Creator Add-on ile Blender ortamında mermi yolu analizi uygulaması yapılmıştır.

3. BULGULAR

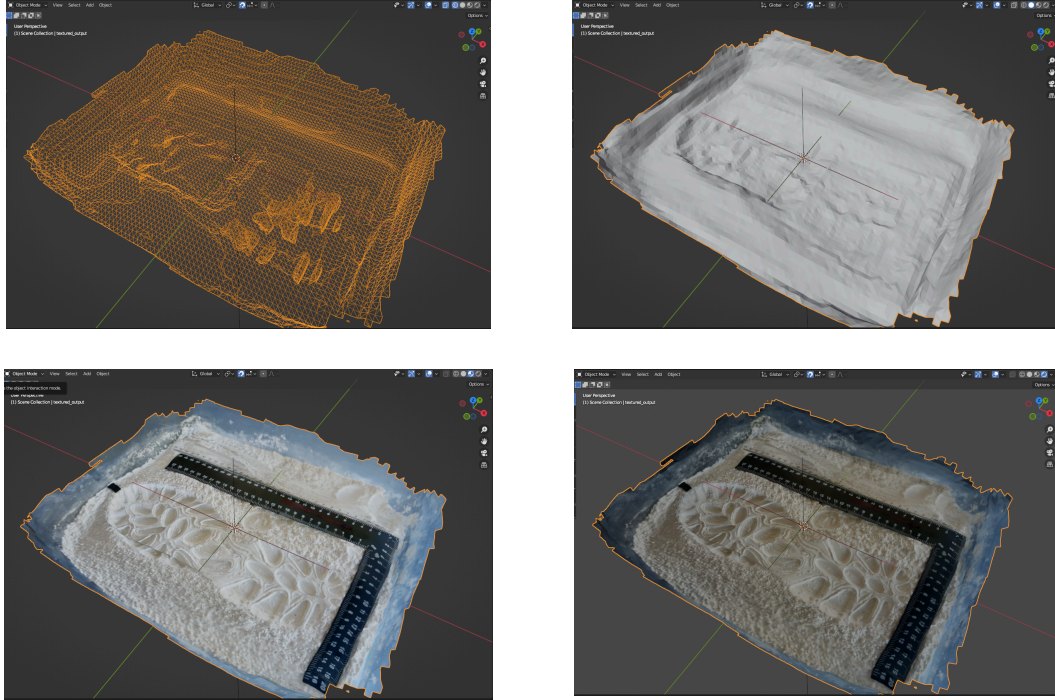
3D Scanner App, MetaScan ve Recon3D uygulamaları ile kaydedilen üç boyutlu mekansal veri üzerinden yapılan ölçüm sonuçları ile tarama ve işleme sırasında toplanan diğer bilgiler aşağıda sunulmuştur.

3.1. Tarama Sonuçları

3.1.1. 3D Scanner App Tarama Sonuçları

3.1.1.1. Ayakkabı İzi (3D Scanner App-LiDAR)

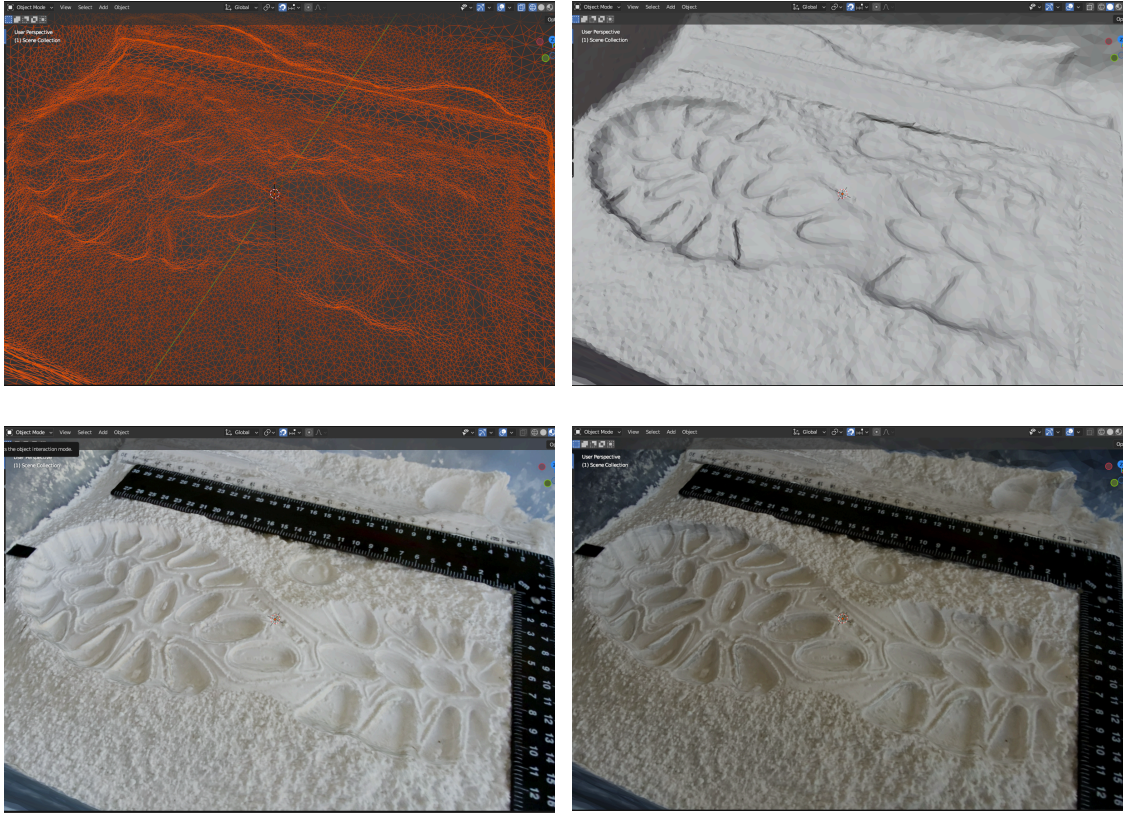
3D Scanner App uygulaması ile LiDAR Advance tarama modunda, en yüksek hassasiyet (5 mm resolution, 0.4 m depth) ayarlarında yapılan tarama sonuçları Ek 1’de örnek tarama gösterimi ise Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. 3D Scanner App uygulaması ile yapılan LiDAR tarama sonucunun Blender uygulamasının Wireframe (sol üst), Solid (sağ üst), Material Preview (sol alt), Rendered (sağ alt) modlarında gösterimi.

3.1.1.2. Ayakkabı İzi (3D Scanner App-Photogrammetry)

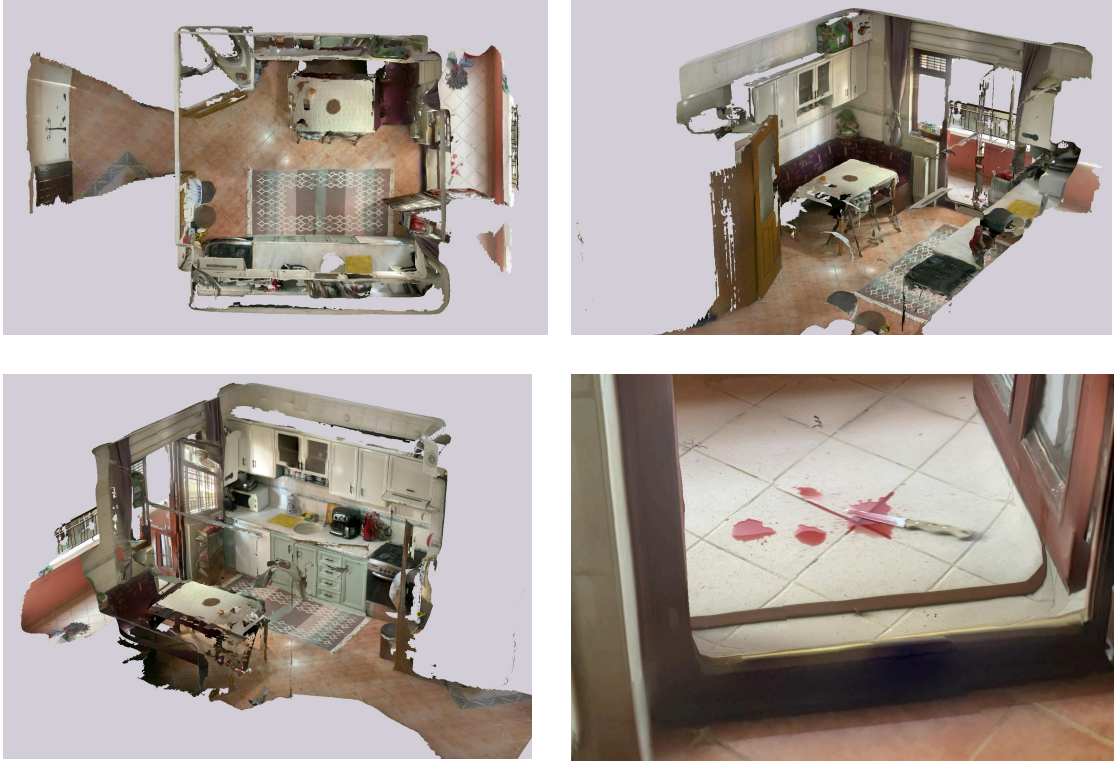
3D Scanner App uygulaması ile Photogrammetry tarama modunda yapılan tarama sonuçları Ek 2.'de örnek tarama gösterimi ise Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. 3D Scanner App uygulaması ile yapılan Photogrammetry tarama sonucunun Blender uygulamasının Wireframe (sol üst), Solid (sağ üst), Material Preview (sol alt), Rendered (sağ alt) modlarında gösterimi.

3.1.1.3. İç Mekan (3D Scanner App-LiDAR)

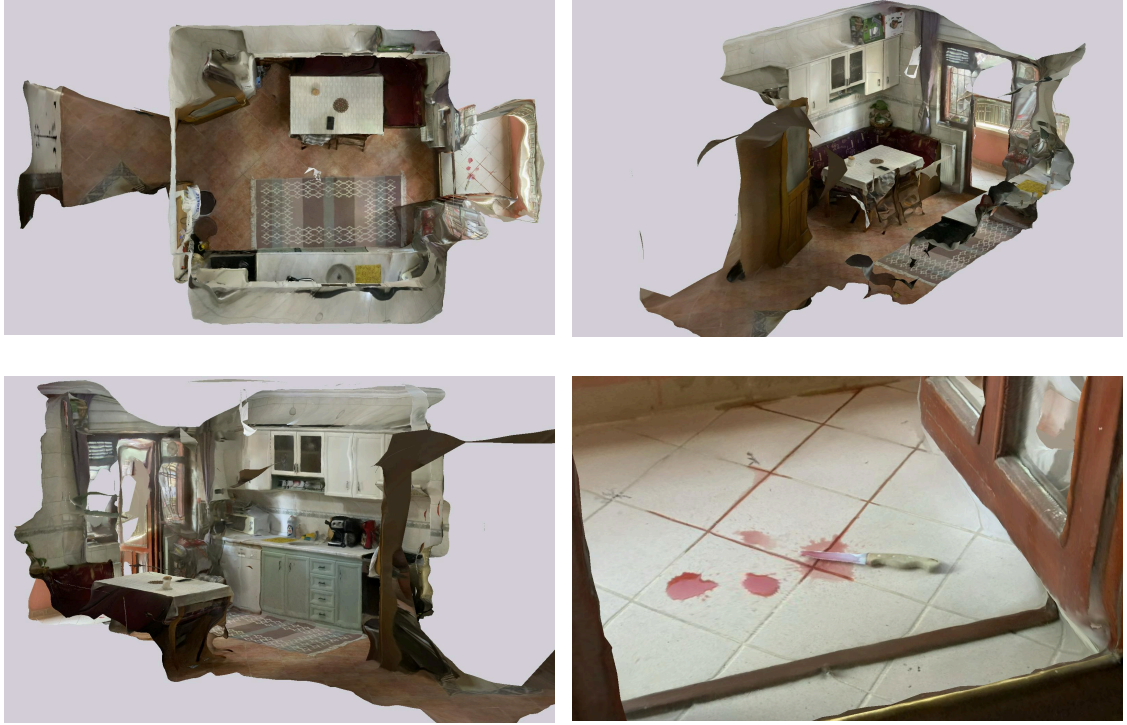
3D Scanner App uygulaması ile Advance LiDAR modunda 30 mm hassasiyet ile yapılan iç mekan kurgusal olay yeri taramasının sonuçları Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. 3D Scanner App iç mekan LiDAR tarama sonuçları (Tarama zamanı: 3 dk, İşleme zamanı: 34 sn, 215000)

3.1.1.4. İç Mekan (3D Scanner App-Photogrammetry)

3D Scanner App uygulaması ile Photogrammetry modunda yapılan iç mekan kurgusal olay yeri taramasının sonuçları Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. 3D Scanner App iç mekan Photogrammetry tarama sonuçları (Tarama süresi: 4 dk 15 sn, İşleme süresi: 16 dk, 56000 vertices)

3.1.1.5. Dış Mekan - Otomobil (3D Scanner App-LiDAR)

3D Scanner App uygulaması ile Advance LiDAR modunda 5-10-20-30-40-50 mm hassasiyet ile dış mekan otomobil taramaları yapılmıştır. Tarama işlemine dair bilgiler ve elde edilen bulgular Çizelge 3.1.'de, 5 mm hassasiyet ile yapılan otomobil taraması sonuçları ise Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. 3D Scanner App uygulaması ile yapılan dış mekan taramalarına dair bilgiler

Hassasiyet	Vertices	Tarama Süresi	İşleme Süresi	Dosya Formatı	Dosya Boyutu
5 mm	732752	2 dk 8 sn	1 dk 54 sn	.OBJ	28.3 MB
10 mm	386201	2 dk 13 sn	1 dk 26 sn	.OBJ	17.2 MB
20 mm	108235	2 dk 6 sn	35 sn	.OBJ	7 MB
30 mm	57933	1 dk 56 sn	17 sn	.OBJ	5.4 MB
40 mm	28153	2 dk 7 sn	14 sn	.OBJ	5.1 MB
50 mm	18592	2 dk 10 sn	11 sn	.OBJ	4.1 MB



Şekil 3.5. 3D Scanner App 5mm hassasiyet ile dış mekan otomobil LiDAR tarama sonuçları

3.1.1.6. Dış Mekan - Otomobil (3D Scanner App-Photogrammetry)

3D Scanner App uygulaması ile Photogrammetry modunda yapılan dış mekan otomobil taramasının sonuçları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

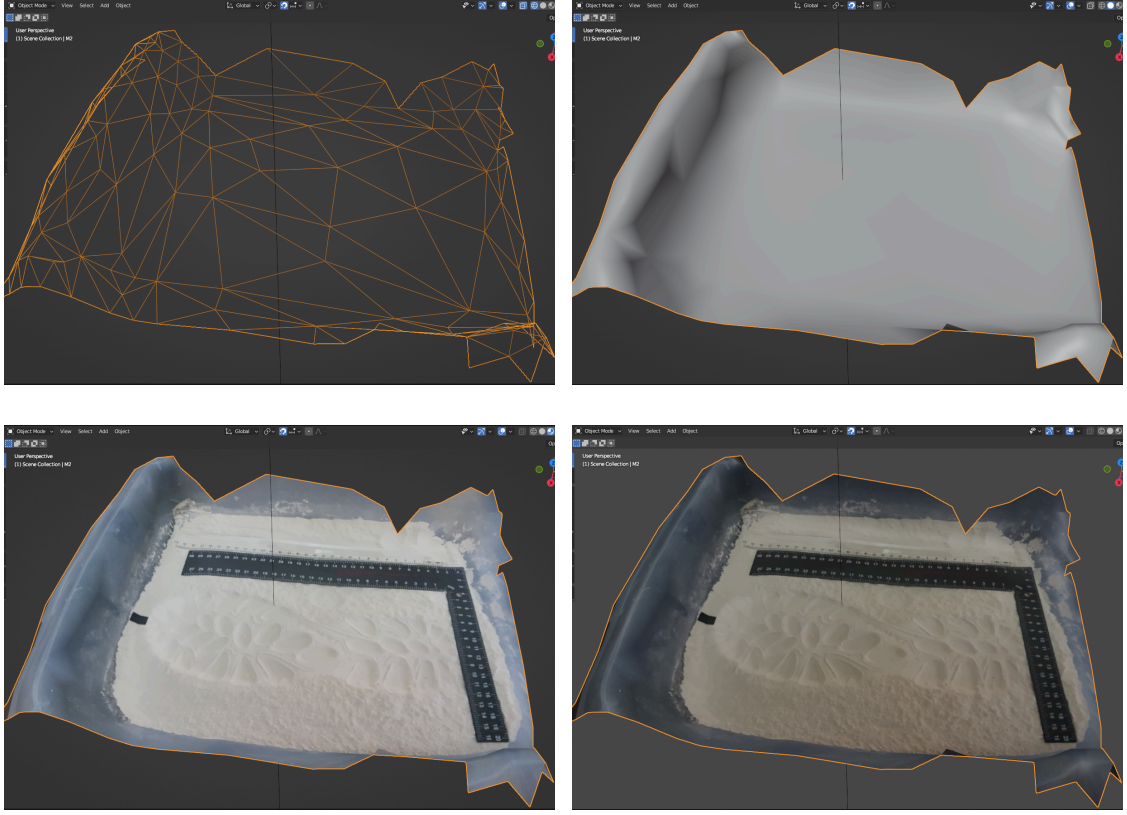


Şekil 3.6. 3D Scanner App dış mekan otomobil Photogrammetry tarama sonuçları (Tarama süresi: 2 dk 15 sn, işleme süresi: 13 dk, 50484 vertices)

3.1.2. MetaScan Tarama Sonuçları

3.1.2.1. Ayakkabı İzi (MetaScan)

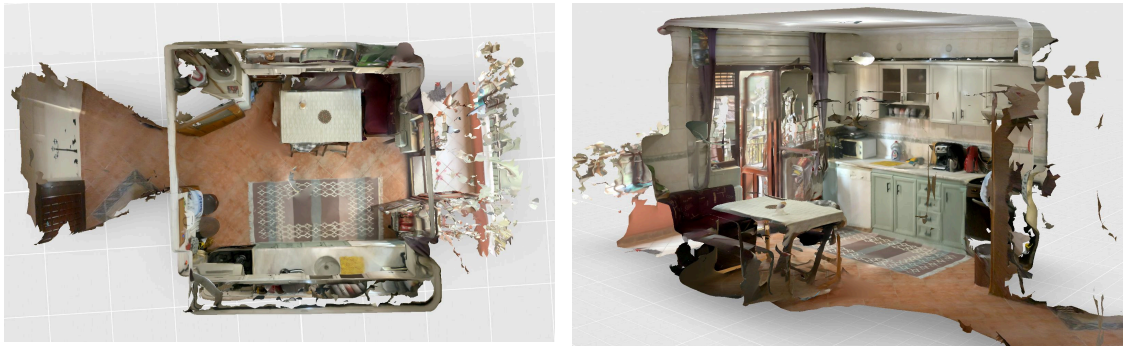
MetaScan uygulaması ile LiDAR tarama modunda, en yüksek hassasiyet (20 mm resolution) ayarında yapılan tarama sonuçları Ek 3'te örnek tarama gösterimi ise Şekil 3.7.'de gösterilmektedir.

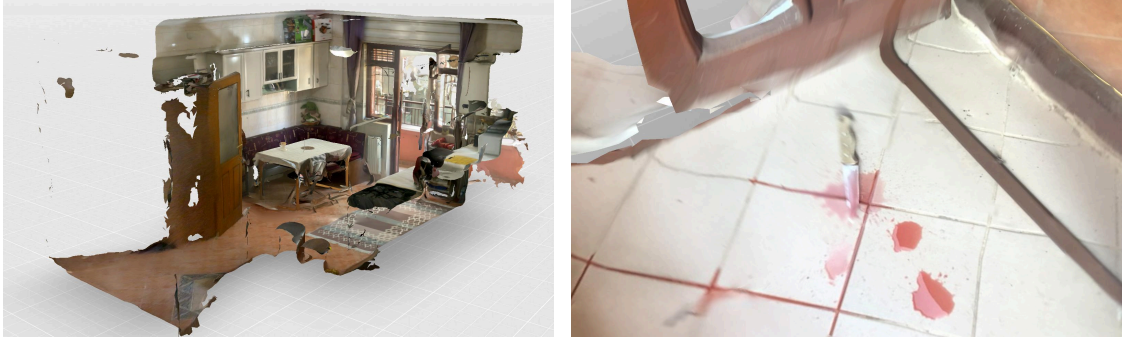


Şekil 3.7. MetaScan uygulaması ile yapılan LiDAR tarama sonucunun Blender uygulamasının Wireframe (sol üst), Solid (sağ üst), Material Preview (sol alt), Rendered (sağ alt) modlarında gösterimi.

3.1.2.2. İç Mekan (MetaScan)

MetaScan uygulaması ile LiDAR tarama modunda, en yüksek hassasiyet (20 mm resolution) ayarında yapılan iç mekan kurgusal olay yeri taramasının sonuçları Şekil 3.8.'de gösterilmektedir.





Şekil 3.8. MetaScan iç mekan LiDAR tarama sonuçları (Tarama süresi: 3 dk 10 sn, işleme süresi: 30 sn, 44000 vertices)

3.1.2.3. Dış Mekan - Otomobil (MetaScan)

MetaScan uygulaması LiDAR tarama modunda, en yüksek hassasiyet (20 mm resolution) ayarında yapılan iç mekan kurgusal olay yeri taramasının sonuçları Şekil 3.9.'da gösterilmektedir.

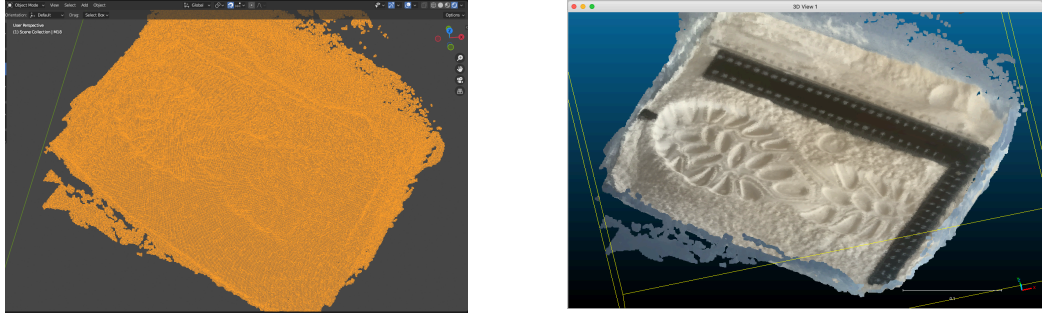


Şekil 3.9. MetaScan dış mekan otomobil LiDAR tarama sonuçları (Tarama süresi: 2 dk 05 sn, işleme süresi 34 sn, 31224 vertices)

3.1.3. Recon 3D Tarama Sonuçları

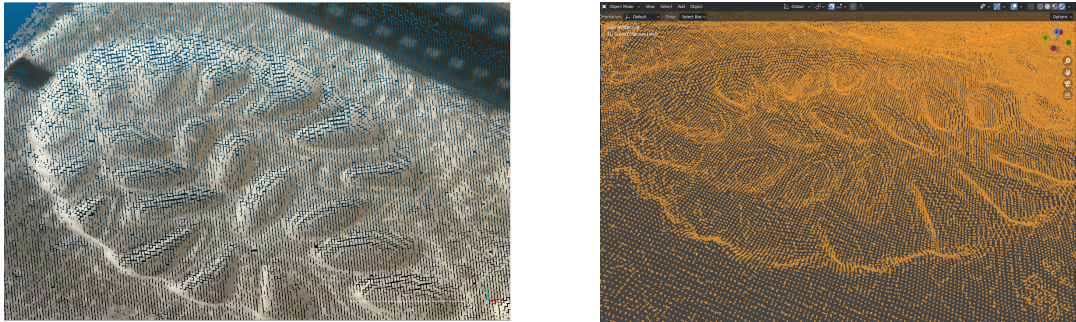
3.1.3.1. Ayakkabı İzi (Recon 3D)

Recon 3D uygulaması ile LiDAR tarama modunda, en yüksek hassasiyet (0,1 cm resolution ve 1m depth) ayarında yapılan tarama sonuçları Ek 4.'te, örnek tarama sonucu ise Şekil 3.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Recon 3D uygulaması ile yapılan LiDAR tarama sonucu-Blender (solda), CloudCompare uygulaması ile renkli nokta bulutu şeklinde gösterimi (sağda).

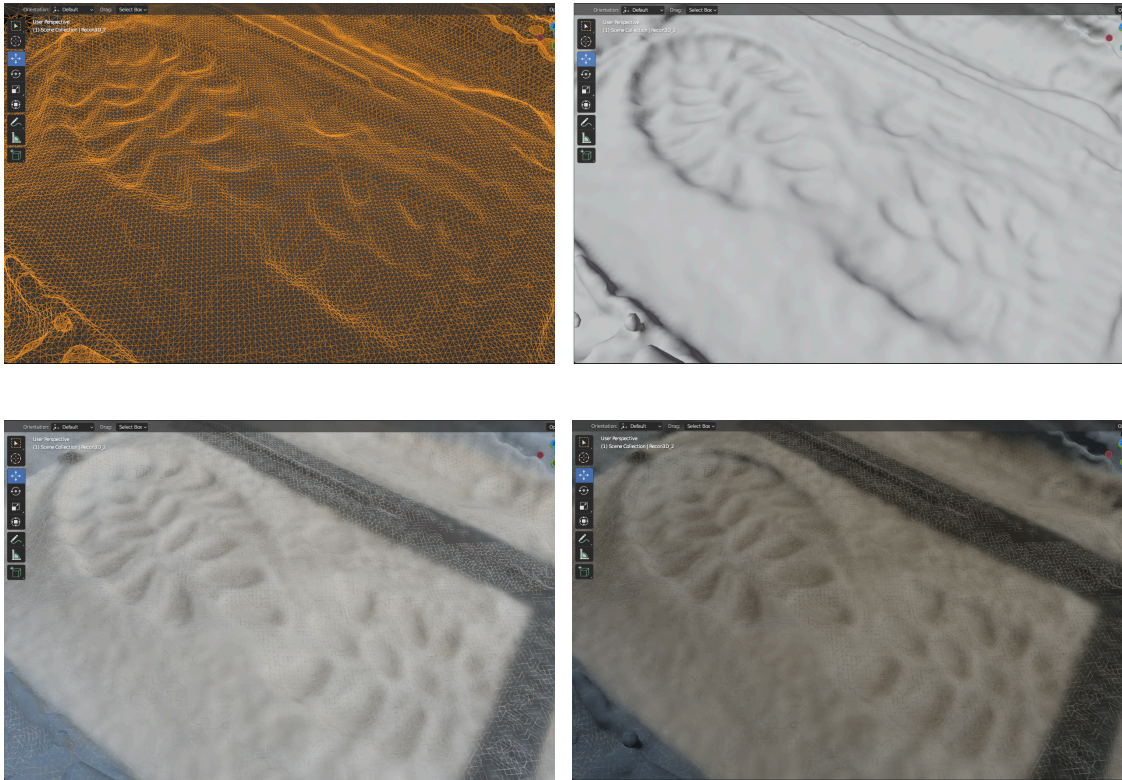
Recon 3D uygulaması ile yapılan LiDAR taramaları neticesinde oluşan nokta bulutlarındaki renk bilgisinin her nokta üzerinde ayrı ayrı taşındığı ve bütüncül bir doku (texture) yapısına sahip olmadığı fark edilmiştir. Nokta bulutu yapısına sahip .e57 formatının .OBJ gibi daha genel kullanım imkanı sunan formatlara çevrilmesi durumunda noktalar üzerinde taşınan renk bilgisinin yeni oluşturulan modele aktarılamadığı görülmüştür.



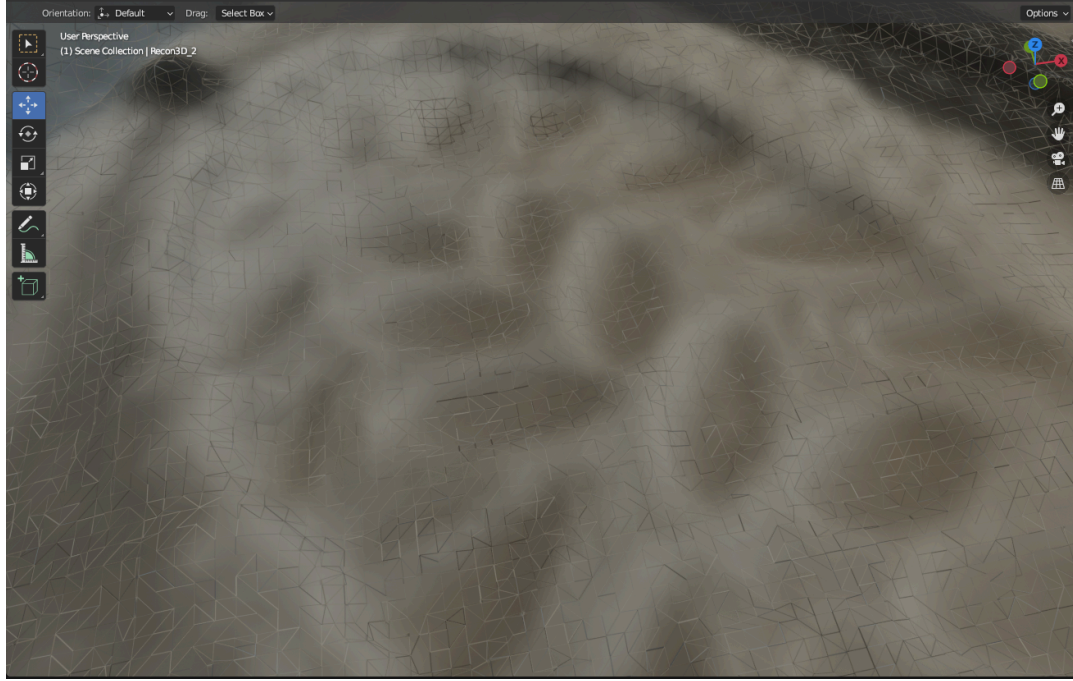
Şekil 3.11. e57 formatındaki nokta bulutu kümesinin CloudCompare uygulaması ile yakın plan gösterimi (solda), Blender-Rendered modunda yakın plan gösterimi (sağda).

Nokta bulutu yapısındaki renk bilgisini, farklı formattaki modellere aktarabilmek için MeshLab programı kullanılmıştır. MeshLab programı ile önce mesh yapısı oluşturulmuş, sonrasında renk bilgisi doku (texture) olarak mesh yapısına aktarılmıştır. İşlem sırasında; Point Cloud Simplification > Screened Poisson Surface Reconstruction > Per Vertex Texture Function > Convert PerVertex UV into PerWedge UV > Convert PerVertex UV into PerWedge UV > Parametrization: trivial Per-triangle > Vertex Color to Texture adımları takip edilmiştir (Shubhamwagh, 2024).

Nokta bulutu kümesinin mesh yapısına çevrilip renk bilgisinin doku olarak aktarılması sonucunda elde edilen çıktılar Şekil 3.12. ve Şekil 3.13.'te gösterilmektedir.



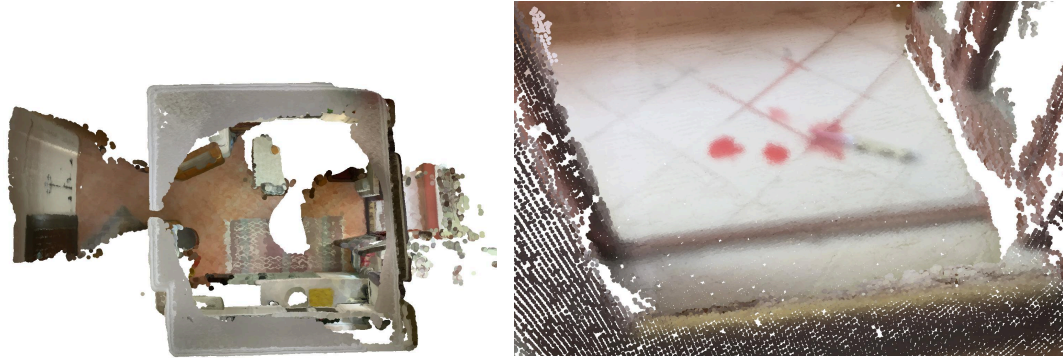
Şekil 3.12. MeshLab ile işlenmiş Recon 3D LiDAR tarama sonucunun Blender uygulamasının Wireframe (sol üst), Solid (sağ üst), Material Preview (sol alt), Rendered (sağ alt) modlarında gösterimi



Şekil 3.13. MeshLab ile işlenmiş Recon 3D LiDAR tarama sonucunun Blender uygulamasının Material Preview modunda yakın plan gösterimi.

3.1.3.2. İç Mekan (Recon 3D)

Recon 3d uygulaması ile LiDAR tarama modunda, 5 mm resolution ayarında yapılan iç mekan kurgusal olay yeri taramasının sonuçları Şekil 3.14.'te gösterilmektedir.





Şekil 3.14. Recon 3D iç mekan LiDAR taraması 1 (Tarama süresi: 30 sn, işleme süresi: 4 dk, 2.420.238 points)

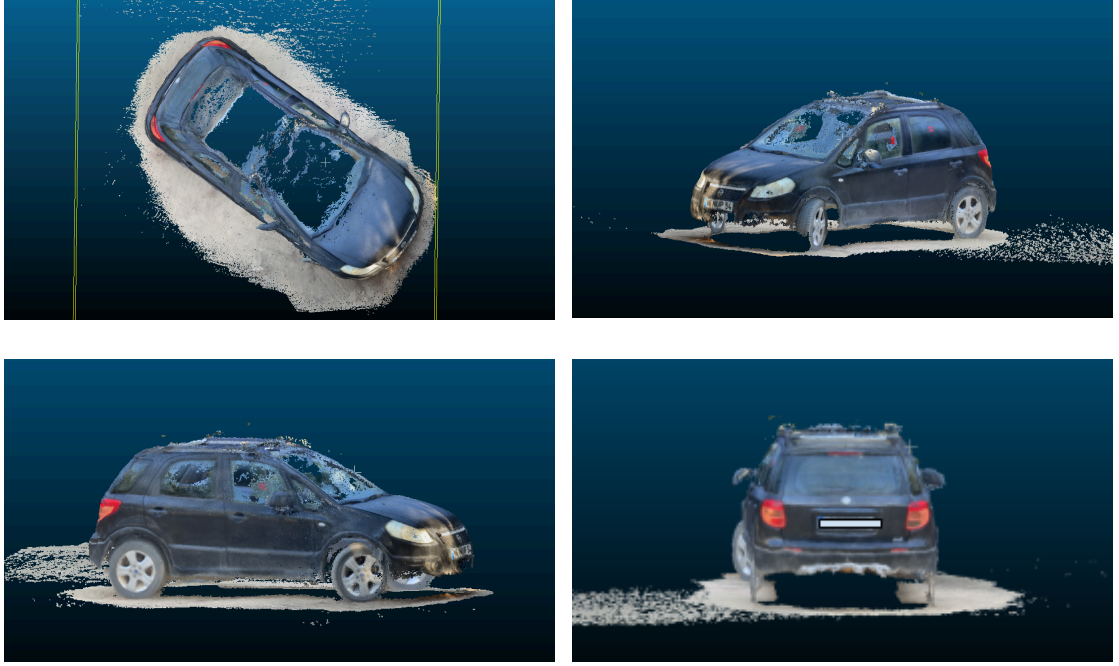
Uygulamanın ücretsiz sürümü 30 saniyelik tarama imkanı sağladığı için ilk denemede iç mekan tam olarak taranamamış bu sebeple daha dar alanda ikinci bir tarama yapılmıştır. Recon 3d uygulaması ile LiDAR tarama modunda, 5 mm resolution ayarında yapılan ikinci iç mekan kurgusal olay yeri taramasının sonuçları Şekil 3.15'te gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Recon 3D iç mekan LiDAR taraması 2 (Tarama süresi: 30 sn, işleme süresi: 4 dk, 828.659 points)

3.1.3.3. Dış Mekan - Otomobil (Recon 3D)

Recon 3d uygulaması ile LiDAR tarama modunda, 5 mm resolution ayarında yapılan dış mekan otomobil taramasının sonuçları Şekil 3.16.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Recon 3D dış mekan-otomobil LiDAR taraması (Tarama süresi: 30 sn, işleme süresi: 3 dk, 1.352.339 points)

3.2. Analiz

3D Scanner App (5 mm), MetaScan (20 mm) ve Recon 3D (1 mm) uygulamaları ile yapılan ayakkabı izi (29.5 cm) taramalarında toplanan verilere ilişkin ortalamalar Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Ayakkabı izi taramaları ile toplanan verilerin ortalamaları

Uygulamalar	N	Uzunluk Ortalaması (CM)	Hata Ortalaması (CM)	Vertices / Points Ort.	Face Ort.	Tarama Süresi Ort. (SN)	İşleme Süresi Ort. (SN)
3D Scanner (L)	20	29.692	+0.192	8240	14400	11	3
MetaScan	20	29.765	+0.265	182	259	8	4
Recon3D	20	29.469	-0.031	180128	—	23	55
3D Scanner (P)	20	119.65	+90.15	28514	50000	24	126

Not. Ölçümlemeden kaynaklı olası hata payını kontrol etmek için birer örnek tarama beşer kez ölçülmüş ve 3D Scanner (L) = +/- 0,09 cm, MetaScan = +/- 0,10 cm, Recon 3D = +/- 0,07 cm, 3D Scanner (P) = +/- 0,46 cm hata payına sahip olduğu hesaplanmıştır.

3.2.1. LiDAR Tarama Hassasiyetleri ve Doğruluklarının Karşılaştırılması (Ayakkabı İzi)

Ayakkabı izine dair LiDAR taramaları sonucunda elde edilen uzunluk ölçüm değerlerinin normal dağılım gösterdiği fakat Levene testine göre varyansların homojen dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Normallik varsayımı sağlanırken varyansların homojenliği varsayımının sağlanamaması nedeniyle uzunluk ölçüm sonuçlarına göre gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek için Welch testi yapılmıştır. Welch testi sonucunda gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür (Welch $F(2, 32.618) = 6.736$, $p < 0.05$). Test sonuçları Çizelge 3.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Ayakkabı izi uzunluk ölçümlerine dair Welch testi sonuçları

	Statistic	df1	df2	p
Welch	6.736	2	32.618	0.004

Grupların bağımsız ve sonuçların sürelilik varsayımını sağlıyor oluşu gözetilerek, normallik ve homojenlik varsayımı gerektirmeyen Kruskal Wallis H Testi de uygulanmış ve yine benzer şekilde gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür ($H(2)= 12.50, p<0.05$). Test sonuçları Çizelge 3.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Ayakkabı izi uzunluk ölçümlerine dair Kruskal Wallis H Testi sonuçları

Grup	N	\bar{X}	SS	Sıra Ort.	Kruskal Wallis H	
					X^2	p
3D Scanner	20	29.692	0.085	31.65		
MetaScan	20	29.765	0.138	39.63	12.50	0.002
Recon3D	20	29.469	0.340	20.23		

Hangi gruplar arasında anlamlı farklılık olduğunu tespit edebilmek amacıyla; sonuçların normal dağılması, varyansların homojen olmaması ve örneklem büyüklüklerinin eşit oluşu gözetilerek Dunnet T3 testi uygulanmıştır. Recon 3D uygulaması ile 3D Scanner App (-0.22) ve MetaScan (-0.29) uygulaması arasında anlamlı bir farklılık olduğu ($p<0.05$), 3D Scanner App ve MetaScan uygulamaları arasında ise anlamlı bir farklılık olmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Sonuçlar Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Gruplar arası farklılık için post-hoc karşılaştırması (Dunnet T3)

Uygulama	Uygulamalar	Ortalama Farkı	Standart Hata	p
3D Scanner (L)	MetaScan	-0.07	0.03	0.149
	Recon 3D	*0.22	0.07	0.028
MetaScan	3D Scanner (L)	0.07	0.03	0.149
	Recon 3D	*0.29	0.08	0.004
Recon 3D	3D Scanner (L)	*-0.22	0.07	0.028
	MetaScan	*-0.29	0.08	0.004

Not. Anlamlılık düzeyi, 0.05.

3.2.2. LiDAR ve Photogrammetry Ölçüm Doğruluklarının Karşılaştırılması (Ayakkabı İzi)

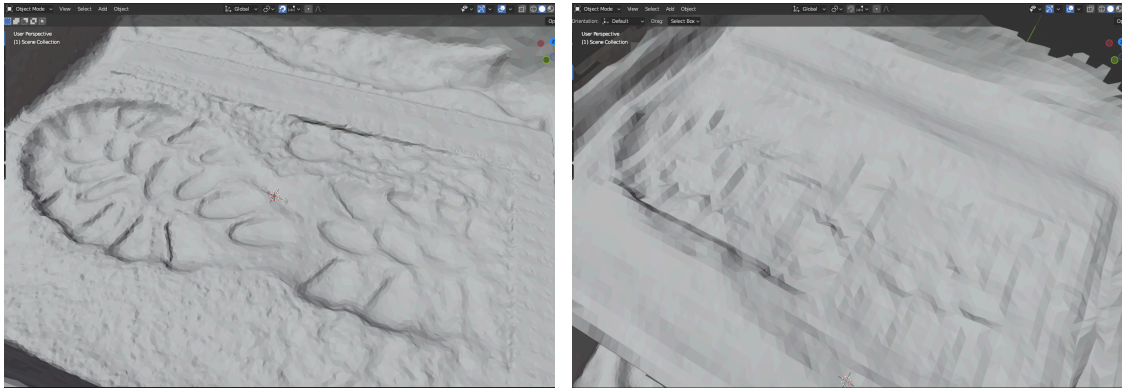
3D Scanner App ile yapılan LiDAR ve Photogrammetry taramalarının (ayakkabı izi) ölçüm sonuçları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek için Welch testi yapılmıştır. Gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir (Welch $F(1, 19.001) = 740.872$, $p < 0.05$). Sonuçlar Çizelge 3.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. LiDAR ve Photogrammetry uzunluk ölçümlerine dair Welch testi sonuçları

	Statistic	df1	df2	p
Welch	740.872	1	19.001	<0.001

3.2.3. LiDAR ve Photogrammetry Taramalarının Fiziksel Detay Yakalama Kapasitelerinin Karşılaştırılması (Ayakkabı İzi)

3D Scanner App ile yapılan LiDAR ve Photogrammetry taramaları sonucunda elde edilen üç boyutlu modeller incelendiğinde ayakkabı tabanındaki dış izlerinin Photogrammetry taramasında LiDAR taramasına kıyasla çok daha net bir şekilde yakalandığı gözlenmiştir.



Şekil 3.17. 3D Scanner App ile yapılan Photogrammetry taraması (solda) ve LiDAR taraması (sağda) karşılaştırmalı gösterimi (Photogrammetry= 28465 vertices, LiDAR= 9432 vertices).

3D Scanner App ile yapılan LiDAR ve Photogrammetry taramalarının (ayakkabı izi) fiziksel detay yakalama kapasitelerinin sayısal karşılaştırması için ise vertices (tepe noktaları) sayıları kullanılmıştır. Grupların normallik varsayımını karşıladığı fakat homojenlik varsayımını karşılamadığı görülmüştür. Gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek için Welch testi kullanılmıştır. Test sonucunda gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir (Welch $F(1, 29.879) = 7366.88, p < 0.05$). Sonuçlar Çizelge 3.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. 3D Scanner App LiDAR ve Photogrammetry fiziksel detay yakalama Welch testi sonuçları

	Statistic	df1	df2	p
Welch	7366.88	1	29.879	<0.001

3.2.4. LiDAR ve Photogrammetry Taramalarının İşleme Sürelerinin Karşılaştırılması (Ayakkabı İzi)

3D Scanner App ile yapılan LiDAR ve Photogrammetry taramalarının işleme süreleri karşılaştırılmıştır. Grupların normallik ve homojenlik varsayımını karşılamadığı görülmüştür. Gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek için Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Test sonucunda LiDAR (Mdn=3.00) ve Photogrammetry (Mdn=127.00) taramalarının işleme süreleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($U=0.00, z=-5.41, p<0.05, r=-1.21$). Sonuçlar Çizelge 3.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. 3D Scanner App Lidar ve Photogrammetry işleme süreleri Mann-Whitney U testi sonuçları

Uygulamalar	N	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	U	P
3D Scanner (L)	20	10.50	210	0.00	0.001
3D Scanner (P)	20	30.50	610		

3.2.5. LiDAR ve Photogrammetry İç Mekan Taramalarının Karşılaştırılması

3D Scanner App, MetaScan ve Recon3D uygulamaları ile yapılan LiDAR iç mekan taramaları ve 3D Scanner App ile yapılan Photogrammetry taramalarına dair karşılaştırmalı gösterimler Şekil 3.18.'de, tarama sonuçlarına dair sayısal veriler ise Çizelge 3.9.'da sunulmuştur.



Şekil 3.18. 3D Scanner App-LiDAR (1. Sıra), MetaScan-LiDAR (2. Sıra), Recon3D-LiDAR (3. Sıra) ve 3D Scanner App-Photogrammetry (4. Sıra) geniş ölçekli iç mekan tarama sonuçları

Çizelge 3.9. Geniş ölçekli iç mekan tarama sonuçları

Uygulamalar	Bıçak Uzunluğu	Hata (cm)	Vertices/ Points	Tarama Süresi	İşleme Süresi
3D Scanner (L)	24.02 cm	+0.32	215000	3 dk	34 sn
MetaScan	24.10 cm	+0.40	44000	3 dk 10 sn	31 sn
Recon3D	23.51 cm	-0.19	2420238	30 sn	4 dk
3D Scanner (P)	15.59 cm	-8.11	56000	4 dk 15 sn	16 dk

Not. Gerçek bıçak uzunluğu 23.70 cm olarak ölçülmüştür.

3.2.6. LiDAR ve Photogrammetry Dış Mekan Taramalarının Karşılaştırılması

3D Scanner App, MetaScan ve Recon3D uygulamaları ile yapılan LiDAR taramaları ve 3D Scanner App uygulaması ile yapılan Photogrammetry taramalarına dair karşılaştırmalı gösterimler Şekil 3.19.'da sunulmuştur.





Şekil 3.19. 3D Scanner App-LiDAR (1. Sıra), MetaScan-LiDAR (2. Sıra), Recon3D-LiDAR (3. Sıra) ve 3D Scanner App-Photogrammetry (4. Sıra) dış mekan-otomobil tarama sonuçları

3D Scanner App (5mm, 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm), MetaScan (20 mm) ve Recon 3D (1mm) ile elde edilen üç boyutlu modellerdeki otomobil arka plakasının uzunluğu her model için 5'er kez ölçülerek ölçüm değerlerinin ortalaması karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.10 'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. 3D Scanner App uygulaması ile yapılan otomobil taramalarındaki plaka uzunluk verileri

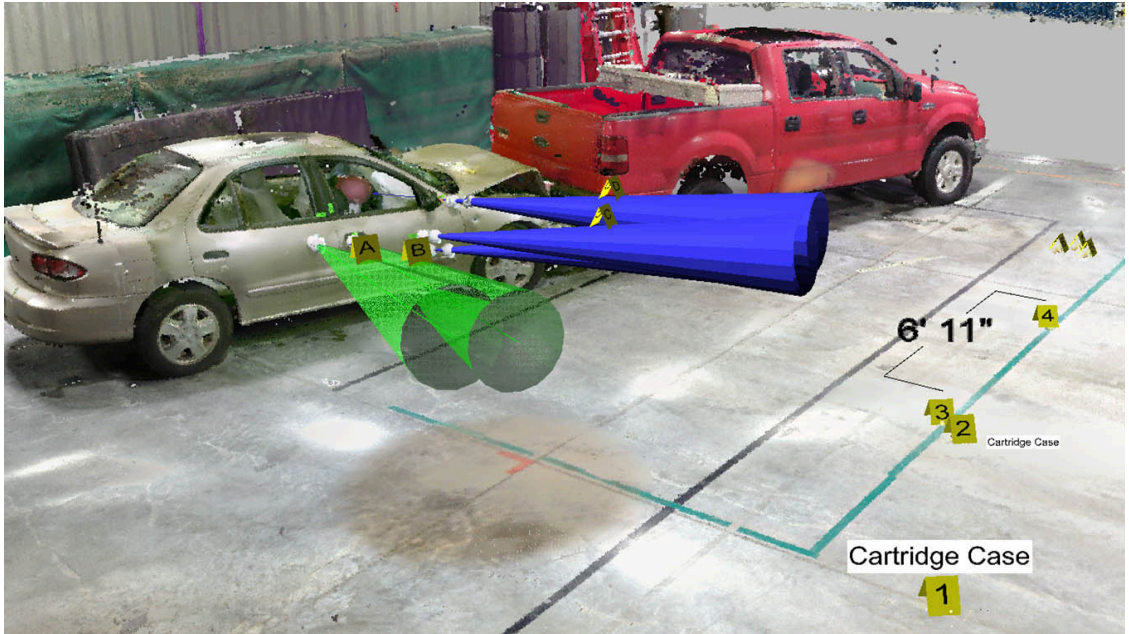
Uygulama	Hassasiyet	Uzunluk Ortalaması (CM)	Hata Ortalaması (CM)	Standart Sapma (CM)
3D Scanner App	5 mm	52.37	+0.57	0.06
3D Scanner App	10 mm	50.98	-0.81	0.23
3D Scanner App	20 mm	52.54	+0.74	0.03
3D Scanner App	30 mm	52.19	+0.39	0.02
3D Scanner App	40 mm	54.95	+3.15	0.15
3D Scanner App	50 mm	54.28	+2.49	0.13
MetaScan	20 mm	52.99	+1.19	0.07
Recon 3D	5 mm	52.56	+0.76	0.44

Not. Plaka uzun kenarı şerit metre ile 51.80 cm olarak ölçülmüştür. 3D Scanner App ve MetaScan için dijital ölçümler Blender ortamında, Recon 3D için ise CloudCompare uygulaması ile yapılmıştır.

Gerçeğe en yakın sonuçların 3D Scanner App uygulamasında 30 mm hassasiyetle yapılan tarama sonucunda elde edildiği görülmüş olup bir sonraki bölümde yapılacak olan mermi yolu analizi için 3D Scanner App ile yeni bir olay yeri taraması yapılmıştır.

3.2.7. Bullet Trajectory Creator Add-on ile Mermi Yolu Analizi ve Olay Yeniden Yapılandırması

FARO Zone 3D ve Bullet Trajectory App ile yapılan uygulamalarda mermi yolu analizi aşamalarının; merminin hedef materyal üzerindeki giriş noktasına yörünge çubuklarının yerleştirilmesi, analiz yapılacak ortamın LiDAR tarayıcı ile taranması, elde edilen dijital modelde yörünge çubukları üzerindeki kürelerle eşleşecek şekilde iki dijital küre oluşturulması, oluşturulan kürelerin merkez noktaları temel alınarak atış yolunun hesaplanması ve bu doğrultu üzerine hata payını içeren koninin yerleştirilmesi şeklinde olduğu görülmüştür (Faro, 2024; Bullet Trajectory App, 2016).



Şekil 3.20. Faro Zone 3D ile yapılan mermi yolu analizi uygulaması (Faro, 2024).

Çalışmamızda kullanmak için, mermi yolu analizinde kullanılan sondaj yöntemi, eliptik yöntem ve giriş yöntemine dair temel özellikleri bünyesinde barındıran bir Blender Add-on'u geliştirilmiştir. Blender ortamında Python programlama dili ile yapılan geliştirme sürecinde Blender Python API kütüphanesi içerisinde yer alan; bpy, math, mathutils modülleri kullanılmıştır.

Bullet Trajectory Creator ismini verdiğimiz program kullanıcı tarafından üç boyutlu ortamda iki giriş çıkış deliğine yerleştirilen küreler arasındaki doğrultuyu temel alarak 5 derecelik hata payının dahil edildiği temsili bir mermi yolu konisi oluşturmaktadır. Tek giriş deliği mevcut olan durumlarda ise giriş yöntemi ile yerleştirilen yörünge çubukları üzerindeki küreler temel alınarak benzer şekilde kullanımı mümkündür. Atış mesafesinin tahminlenmesinde ise elips yöntemini temel alan trigonometrik yaklaşım benimsenmiştir.

Programın temel çalışma adımları:

Seçilen kürelerinin merkezleri arasındaki doğrultunun hesaplanarak silindir ve koninin oluşturulması işlemi:

- > Blender ortamında seçilen iki kürenin merkez konumları hesaplanır
- > İki küre arasındaki mesafe ve yön vektörü hesaplanır
- > İki küre arasındaki doğrultu boyunca 0.5 cm yarıçapında bir silindir yerleştirilir
- > Hazır değerler referans alınarak atış konisinin uzunluğu tespit edilir, oluşturulur ve silindir ile hizalanır
- > Kullanıcı tarafından girilen; Height ve Cone Angle bilgilerine göre koni yeniden oluşturulur

```

def execute(self, context):
    # Kürelerin konumları alınıyor
    selected_objects = bpy.context.selected_objects
    if len(selected_objects) != 2 or not all(obj.type == 'MESH' for obj in selected_objects):
        self.report({'WARNING'}, "Please select exactly two mesh objects (spheres).")
        return {'CANCELLED'}

    sphere1 = selected_objects[0]
    sphere2 = selected_objects[1]
    loc1 = sphere1.location
    loc2 = sphere2.location

    # İki küre arasındaki yön vektörü ve mesafe
    direction = (loc2 - loc1).normalized()
    distance = (loc2 - loc1).length

    # Yön vektörü açısını hesapla
    angle = math.degrees(math.acos(direction.z))

    # Sinüs açısını belirle
    if angle < 90:
        sin_angle = math.sin(math.radians(angle))
    else:
        sin_angle = math.sin(math.radians(180 - angle))

    angle_degrees = math.degrees(math.asin(sin_angle))

    # Tanjant açısını ve atış uzaklığını hesapla
    tan_angle_value = 90 - angle_degrees
    tan_radians = math.radians(tan_angle_value)
    tan_value = math.tan(tan_radians)
    shooting_distance = (self.height * 10) / tan_value # cm'ye çeviriyoruz

    # Koni uzunluğunu yeniden hesapla ve güncelle
    cone_length_value = math.sqrt(self.height ** 2 + (shooting_distance / 10) ** 2) # m'ye dönüştür
    self.cone_length = cone_length_value

    # Hesaplanan değerleri güncelle
    self.sin_angle = angle_degrees
    self.tan_angle = tan_angle_value
    self.shooting_distance = shooting_distance / 10 # cm'yi m'ye çeviriyoruz
    self.cone_length = cone_length_value # m olarak güncelleniyor

```

Şekil 3.21. Kürelerin konumlarını ve silindir eksen açısını hesaplayan kod parçası

```

# Kürelerin konumları alınıyor ve silindir oluşturuluyor
selected_objects = bpy.context.selected_objects
if len(selected_objects) == 2 and all(obj.type == 'MESH' for obj in selected_objects):
    sphere1 = selected_objects[0]
    sphere2 = selected_objects[1]
    loc1 = sphere1.location
    loc2 = sphere2.location

    # İki küre arasındaki mesafe ve yön vektörü
    distance = (loc2 - loc1).length
    direction = (loc2 - loc1).normalized()

    # Silindiri ekle ve hizala
    radius = 0.005
    depth = distance
    bpy.ops.mesh.primitive_cylinder_add(radius=radius, depth=depth, location=(loc1 + loc2) / 2)
    cylinder = bpy.context.object

    # Silindiri döndür
    cylinder_direction = mathutils.Vector((0, 0, 1))
    rotation_axis = cylinder_direction.cross(direction)
    angle = cylinder_direction.angle(direction)

    cylinder.rotation_mode = 'AXIS_ANGLE'
    cylinder.rotation_axis_angle = (angle, *rotation_axis)

    # Silindire isim ve renk ver
    cylinder.name = "ConnectingCylinder"
    red_material = bpy.data.materials.new(name="RedMaterial")
    red_material.diffuse_color = (1.0, 0.0, 0.0, 1.0)
    cylinder.data.materials.append(red_material)

    # Koni özellikleri ve konum ayarları (sivri ucu silindirin ucunda olacak)
    cone_location = loc1 - direction * (self.cone_length / 2)

    # Koninin başlangıç yarıçapı, açısı 5 derece ve dinamik olacak şekilde ayarlanıyor
    cone_radius_start = self.cone_length * math.tan(math.radians(self.cone_angle))

    bpy.ops.mesh.primitive_cone_add(radius1=cone_radius_start, depth=self.cone_length, location=cone_location)
    cone = bpy.context.object

    # Koni hizalama
    cone.rotation_mode = 'AXIS_ANGLE'
    cone.rotation_axis_angle = (angle, *rotation_axis)

```

Şekil 3.22. Blender ortamında seçilen kürelerin merkezleri arasındaki doğrultu ve girilen değerler referans alınarak silindir ve atış konisini oluşturan kod parçası

Örnek Mermi Yolu Analizi Uygulaması

1. Aşama

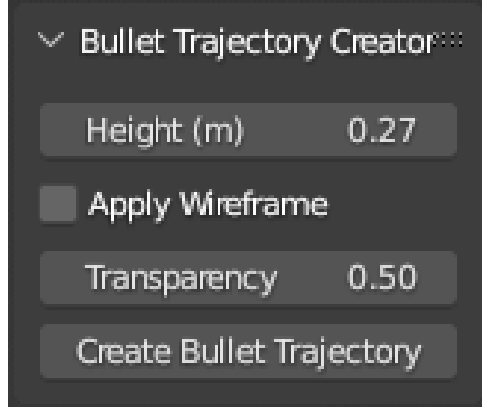
Blender programı açılır, üzerinde çalışma yapılacak olan .OBJ formatındaki dosya Blender sahnesine import edilir. Blender programının Scripting bölümü açılır, Bullet Trajectory Creator App kodu yüklenir ve çalıştırılır. Layout ortamına geçilir, birinci ve ikinci mermi deliklerine küreler yerleştirilir.



Şekil 3.23. Otomobilin sağ arka ve sol ön kapı camındaki temsili mermi giriş deliklerine yerleştirilen dijital küreler

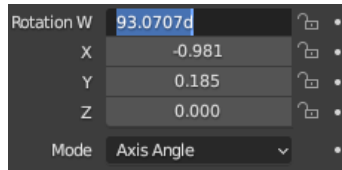
2. Aşama

Küreler seçildikten sonra, Blender ara yüzünün sağ üst bölümünde yer alan “Bullet Trajectory Analysis” sekmesi açılır, açılan sekmeden “Create Bullet Trajectory” butonuna basılır ve ilk aşamada iki kürenin merkezinden geçen bir silindir ve uzunluğu hazır değerleri referans alan bir atış konisi oluşturulur.



Şekil 3.24. İki küre arasındaki doğrultu boyunca oluşturulan silindir

Create Bullet Trajectory butonuna basıldığında, seçilen iki kürenin merkezleri arasında oluşturulan silindirin eksen açısı referans alınarak gerçek atış mesafesini hesaplamada kullanacağımız sinüs açısı otomatik olarak hesaplanacaktır. Sinüs fonksiyonunda dar açıyı kullanacağımız için silindirin eksen açısı 90° 'den büyükse açı 180° 'den çıkarılır ve çarpışma açısı hesaplanır ($180^\circ - 93.07^\circ = 86.93^\circ$).

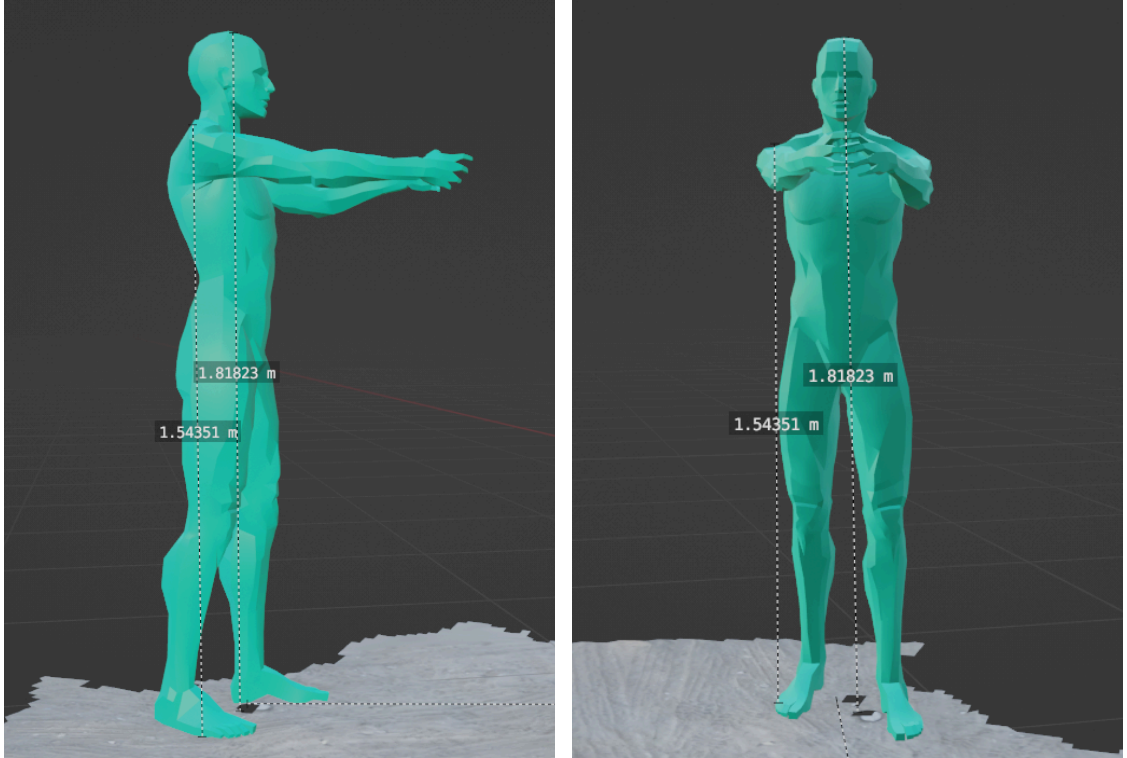


Şekil 3.25. Silindirin eksen açısının tespit edilmesi

Şerit metre ile yapılan ölçümlerde; 1. giriş deliğinin yerden yüksekliği 127 cm, 2. giriş deliğinin yerden yüksekliği 117 cm, iki delik arasındaki uzunluk 165 cm olarak bulunmuştur. Fiziki ölçüm verileri kullanılarak çarpışma açısının 86.52° olduğu ve dijital ortamdaki analiz ile 0.4° lik bir fark olduğu görülmüştür.

3. Aşama

Tahmini atış mesafesini hesaplayabilmek için öncelikle tanjant fonksiyonunda kullanılacak olan yükselme/alçalma açısı hesaplanır ($90-86.93=3.07$). Sonrasında birinci mermi giriş deliğinin yerden yüksekliği ile atıcının omuz yüksekliği tespit edilir ve arasındaki fark bulunur. Örnek olayımızda, mermi giriş deliğinin yüksekliği 127 cm, atıcının omuz yüksekliği 154 cm olarak ölçülmüştür. Karşı kenarın uzunluğu $154 \text{ cm} - 127 \text{ cm} = 27 \text{ cm}$ olarak hesaplanır. Atıcının omuz yüksekliği mermi giriş deliğinden daha yüksek olduğu için Tanjant fonksiyonunda kullanılacak 3.07 derecelik açı, alçalma açısıdır.



Şekil 3.26. Atıcının boy (181 cm) ve omuz yüksekliği (154 cm).



Şekil 3.27. Mermi giriş deliğinin zeminden yüksekliği (127cm) **Not:** Şerit metre ile yapılan ölçümde temsili giriş noktasının yerden yüksekliği 127 cm olarak ölçülmüştür.

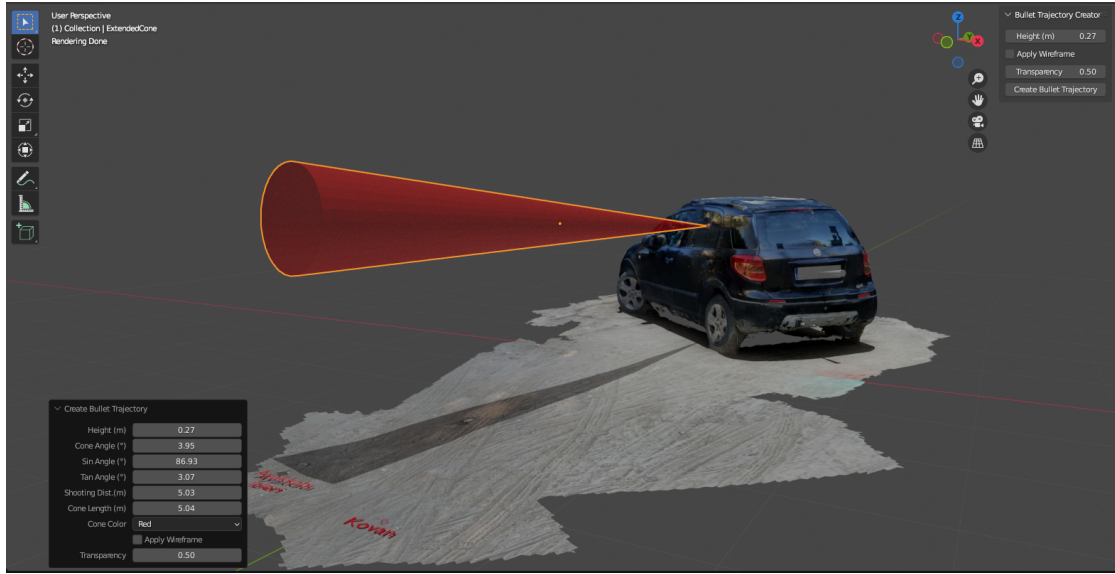
4. Aşama

Bir dik kenarın uzunluğu tespit edildikten sonra $Tan(\alpha) = a/b$ fonksiyonu kullanılarak atış mesafesi hesaplanacaktır. Örnek olayımızda a kenarının uzunluğu 27 cm'dir. Tanjant fonksiyonuna göre atış mesafesi olacak olan b kenarının uzunlu ise 503 cm olarak hesaplanacaktır ($Tan(3.1) = 27/b$). İki kenar uzunluğu tespit edildikten sonra, atış konisinin uzunluğu pisagor teoremi kullanılarak hesaplamak mümkündür, iki kenar uzunluklarının karelerinin toplamının kareköküne eşit olacak olan hipotenüs uzunluğu 504 cm olarak hesaplanacaktır.

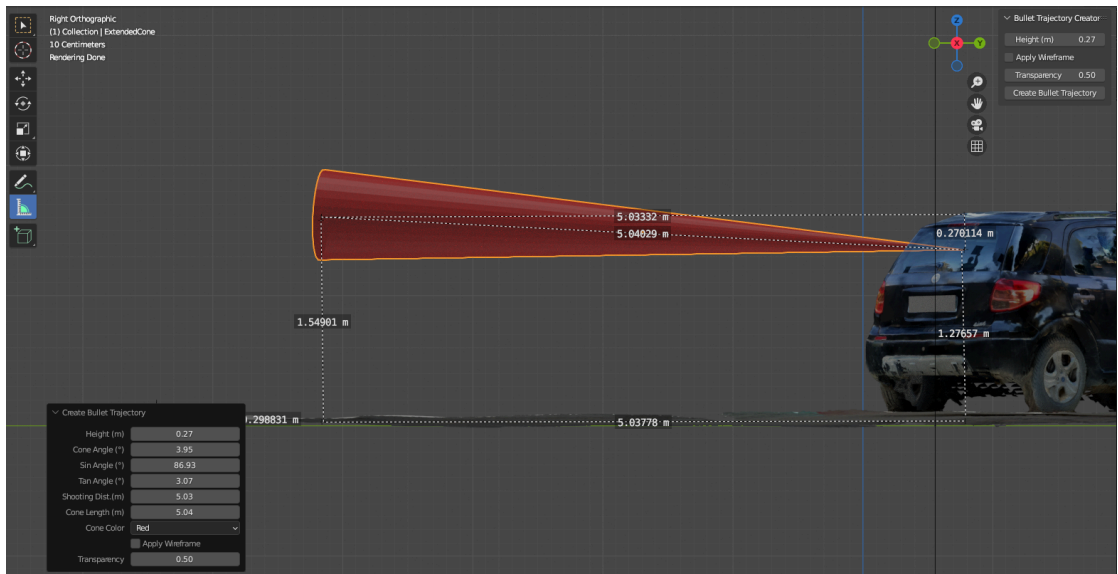
<p>Kullanıcı tarafından girilen bilgiler:</p> <p>-> Dik kenar yüksekliği (height) m = 0.27 m</p> <p>-> Koni açısı (cone angle) = 5</p> <p>Arayüzde gösterilen hesaplamalar:</p> <p>-> Çarpışma açısı (Sin angle) = 86.93</p> <p>-> Yükselme/alçalma açısı (Tan angle) = 3.07</p> <p>-> Tahmini atış mesafesi (Shooting Distance) m = 5.03</p> <p>-> Koni uzunluğu (Cone Length) m = 5.04</p>	
--	--

Şekil 3.28. Atış mesafesi hesaplamasında kullanıcı tarafından girilen bilgiler

Trigonometrik yöntem ile yalnızca teorik olarak atışın yapılabileceği en kısa mesafenin hesaplanabileceği, tam atış noktasını belirlemek için: olay yerindeki ayakkabı izi, kovanlar ve diğer çevresel izlerin de analize dahil edileceği tam bir yeniden yapılandırma yapılması gerektiği unutulmamalıdır.



Şekil 3.29. Uygulama arayüzü ve yeni bilgiler referans alınarak oluşturulan atış konisi

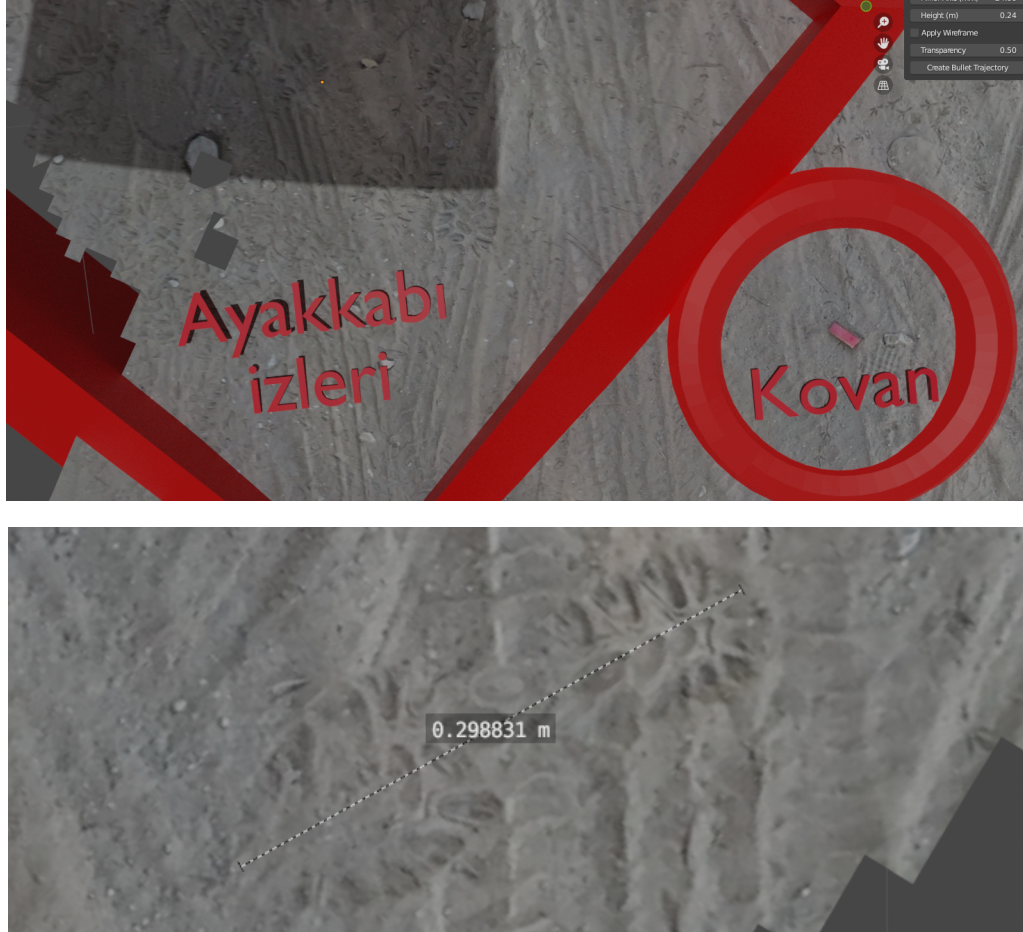


Şekil 3.30. Atış konisi ile mekansal ölçümlerin birlikte gösterimi

Oluşturulan atış konisinin genişleme açısı, rengi (Kırmızı, sarı, mavi, yeşil), yapısı (Wireframe) ve şeffaflık derecesi (0.0-1.0) (Cycle render motorundan aktif) de arayüz üzerinden kullanıcı tarafından değiştirilebilir.

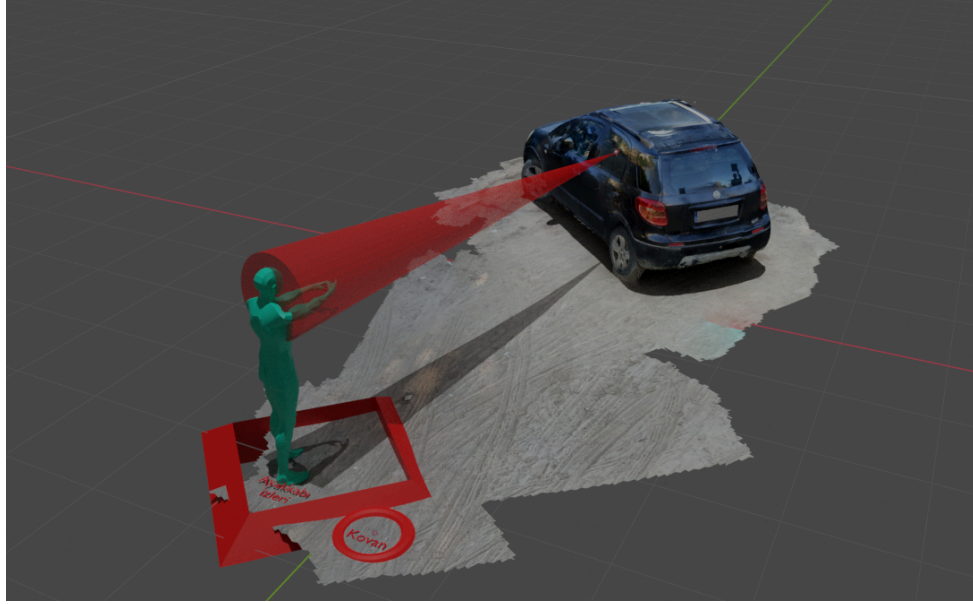
5. Aşama

Trigonometrik yöntem kullanılarak oluşturulan atış konisi ile atışın yapılabileceği en kısa mesafe tespit edilmiş olur. Bu aşamadan sonra, olay yerindeki bulgulardan yola çıkılarak atış noktası kesinleştirilebilir. Atış noktasını tahmin etme işlemi olası atış yolu içerisinde kalan ayakkabı izi veya mermi kovanı gibi bulguların da yeniden yapılandırma sürecine dahil edilmesi ile tamamlanacaktır.



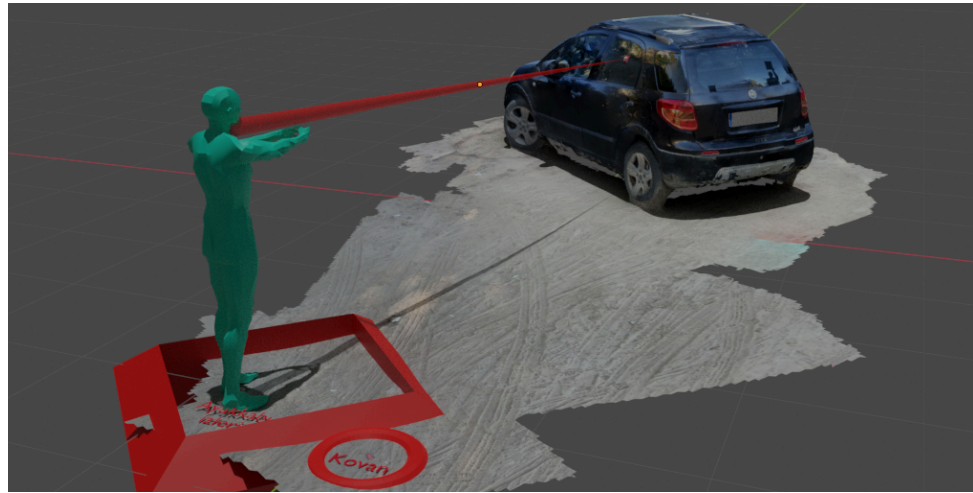
Şekil 3.31. Olay yerinde bulunan kovan ve ayakkabı izleri

Olay yerinde bulunan tam ayakkabı izinin uzunluğu Blender ortamında 29.88 cm olarak ölçülür. 3D Scanner App 30 mm Lidar taramalarında hesaplanan 0.39 cm'lik hata payı göz önüne alındığında, ölçümün atıcının 29.50 cm'lik ayakkabı izi ile eşlediği kabul edilir.



Şekil 3.32. Atıcının atış konisi ve bulgular doğrultusunda olay yerinde konumlandırılması

Bold (2020) tarafından yapılan araştırmaya göre standart araba camına isabet eden 9 mm merminin 90° çarpma açısında 0.52° , 60° çarpma açısında 1.029° derece sapma oluşturduğu tespiti göz önüne alınarak 86.9° derecelik çarpma açısında atış konisinin sapma payı dahil edilmiş genişleme açısı 0.57° olarak hesaplanır.



Şekil 3.33. 0.57° derece genişleme açısı ile oluşturulan atış konisi



Şekil 3.34. Yeniden yapılandırma sonucunda atıcının X ekseninden görünümü



Şekil 3.35. Atıcının Y ve Z eksenlerinden görünümü

4. TARTIŞMA

Olay yerinin kayıt altına alınması ve adli analiz süreçlerinde, üç boyutlu tarama ve görselleştirme araçlarının kullanımını araştırdığımız çalışmamızın ilk aşamasında LiDAR tarayıcı içeren bir tablet ile üç farklı mobil uygulamanın, tarama hassasiyetleri ve doğrulukları araştırılmıştır. Alçı tozu üzerinde oluşturulan 29.5 cm'lik bir ayakkabı izi; 3D Scanner App (5mm), MetaScan (20mm) ve Recon3D (1mm) mobil uygulamalarının en yüksek hassasiyet seviyeleri ile 20 kez taranmış ve sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Araştırmamızın sonuçları; 3D Scanner App, MetaScan ve Recon3D uygulamaları ile yapılan LiDAR taramalarının tarama hassasiyetleri ve doğrulukları arasında anlamlı bir farklılık olduğunu göstermiştir (Welch $F(2, 32.618) = 6.736$, $p < 0.05$). Hangi uygulamalar arasında farklılık olduğunu tespit edebilmek amacıyla yapılan karşılaştırma neticesinde; Recon 3D uygulaması ile 3D Scanner App ve MetaScan uygulaması arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Hata ortalamalarına bakıldığında; şerit metreyle yapılan ölçüme en yakın sonuçların, 1mm çözünürlükle tarama yapabilen Recon 3D (-0.31 mm) uygulaması ile elde edildiği, 5mm çözünürlükle tarama yapabilen 3D Scanner App (+1.92 mm) uygulamasının ikinci sırada yer aldığı, 20 mm çözünürlükle tarama yapabilen MetaScan (+2.65 mm) uygulamasının ise en düşük performansı gösterdiği tespit edilmiştir.

Literatürde bir Apple cihazı ve iOS uygulaması ile yapılan benzer bir araştırma olmadığı için sonuçlar endüstriyel kullanım amacıyla geliştirilen Artec Spider LiDAR tarayıcısının kullanıldığı başka bir araştırma ile karşılaştırılmıştır. Montgomerie vd. (2020) tarafından yapılan araştırmada; ayakkabı ve ayakkabı izi taraması arasındaki farkın ortalama 0.45 mm (SS: 0.29 mm) olarak bulunduğu, araştırmamızda kullandığımız iPad Pro ve Recon 3D uygulamasının endüstriyel amaçla geliştirilmiş yüksek maliyetli bir tarayıcıdan daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Kottner vd. (2023) tarafından iPhone 13 Pro ve Recon 3D kullanılarak yapılan araştırma kapsamında, iç mekanda yapılan taramalarda 20.90 cm'lik bir nesne için -0.50 mm hata

ortalamasının Recon 3D ile elde ettiğimiz -0.31 mm hata ortalamasına yakın olduğu ve araştırma sonuçlarını desteklediği anlaşılmıştır.

Sonuçlar, tarama doğruluğunun önemli olduğu durumlarda Recon 3D uygulaması ile yapılan taramaların diğer uygulamalara kıyasla daha güvenilir olduğunu göstermektedir. Sonuçların, Recon 3D uygulaması ile yapılan farklı çalışmalara benzer olduğu da görülmüştür (Kottner vd., 2023). Fakat Recon 3D uygulamasının .e57 formatında nokta bulutu şeklinde çıktı veriyor olmasının bir sonraki aşamada yapılması muhtemel canlandırmalarda bazı sınırlılıklara sebep olabileceği değerlendirilmiştir.

LiDAR taraması neticesinde oluşan nokta bulutlarının ortam rengini her nokta üzerinde ayrı ayrı taşıdığı ve bütüncül bir doku (texture) yapısına sahip olmadığı fark edilmiştir. Nokta bulutu yapısına sahip .e57 formatının .OBJ gibi daha genel kullanım alanına sahip dosya formatlarına çevrilmesi neticesinde noktalar üzerinde taşınan renk bilgisinin kaybolduğu görülmüştür. MeshLab uygulaması ile nokta kümesindeki renk bilgisinin dokuya (texture) aktarılabilmesi mümkün olsa da birçok aşamadan oluşan doku oluşturma işlemi neticesinde oluşan dokuların birleşim hatlarında sorunlar olduğu gözlenmiştir.

Doku oluşturma sonrasında yaşanan görüntü bozulmaları ve nokta taramasındaki eksikliklerden kaynaklı sorunlar göz önüne alındığında Recon 3D uygulaması ile yapılacak LiDAR taramalarının olay yeri belgelemesinde tek başına kullanımının bu aşamada yeterli olmayabileceği değerlendirilmiştir. Fakat tarama işlemine kaynak olan video kayıtlarının uygulama içerisinde saklanması dolayısı ile video kaydı ve üç boyutlu model ile tam bir belgeleme yapılabilmesi mümkündür.

Araştırmamızın ikinci aşamasında LiDAR ve Photogrammetry taramalarına dair sonuçlar karşılaştırılmıştır. 3D Scanner App uygulaması ile yapılan LiDAR (5mm) ve Photogrammetry taramalarının; tarama doğrulukları, fiziksel detay yakalama kapasitesi ve işleme zamanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı araştırılmıştır.

3D Scanner App uygulamasının LiDAR ve Photogrammetry taramaları arasında tarama doğrulukları bakımından anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür (Welch $F(1, 19.001) = 740.872$, $p < 0.05$). Ölçümlere dair hata ortalamalarını bakıldığında; 3D Scanner App

uygulaması ile 5mm çözünürlükte yapılan LiDAR taramasının +0.192 cm hata ortalamasına sahipken Photogrammetry taramasının +90.15 cm hata ortalamasına sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar LiDAR ve Photogrammetry taramaları arasında tarama doğrulukları bakımından ciddi bir fark olduğunu ve Photogrammetry taramaları üzerinden doğrudan bir ölçüm yapmanın ciddi hatalara neden olabileceğini göstermektedir

LiDAR ve Photogrammetry taramalarının fiziksel detay yakalama kapasiteleri karşılaştırıldığında ise ayakkabı izi gibi yakın plan taramalarında Photogrammetry teknolojisinin oldukça başarılı olduğu tespit edilmiştir. 3D Scanner App ile yapılan LiDAR ve Photogrammetry taramalarının (ayakkabı izi) fiziksel detay yakalama kapasiteleri vertices (tepe noktaları) sayıları üzerinden karşılaştırılmış ve gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir (Welch $F(1, 29.879) = 7366.88, p < 0.05$). Sonuçların aynı zamanda yüksek renk bilgisi ve gerçekçi temsillerin önemli olduğu küçük nesnelerin taranmasında Photogrammetry yönteminin tercih edilmesi gerektiğine dair literatür bilgisi ile eşleştiği görülmektedir (JOUAV, 2024).

Çalışmamız kapsamında LiDAR ve Photogrammetry taramalarının üç boyutlu model oluşturma sürecinde işleme sürelerine (process time) dair bilgiler de toplanmıştır. 3D Scanner App ile yapılan LiDAR ve Photogrammetry taramalarının (ayakkabı izi) işleme süreleri karşılaştırılmış, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($U= 0.00, z=-5.41, p<0.05, r=-1.21$). Sonuçların LiDAR taramalarının Photogrammetry taramalarına kıyasla daha kısa işleme süresi gerektirdiğine dair literatür bilgisi ile eşleştiği görülmektedir (JOUAV, 2024).

Çalışmamızın ikinci bölümünde 3D Scanner App, MetaScan ve Recon3D uygulamaları ile geniş ölçekli iç mekan taramaları yapılmıştır. Taramalar; mutfak, koridor ve balkon alanının bir kısmını içine alacak şekilde yapılmış olup, balkon çıkışındaki zemine 23.7 cm uzunluğunda bir bıçak yerleştirilmiştir. Bıçak üzerinden yapılan ölçümlere bakıldığında; Recon 3D(1mm)'nin -1.9 mm, 3D Scanner App(5mm)'in +3.2 mm, MetaScan(5mm)'in +4.0 mm hata payı ile tarama yaptığı tespit edilmiştir. Dar alanda yaptığımız ayakkabı izi taramaları ile karşılaştırıldığında geniş alanda benzer uzunluktaki nesnelerin hata oranlarında artış olduğu görülmektedir. Recon 3D ile iç mekanda taranan bıçağa ait ölçüm sonuçlarının benzer bir çalışmada iç mekanda taranan 29.90 cm'lik bir bıçak için raporlanan ortalamaların (HO:1.0 mm, SS:1.4 mm) içerisinde olduğu görülmüştür (Kottner vd., 2023).

Aynı zamanda Recon3D uygulamasının ücretsiz kullanımında sunduğu 30 saniyelik tarama zamanının geniş bir iç mekan taraması yapmaya yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Geniş ölçekli taramalarda LiDAR taramalarının Photogrammetry taramalarına kıyasla daha yüksek detay yakalama kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Gerçekçi temsiliyet açısından ise tüm taramalarda bölgesel veri kayıpları, görüntü bozulmaları ve kırılmalar olduğu değerlendirilmiştir. 3D Scanner App uygulaması ile iç mekanda yapılan LiDAR ve Photogrammetry taramalarının diğer uygulamalara kıyasla daha başarılı sonuçlar ürettiği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kan lekesi model analizi gibi küçük detaylar üzerinde çalışılacak olan analizlerin geniş alan taramaları yerine bölgesel taramalar üzerinde yapılmasının daha doğru sonuçlar vereceği değerlendirilmiştir.

Çalışmamızın üçüncü bölümünde 3D Scanner App, MetaScan ve Recon3D uygulamaları ile dış mekan taramaları yapılmıştır. Tarama objesi olarak bir otomobil seçilmiş ve üç farklı uygulama ile LiDAR taraması, 3D Scanner App ile de Photogrammetry taramaları yapılmıştır. Tarama sonuçlarının doğruluğu, otomobile ait plaka üzerinden karşılaştırılmıştır. Araç plakasının şerit metre ile yapılan ölçüm sonucu (51.80 cm), Blender üzerinden yapılan dijital ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmış; 3D Scanner App (5mm)'in +5.7 mm, Recon 3D (1mm)'nin -7.6 mm, MetaScan (5mm)'in +11.9 mm hata ortalaması ile tarama yaptığı tespit edilmiştir. Dış mekan sonuçları karşılaştırıldığında en başarılı sonuçların 30 mm hassasiyet ayarında 3D Scanner App uygulaması ile alındığı tespit edilmiştir (HO: 3.9 mm). Dış mekan geniş alan taramalarında, iç mekan ve dar alan taramalarına kıyasla hata ortalamalarında artış olduğu görülmektedir.

Kottner vd. (2023) tarafından iPhone 13 Pro ve Recon 3D kullanılarak yapılan araştırma kapsamında, otomobil taramasında raporlanan sonuçlar (HO:1.7 mm, SS:1.0 mm) ile çalışmamız kapsamında Recon 3D ile otomobil taramasında elde ettiğimiz sonuçlar (HO: -7.6 mm, SS: 4.4 mm) arasında farklılık olduğu görülmüştür. Farkın kısıtlı tarama zamanında tam bir model elde edebilmek için hızlı hareket edilmesi nedeniyle oluşmuş olabileceği değerlendirilmiştir.

Otomobil taraması açısından, LiDAR taramalarının Photogrammetry taramalarına kıyasla daha yüksek detay yakalama kapasitesine sahip olduğu ve daha başarılı sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Gerçeğe en yakın sonuçların, 3D Scanner App uygulamasında 30 mm hassasiyetle yapılan tarama ile elde edildiği görülmüş olup mermi yolu analizi ve yeniden yapılandırma için

3D Scanner App (30 mm) ile daha geniş bir dış mekan olay yeri taraması yapılmıştır. LiDAR ve Photogrammetry taramalarının yüksek yansıtıcılığa sahip yüzelerde sınırlı performans göstermesi gerçek bir sorun olarak kabul edilmektedir (Schofield ve Fowle, 2013). Araştırmamız sırasında elde ettiğimiz tarama sonuçları, cam ve yansıtıcı yüzelerde tarama performansının düştüğünü ve boşluklar oluştuğunu göstermiştir. Özellikle Photogrammetry ile oluşturulan modellerde otomobil camlarının ve yansıtıcı yüzelerin üç boyutlu modele aktarılamadığı, ciddi boşluk ve bozulmalar oluştuğu görülmektedir. LiDAR taramalarında da benzer sorunlara rastlansa da Photogrammetry yöntemine kıyasla daha başarılı sonuçlar ürettiği değerlendirilmiştir.

Çalışmamızın son aşamasında elde edilen üç boyutlu mekansal verinin adli analiz ve yeniden yapılandırma süreçlerinde kullanım olanakları araştırılmıştır. Çalışmamızda, üzerine temsili iki mermi giriş çıkış deliği işaretlenen bir otomobil, temsili bir kovan ve ayakkabı izlerinin yer aldığı bir olay yeri sahnesi 3D Scanner App uygulamasının Advance LiDAR (30 mm) modunda üç boyutlu şekilde kayıt altına alınmıştır.

Mermi yolu analizi için; sondaj yöntemi, elips yöntemi ve giriş yöntemine dair temel özellikleri bünyesinde barındıran bir Blender Add-on'u geliştirilmiştir. Bullet Trajectory Creator ismini verdiğimiz eklenti, benzer uygulamalarda olduğu gibi kullanıcı tarafından üç boyutlu ortama yerleştirilen kürelerin merkezleri arasındaki doğrultuyu temel alarak temsili bir atış yörüngesi ve mermi yolu konisi oluşturmaktadır. Atış mesafesinin tahminlenmesinde ise elips yöntemini temel alan trigonometrik yaklaşım benimsenmiştir. Mermi yolu analizinde, mermi giriş çıkış delikleri arasındaki açısal doğrultu ve ayakkabı izi eşleştirmesi ile tespit edilen şüphelinin fiziksel özellikleri (omuz yüksekliği) kullanılarak atış yörüngesi hesaplanmıştır. Çevresel bulguların destekleyici kanıtlar olarak kullanıldığı bir olay yeniden yapılandırması sonunda; analiz ve yeniden yapılandırma sürecinin, mobil araçlarla elde edilen üç boyutlu dijital ortamda başarılı şekilde tamamlanabileceği ortaya konmuştur. Mermi yolu analizinde, trigonometrik yöntem ile yalnızca teorik olarak atışın yapılabileceği en kısa mesafenin hesaplanabildiği, tam atış noktasını belirlemek için merminin hızını, yerçekimi etkisini ve çevresel faktörleri dikkate alan daha kompleks balistik analiz yöntemlerinin kullanılabilmesi unutulmamalıdır. Mermi yolu analizinde kabul gören üç farklı yöntemin temel özelliklerini kullanarak oluşturduğumuz analiz programının saha uygulamalarında kullanımı için gerçek atış deneyleri ile desteklenmesi gerekmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geleneksel olay yeri incelemelerinde, olay yerinin ve delillerin bütün halde kayda alınması işlemi; fotoğraflama, video kaydı, ölçümler ve kroki çizimi gibi farklı aşamaların bir birleşimi şeklinde gerçekleşmektedir. Krokinin çizilmesi aşamasına gelinmeden önce olay yeri tedbirleri alınmakta, gözlem yoluyla ilk inceleme yapılmakta, uygun yöntem belirlenerek sistematik araştırma yürütülmekte, bulgular tespit edilip delil araştırması tutanak altına alınmaktadır. Süreç belirli bir sistematik içerisinde yürütülse de yapılan işlemlerin doğasından kaynaklanan öncelik sıralaması nedeniyle olay yerinin müdahaleye açık bir alan olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, gelişen üç boyutlu kayıt teknolojilerinin geleneksel yöntemlerin sınırlılıklarını ortadan kaldıracak olanaklar sunduğunu gösteren birçok çalışma yapılmıştır (Tredinnick vd., 2019).

Özellikle endüstriyel amaçlı geliştirilen FARO ve Instant Scene gibi LiDAR tarama cihazlarının son derece hassas ölçümler yaptıkları bilinirken oldukça yüksek maliyete sahip olmaları yaygın şekilde kullanılmalarının önünde bir engel olarak görülmektedir (Engström, 2018). Teknolojideki ilerleme ile birlikte 2020'den itibaren Apple markası tarafından piyasaya çıkarılan LiDAR sensör içeren telefon ve tabletler ile düşük maliyetli olay yeri taramaları yapmanın mümkün olduğu anlaşılmıştır (Galanakis vd., 2021). Araştırmalar, LiDAR sensör içeren mobil cihazların, olay yerinin kayda alınması ve adli analiz için yeterli hassasiyete ve doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir (Vogt vd., 2021; Chase ve Liscio, 2023; Stevenson ve Liscio, 2024).

Literatürde, temsili olay yerlerinin ve bulguların Apple cihaz ve iOS uygulamaları ile kayda alınmasına dair farklı çalışmalar olsa da olay yerlerinde bulunması muhtemel ayakkabı izlerinin üç boyutlu şekilde kayda alınmasına dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. İlk bölümünde, farklı iOS uygulamalarının ayakkabı izi taramalarındaki performanslarını karşılaştırdığımız araştırmamızın sonuçları; mobil uygulamalar ile yapılan üç boyutlu ayakkabı izi taramalarının, geleneksel yöntemleri destekleyici ve saha uygulamasında kullanılacak sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Araştırmamız kapsamında iç ve dış mekanlarda farklı olay yeri sahneleri de taranmış ve ölçüm açısından doğruluğun önemli olduğu taramaların LiDAR yöntemi ile yapılması ve farklı koşullarda farkı hata ortalamaları oluşabileceği gözetilerek daha fazla araştırma yapılması

gerektiği değerlendirilmiştir. Taranacak alandaki tım detayların yakalanmasının önemli olduğu durumlarda ise dar alan taramalarında Photogrammetry, geniş alan taramalarında ise LiDAR yönteminin daha başarılı sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

Fiziksel engeller nedeniyle erişilemeyen ya da cam gibi yansıtıcı yüzeylerin olduğu alanlarda LiDAR taramalarında boşluklar oluşması, Photogrammetry taramalarında ise boşluk alanlarının rastgele doldurulması gibi sorunlu durumlarla da karşılaşılmıştır. Benzer alışmalar LiDAR sensörü ve uygun kameraya sahip dronlar ile erişilemeyen alanları daha yüksek performans ile taramanın mümkün olduğunu göstermektedir (Kraus vd., 2020; Galanakis vd., 2021).

Literatürde mobil tarayıcı cihazlarla yapılan çalışmaların tarama doğruluğu ve spesifik adli analizler için gerekli olan ölçümlere odaklandığı görülmekte olup farklı analizlerin tek bir mekansal veri üzerinde birleştirildiği bütüncül bir yeniden yapılandırma sürecine dair bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bu çerçevede çalışmamızın ne çıkan diğer bir özgün yanı, olay yerinin mobil kayıt araçları ile taranması sonrasında elde edilen mekansal verinin farklı adli analizlerin yer aldığı bütünsel bir yeniden yapılandırma sürecinde kullanılması olmuştur.

Araştırmamız son bölümünde, dış mekanda oluşturulmuş kurgusal bir olay yeri sahnesi üç boyutlu şekilde kayıt altına alınmış, elde ettiğimiz mekansal veri üzerinden mermi yolu analizi yapılmış ve aynı ortamda yeniden yapılandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Dış mekanda bir otomobile silahla ateş edilmesi olayında; araç üzerindeki mermi giriş ve çıkış izleri, atış sonrası silahtan çıkan boş kovan, kovanın bulunduğu yer, olay yerindeki ayak izleri gibi bulguların, şüphelinin tespit edilmesi ve olayın yeniden yapılandırılması sürecinde nasıl kullanılabileceği üzerinde durulmuştur. Olay yeri ve bulgular kayıt altına alındıktan sonra üç boyutlu olay yeri sahnesi üzerinden farklı ölçüm ve adli analizler yapmanın mümkün olduğu, dinamik bir olayın yeniden yapılandırılması sürecinde yapılan analizlerin tek bir olay yeri sahnesinde birleştirilebileceği ve yeniden yapılandırma sürecinin başarılı şekilde tamamlanabileceği grlmştir.

Geleneksel yöntemlerle dijital bir olay yeri modeli oluşturmak çok fazla emek ve zaman gerektiren bir süreçken üç boyutlu kayıt araçları sayesinde hızlı ve pratik sonuçlar alınabileceği ortaya konmuştur. Üç boyutlu olay yeri sahnelerinin mahkeme salonunda daha anlaşılır ve gerçekçi temsiller oluşturabilme potansiyeline sahip olduğu da değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, LiDAR tarayıcı içeren bir tablet ve ücretsiz iOS uygulamaları kullanarak uygulama maliyetini minimum seviyede tuttuğumuz çalışmamızda; olay yerindeki iz ve bulguların, üç boyutlu şekilde kaydedilebileceği, farklı uygulama, hassasiyet derecesi ve çevresel koşullarda farklı hata ortalamaları oluştuğu tespit edilmiştir. Pratik ve hızlı şekilde kullanılabilen mobil uygulamalar sayesinde dinamik olay yeniden yapılandırması için gerekli olan üç boyutlu olay yeri modellerinin tek seferde kaydedilebildiği görülmüş, tek seferde bütün halde kaydedilen üç boyutlu bir olay yeri modeli üzerinden başarılı bir yeniden yapılandırma yapılabileceği ortaya konmuştur.

Araştırmamızın sonuçları, olay yerinin üç boyutlu şekilde kayda alınmasının, bulguların olayı aydınlatacak delillere dönüşme sürecini desteklerken; delillerin, hukuka uygun, olayı temsil edici ve taraflarca erişilebilir olmasına da katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Üç boyutlu ortamda yapılan analizler ve dijital keşif olanakları ise mekansal verinin bir delil değerlendirme aracı olarak kullanımına örnek teşkil etmekte olup bu alanda yapılacak olan bilimsel çalışmaların ve uygulama geliştirmelerinin adalet sistemine katkı sağlayacağı düşüncesindeyiz.

KAYNAKLAR

- 3D Scanner App. (2024). 3D Scanner App - LIDAR Scanner for iPad ve iPhone Pro. Erişim Tarihi: Ekim 20, 2024, from <https://3dscannerapp.com/>
- ACSR. (2024). Association for Crime Scene Reconstruction: HOME. Erişim Tarihi: Nisan 10, 2024, from <https://www.acsr.org/>
- Alby, C. (2022, March 13). *Top 3 Tips ve Tricks - 3D Laser Scanning in Measured Surveys*. LiDAR News. Erişim Tarihi: Nisan 5, 2024, from <https://lidarnews.com/articles/top-3-ticks-tricks-3d-laser-scanning-measured-surveys/>
- Apple. (2024). *iPad Pro 11 inç (2. nesil) - Teknik Özellikler - Apple Destek (TR)*. Apple Support. Erişim Tarihi: Ekim 20, 2024, from <https://support.apple.com/tr-tr/118452>
- Attinger, D., Moore, C., Donaldson, A., Jafari, A., ve Stone, H. A. (2013). Fluid dy-namics topics in bloodstain pattern analysis: comparative reviewand research opportunities. *Forensic Sci Int*, 231(1), 375–96.
- Aydın, D. (2014). *Ceza Muhakemesinde Deliller*. Yetkin Yayınları.
- Aydın, M., Özmen, N., Karakuş, O., Çetin, C., Solak, M., Bahadır, S., ve Çam, Ö. (2005). *Olay Yeri İnceleme Teknikleri Temel Eğitim Kitabı*. Kriminal Polis Laboratuvarları Dairesi Başkanlığı Yayınları.
- Bahirat, K., ve Prabhakaran, B. (2017). A study on lidar data forensics. *Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Expo*, 679–684. 10.1109/ICME.2017.8019395
- Barazzetti, L., Sala, R., Scaioni, M., Cattaneo, C., Gibelli, D., Giussani, D., Proppa, P., F, R., ve Vandone, A. (2012). 3D scanning and imaging for quick documentation of crime and accident scenes. *Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense, XI(8359)*, 1-14.
- Bayer, M. (2003). *Olay Yeri İnceleme Kriminal Laboratuvar Analizleri*. Songür Yayıncılık.
- Becker, R. F. (2005). *Criminal Investigation*. Jones and Bartlett Publishers.
- Berezowski, V., Mallett, X., ve Moffat, I. (2020). Geomatic techniques in forensic science: A review. *Sci. Justice.*, 60(2), 99–107. 10.1016/j.scijus.2019.10.006
- Birtek, F. (2017). *Ceza Muhakemesinde Delil ve İspat* (2nd ed.). Adalet Yayınevi.
- Bitfab. (2024). *Photogrammetry, 3D Scanning With A Photo Camera*. Bitfab. Erişim Tarihi: Nisan 5, 2024, from <https://bitfab.io/blog/photogrammetry/>
- Blender. (2024). *blender.org*. Blender. Erişim Tarihi: Ekim 21, 2024, from <https://www.blender.org/about/>
- Bold, H. (2020). *Bullet Deflection and Angle of Impact with Tempered Car Side Window Glass*. UNIVERSITY OF CALIFORNIA (MASTER OF SCIENCE).
- Bostanci, E. (2015). 3D reconstruction of crime scenes and design considerations for an interactive investigation tool. arXiv:1512.03156

- Bostancı, M. (2023). *Sanat Eserlerinin Fotogrametri Yöntemiyle Üç Boyutlu Modellenmesi*. Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Heykel Sanat Dalı.
- Buck, U., Kneubuehl, B., Näther, S., Albertini, N., Schmidt, L., ve Thali, M. (2011). 3D bloodstain pattern analysis: Ballistic reconstruction of the trajectories of blood drops and determination of the centres of origin of the bloodstains. *Forensic Sci. Int.*, 1–3(206), 22–28. 10.1016/j.forsciint.2010.06.010
- Büker, H. (2013). Baskı İz İncelemeleri. In *Kriminalistik* (p. 290). Adalet Yayınevi.
- Bullet Trajectory Analysis. (2024). *Bullet Trajectory Analysis*. Education Interactive. Erişim Tarihi: November 11, 2024, from <https://educationinteractive.com.au/wp-content/uploads/2019/06/High-School-Forensic-Science-Trigonometry-Teacher-Resource.pdf>
- Bullet Trajectory App. (2016). *Bullet Trajectory App*. Bullet Trajectory App, V1.3, Updated Video Tutorial for Scene 6. https://www.youtube.com/watch?v=N-lgeUJSfQQvet=1sveab_channel=3DForensics
- Carter, A. (2001). The directional analysis of bloodstain patterns theory and experimental validation. *Can Soc of Forensic Sci*, 4(34), 173–89. <https://doi.org/10.1080/00085030.2001.10757527>
- Ceza Muhakemesi Kanunu (5271 Sayılı CMK). (2004, 17 Aralık). Resmî Gazete (Sayı: 25673). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/12/20041217.htm>
- Centel, N., ve Zafer, H. (2014). *Ceza Muhakemesi Hukuku* (11th ed.). Beta Yayınları.
- Chase, C. E., ve Liscio, E. (2023). Validation of Recon-3D, iPhone LiDAR for bullet trajectory documentation. *Forensic Science International*, 350. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111787>
- CloudCompare. (2024). CloudCompare - Open Source project. Erişim Tarihi: Ekim 21, 2024, from <https://www.danielgm.net/cc/>
- Dath, C. (2017). Crime scenes in Virtual Reality. *KTH Royal Institute of Technology*.
- Duran, Z., Atik, M. E., ve Çelik, M. F. (2017). Yersel Fotogrametrik Yöntem ile Yersel Lazer Taramanın Karşılaştırılması ve Doğruluk Analizi. *Harita Dergisi*, (158).
- Emniyet Genel Müdürlüğü Olay Yeri İnceleme ve Kimlik Tespit Birimleri Yönetmeliği. (2008, 1 Ağustos). *Resmî Gazete* (Sayı: 26954). <https://www.resmigazete.gov.tr/>
- Engström, P. (2018). Virtual reality for crime scene visualization. *Proc. SPIE*, 10666, 102–108. 10.1117/12.2304653
- Engström, P. (2020). Visualizations techniques for forensic training applications. *Proc. Virtual, Augmented, Mixed Reality (XR) Technol. MultiDomain Oper.*, 54–60. 10.1117/12.2562134
- Erem, F. (1978). *Ceza Usul Hukuku Genişletilmiş Beşinci Baskı*.
- Ergüzel, S. (2014). Ceza Muhakemesi Hukukunda Olay Yeri İnceleme. *Yaşar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.

- Ertuğrul, H. (2009, Kasım). Avrupa İnsan Hakları Mahkemesinin 'Yüksel Erdoğan ve Diğerleri' kararının, Türk Ceza Hukuku yönünden incelenmesi. *Terazi Aylık Hukuk Dergisi*, (39), 63-68.
- Evett, I. W., ve Williams, R. L. (1996). A Review of the Sixteen Point fingerprint Standard in England and Wales. www.thefingerprintinquiryscotland.org.uk/inquiry/files/DB_0769-02.pdf
- Faro. (2024). *Seven things you didn't know about FARO Zone 3D Software*. Faro. Erişim Tarihi: 10 20, 2024, from <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/Seven-things-you-didnt-know-about-FARO-Zone-3D-Software>
- Faro Technologies. (2020). *The Advantages of LiDAR in Accident Reconstruction*. FARO Technologies. Erişim Tarihi: November 21, 2024, from <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/Accident-Reconstruction-LiDAR>
- FARO Zone 3D. (2018). *FARO Zone 3D Trajectory*. FARO Zone 3D Trajectory. <https://laserscanningforum.com/forum/viewtopic.php?t=13354>
- FRIES, J. C. (2023, July 22). *Lidar's Revolution of Forensic Ballistic Trajectory Analysis*. LIDAR Magazine. Erişim Tarihi: Ekim 29, 2024, from <https://lidarmag.com/2023/07/22/lidars-revolution-of-forensic-ballistic-trajectory-analysis/>
- Galanakis, G., Zabulis, X., Evdaimon, T., Fikenscher, S. E., Allertseder, S., Tsikrika, T., ve Vrochidis, S. (2021). A study of 3D digitisation modalities for crime scene investigation. *Forensic Sci.*, 1(2), 56–85. 10.3390/forensicsci1020008
- Gardner, R. M., ve Bevel, T. (2009). *Practical Crime Scene Analysis and Reconstruction*. Taylor ve Francis.
- Gonzalez-Aguilera, D., ve Gomez-Lahoz, J. (2008). From 2D TO 3D through modelling based on a single image. *Photogramm. Rec.*, 23(122), 208–227. 10.1111/j.1477-9730.2008.00482.x
- Hakim, N., ve Liscio, E. (2015). Calculating point of origin of blood spatter using laser scanning technology. *J Forensic Sci*, 60(2), 409–17. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12639>
- Heuchel, T., Köstli, A., Lemaire, C., ve Wild, D. (2011). Towards a Next Level DSM/DTM Extraction with MATCH-T. *Institute for Photogrammetry*, 197-202.
- Hildebrand, J. (2010). *Coming soon: Crime 3D*. Couriermail. Erişim Tarihi: Nisan 10, 2024, from <https://www.couriermail.com.au/ipad/coming-soon-crime-3d/news-story/830d657af1ba3beb0dd09a6741244748>
- Hołowko, E., Januszkiewicz, K., Bolewicki, P., Sitnik, R., ve Michoński, J. (2016). Application of multi-resolution 3D techniques in crime scene documentation with bloodstain pattern analysis. *Forensic Sci. Int.*, 267, 218–227. 10.1016/j.forsciint.2016.08.036
- Hueske, E. E. (2016). *Practical Analysis and Reconstruction of Shooting Incidents*. CRC Press.
- Illes, M., ve Boués, M. (2011). Investigation of a model for stain selection in bloodstain pattern analysis. *Can Soc of Forensic Sci*, 44(1), 1-2. <https://doi.org/10.1080/00085030.2011.10768137>
- Inman, K., ve Rudin, N. (2000). *Principles and Practice of Criminalistics: The Profession of Forensic Science*. Taylor ve Francis Group.

- Inman, K., ve Rudin, N. (2002). The Origin of Evidence. *Forensic Science International*, 16.
- Jayaprakash, P. T. (2013). Practical relevance of pattern uniqueness in forensic science. *Forensic Sci Int.*, 231((1–3)), 403.e1–403.e16.
- Jayaprakash, P. T. (2022). *Crime Scene Investigation and Reconstruction: An Illustrated Manual and Field Guide*. CRC Press, Taylor ve Francis Group.
- JOUAV. (2024, March 5). *LiDAR vs. Photogrammetry: The Ultimate Showdown for 3D Mapping (2024)*. JOUAV. Erişim Tarihi: Nisan 5, 2024, from <https://www.jouav.com/blog/lidar-vs-photogrammetry.html>
- Kaygısız, M. (2005). *Adli Bilimler*. Seçkin Yayıncılık.
- Kottner, S., Thail, M. J., ve Gascho, D. (2023). Using the iPhone's LiDAR technology to capture 3D forensic data at crime and crash scenes. *Forensic Imaging*, (32).
- Kraus, M., Pollok, T., Miller, M., Kilian, T., Moritz, T., Schweitzer, D., Beyerer, J., Keim, D., Qu, C., ve Jentner, W. (2020). Toward mass video data analysis: Interactive and immersive 4D scene reconstruction. *Sensors*, 20(18), 5426. 10.3390/s20185426
- Kunter, N., Yenisey, F., ve Nuhoglu, A. (2010). *Muhakeme Hukuku Dalı Olarak Ceza Muhakemesi Hukuku*.
- Kwasnoski, J. (2003). *Crash Reconstruct monoV3*. National District Attorneys Association. Erişim Tarihi: November 21, 2024, from <https://ndaa.org/wp-content/uploads/Crash-Reconstruction-Basics.pdf>
- Leberl, F., Irshara, A., Pock, T., Meixner, P., Gruber, M., Scholz, S., ve Wiechert, A. (2010). Clouds: Lidar versus 3D Vision. *Photogrammetric Engineering ve Remote Sensing*, 76(10), 1123–1134.
- Lee, H. C., Palmbach, T., ve Miller, M. T. (2001). *Henry Lee's Crime Scene Hand book*.
- Lichti, D. D. (2004). Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording. *In Proceedings of FIG Working Week*.
- Liscio E. ve Lim J. (2023) Recon-3D Measurement Accuracy Study for Small Scenes. *J Assoc Crime Scene Reconstr*, (27), 1-10.
- Lindzon, J. (2022, November 10). *NVIDIA Instant NeRF: The 200 Best Inventions of 2022*. Time. Erişim Tarihi: Nisan 5, 2024, from <https://time.com/collection/best-inventions-2022/6225489/nvidia-instant-nerf/>
- Ma, M., Zheng, H., ve Lallie, H. (2010). Virtual reality and 3D animation in forensic visualization. *J. Forensic Sci.*, 55(5), 1227–1231. 10.1111/j.1556-4029.2010.01453.x
- Maloney, A., Campbell, T., ve Killeen, J. (2011). Visualization of Cast-off Patterns Using 3D Modelling Software. *Journal of the Association for Crime Scene Reconstruction*, 17(4), 49-56.
- Mattijssen, E. J.A.T., ve Kerkhoff, W. (2016). Bullet trajectory reconstruction – Methods, accuracy and precision. *Forensic Science International*, (262), 204-211. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.039>
- MeshLab. (2024). MeshLab. Erişim Tarihi: Ekim 21, 2024, from <https://www.meshlab.net/>

- Metascan. (2024). *Support*. Metascan. Erişim Tarihi: Ekim 20, 2024, from <https://metascan.ai/support>
- Montgomerie, C., Raneri, D. ve Maynard, P. (2020). Validation study of three-dimensional scanning of footwear impressions. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 54(1), 119–132. <https://doi.org/10.1080/00450618.2020.1789222>
- Mosaic51. (2021, January 11). *What is LiDAR, how does it work, and what is it used for? - Mosaic51*. Mosaic 51. Erişim Tarihi: Nisan 5, 2024, from <https://www.mosaic51.com/technology/what-is-lidar-how-does-it-work-and-what-is-it-used-for/>
- Notowitz, D. (2023, November 8). *Using 3D Scans and Modeling as Evidence in Court*. American Bar Association. Erişim Tarihi: Nisan 5, 2024, from https://www.americanbar.org/groups/law_practice/resources/law-technology-today/2023/using-3d-scans-and-modeling-as-evidence-in-court/
- NVlabs. (2022). *NVlabs/instant-ngp: Instant neural graphics primitives: lightning fast NeRF and more*. GitHub. Erişim Tarihi: Nisan 5, 2024, from <https://github.com/NVlabs/instant-ngp>
- Ogle, R., ve Plotkin, S. (2017). *Crime Scene Investigation and Reconstruction*. Pearson Education.
- Öztürk, A. F., Hancı, H., ve Cantürk, N. (2017). *Su Altı Olay Yeri İnceleme*. Seçkin.
- Öztürk, B., Erdem, M., ve Özbek, V. (2000). *Ceza Muhakemesi Hukuku*. Seçkin Yayınevi.
- Patterson, A., Dahad, N., Hilson, G., ve Yoshida, J. (2020). *Breaking Down iPad Pro 11's LiDAR Scanner - Page 2 of 6*. EE Times. Erişim Tarihi: November 20, 2024, from <https://www.eetimes.com/breaking-down-ipad-pro-11s-lidar-scanner/2/>
- Penven, D. (2018, Ekim 11). *Bullet Trajectories at Crime Scenes*. Crime Scene Investigator Network. Erişim Tarihi: Ekim 29, 2024, from <https://www.crime-scene-investigator.net/bullet-trajectories-at-crime-scenes.html>
- Polat, O. (2009). *Klinik Adli Tıp Adli Tıp Uygulamaları*. Seçkin Yayınevi.
- Polat, O. (2016). *Kriminoloji ve Kriminalistik Üzerine Notlar*. Seçkin Yayınları.
- Polisin Adli Görevlerinin Yerine Getirilmesinde Delillerin Toplanması, Muhafazası ve İlgili Yerlere Gönderilmesi Hakkında Yönetmelik. (1983, 17 Şubat). Resmî Gazete (Sayı: 17962). <https://www.resmigazete.gov.tr/>
- Polis Vazife ve Salahiyet Kanunu (2559 Sayılı PVSK). (1934, 4 Temmuz). Resmî Gazete (Sayı: 2751). <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/2751.pdf>
- Raneri, D. (2018). Enhancing forensic investigation through the use of modern three-dimensional (3D) imaging technologies for crime scene reconstruction. *Austral. J. Forensic Sci.*, 50(6), 697–707. 10.1080/00450618.2018.1424245
- Recon-3D. (2024). *FAQ*. Recon-3D. Erişim Tarihi: Ekim 20, 2024, from <https://www.recon-3d.com/faq>
- Saferstein, R., ve Roy, T. (2018). *Forensic Science: From the Crime Scene to the Crime Lab*. Pearson.
- Sander, E. (1997). *Olay Yerinde Kriminalistik*. Ocaklar Matbaacılık.

- Sandvik, K., ve Waade, A. M. (2008). Crimes Scenes as Augmented Reality, Off-Screen, Online and Offline. www.krimiforsk.aau.dk
- ScanTraining. (2018). *FZ3 Bullet Trajectory Spheres*. Youtube. Erişim Tarihi: 11 10, 2024, from https://www.youtube.com/watch?v=uqSKdDubgNEveab_channel=ScanTraining.com
- Schofield, D., ve Fowle, K. (2013). Visualising forensic data: Evidence guidelines. *J. Digit. Forensic, Secur. Law*, 8, 93–114. 10.15394/jdfsl.2013.1145
- şehsuvaroğlu, M. S., EKER, O., Erdoğan, M., ve Yıldız, F. (2014). Sayısal Yüzey Modeli Üretiminde Fotogrametri mi, LiDAR mı? *Harita Dergisi*, (151).
- Seyhan, E. (2019). *Delil*. Seçkin.
- Sharman, L. E., ve Elliot, D. A. (2000). Scene analysis and reconstruction. In *Encyclopedia of Forensic Science* (pp. 457–462). Academic Press.
- Shubhamwagh. (2024). *Steps to create textured mesh from point cloud using Meshlab*. GitHub Gist. Erişim Tarihi: Ekim 27, 2024, from <https://gist.github.com/shubhamwagh/0dc3b8173f662d39d4bf6f53d0f4d66b>
- Sieberth, T., Dobay, A., Affolter, R., ve Ebert, L. (2019). A toolbox for the rapid prototyping of crime scene reconstructions in virtual reality. *Forensic Sci. Int.*, 305(110006). 10.1016/j.forsciint.2019.110006
- Silverman, M., ve Thompson, T. (2018). *Kan Konuşur Bir Adli Bilimcinin Anuları*. Nika Yayınevi.
- Stevenson, S., ve Liscio, E. (2024). Assessing iPhone LiDAR ve Recon-3D for determining area of origin in bloodstain pattern analysis. *J Forensic Sci.*, (69), 1045–1060. 10.1111/1556-4029.15476
- Streefkerk, J., Houben, M., Amerongen, P., Haar, F., ve Dijk, J. (2013). The ART of CSI: An augmented reality tool (ART) to annotate crime scenes in forensic investigation. 10.1007/978-3-642-39420-1_35
- Suboch, G. (2016). *Real-World Crime Scene Investigation*. Taylor ve Francis Group.
- Sutton, R., Trueman, K., ve Moran, C. (Eds.). (2016). *Crime Scene Management: Scene Specific Methods*. Wiley.
- Tredinnick, R., Smith, S., ve Ponto, K. (2019). A cost-benefit analysis of 3D scanning technology for crime scene investigation. *Forensic Sci. Int.*, 1(100025). 10.1016/j.fsir.2019.100025.
- Türkiye Cumhuriyeti Anayasası. (1982). Resmî Gazete (Sayı: 17863).
- Türk Ceza Kanunu (5237 Sayılı TCK). (2004, 12 Ekim). Resmî Gazete (Sayı: 25611). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/10/20041012.htm>
- Unreal Engine. (2024). *Unreal Engine 5*. Unreal Engine. Erişim Tarihi: Ekim 21, 2024, from <https://www.unrealengine.com/en-US/unreal-engine-5>
- Ünver, Y., ve Hakeri, H. (2013). *Ceza Muhakemesi Hukuku*. Adalet Yayınları.

- Urschler, M., Höller, J., Bornik, A., Paul, T., Giretzlehner, M., Bischof, H., Yen, K., ve Scheurer, E. (2014). Intuitive presentation of clinical forensic data using anonymous and person-specific 3D reference manikins. *Forensic Sci. Int.*, 241, 155–166. 10.1016/j.forsciint.2014.05.017
- Vogt, M., Rips, A., ve Emmelmann, C. (2021). Comparison of iPad Pro's LiDAR and TrueDepth capabilities with an industrial 3D scanning solution. *Technologies*, 9(2). 10.3390/technologies9020025
- Wang, J., Li, Z., Hu, W., Shao, Y., Wang, L., Wu, R., Ma, K., Zou, D., ve Chen, Y. (2019). Virtual reality and integrated crime scene scanning for immersive and heterogeneous crime scene reconstruction. *Forensic Sci. Int.*, (303). 10.1016/j.forsciint.2019.109943
- Wen, C. Y., Chen, H. H., Lin, C. K., ve Yang, W. C. (2013). 'A study of applying light detection and ranging (LIDAR) to crime scene documentation. *Forensic Sci. J.*, 12(1).
- Wiechert, A., Gruber, M., Karner, K., ve Ponticelli, M. (2012). Schac ray photogrammetry - Ultramap 3.0. *ASPRS*.
- Wigus, G., White, J. B., ve Berry, J. (2013). An Investigation of the Effects of Laminated Glass on Bullet Deflection. *Journal of Forensic Identification*, 63(3), 226.
- Yenisey, F. (2007). *Ceza Muhakemesi Hukukunda Delil*.
- Yılmaz, İ. E. (2023). *Systematic Evaluation Of The Effects Of Low-Resolution And Monochrome Images On Instant Neural Graphic Primitives Based 3d Reconstruction*. MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY.
- Zancajo-Blazquez, S., Laguela-Lopez, S., Gonzalez-Aguilera, D., ve Martinez-Sanchez, J. (2015). Segmentation of indoor mapping point clouds applied to crime scenes reconstruction. *IEEE Trans. Inf. Forensics Security*, 10(7), 1350–1358. 10.1109/TIFS.2015.2407699
- Zubańska, M. (2018). Improvement of crime scene examination and reduction of cognitive deficit—The need to implement a new imaging and dimensioning technique. *Issues Forensic Sci.*, 302, 54–62. 10.34836/pk.2018.302.3

EKLER

Ek 1. 3D Scanner App LiDAR Tarama Sonuçları

Ölçümler	Uzunluk (CM)	Vertices	Face	Tarama Süresi (sn)	İşleme Süresi (sn)	Dosya Formatı	Dosya Boyutu (MB)
1	29,62	9600	16000	26,24	5,27	.OBJ	1,8
2	29,55	7800	14000	10,81	2,50	.OBJ	1,4
3	29,80	8000	14000	11,05	4,22	.OBJ	1,4
4	29,65	8000	14000	12,75	3,18	.OBJ	1,4
5	29,63	7500	13000	11,51	3,88	.OBJ	1,5
6	29,65	6700	12000	11,36	2,77	.OBJ	1,6
7	29,81	7800	14000	8,41	2,38	.OBJ	1,9
8	29,71	7700	14000	11,36	4,61	.OBJ	1,5
9	29,77	8400	15000	11,83	4,55	.OBJ	1,7
10	29,65	7300	13000	9,59	2,19	.OBJ	1,4
11	29,76	8500	15000	9,20	3,36	.OBJ	1,7
12	29,77	7000	12000	11,18	2,50	.OBJ	1,5
13	29,68	8600	15000	8,48	2,84	.OBJ	1,5
14	29,79	9400	16000	11,53	4,49	.OBJ	2,1
15	29,60	7900	14000	9,02	4,21	.OBJ	1,9
16	29,77	8300	14000	12,90	3,56	.OBJ	1,3
17	29,76	10000	17000	10,32	4,81	.OBJ	2,3
18	29,73	8500	14000	10,84	4,23	.OBJ	1,8
19	29,58	7800	14000	11,31	3,09	.OBJ	1,5
20	29,56	10000	18000	12,36	4,61	.OBJ	2,1

Ek 2. 3D Scanner App Photogrammetry Tarama Sonuçları

Ölçümler	Uzunluk (CM)	Vertices	Face	Tarama Süresi (sn)	İşleme Süresi (sn)	Dosya Formatı	Dosya Boyutu (MB)
1	122	28794	50000	41,44	122,04	.OBJ	2,8
2	118	28824	50000	28,21	137,06	.OBJ	2,8
3	110	29049	50000	26,36	134,85	.OBJ	2,8
4	97	28462	50000	25,58	112,72	.OBJ	2,8
5	125	28757	50000	22,08	126,19	.OBJ	2,7
6	124	28525	50000	24,63	127,77	.OBJ	2,7
7	122	29514	50000	22,69	134,07	.OBJ	2,8
8	132	28903	50000	25,48	126,97	.OBJ	2,8
9	131	27813	50000	24,77	133,04	.OBJ	2,8
10	96	29113	50000	21,64	112,34	.OBJ	2,8
11	126	27598	50000	20,65	127,73	.OBJ	2,6
12	121	27878	50000	25,98	128,63	.OBJ	2,7
13	118	28113	50000	21,70	149,80	.OBJ	2,7
14	131	28235	50000	23,91	140,57	.OBJ	2,8
15	132	27672	50000	22,66	128,56	.OBJ	2,7
16	95	29034	50000	23,27	109,74	.OBJ	2,6
17	104	28676	50000	20,97	112,64	.OBJ	2,6
18	107	28465	50000	20,39	119,49	.OBJ	2,5
19	127	28581	50000	20,67	119,68	.OBJ	2,7
20	155	28278	50000	20,88	131,35	.OBJ	3

Ek 3. MetaScan Tarama Sonuçları

Ölçümler	Uzunluk (CM)	Vertices	Face	Tarama Süresi (sn)	İşleme Süresi (sn)	Dosya Formatı	Dosya Boyutu (KB)
1	29,9	146	202	9	5,3	.USDZ	252
2	29,8	140	212	8	2,9	.USDZ	123
3	29,7	91	104	13	5,03	.USDZ	258
4	29,6	124	188	7	2,54	.USDZ	218
5	29,7	183	268	7	4,68	.USDZ	253
6	29,9	233	353	7	5,29	.USDZ	274
7	29,8	147	220	14	2,66	.USDZ	158
8	29,5	189	271	9	4,8	.USDZ	261
9	29,7	186	256	12	2,8	.USDZ	229
10	29,6	309	461	11	5,19	.USDZ	245
11	29,9	210	299	5	4,64	.USDZ	192
12	30	183	273	7	4,76	.USDZ	242
13	29,9	97	137	8	2,66	.USDZ	202
14	29,7	167	246	6	4,25	.USDZ	217
15	29,8	165	225	7	5,39	.USDZ	239
16	30	122	176	5	2,65	.USDZ	156
17	29,6	118	157	8	4,64	.USDZ	259
18	29,8	173	239	9	5,27	.USDZ	161
19	29,7	426	585	6	4,59	.USDZ	253
20	29,7	223	296	10	4,86	.USDZ	247

Ek 4. Recon 3D Tarama Sonuçları

Ölçümler	Uzunluk (CM)	Points	Tarama Süresi (sn)	İşleme Süresi (sn)	Dosya Formatı	Dosya Boyutu (MB)
1	29,31	144910	14	17,84	.e57	2,2
2	29,45	181022	19	39,31	.e57	2,7
3	29,19	193656	27	47,24	.e57	2,9
4	28,57	130680	18	38,16	.e57	2
5	29,52	188672	24	59,68	.e57	2,8
6	29,47	178304	18	39,64	.e57	2,7
7	29,68	179160	26	49,49	.e57	2,7
8	29,46	187499	25	53,39	.e57	2,8
9	29,51	196592	30	58,36	.e57	3
10	29,28	148203	20	51,42	.e57	2,2
11	29,74	186040	18	61,19	.e57	2,8
12	29,72	164045	24	73,04	.e57	2,5
13	29,30	159459	26	71,08	.e57	2,4
14	29,96	186230	22	68,03	.e57	2,8
15	29,66	169157	29	63,71	.e57	2,6
16	28,83	175092	21	73,31	.e57	2,6
17	29,77	183312	28	68,89	.e57	2,8
18	29,77	249038	25	53,69	.e57	3,8
19	29,34	199935	20	48,25	.e57	3
20	29,86	201566	30	81,51	.e57	3