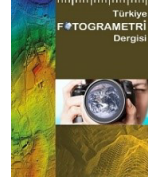




## Türkiye Fotogrametri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod>

e-ISSN 2687-6590



### Kriminal Olay Yerlerinin Dijital Belgelenmesinde Yersel Lazer Tarama Kullanımı

Dilara Özden Gür <sup>1\*</sup>, Murat Yakar <sup>2</sup>

- Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, 33110, Mersin, Türkiye; (dilaraozdengur33@gmail.com)
- Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (myakar@mersin.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
dilaraozdengur33@gmail.com

#### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Gür, D. Ö., & Yakar, M. (2024). Kriminal Olay Yerlerinin Dijital Belgelenmesinde Yersel Lazer Tarama Kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(2), 54-70.

Geliş : 30.11.2024  
Revize : 07.12.2024  
Kabul : 13.12.2024  
Yayınlama : 31.12.2024

#### Özet

Bu çalışma, kriminal olay yerlerinin dijital olarak belgelenmesi ve analizinde yersel lazer tarayıcı teknolojisinin etkinliğini değerlendirmektedir. Olay yerinin doğru, hızlı ve detaylı bir şekilde belgelenmesi, adli bilimlerde delil bütünlüğünün korunması ve olayın yeniden yapılandırılması açısından kritik öneme sahiptir. Çalışmada, FARO Focus S350 modeli bir YLT cihazı kullanılarak örnek bir suç mahalli detaylı bir şekilde taranmış ve elde edilen 3B veriler analiz edilmiştir. Sonuçlar, YLT teknolojisinin yüksek hassasiyet ve doğruluk sunduğunu, olay yerindeki tüm detayları eksiksiz bir şekilde kaydettiğini göstermiştir. Ayrıca, bu teknoloji, adli süreçlerde görselleştirme ve analizleri desteklemek için güçlü bir araç olarak değerlendirilmektedir. YLT'nin sağlayabildiği detaylı ve hızlı veri toplama kapasitesine rağmen, parlak yüzeylerde ölçüm hataları ve cihaz maliyeti gibi sınırlamalar dikkat çekmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, tamamlayıcı teknolojilerin entegrasyonu ve cihaz performansını artıracak yazılım geliştirmelerinin yapılması önerilmektedir. Bu bağlamda YLT, adli bilimlerde dijital dönüşümün önemli bir parçası olarak öne çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yersel lazer tarama, kriminal olay yeri, dijital belgeleme, 3B modelleme, adli bilimler.

### Utilization of Terrestrial Laser Scanning in the Digital Documentation of Crime Scenes

\*Corresponding Author:  
dilaraozdengur33@gmail.com

#### Research Article

**Citation:** Gür, D. Ö., & Yakar, M. (2024). Utilization of Terrestrial Laser Scanning in the Digital Documentation of Crime Scenes. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(2), 54-70 (in Turkish).

Received : 30.11.2023  
Revised : 07.12.2024  
Accepted : 13.12.2024  
Published : 31.12.2024

#### Abstract

This study evaluates the effectiveness of terrestrial laser scanning (TLS) technology in digital documentation and analysis of crime scenes. Accurate, fast, and detailed documentation of crime scenes is critical for preserving evidence integrity and reconstructing events in forensic investigations. In this study, a FARO Focus S350 TLS device was utilized to scan a simulated crime scene in detail, and the resulting 3D data were analyzed. The findings demonstrate that TLS technology provides high precision and accuracy, capturing all details of the crime scene comprehensively. Moreover, this technology is considered a powerful tool for supporting visualization and analysis in judicial processes. Despite its detailed and rapid data acquisition capabilities, limitations such as measurement errors on reflective surfaces and the high cost of devices were noted. Future studies are recommended to explore the integration of complementary technologies and the development of software to enhance device performance. In this context, TLS emerges as a significant component of the digital transformation in forensic science.

**Keywords:** Terrestrial laser scanning, crime scene, digital documentation, 3D modeling, forensic science.

## 1. Giriş

Kriminal alanlar, işlenmiş bir suçun izleri, delilleri ve sonuçlarıyla birlikte ele alınarak, kolluk kuvvetleri ve olay yeri inceleme ekipleri tarafından detaylı bir şekilde değerlendirilen, adaletin sağlanmasına yönelik kritik çalışma alanlarından biridir [1]. Bu alanlarda yapılan incelemeler, suçun tam olarak aydınlatılması ve suçla ilişkili bireylerin adalet önünde hesap vermesini sağlamak açısından hayati öneme sahiptir [2]. Kriminal incelemelerde, suçun çözülmesi için yanıtlanması gereken "5N 1K" (ne, kim, neden, nerede, ne zaman ve nasıl) sorularına odaklanılmaktadır [3]. Bu soruların doğru yanıtlanması, suçun aydınlatılmasına ve olayın en doğru şekilde çözüme kavuşturulmasına olanak tanımaktadır [4].

Kriminal alanda gerçekleştirilen adli analizler, belirli suçların çözümüne yönelik soruşturmaların önemli bir bileşenidir [5]. "Olay yeri incelemesi" terimi, suç mahallinin koordineli ve sistematik şekilde incelenmesini ifade eder [3]. Bu incelemeler, olay yeri inceleme uzmanları, adli kimlik tespit memurları, adli tabipler ve diğer uzmanlardan oluşan ekipler tarafından yürütülmektedir [6]. Müdahale edilen olaylar arasında cinayet, kundaklama ve ölüm ya da ağır yaralanmayla sonuçlanan kazalar yer almaktadır [7]. Bazı durumlarda, soruşturma kapsamına cezai ihmalkârlık da dahil olabilmektedir.

Kriminal alanlar, doğası gereği dinamik ve değişken ortamlardır [8]. Bir suç işlendiğinde, olay yeri hızla kirlenmeye başlayarak delillerin bozulmasına karşı savunmasız hale gelir [9]. Kanıtlar toplandıkça ve olay yeri orijinal haline döndürüldükçe, olay yerinin tahrip edilmesi kaçınılmazdır. Çoğu zaman ikinci bir belgeleme veya kanıt toplama fırsatı bulunmamaktadır [10]. Bu bağlamda, tek amacı meydana gelen olayları yeniden yapılandırmak ve delil toplamak olan polis birimleri için, olay yerinin güvenliği ve incelemenin zamanlaması büyük önem taşımaktadır [11].

Soruşturma süreci genellikle kanıt niteliğindeki görüntülerin veya nesnelerin analiz için bilimsel uzmanlara, yargılama sürecinde ise adli makamlara iletilmesini gerektirmektedir [12]. Teknolojinin her geçen gün hızla gelişmesi, suçların çözümünde kullanılan geleneksel yöntemlerin yerini daha ileri ve bilimsel tekniklerin almasına olanak sağlamıştır [13]. Adli bilimler disiplini, adaletin tesis edilmesinde yararlı olabilecek her türlü bilimsel bilgi ve teknolojik yeniliği kapsayan geniş bir alan haline gelmiştir [14]. Günümüzde antropoloji, botanik, diş hekimliği, psikoloji gibi farklı bilim dalları da adli bilimler bir parçası olarak, adalet ve yargı sistemine hizmet sunmakta ve kriminal olayların aydınlatılmasında görev almaktadır [15]. Adli bilimler, olayların çözümünde çok sayıda bilim dalını ve disiplinler arası iş birliğini bir araya getirerek adalet sistemine değerli

katkılar sağlamaktadır. Suçların çeşitlenmesi ve suç işleme yöntemlerinin farklılaşması, bu alandaki bilimsel yöntemlerin sürekli olarak gelişmesini zorunlu hale getirmiştir [16]. Artık adaletin sağlanabilmesi için en güncel bilimsel yaklaşımlar ve teknolojiler kullanılmakta, bu süreçlerde veri analizine, üç boyutlu (3B) modellemelere ve çeşitli ölçüm tekniklerine dayalı modern araçlar tercih edilmektedir [17, 18]. Nesnelere hakkında veri elde etmek, bu verileri bilgisayar ortamında değerlendirerek bilgiye dönüştürmek ve nesnelerin birebir 3B görüntülerini oluşturmak günümüzde giderek daha önemli bir konu haline gelmiştir [19, 20]. Gerçek dünyayı simüle etme, modelleme, animasyon oluşturma ve alan görselleştirme gibi konumsal uygulamalar, yalnızca 3B çalışmalar sayesinde mümkün olmaktadır [21, 18]. Özellikle yüksek hassasiyette yükseklik verisine duyulan ihtiyaç, teknolojik gelişmelerle birlikte hızla artmaktadır [22, 23, 24].

Adli bilimler, suça karışmış kişileri, yerleri ve olayları anlamaya ve aralarındaki ilişkileri açığa çıkarmaya çalışan, bilimsel analizlere dayanan bir disiplindir [25]. Bu geniş disiplin içinde, suçu bilimsel yöntemlerle aydınlatmaya odaklanan kriminalistik ile suç davranışlarının nedenlerini araştıran kriminoloji, adli bilimlerin en önemli iki alt dalını oluşturmaktadır [25, 26]. Kriminalistik, "bilimsel polislik" olarak tanımlanır ve suçların çözümünde kimya, biyoloji ve fizik gibi pozitif bilimlerin tekniklerinden yararlanır. Bununla birlikte, kriminalistik yalnızca suçları bulmakla değil, masumiyetin kanıtlanmasıyla da yakından ilişkilidir. Olay yerindeki en küçük ipucu bile, suçsuz bireylerin masumiyetini ortaya koymak için kritik bir kanıt sunabilmektedir [27]. Fransız bilim insanı Edmond Locard'ın ünlü "Her temas bir iz bırakır" ilkesi, modern kriminalistikte hâlâ geçerliliğini koruyan temel prensiplerden biridir. Bu ilke, her suçun geride bir iz bıraktığını ve en küçük temasın bile olay yerinde izler bırakabileceğini ifade eder [26]. Bu anlayış, kusursuz bir suçun mümkün olmadığını vurgulamakta ve kriminalistik bilim dallarının daha etkin bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır.

Kriminalistik alanının tarihine bakıldığında, modern olay yeri incelemesinin temellerinin 19. yüzyılda atıldığı görülmektedir. Kriminalistik, Avusturyalı hukukçu ve kriminolog Dr. Hans Gross'un çalışmalarıyla bilimsel bir alana dönüşmüştür [28]. Dr. Gross, suç profillemesinin kurucusu olarak kabul edilmekte olup "kriminalistik" kavramını da ilk kez ortaya atan kişidir. Onun 1893'te yayımladığı "Kriminal Soruşturmalar Pratik Bir Ders Kitabı" adlı eseri, kriminalistik için önemli bir temel oluşturmuştur. Ayrıca, Fransız hekim ve kriminolog Dr. Alexandre Lacassagne ve öğrencisi Edmond Locard, suç incelemelerinde bilimsel prensiplerin

kullanılmasını destekleyen önemli çalışmalara imza atmışlardır [29]. Locard'ın "Her temas bir iz bırakır" sözü, modern adli bilimlerin kurucu ilkelerinden biri haline gelmiş ve günümüzde adli bilimciler tarafından temel bir prensip olarak benimsenmiştir.

Gelişen bilim ve teknoloji, kriminalistik ve adli bilimler alanlarında önemli ilerlemelere zemin hazırlamaktadır [30]. Günümüzde, adli bilimlerdeki teknik ve bilimsel gelişmeler hızlı bir şekilde devam etmekte ve suç incelemeleri alanında daha detaylı, hassas ve güvenilir veriler elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Yersel Lazer Tarama (YLT) cihazlarının kriminal alanlarda kullanımı da bu teknolojik ilerlemenin bir örneği olarak dikkat çekmektedir [31]. Bu cihazlar, olay yerinin detaylı 3B modellerini oluşturarak olay yerinin en küçük ayrıntısına kadar incelenmesine olanak tanımakta ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha hassas ve hızlı bir veri toplama süreci sunmaktadır [32]. Adli olayların çözümlenmesinde en güncel teknolojilerin kullanılması artık yalnızca bir seçenek değil, aynı zamanda adaletin sağlanması açısından bir zorunluluk haline gelmiştir.

YLT cihazları, azınlıkta olan ancak sayıları giderek artan polis departmanlarında olay yeri dokümantasyonu için tercih edilen bir araç haline gelen sofistike ölçüm cihazlarıdır [33, 34, 35]. Bu kuruluşların YLT cihazlarını adli soruşturma aracı olarak kullanmaya başlaması nispeten yakın bir tarihte, yaklaşık olarak son 15 yıl içinde gerçekleşmiştir. Dahası, bu tür kanıtların sınırlı sayıda yargı alanında mahkemelere kabul edilmesi de nispeten yeni bir olgudur. YLT teknolojisi, bir ortamın gerçek durumunu çıkarma ve bunu mükemmele yakın bir yansıma olarak yeniden üretme yeteneğine sahiptir. Bu cihazlar, çevredeki ortamın boyutlarını ve fiziksel özelliklerini yakalamak için kontrollü lazer darbeleri kullanmaktadır. YLT'den elde edilen veriler, bilgisayar yazılımı kullanılarak olay yerinin yerinde ölçekli modellerine dönüştürülebilmekte böylece nesnelerin ve alanın doğru bir şekilde ölçülmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, polis hipotezleri olay yerinin sanal bir rekonstrüksiyonu içinde ampirik testlere tabi tutulabilmektedir. Bu çalışmada tartışılacağı üzere, bu tür kanıtlar ceza yargılamalarında gerçeklerin ortaya çıkarılması bağlamında önemli bir değere sahip olabilmektedir.

Bu araştırmanın temel amacı, adli soruşturma bağlamında YLT cihazlarının faydalarını ve bu cihazlardan elde edilen verilerin kanıt olarak kullanılabilmesi yasal senaryoları değerlendirmektir. Bu kapsamda çalışmada, kullanım ve taşıma kolaylığı sunan FaroFocus S350 model YLT cihazı tercih edilmiştir. Araştırma, YLT'nin kriminal alanlardaki kullanımına ilişkin mevcut literatürün kapsamlı bir şekilde incelenmesini ve bütünleştirilmesini

gerektirmektedir. Ancak, bu alanda YLT ölçümlerinin doğruluğunu destekleyen kanıtların azlığı, polis güçlerinin bu cihazları adli bağlamlarda nasıl kullandığına dair araştırmaların sınırlılığı ve mevcut literatürdeki boşluklar dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, YLT'nin kriminal alanlarda kullanım potansiyelini ortaya koymak amacıyla kapsamlı bir literatür incelemesi yapılmış, ayrıca örnek bir suç mahalli incelemesinde YLT'nin kullanımı ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 1.1. Olay Yeri Adli İncelemelerinde Lazer Tarama Yöntemi Kullanılması

Olay yeri incelemesinin geçmişi, Antistius'un M.Ö. 44 yılında önde gelen Romalı komutan Julius Caesar'a yaptığı otopsiye kadar uzanmaktadır [2]. Modern çağda, bir suçun işlenme nedenini ve şeklini belirlemek amacıyla bir olay yerinin adli incelemesi yapılmaktadır. Bir kanıtın, tanıkların ifadelerini güçlendirmek amacıyla duruşma boyunca kullanılabilmesi düşünülmektedir [36]. Bir olay yerini ele almanın geleneksel yöntemi, genellikle görüntü kaydetmek amacıyla kullanılan bir Dijital Tek Lensli Refleks kamera kullanımını içermektedir [37]. Söz konusu görüntünün daha fazla analiz için sınırlı bir potansiyel sunduğu kabul edilmelidir. Ayrıca soruşturmacının varlığı, insan hatasının bir sonucu olarak önemli kanıtların gözden kaçmasına yol açarak araştırmanın doğruluğunu ve bütünlüğünü potansiyel olarak etkileyebilmektedir [38]. Geleneksel bir olay yeri incelemesinin en önemli sorunlarından biri, genellikle birden fazla kurumun katılımını içeren sürecin tamamlanması için gereken zamandır. Süreç doğru şekilde yürütülmezse bu durum potansiyel olarak delillerin kirlenmesine yol açabilmektedir. Lazer tarayıcı gibi bir teknolojinin kullanılmasının olay yerinin gözlemlenmesini kolaylaştırarak delillerin elde edilmesini, bölgenin özelliklerinin ve niteliklerinin tanımlanmasını ve nispeten kısa bir zaman dilimi içinde kirlenmenin önlenmesini sağlaması muhtemel görünmektedir [39]. Operasyon tek bir kişi tarafından yürütülebileceğinden, olay yerinde çok sayıda personele duyulan ihtiyaç azalmaktadır. Lazer tarama cihazı tarafından üretilen nokta bulutu verileri özel yazılımlar kullanılarak analiz edilebilmekte ve bu da olay yerinin incelenmesine yardımcı olabilmektedir. Lazer tarayıcılar milyonlarca noktanın kısa sürede taranması için temassız bir alternatif sunarak replikalara ihtiyaç duymadan olay yerinin bir modelini sağlamaktadır [40]. Bu işlevsellik lazer tarayıcıların temassız özelliklerinin doğasında vardır. Lazer tarayıcılar, Işık Algılama ve Mesafe Belirleme (LightDetectionandRanging/LiDAR) ölçme prensibini kullanmaktadır.

Işık Algılama ve Mesafe Belirleme'nin kısaltması olan LiDAR terimi, ışık hızından ve ışığın bir verici ile alıcı arasındaki mesafeyi kat etmesi için gereken süreden yararlanarak mesafeleri belirlemek için lazer ışığını kullanan bir tekniği ifade etmektedir. Işık hızının sabit ve zamanın değişken olduğu göz önüne alındığında, aletler arasındaki mesafeler  $d = (ct)/2$  basit formülü kullanılarak tahmin edilebilmektedir; burada (c) ışık hızını, (t) uçuş süresini ve (d) mesafeyi temsil etmektedir. LiDAR teknolojisi, nesnelere temas etmeden onların 3B modellerini oluşturma imkânı sunarak bu alandaki çalışmaların temelini oluşturmaktadır [41, 42]. Teknolojideki hızlı ilerlemeler, LiDAR kullanımını haritacılık alanına da entegre etmiştir [43, 44-51]. Geleneksel ölçüm yöntemlerine alternatif bir çözüm sunan 3B lazer tarayıcılar, mühendislik ölçümlerinin doğruluğunu artırmış ve 3B ölçümlere duyulan güveni pekiştirmiştir [41, 43-48, 52, 53].

LiDAR, kendisi tarafından üretilen yansıyan lazer ışığını algılayan ve gözlemlenen ışık yoğunluğuna ilişkin bilgileri görüntüleyen aktif bir sensör olarak işlev görmektedir [54]. Her iki tarafın da geçerli bir ihtilaf noktası olduğu görülmüştür. Örneğin uçuş süresi ölçüm cihazı, faz kaydırma cihazına kıyasla daha üstün bir doğruluk sergilemektedir; ancak küçük ayrıntıları çözmede daha az etkilidir [55]. Faz kaydırma ölçümleri, değişkenler hesaplanırken zaman gecikmesinin dikkate alınması bakımından uçuş zamanı ölçümleriyle neredeyse aynıdır. Faz kayması ve frekans modülasyonunun (f) aynı frekans ve bağlı genlikteki yansıma ile tanımlandığı kabul edilmektedir. Daha sonra, iletilen ve alınan sinyaller arasındaki uyumsuzluğu tespit etmek mümkün olacaktır [56]. Yukarıda belirtilen değişkenleri belirlemek için t'nin zaman gecikmesini, faz kaymasını ve f'nin frekans modülasyonunu temsil ettiği denklem kullanılabilir. Mesafeyi ifade eden d değeri,  $d = (c \cdot t)/2$  denklemi kullanılarak önceden belirlenen zaman gecikmesinden (t) hesaplanabilmektedir; burada c ışık hızını ve d mesafeyi temsil etmektedir.

Kısaca LiDAR, lazer tarama cihazlarıyla veri toplayan bir teknolojidir ve esas olarak lazer ışınları gönderip geri dönüş süresini ölçerek mesafe hesaplanmaktadır [57]. Bu süreçte, yüzeylerin konum ve özelliklerini hassas şekilde kaydederek böylece 3B modelleme yapılmasına olanak tanımaktadır. LiDAR cihazları, olay yeri incelemesi gibi alanlarda, karmaşık ve geniş alanların hızlı bir şekilde analiz edilmesi için idealdir. LiDAR'ın olay yerinde kullanımında en çok kullanılan yöntem, YLT yöntemidir.

YLT, polis teşkilatlarının çalışmalarını daha verimli bir şekilde tamamlamalarını sağlamaktadır. Bu teknolojinin doğruluktan ödün vermeden sunduğu gelişmiş verimlilik, polis teşkilatlarının zamanından ve kaynaklarından önemli ölçüde tasarruf edilmesini

sağlayabilmektedir. Ayrıca, YLT cihazlarının kullanımı kolluk kuvvetlerine olay yerinde kaydedilen bilgilerle ilgili olarak daha fazla esneklik sağlamaktadır. Baber ve Butler (2012), kriminal soruşturmacının uzmanlık seviyesinin olay yerinde bulunan materyalin kanıt değerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını tespit etmiştir [58]. Bununla birlikte, uzmanlar bile hataya açıktır; bu insan doğasının doğal bir yönüdür [13]. YLT yöntemi çok geniş bir veri yelpazesini yakalama kapasitesine sahip olduğundan, araştırmacılar olay yeri incelemeyi tamamlayıp alandan ayrıldıktan sonra gözden kaçırmış olabilecekleri önemli ölçümlerin genel belgelemeyi etkilemeyeceğinden emin olabilmektedirler. Başka bir deyişle, olay yerinde hangi ölçümlerin yapılması gerektiğinin belirlenmesindeki öznellik azaltılabilmektedir [59] ve YLT yöntemi olay yeri belgelemesi ve yeniden yapılandırma açısından bir güvenlik ağı olarak düşünülebilmektedir [60]. Taramaların en başından itibaren düzgün bir şekilde yapılmış olması ve güncel veri formatlarının erişilebilir kalması koşuluyla, kolluk kuvvetleri aylar ya da yıllar sonra tarama verilerini kolaylıkla tekrar inceleyebilmektedir. Bu tür verilerin sağlamlığı, olay yerinin sonradan anlaşılmasına da yardımcı olmaktadır.

YLT teknolojisi yeni bir buluş değildir. Arazi ölçümü, imalat ve inşaat dahil olmak üzere bir dizi başka alanda kullanılmıştır. Ancak, yaklaşık olarak son 15 yıl içerisinde adli tıp alanına uygulanması yeni bir yaklaşımı temsil etmektedir.

## 1.2. Yersel Lazer Tarama Yöntemi ve Adli Bilimlerde Kullanımı

YLT yöntemi, lazer ışınları kullanarak bir alanın veya yapının 3B modelini oluşturan ileri bir teknolojidir [61]. Sabit bir konumdan yüksek çözünürlükte veri toplamak üzere tasarlanan YLT cihazları, özellikle detaylı ve hassas analizlerin gerektiği alanlarda ideal bir çözüm sunmaktadır. Bu cihazlar, genellikle bir tripod üzerine yerleştirilerek sabit bir noktadan lazer ışınları gönderir ve her bir ışının bir yüzeye çarpıp geri dönme süresini ölçer. Bu süre, ışının aldığı mesafeyi belirlemek için kullanılır ve elde edilen mesafe verileri, "nokta bulutu" (pointcloud) adı verilen bir veri setinde kaydedilir [62]. Bu nokta bulutu, tarama yapılan alanın veya objenin detaylı bir 3B modelini oluşturur. YLT yöntemi, adli bilimlerde çok sayıda önemli kullanım alanına sahiptir [1]. Bu alanların başında olay yeri belgelemesi gelmektedir. YLT teknolojisi, olay yerinin eksiksiz ve hızlı bir şekilde kayıt altına alınmasını sağlar [5]. Elde edilen 3B model, olay yerindeki kanıtların ve nesnelere yerlerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır. Ayrıca, olayın görsel olarak yeniden

canlandırılmasında da bu modelden yararlanılabilir [63]. Örneğin, kurbanın veya şüphelinin olay anındaki pozisyonları, kanıtların konumu gibi kritik detaylar bu teknoloji sayesinde net bir şekilde ortaya konabilir. Bu durum, mahkeme sürecinde olayın anlaşılmasını kolaylaştırarak görsel bir anlatım sağlar [64].

YLT yönteminin bir diğer önemli avantajı, yüzey ve iz analizine olanak tanmasıdır. YLT cihazları, duvarlardaki darbe izleri veya ayak izleri gibi küçük detayları bile doğru bir şekilde kaydedebilir ve olayın nasıl geliştiğine dair önemli bilgiler sunabilir [65]. Hassas ölçüm yetenekleri sayesinde yüzeylerin ve nesnelerin detaylı analizi yapılabilir [66]. Ayrıca, YLT ile elde edilen dijital veriler uzun süre saklanabilir ve bu durum, fiziksel kanıtların zamanla bozulması veya yok olması halinde bile dijital kayıtların kullanılabilmesini mümkün kılar [67]. Bununla birlikte, YLT yönteminin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Taranan yüzeyin yapısı ve malzemesi, lazerin yansıma performansını etkileyebilmektedir. Örneğin, parlak veya yansıtıcı yüzeyler ölçümlerde zorluk yaratabilir [68]. Bu durum, tarama sırasında bazı kör noktaların kalmasına neden olabilir [69].

Karasaka ve Beg (2021), çalışmalarında YLT yöntemini bir dizi endüstriyel, mimari ve adli bağlamda kullanmışlardır [70]. Bu uygulamalar arasında camiler, madencilik faaliyetleri, tarihi yapıların modellenmesi ve trafik kazalarında hasar gören araçların analizi yer almıştır. Araştırmacılar, lazer tarama teknolojisinin güçlü, pratik, doğru ve güvenilir çözümler sunduğu için birçok uygulama için kabul edilebilir ve kullanılabilir bir değerlendirme aracı olduğu sonucuna varmışlardır [70]. Araştırmacılar, mesafe ve 3B nokta konum bilgilerine ek olarak, tarama verilerini yazılımla birleştirerek olay yerinin görünümünü taklit eden 3B modeller de elde etmişlerdir. Yazarlar, YLT tekniğinin büyük veri setleriyle karmaşık sahnelerin ayrıntılı modellerini oluşturarak hassas ve güvenilir geometrik ve metrik veriler elde etmede geleneksel ölçme yöntemlerine göre önemli bir avantaj sunduğu sonucuna varmışlardır [70]. Farklı geometrik yapılara sahip özelliklerin YLT yöntemi ile modellenmesi üzerine yapılan bu çalışmada yazarlar, YLT yönteminin kriminal alanlarda kullanımını da incelemişlerdir. Ayrıca yazarlar, bu yöntemin kapsamlı bir 3B nokta bulutu ve renkli görüntülerin eşzamanlı olarak yakalanmasıyla bir suç mahallinin hızlı bir şekilde taranmasını sağladığını belirtmişlerdir [70]. Yazarlar, 3B adli belgeleme yönteminin tüm olay yerinin kapsamlı bir şekilde belgelenmesini sağladığını ileri sürmüşlerdir [70]. Yazarlar, adli tıp uzmanlarının daha kesin ve güvenilir sonuçlar elde ederken zamandan tasarruf etme potansiyeli de dahil olmak üzere bu yaklaşımın avantajlarının altını çizmişlerdir. Ayrıca, yazarlar adli bir vakayı örnekleyen bir suç mahalli

oluşturarak 6\*12 m<sup>2</sup>'lik bir oda içerisinde dört farklı istasyondan lazer taraması gerçekleştirmişlerdir [70]. Daha sonra araştırmacılar, olay yerinin nokta bulutlarını ve 3B modelini oluşturmak için FaroSCENE yazılımını kullanmışlardır. Her bir taramayı ayrı ayrı işledikten sonra, olay yerinin kapsamlı bir nokta bulutu temsilini elde etmek için dört tarama veri setini birleştirmişlerdir. Bu birleştirilmiş nokta bulutu, manuel birleştirme sonuçlarına göre en az %81,9'luk bir örtüşme oranı ve 0,6 mm'lik bir doğruluk hatası sergilemiştir.

Diğer avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Ölçüm çalışmasıyla ilgili maliyetlerde kayda değer bir azalma sağlamaktadır.
- Proje önemli ölçüde daha kısa bir zaman diliminde, birkaç günde tamamlanabilmektedir.
- Son derece karmaşık, erişilemez ve tehlikeli nesnelere ve geleneksel araştırma tekniklerinin uygulanmadığı alanları uzaktan araştırma kapasitesi sunmaktadır.
- Ayrıca, tarama işlemleri ortam aydınlatmasından bağımsız olarak gece de gerçekleştirilebilmektedir.
- Tarama kapsamlı olup ölçüm altındaki nesne veya alanla ilgili tüm ilgili verileri tek bir işlemde yakalamaktadır. Bu, yeni verilere ihtiyaç duyulması halinde, taramanın gerçekleştirildiği alana geri dönmenin gerekli olmadığı anlamına gelmektedir. Bu da kullanıcının tarama sonuçlarının doğruluğuna olan güvenini artırmaktadır.
- Hem şu anda hem de gelecekte çok amaçlı veri kullanım kapasitesi bulunmaktadır [71].

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, kriminal alanların belgelenmesi amacıyla menzil tabanlı yöntemlerden biri olan YLT tekniği kullanılmıştır. Kriminal incelemeler kapsamında YLT cihazlarının kullanımının faydalarını göstermek amacıyla örnek bir kapalı suç mahalli oluşturulmuş ve suç alanı FARO Focus S350 model YLT cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Daha sonra, elde edilen veriler bilgisayardaki FaroScene programına aktarılmış ve burada suç alanının 3B nokta bulutu veya 3B modeli oluşturulmuştur. Çalışmada taşınabilir ve kullanıcı dostu olan FARO Focus S350 YLT cihazı kullanılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde uygulamada kullanılan ekipman, belgeleme için kullanılan metodoloji ve çalışmanın doğruluğuna ilişkin bir analiz sunulmaktadır.

### 2.1. Yersel Lazer Tarama Yöntemi

Geleneksel ölçme teknikleriyle karşılaştırıldığında, YLT yöntemi, 3B nokta bilgilerinin hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlayan modern bir ölçüm tekniğidir. Nesnelerin 3B modelleri, nokta

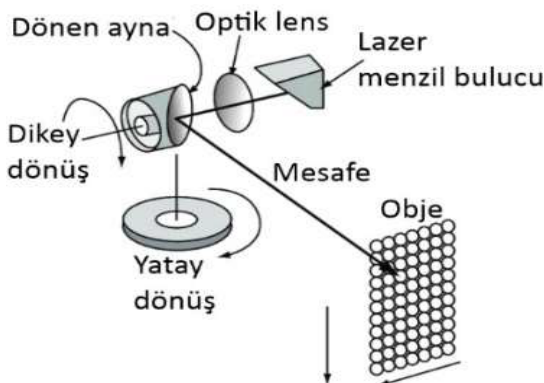
bulutlarının kaydedilmesi, çeşitli yöntemlerle birleştirilmesi ve gereksiz verilerin temizlenmesi yoluyla oluşturulmaktadır [70]. YLT cihazları genellikle sabit bir platform üzerinde konumlandırılmakta ve özellikle büyük olmayan nesnelere veya alanların taranması için kullanılmaktadır.

YLT cihazlarının ölçüm metodolojisi, lazer ışığının cihaz ile ölçülen nesne arasındaki gidiş-dönüş süresinin ölçülmesine dayanır. Bu işlem, nesnenin 3B konumsal verilerinin elde edilmesini sağlar [72]. YLT cihazları, lazer ışını hem yatay hem de dikey eksenlerde iletebilen özel bir mekanizmayla donatılmıştır. Ölçüm işlemi sırasında, YLT cihazının elektronik ünitesinden yayılan lazer ışını, cihazın gövdesindeki optik üniteye çarpar ve buradan yansarak cihazdan çıkar. Çıkan ışın, yatay eksenle belirli bir açı yaparak ilerler. Tarama işlemi esnasında, cihaz dikey eksen etrafında artan açılarla döner ve veri toplamaya devam eder. Bu işlem, tarama işlemi tamamlanuncaya kadar sürmektedir ve sürecin ayrıntıları Şekil 1'de gösterilmiştir [73, 74].

Her bir taramanın tamamlanmasının ardından, elde edilen veriler kullanıcıya bir nokta bulutu şeklinde sunulmaktadır. Yukarıda bahsedilen nokta bulutundaki her bir lazer noktası tarayıcıda kutupsal koordinatlarda, özellikle  $(r, \varphi, \theta)$  saklanmaktadır. Söz konusu kutupsal koordinatların kartezyen koordinatları  $(x, y, z)$  tarayıcı yazılımı tarafından hesaplanmakta ve kullanıcıya Kartezyen koordinatlar şeklinde sunulmaktadır [76, 77, 72]. YLT cihazı tarafından ham haliyle alınan kutupsal koordinatların kartezyen koordinatlara dönüştürülmesi için kullanılan matris Denklem 1'de gösterilmektedir.

$$x_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} r_j \cos \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (1)$$

Bu denklemde Lazer tarayıcı tarafından ham olarak alınan kutupsal koordinatlar, kartezyen koordinatlara dönüştürülürken kullanılan matris.



Şekil 1. YLT cihazı çalışma prensibi şeması [75].

## 2.2. Yersel Lazer Tarayıcıların Ölçme Prensipleri

YLT cihazlarının ölçme prensiplerine göre sınıflandırılmasında belirlenen kriterlere uygun olarak, YLT cihazları faz farkı tarayıcıları, uçuş zamanı (time of flight) ölçümüne dayalı darbeli tarayıcılar ve optik üçgenleme (triangulasyon) tarayıcıları olarak kategorize edilmektedir. Bunlara ek olarak hibrit sistemler de mevcuttur.

### 2.2.1. Faz Farkı Tabanlı

Faz farkı tabanlı YLT cihazlarının temel prensibi, lazer ışınındaki faz değişikliklerinin, özellikle bir referans ile ölçülen sinyal arasındaki faz farkının ölçülmesi yoluyla mesafenin hesaplanmasına dayanır. Bu yöntem, "toplam istasyonlar" olarak da bilinir. İletilen lazer ışını eşleştirilerek, mesafe iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanır. Kullanım açısından bu yöntem, uçuş zamanı yöntemine benzerlik gösterir; ancak daha karmaşık sinyal analizleri uygulandığından sonuçlar genellikle daha doğrudur. Bu yöntem, kısa mesafelerde yüksek hassasiyet sağlar ve özellikle arkeoloji, mimari ve inşaat gibi detaylı analiz gerektiren alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu cihazlar diğer yöntemlere kıyasla daha karmaşık ve maliyetlidir [78].

### 2.2.2. Uçuş Zamanı Tabanlı

Uçuş zamanı tabanlı YLT cihazları, lazer ışınının hedef yüzeye gidiş ve geliş süresinin ölçülmesiyle mesafenin hesaplanmasına dayanır. Lazer ışını bir nesneye yönlendirilir ve verici ile nesne arasındaki mesafe, sinyalin yüzeyden geri dönmesi için geçen süreye göre belirlenir. Bu yöntem, total station teknolojisiyle benzer prensipler taşır. Ancak total stationlar, ölçüm oranlarının yavaşlığı ve sinyal işleme süreçlerinin karmaşıklığı nedeniyle daha az etkilidir. Uçuş zamanı yöntemi, uzun mesafelerde oldukça etkili bir çözüm sunar. Ancak, doğruluk seviyesi faz farkı yöntemine göre daha düşüktür. Bu nedenle, bu yöntem jeolojik, coğrafi ve büyük ölçekli yüzey ölçümleri için idealdir [78].

### 2.2.3. Optik Üçgenleme Tabanlı

Optik üçgenleme yöntemi, lazer ışını hedef yüzeye belirli bir açıyla yönlendirme ve yansıyan ışını bir görüntü sensörüyle tespit etme prensibine dayanır. Bu yöntem, yakın mesafelerde olağanüstü hassasiyet sunar ve bu nedenle endüstriyel uygulamalarda ve kalite kontrolde sıklıkla kullanılır. Optik üçgenleme yöntemi, tek kamera çözümü ve çift kamera çözümü olmak üzere ikiye ayrılır.

- **Tek Kamera Çözümü:** Temel bir ışın yayma mekanizmasından oluşur. Lazer ışını, cihazdan belirli açılarla nesneye yönlendirilir ve lazer noktaları, bir şarj bağlantılı cihaz (CCD) kamerası tarafından tespit edilir. Yansıtıcı yüzey elemanlarının 3B koordinatları, lazer ışınının oluşturduğu üçgenin geometrisinden hesaplanır. Bu yöntem, özellikle kısa mesafelerde yüksek hassasiyet gerektiren durumlar için uygundur [78].

- **Çift Kamera Çözümü:** Bu çözümde, iki CCD kamerası ve özel bir ışık projektörü kullanılır. Projektör, hareketli ışık şeritlerinden oluşan bir ışık hattı üretir. Geometri, tek kamera prensibiyle aynıdır ve benzer doğruluk seviyeleri sağlar. Ancak bu sistemler genellikle yüksek nokta oranları ve gerçek zamanlı 3B koordinat üretiminde yetersiz kalabilir. Yine de bu yöntem, geliştirilmesi durumunda diğer YLT cihazlarına alternatif olarak kullanılabilir [78].

### 2.3. Çalışma Alanı

Bu çalışma, bir iç mekân örnek suç mahallinin belgelendirilmesi ve analiz edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı, toplamda yaklaşık 16.885 m<sup>2</sup> alana sahip bir odadır (Şekil 2). Oda, beyaz duvarlara, bir adet pencereye ve bir depolama alanına (arşiv odası) sahiptir. Oda planı üzerinde belirtilen diğer unsurlar arasında, bir dolap, klima ünitesi ve giriş kapısı bulunmaktadır.

Araştırmanın gerçekleştirildiği odanın merkezinde, yüzüstü yatmış bir cansız manken yerleştirilmiştir. Bu manken, olası bir suç mahallindeki maktulü temsilen kullanılmıştır. Ayrıca, cinayet silahı olarak yorumlanabilecek çeşitli nesnelere stratejik olarak sahaya eklenmiştir. Manken, plastik malzemeden üretilmiş olup, lazer tarama sırasında yansımaların oluşmasını önlemek amacıyla özel olarak tasarlanmış koyu renkli giysiler ile kaplanmıştır.

Bu düzenleme, lazer tarama teknolojisi kullanılarak olay yerinin 3B modelleme ve belgeleme işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamıştır.

Çalışma alanı düzenlemesi, gerçek bir olay yeri analizine benzer şekilde oluşturulmuş ve bu yöntemlerin uygulamadaki etkinliği test edilmiştir.

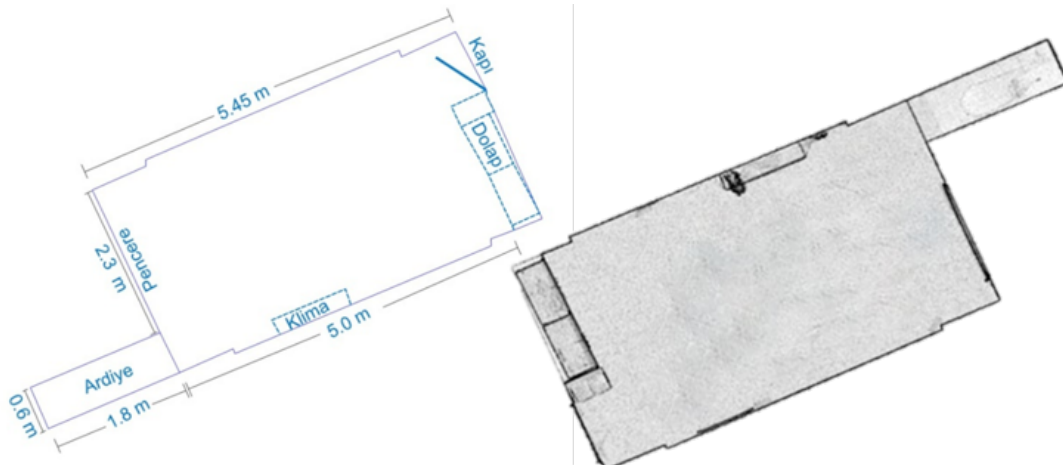
### 2.4. Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı ve Veri Toplama

Bu çalışmada, olay yeri analizinin detaylı bir şekilde belgelendirilmesi amacıyla FARO Focus S350 YLT cihazı kullanılmıştır (Şekil 3). Cihaz, yüksek hassasiyeti, geniş tarama kapasitesi ve kompakt tasarımı sayesinde tercih edilmiştir. Ayrıca, kolay taşınabilirliği ve kullanıcı dostu arayüzü sayesinde veri toplama sürecinde pratik bir kullanım sunmaktadır. Cihazın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Focus S350 hem iç hem de dış mekanlarda kullanılabilen, zorlu çevresel koşullarda dahi güvenilir sonuçlar sunan bir cihazdır. Geniş tarama görüş açısı, yüksek çözünürlüklü tarama kapasitesi ve dahili sensörlerle donatılmış olması, olay yerinin tüm detaylarının eksiksiz bir şekilde kaydedilmesine olanak tanımıştır. Uçuş süresi ölçüm prensibine dayalı çalışma yapısı, hızlı ve verimli veri toplama imkânı sağlarken, dahili HDR dijital kamera sayesinde tarama sırasında görsel veri entegrasyonu yapılabilmektedir.

Cihaz, toz ve su geçirmezlik özellikleriyle dayanıklılığını artırırken, uzun batarya ömrü sayesinde uzun süreli taramalarda kesintisiz kullanım imkânı sunmaktadır. Bu özellikler, olay yerinin taranması sırasında hem veri kalitesini artırmış hem de sürecin hızlanmasına katkı sağlamıştır.

Veri toplama aşamasında, lazer tarayıcı kullanılarak olay yerinin detaylı bir 3B modellemesi yapılmış ve bu veriler, olay yeri analizinin temelini oluşturacak şekilde işlenmek üzere kaydedilmiştir. Bu süreç, yüksek doğruluk ve kapsamlı belgeleme sağlamak amacıyla etkili bir yöntem olarak uygulanmıştır. Tarama sırasında elde edilen tüm veriler, iş akışının sonraki aşamalarında detaylı analiz ve modelleme için hazırlanmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanı metrik bilgileri.



**Şekil 3.** FARO FOCUS S350 YLT cihazının genel görünümü.

**Tablo 1.** FARO FOCUS S350 YLT cihazının teknik özellikleri.

Özellik	Değeri
Ağırlığı	12.25 kg
Uzunluk Ölçüleri	238*358*395 mm
Çözünürlük	700 MP
Batarya Adedi	2
Batarya Süresi	13 Saat
SD Kart	256 GB
Uygun Çalışma Sıcaklığı	(-20) - 50 C°
Uzaklık Hassasiyeti	± 5 mm
Veri Alma Mesafesi	0.4 m - 1 km+
Görüş Alanı	360° yatay 290° düşey
Ölçüm Hızı	1 Mn nokta/saniye
Ölçme Prensibi	Time of Flight

Bu çalışmada, olay yerinin 3B olarak belgelenmesi ve detaylı analizinin yapılabilmesi amacıyla uçuş süresi prensibiyle çalışan YLT cihazı, geniş tarama aralığı, yüksek hassasiyet ve hızlı veri toplama kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Tek bir lazer ünitesinden oluşan cihaz, lazer, ayna ve bütünleşmiş kameradan oluşan kompakt yapısıyla, iç mekanlarda yüksek çözünürlüklü taramalar için uygun bir tercih olmuştur. FARO Focus S350, kısa mesafelerdeki yüksek hassasiyeti ve taşınabilirliği sayesinde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Cihaz, özellikle binaların ve tarihi eserlerin 3B belgelenmesi, mühendislik projeleri, inşaat kontrolü ve suç mahalleri analizinde

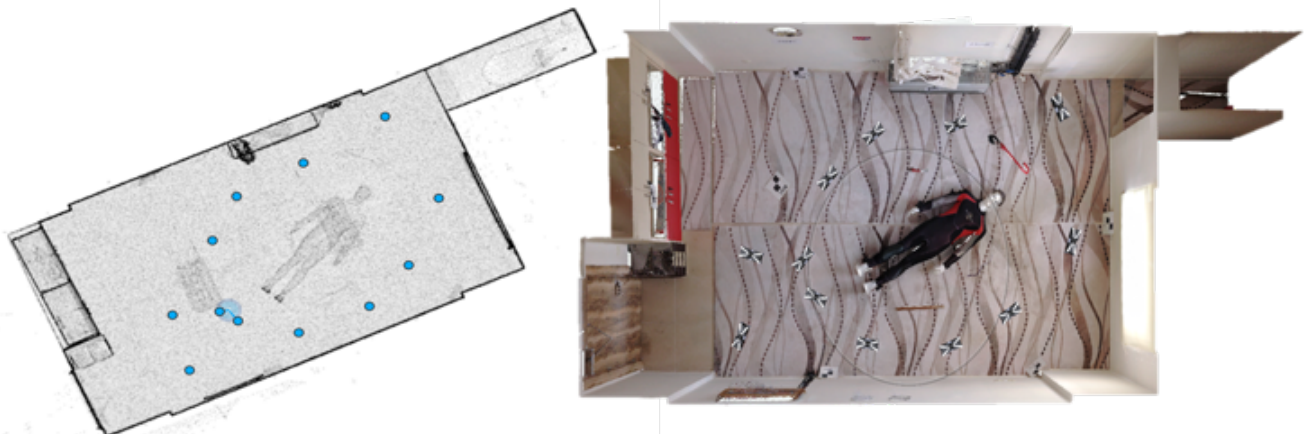
yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da cihazın hassasiyet ve çözünürlük avantajlarından yararlanılarak, örnek suç alanının detaylı bir şekilde belgelenmesi amaçlanmıştır.

Uygulamanın başlangıcında, YLT cihazının etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, tarama istasyonlarının sayısı ve yerleşimi dikkatle planlanmıştır. Suç mahallinin merkezine yerleştirilen cansız mankenin ve cinayet silahı olabilecek nesnelerin tüm açılardan doğru bir şekilde taranabilmesi için toplamda 12 istasyon belirlenmiştir (Şekil 4). Bu istasyonlar, tarama alanlarının en az %80 örtüşmesini sağlayacak şekilde dengeli bir biçimde dağıtılmıştır. Böylece, nokta bulutlarında eksik veya hatalı veri oluşmasının önüne geçilmiştir.

Cansız mankenin tüm yönlerden kapsamlı bir şekilde taranmasını sağlamak için cihaz, her istasyonda stratejik olarak konumlandırılmıştır. Yansıtıcı yüzeylerin taramasında cihazın performansını artırmak amacıyla, bu yüzeylere yakın bölgelerde daha sık ve ayrıntılı taramalar yapılmıştır. Örneğin, cansız mankenin çıplak ayaklarının yansıtıcı yüzey özelliği taşıdığı göz önüne alınarak, bu alanlarda ek taramalar gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, ölçüm sırasında oluşabilecek potansiyel hataların en aza indirgenmesine olanak tanımıştır.

YLT cihazının, yakın mesafelerde 1-2 mm düzeyinde hassasiyet sunması, olay yerindeki kritik detayların belgelenmesinde büyük avantaj sağlamıştır. Tüm nesnelerin her açıdan taranması ve cihazın yüksek çözünürlük kapasitesi, suç mahallinin 3B modellemesini oluşturmak için gereken verilerin doğru ve eksiksiz bir şekilde toplanmasına olanak tanımıştır. Bu kapsamlı veri toplama süreci, olay yeri analizi ve yeniden yapılandırma çalışmalarına güçlü bir temel oluşturmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışma, FARO Focus S350'nin yüksek hassasiyet, çözünürlük ve esnek kullanım olanaklarından yararlanılarak, örnek suç mahallinin eksiksiz bir şekilde belgelenmesi ve analiz edilmesi sürecini başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir.



**Şekil 4.** Kuşbakışı olarak 12 oturumluk lazer tarama planı.



Lazer tarayıcıların çözünürlük ayarları, ölçülen nesnenin yüzeyindeki noktaların yoğunluğunu belirleyerek taramanın ayrıntı seviyesini ve doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Çözünürlük, nokta yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak, daha gerçekçi ve yüksek kaliteli tarama sonuçları elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak çözünürlüğün artırılması hem veri miktarını hem de tarama işlemi için gereken süreyi önemli ölçüde artırmaktadır.

FARO Focus S350 YLT cihazı, farklı mesafeler için kullanıcıya çeşitli çözünürlük ve kalite ayarlarını seçme imkânı sunmaktadır. Bu cihazda bulunan 14 çözünürlük seviyesi, farklı tarama ihtiyaçlarına göre esnek bir kullanım sağlamaktadır. Örneğin, cihazın 10 metre mesafede yaklaşık 6 mm'lik bir nokta aralığı sunduğu, 1 metre mesafede ise bu yoğunluğun yaklaşık 0,6 mm'ye düştüğü bilinmektedir. Daha yüksek nokta yoğunluğu, özellikle detaylı 3B modelleme ve hassas analiz gerektiren durumlar için tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, örnek suç mahallinin gerçekçi ve ayrıntılı bir 3B modelini oluşturmak amacıyla, ½ çözünürlük ve 2x kalite ayarları seçilmiştir. Bu ayarlar, tarama süresi ve veri kalitesi arasında dengeli bir çözüm sunarak, olay yerinin tüm detaylarının doğru bir şekilde belgelenmesine olanak tanımıştır. Belirlenen ayarlarla her bir tarama, yaklaşık 12 dakika sürmüş ve cihaz, hedef nesnelere ortalama 1 metre mesafede konumlandırılmıştır. Bu mesafe, taramada 0,6 mm'lik bir nokta yoğunluğu ile sonuçlanmış, bu da nesnelerin yüzey detaylarının yüksek çözünürlükte kaydedilmesini sağlamıştır.

Çözünürlük ve kalite ayarları, tarama süresi ve elde edilen verinin boyutunu doğrudan etkilemektedir. Örneğin, kalite ayarının 2x'ten 3x'e çıkarılması, tarama süresini orantılı olarak artırırken, verinin boyutunu ve detay seviyesini de önemli ölçüde yükseltmektedir. Ancak bu çalışmada, detayların yeterince hassas bir şekilde belgelenmesi için kullanılan ½ çözünürlük ve 2x kalite ayarı, dengeli bir veri kalitesi ve işleme süresi sunmuştur. Böylece tarama süresi minimumda tutulurken, olay yerinin ayrıntılı bir 3B modeli oluşturulabilmiştir.

Tarama sırasında, YLT cihazı, olay yerinin her detayını doğru bir şekilde belgelemek için stratejik olarak konumlandırılmıştır. Özellikle detayların kritik olduğu bölgelerde (örneğin, cansız mankenin yüzey detayları veya yansıtıcı özellikler taşıyan nesnelere), yüksek nokta yoğunluğu gerektiren ayarlar seçilmiştir. Bu stratejik yaklaşım, eksiksiz ve gerçekçi bir 3B nokta bulutu elde edilmesine olanak tanımış, aynı zamanda tarama sürecinde olası veri kayıplarını önlemiştir.

Sonuç olarak, kullanılan çözünürlük ve kalite ayarları, olay yerinin tüm ayrıntılarının doğru bir şekilde belgelenmesini ve yüksek çözünürlükte bir 3B modelin oluşturulmasını sağlamıştır. Bu yaklaşım,

hem detay seviyesinin hem de verimliliğin optimize edilmesi açısından ideal bir çözüm sunmuştur.

FaroScene yazılımının sezgisel arayüzü ve güçlü veri işleme yetenekleri, bu çalışmanın verimliliğini artırmıştır. Kullanılan bilgisayar donanımının özellikleri, veri işleme sürecini optimize etmiş ve büyük veri setlerinin hızlı bir şekilde işlenmesini sağlamıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri.

Özellik	Değer
İşlemci	Intel(R) Core(TM) i7-11800H CPU @ 2.30 GHz
RAM	16 GB
Ekran Kartı	NVIDIA GeForce RTX 3050 TI

## 2.5. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi, elde edilen ölçüm verilerinin doğruluğunun test edilmesi ve referans verilerle karşılaştırılarak sonuçların güvenilirliğinin değerlendirilmesini içeren kritik bir kontrol sürecini temsil etmektedir. Bu çalışmada, doğruluk analizi için referans veri olarak manuel ölçüm yöntemleri kullanılmış ve analizler Karesel Ortalama Hata (KOH) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

KOH yöntemi, iki veri seti arasındaki farkların istatistiksel olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntemde, her bir veri noktasındaki farkların karesi alınarak, toplam farkın veri noktası sayısının bir eksiğine bölünmesi ile bir ortalama hesaplanmaktadır. Son olarak, bu ortalama değer karekökü alınmakta ve bu sonuç hata değerini temsil etmektedir. Denklem 2'de gösterilen bu hesaplama yöntemi, veri setleri arasındaki farkları bir metrik çerçevesinde değerlendirerek hatanın büyüklüğünü ortaya koymaktadır.

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Bu çalışmada, manuel ölçüm sonuçları ve lazer tarama cihazından elde edilen veriler arasındaki farklar incelenmiştir. KOH hesaplamaları, elde edilen verilerin ölçüm hassasiyeti ve doğruluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır.

KOH değerleri, kabul edilebilir hata sınırları içinde kaldığında, veri setinin yüksek doğrulukta olduğu sonucuna varılabilmektedir. Bu analiz, lazer tarama cihazı ile toplanan verilerin referans ölçüm verileriyle tutarlılığını doğrulamış ve cihazın ölçüm hassasiyetinin yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca, KOH yöntemi sayesinde olası sistematik hatalar ya da

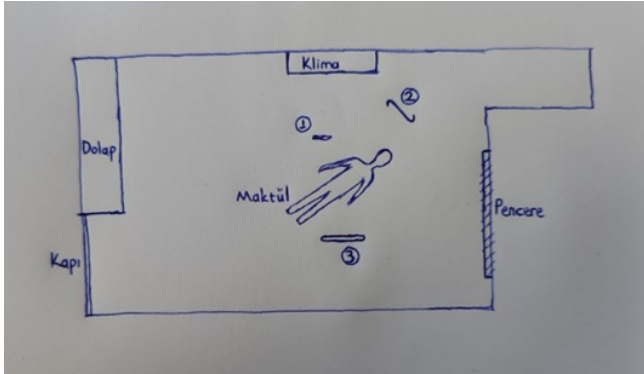
ölçüm sürecinde oluşabilecek sapmalar tespit edilmiştir.

Doğruluk analizinin bu şekilde yapılandırılması, çalışmanın genel sonuçlarının güvenilirliğini artırmış ve veri toplama sürecinin kalitesini kanıtlamıştır. Sonuç olarak, bu yöntem, hem ölçüm sürecinde kullanılan ekipmanların etkinliğini hem de elde edilen verilerin bilimsel geçerliliğini doğrulamak için etkili bir araç olarak kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Yersel Lazer Tarayıcı ile Veri Toplama ve Ön Değerlendirme

Bu çalışmada, YLT cihazı kullanılarak bir iç mekân suç mahallinin 3B olarak modellenmesi için saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Suç mahalli tarama işlemleri, uygun tarayıcı konumları ve parametreleri dikkatle planlanarak yaklaşık iki saat içinde tamamlanmıştır. Fakat bu işlemde önce hem referans olması hem de geleneksel olay yeri krokisini göstermek amacıyla manuel kroki çizilmiş ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanının elle çizilen krokisi.

Tarama işlemlerinin etkinliği ve doğruluğunu sağlamak amacıyla, manuel ölçümler ile referans noktaları belirlenmiş ve tarama sonrası doğruluk analizinde kullanılmak üzere kaydedilmiştir.

Tarama sürecine başlamadan önce, YLT cihazının olay yerini tüm açılardan görebileceği tarama istasyonlarının sayısı ve yerleşimi detaylı bir şekilde planlanmıştır. Bu planlama aşaması, cihazın kör nokta bırakmaması, tarama kalitesinin en üst düzeyde olması ve elde edilen verilerin işlenebilirliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Tarayıcı konumlarının belirlenmesinde nesnelere boyutu, detay seviyesi, çevresel koşullar ve ölçüm sürecinin potansiyel zorlukları dikkate alınmıştır.

Optimum tarayıcı konumları, hedef nesnelere tam kapsamlı taramasını garanti edecek şekilde düzenlenmiştir. Taranacak nesnelere, cihazdan 2 metre mesafede konumlandırılmış ve bu mesafe 1/2 çözünürlük ve 2x kalite parametrelerinin seçilmesinde

belirleyici olmuştur. Çözünürlük parametresi, detay seviyesi ile veri toplama süresi arasında bir denge sağlayarak her noktada yaklaşık 6,136 mm'lik bir nokta aralığı sunmuştur. Kalite parametresi ise, nokta yoğunluğunu artırarak istenmeyen ölçüm hatalarını ve gürültüyü azaltmış, daha doğru bir 3B model elde edilmesini sağlamıştır.

Suç mahallinde, toplam altı referans hedef kullanılmıştır. Bu hedefler, tarama istasyonlarından elde edilen verilerin birleştirilmesi ve hizalanması sürecinde cihazın yazılımına rehberlik etmiştir. Her tarama pozisyonunda en az üç ortak referans hedef bulunması sağlanmış, bu sayede YLT cihazı, tüm taramaları birleştirerek tutarlı bir nokta bulutu oluşturmuştur. Referans hedeflerin varlığı, ölçüm doğruluğunu artırırken tarama sürecinin verimliliğine de katkı sağlamıştır.

Tarama sürecinin sorunsuz ilerlemesi için ortam koşulları kontrol altına alınmıştır. İç mekan taraması sırasında parlak veya yansıtıcı yüzeylerden kaynaklanabilecek hataları önlemek amacıyla ortam tozdan arındırılmış ve yansıtıcı nesnelere çıkarılmıştır. Ayrıca, öğlen saatlerinde güneş ışığından kaynaklanabilecek yansıma problemleri, pencereye perde çekilerek engellenmiştir. Tarama sırasında, ölçüm alanında başka bir biyolojik varlığın bulunmamasına özen gösterilmiştir. Veri toplamaya ait görseller Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 6. YLT ile veri toplama (ayak tarafı).



Şekil 7. YLT ile veri toplama (yan tarafı).

Çalışma boyunca, YLT cihazının tarama parametreleri, istenen detay seviyesine ulaşmak ve zaman verimliliğini sağlamak için optimize edilmiştir. Kalite parametresi, ölçüm süresini artırmasına rağmen, gürültü oranını azaltarak elde edilen 3B modelin doğruluğunu artırmıştır. Bu sayede, taranan nesnelere yüzey detayları daha gerçekçi bir şekilde kaydedilmiştir. Tarama sırasında kullanılan entegre RGB kamera, nokta bulutu verisine renk bilgisi ekleyerek 3B modelin görsel kalitesini artırmıştır.

- Örnek olay yerinde, bir cinayet maktulünü temsil eden cansız bir manken ve cinayet silahı olarak kullanılabilir üç farklı nesne başarıyla taranmıştır.
- YLT cihazı, suç mahallini 1 mm hassasiyet ile taramış ve elde edilen verilerden detaylı bir 3B model üretilmiştir.
- Tüm tarama istasyonları, referans hedeflerle desteklenmiş ve elde edilen nokta bulutları, yazılım aracılığıyla otomatik olarak birleştirilmiştir.

### 3.2. Ofis Çalışması ve Veri İşleme Süreci

Suç mahallinin YLT cihazı kullanılarak taranmasının ardından, elde edilen veriler bir ofis çalışması kapsamında işlenmiştir. Bu süreçte, YLT cihazından alınan ölçüm verileri, FaroScene yazılımı (sürüm 2019.1) kullanılarak analiz edilmiştir. FaroScene, kapsamlı bir yazılım paketi olarak, nokta bulutu verilerinin görüntülenmesi, değerlendirilmesi, düzenlenmesi ve alternatif formatlara dönüştürülmesi gibi birçok işlevi yerine getirebilmektedir.

YLT cihazında saklanan veriler, orijinal halleriyle FaroScene yazılımına aktarılmıştır. İşleme sürecinin ilk aşamasında, ölçüm sırasında oluşan gürültü veri setinden temizlenmiştir. Bunun için kaba veri filtreleme teknikleri kullanılmış ve düşük kaliteli veya gereksiz olduğu düşünülen noktalar elenmiştir. Gürültü giderme işlemi, tarama sırasında çevresel faktörlerden kaynaklanan hataların düzeltilmesini sağlamış ve nokta bulutu verilerinin genel kalitesini artırmıştır.

Farklı tarama konumlarından elde edilen nokta bulutu verileri, yazılım tarafından otomatik birleştirme ve hizalama algoritmaları ile işlenmiştir. Bu süreçte, IterativeClosest Point (ICP) ve Cloud-to-Cloud (C2C) algoritmaları kullanılarak, nokta bulutlarının kaydı gerçekleştirilmiştir. Ardından, total station ile ölçülen referans hedefler kullanılarak nokta bulutları yeniden kayıt altına alınmıştır. Bu adım, verilerin birleşik bir referans sistemine entegre edilmesini ve ölçümlerin doğruluğunun artırılmasını sağlamıştır.

Tarama işlemi sırasında oluşabilecek kör noktalar, lazer ışınının hedef nesnelere tam olarak kapsayamaması durumunda ortaya çıkmaktadır. Kör noktalar, ölçülemeyen alanları temsil eder ve genellikle tarama sırasında kullanılan aparatlardan veya ortam koşullarından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, kör noktaları en aza indirmek için stratejik tarama pozisyonları belirlenmiş ve gerekli durumlarda alternatif metodolojiler kullanılmıştır. Ancak, bazı ölü noktaların giderilebilmesi için daha fazla tarama pozisyonu eklenmesi veya ek yöntemler uygulanması gerekebileceği belirtilmiştir.

Son işleme sürecinde, FaroScene yazılımında ek filtreler uygulanarak nokta bulutundaki kalan yabancı gürültü tamamen ortadan kaldırılmıştır. Bu işlemler

sonucunda, suç mahalli hassas ve yüksek doğruluk derecesine sahip bir 3B nokta bulutu olarak yeniden yapılandırılmıştır. YLT cihazından elde edilen veriler, E57 formatında dışa aktarılmış ve uzun vadeli analizler için kullanılabilir hale getirilmiştir.

Çalışmada Ortalama birleştirme hatası 0,6 mm olarak belirlenmiştir. YLT cihazı tarafından tarama sırasında yaklaşık 3,4 milyar nokta yakalanmıştır. Yüksek doğruluk derecesine sahip nokta bulutları, adli olay yerinin detaylı analizi ve yeniden yapılandırılması için uygun bir temel sağlamıştır.

### 3.3. Yersel Lazer Tarayıcı ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi ve Analizler

Örnek suç alanı, FaroFocus S350 YLT cihazı kullanılarak detaylı bir şekilde taranmıştır. Tarama sürecinde, maktulü temsil eden cansız mankenin baş ve ayak kısımlarına odaklanılmıştır. Mankenin baş kısmından dört, ayak kısmından ise sekiz tarama olmak üzere toplamda 12 tarama seansı gerçekleştirilmiştir. Bu planlama, suç alanının eksiksiz bir şekilde belgelenmesini ve yüksek hassasiyetle 3B modelleme yapılmasını sağlamak amacıyla oluşturulmuştur.

Her tarama istasyonu, olay yerinin en ince detayına kadar kaydedilmesini sağlamak amacıyla stratejik olarak konumlandırılmıştır. Tarama işlemleri sırasında cihazın 1/2 çözünürlük ve 2x kalite ayarları kullanılmış, bu da nokta yoğunluğu ve tarama hassasiyeti açısından dengeli bir sonuç elde edilmesine imkân tanımıştır. Tarama sürecinin her aşamasında, YLT cihazı tarafından elde edilen verilerin tutarlılığı ve doğruluğu, daha sonra doğruluk analizi için referans alınmıştır.

YLT cihazı ile elde edilen tarama görüntüleri, olay yerinin ayrıntılı bir 3B temsili oluşturmak için kullanılmıştır. Cansız mankenin konumu, yüzey detayları ve çevresindeki nesnelere, yüksek hassasiyetle kaydedilmiştir. Tarama işlemleri sonucunda elde edilen veriler, olay yerinin her açıdan eksiksiz bir nokta bulutuna dönüştürülmesini sağlamıştır.

Bu çalışmada, YLT cihazı ile elde edilen nokta bulutları, suç mahallinin hassas, doğru ve 3B bir modeli olarak başarıyla işlenmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 9 ve 10'da nokta bulutlarından elde edilen görselleri sunarken, Şekil 11-14'te daha detaylı incelemeler için referans noktalarını göstermektedir.



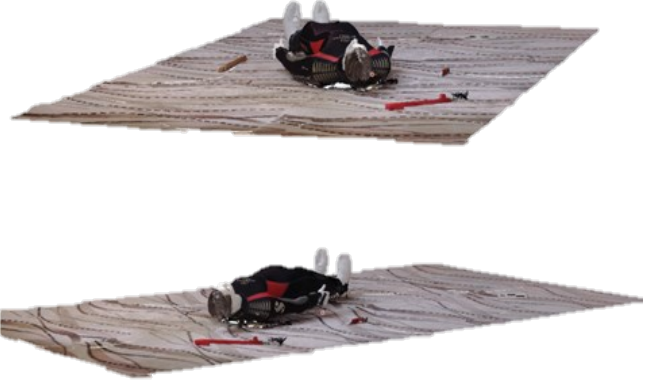
Şekil 9. YLT ile nokta bulutu.



Şekil 10. Ön taraf için nokta bulutu.



Şekil 11. YLT son nokta bulutları yakın gösterimi.



Şekil 12. Alt cepheden yakın gösterim ile nokta bulutu.



Şekil 13. Ön cepheden yakın gösterim ile nokta bulutu.



Şekil 14. Ön ve üst cepheden yakın gösterim ile nokta bulutu.

Bu çalışma, YLT cihazı kullanılarak iç mekân suç mahallinin etkili bir şekilde taranabileceğini göstermiştir. Referans hedeflerin doğru konumlandırılması ve tarama parametrelerinin özenle seçilmesi, ölçüm doğruluğunu artırmış ve tarama sürecinin verimliliğini sağlamıştır. Referans hedeflerin eksikliğini tarama doğruluğunu düşürebileceği göz önünde bulundurularak, bu tür durumlarda daha fazla tarama istasyonu oluşturulması ve istasyonların ölçüm yapılan nesneye daha yakın yerleştirilmesi önerilmektedir.

Bu yöntemlerin kullanımı, adli olay yerlerinin dijital belgelenmesi ve analizi için güvenilir bir temel sunmaktadır. Ayrıca, elde edilen yüksek çözünürlüklü 3B modeller, olay yerinin yeniden yapılandırılması ve incelenmesi için oldukça etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir.

### 3.4. Doğruluk Analizi

Bu çalışmada, doğruluk analizi YLT cihazından elde edilen verilerin manuel ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Referans veri olarak, toplamda 16 farklı noktadan manuel yöntemle ölçülen değerler kullanılmıştır. Veriler arasındaki farklar, KOH yöntemi ile analiz edilmiştir. KOH yöntemi, iki veri seti arasındaki farkları istatistiksel olarak değerlendirmek ve YLT cihazı ile elde edilen verilerin hassasiyetini doğrulamak için etkili bir araçtır. Tablo 3'te, doğruluk analizinden elde edilen KOH sonuçları sunulmuştur.

**Tablo 3.** Referans veriler kullanılarak yapılan doğruluk analizi, 3B KOH sonuçları.

NN	Gerçek Uzunluk (m)	Ölçülen Uzunluk (m)	Fark (cm)
1	3.24	3.18	6
2	0.52	0.57	-5
3	2.86	2.89	-3
4	3.76	3.73	3
5	2.48	2.42	6
6	4.47	4.42	5
7	2.17	2.18	-1
8	3.38	3.41	-3
9	4.13	4.18	-5
10	2.62	2.67	-5
11	0.91	0.95	-4
12	1.28	1.22	6
13	2.67	2.64	3
14	2.54	2.51	3
15	2.55	2.57	-2
16	2.55	2.51	4

Tablo 3 incelendiğinde, YLT cihazından elde edilen verilerin yüksek hassasiyete sahip olduğu görülmektedir. Bu bulgular, YLT yönteminin yalnızca görsel temsili değil, aynı zamanda metrik doğruluğu sağlama açısından da son derece etkin bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. KOH değerlerinin kabul edilen hata sınırları içinde kalması, ölçüm sonuçlarının güvenilir ve doğruluk açısından yeterli olduğunu doğrulamaktadır.

Doğruluk analizi sonuçları, YLT yönteminin hem adli olay yerlerinin belgelenmesinde hem de 3B modellemede yüksek hassasiyet ve güvenilirlik sunduğunu göstermektedir. KOH sonuçları, bu çalışmanın temel hipotezini destekleyerek YLT cihazlarının adli bilimlerde etkin bir belgeleme yöntemi olarak kullanılabilirliğini kanıtlamıştır.

Tablo 3 ve analiz sonuçları, YLT verilerinin ölçüm doğruluğunu vurgulamakta ve bu yöntemin hem bilimsel hem de pratik uygulamalarda kullanılabilirliğini güçlendirmektedir.

## 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, YLT teknolojisinin adli bilimlerde delillerin doğru, hızlı ve üç boyutlu olarak belgelenmesi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, YLT cihazlarının olay yeri incelemelerinde yüksek hassasiyet ve doğruluk sağladığını göstermektedir.

Bu teknoloji, delil bütünlüğünün korunmasına ve olay yerinin dijital olarak yeniden yapılandırılmasına olanak tanıyarak adli süreçlerin hızlanmasına katkı sağlamıştır. Çalışma sonuçları hem metrik doğruluk hem de görsel temsiller açısından oldukça başarılı veriler elde edildiğini ortaya koymuştur. YLT'nin sağladığı detaylı veri toplama kapasitesi, karmaşık olay yerlerinin belgelenmesinde ve yeniden canlandırılmasında etkili bir araç olduğunu kanıtlamış; ayrıca mahkemelerde delillerin görselleştirilmesi ve analizlerin desteklenmesi gibi alanlarda da değerli bir teknoloji olduğunu göstermiştir.

Ancak, çalışma sırasında bazı sınırlamalar da tespit edilmiştir. Özellikle yansıtıcı ve parlak yüzeylerin lazer tarama doğruluğunu olumsuz etkilediği ve bu yüzeylerde ölçüm hatalarına yol açtığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, YLT cihazlarının yüksek maliyetleri, özellikle küçük ve orta ölçekli kuruluşlar için erişim zorlukları yaratmaktadır. Tarama sırasında cihaz pozisyonunun yeterince planlanmaması durumunda kör noktalar oluşabilmekte ve bazı detayların kaçırılmasına neden olabilmektedir. Bunun önüne geçmek için cihaz yerleşiminin dikkatle planlanması gerekmektedir. Ek olarak, veri işleme sürecinin uzun zaman alması ve yüksek işlem kapasitesine sahip bilgisayarlara ihtiyaç duyulması

hem zaman hem de kaynak açısından ek bir yük oluşturmaktadır. Bu durum, özellikle yeterli eğitim ve deneyime sahip olmayan kullanıcılar için sınırlayıcı bir faktör olmuştur.

Bu sınırlamaların giderilmesi ve teknolojinin geliştirilmesine yönelik öneriler arasında, Mobil LiDAR sistemlerinin kullanımı dikkat çekmektedir. Mobil LiDAR, taşınabilirliği, hızlı veri toplama kapasitesi ve karmaşık alanlarda erişilebilir bir çözüm sunmasıyla YLT teknolojisine güçlü bir alternatif veya tamamlayıcı bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Bu sistem, daha az sabit tarama noktası gerektirerek zaman verimliliğini artırabilir ve kör noktaların azaltılmasında etkili olabilir.

Ayrıca, yansıtıcı yüzeylerde daha hassas sonuçlar elde edebilmek için yeni algoritmalar ve yazılım geliştirmeleri yapılması önerilmektedir. Bu tür yazılımlar, çevresel etkilerden kaynaklanan gürültüyü azaltarak daha doğru veri elde edilmesine olanak tanıyabilir.

Bunun yanı sıra, daha hafif, taşınabilir ve uygun maliyetli YLT cihazlarının geliştirilmesi, teknolojinin daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını sağlayarak kullanım alanlarını yaygınlaştırabilir. Teknik eğitim ve destek programlarının artırılması, kullanıcıların cihazları daha etkili bir şekilde kullanmasına katkı sağlayarak veri kalitesini artırabilir ve süreçleri daha verimli hale getirebilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, YLT teknolojisinin adli olay yerlerinin dijital belgelenmesinde güçlü ve güvenilir bir araç olduğunu göstermiştir. Ancak, mevcut sınırlamaların giderilmesi ve teknolojinin geliştirilmesine yönelik yenilikçi çözümler üretilmesi, bu teknolojinin daha geniş uygulama alanlarına ulaşmasını sağlayacaktır.

Mobil LiDAR gibi alternatif teknolojilerin YLT ile birlikte değerlendirilmesi ve entegre çözümlerin geliştirilmesi, adli olay yerlerinin belgelenmesinde önemli bir dönüm noktası olabilir. Bu doğrultuda yapılacak geliştirmeler, adli bilimlerde dijital belgelenme ve analiz olanaklarını daha üst seviyelere taşıyacaktır.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Mullins, R. A. (2016). Virtual Views: Exploring the Utility and Impact of Terrestrial Laser Scanners in Forensics and Law. *Master's Thesis, Windsor Üniversitesi, Ontario, Kanada.*
- [2] Sung, L. J., Majid, Z., Ariff, M. F. M., Razali, A. F., Keng, R. W. C., Wook, M. A., & Idris, M. I. (2022). Assessing Handheld Laser Scanner for Crime Scene Analysis. *Open International Journal of Informatics, 10(2), 133-144.*
- [3] Lee, H. C., & Pagliaro, E. M. (2013). Forensic evidence and crime scene investigation. *Journal of Forensic Investigation, 1(2), 1-5.*
- [4] Roux, C., Crispino, F., & Ribaux, O. (2012). From forensics to forensic science. *Current Issues in Criminal Justice, 24(1), 7-24.*
- [5] Wang, J., Li, Z., Hu, W., Shao, Y., Wang, L., Wu, R., Ma, K., Zou, D., & Chen, Y. (2019). Virtual reality and integrated crime scene scanning for immersive and heterogeneous crime scene reconstruction. *Forensic science international, 303, 109943.*
- [6] Fischer, B. (2004). *Tecniques of Crime Scene Investigation. 7th Edition, New York: CRC Press.*
- [7] İnanıcı, M. A., Çolak, B., & Özaslan, A. (2004). Olay Yeri İncelemesi ve Adli Tıp Uzmanının Yeri. *Turkiye Klinikleri Journal of Forensic Medicine and Forensic Sciences, 1(2), 97-109.*
- [8] Revetria, R., Oliva, F., & Briano, E. (2007). Modeling and simulation for supporting investigative inquiries in the JP and PS sector. *In Proceedings of the 6th WSEAS international conference on System science and simulation in engineering (pp. 352-355).*
- [9] Barazzetti, L., Sala, R., Scaioni, M., Cattaneo, C., Gibelli, D., Giussani, A., ... & Vandone, A. (2012, June). 3D scanning and imaging for quick documentation of crime and accident scenes. *In Sensors, and command, control, communications, and intelligence (C3I) technologies for homeland security and homeland defense XI (Vol. 8359, pp. 208-221). SPIE.*
- [10] Topol, A., Jenkin, M., Gryz, J., Wilson, S., Kwietniewski, M., Jasiobedzki, P., ... & Bondy, M. (2008, May). Generating semantic information from 3D scans of crime scenes. *In 2008 Canadian Conference on Computer and Robot Vision (pp. 333-340). IEEE.*

- [11] Durnal, E. W. (2010). Crime scene investigation (as seen on TV). *Forensic Science International*, 199(1-3), 1-5.
- [12] Kalfoğlu, E. A., & Yükseloğlu, H. (2002). İnsan genomu, suç ve suçun önlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, İnsan Genom Projesi, Özel sayı*, 71-80.
- [13] Galanakis, G., Zabulis, X., Evdaimon, T., Fikenscher, S. E., Allertseder, S., Tsirikika, T., & Vrochidis, S. (2021). A study of 3D digitisation modalities for crime scene investigation. *Forensic sciences*, 1(2), 56-85.
- [14] Topal, B. D., Kaya, İ., & Özkan, S. A. Analytical Method Validation in Forensic Assay. *Adli Bilimler ve Suç Araştırmaları*, 2(1), 9-24.
- [15] Emniyet Genel Müdürlüğü (2013). Biyolojik İncelemeler Temel Eğitim Kitabı. *Kriminal Polis Laboratuvarları*, Ankara.
- [16] Polat, O. (2009). Kriminoloji ve kriminalistik üzerine notlar: suç-suçlu-suç yeri. Seçkin Yayıncılık.
- [17] Akyel, M., & Çetli, E., Özkoçak, V. (2019). New Methods and Techniques in Forensic Science and Forensic Anthropology/Adli Bilimler ve Adli Antropolojide Yeni Yöntem ve Teknikler. *Recent Evaluations on Humanities and Social Sciences*, 117.
- [18] Kabadayı, A., Kaya, Y., & Yiğit, A. Y. (2020). Comparison of documentation cultural artifacts using the 3D model in different software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 51-58.
- [19] Nazari, S. W., Akarsu, V., & Yakar, M. (2023). Analysis of 3D Laser Scanning Data of Farabi Mosque Using Various Softwares. *Advanced LiDAR*, 3(1), 22-34.
- [20] Kanun, E., Kanun, G. M., & Yakar, M. (2022). 3D modeling of car parts by photogrammetric methods: Example of brake discs. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(1), 7-13.
- [21] Unal, M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2004). Discontinuity surface roughness measurement techniques and the evaluation of digital photogrammetric method. *In Proceedings of the 20th international congress for photogrammetry and remote sensing, ISPRS (Vol. 1103, p. 1108)*.
- [22] Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- [23] Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı fotogrametrik röleve alımı ve üç boyutlu modelleme çalışması. *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- [24] Kabadayı, A. (2023). Kültürel Mirasın Dijital Arşivlenmesi: Emirci Sultan Türbesi ve Camii Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(2), 82-88.
- [25] Houck, M. M., & Siegel, J. A. (2016). Adli bilimlerin temeli. *Nobel Akademik Yayıncılık*.
- [26] Demirbaş, T. (2001). Kriminoloji. *Seçkin Yayıncılık*, 7th Edition, Ankara.
- [27] Saferstein, R. (2004). *Criminalistics: An Introduction to Forensic Science*. 8th Edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- [28] Çetli, E. (2020). Adli bilimlerde parmak izi görselleştirme çalışmalarında silika nanopartiküllerin kullanımı: Sistematik bir inceleme, *Yüksek lisans tezi, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye*.
- [29] Aşıcioğlu, F., & Arslan, M. N. (2009). Kan lekesi model analizi: olay yerinin yeniden yapılandırılmasında kan lekesi delili. *Beta Basım Yayım Dağıtım*.
- [30] Sieberth, T., Dobay, A., Affolter, R., & Ebert, L. C. (2019). Applying virtual reality in forensics—a virtual scene walkthrough. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 15, 41-47.
- [31] Agosto, E., Ajmar, A., Boccardo, P., Tonolo, F. G., & Lingua, A. (2008). Crime scene reconstruction using a fully geomatic approach. *Sensors*, 8(10), 6280-6302.
- [32] Kabadayı, A. (2023). Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Köprülerin Modellenmesinde Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(2), 68-75.
- [33] Bucheli, S. R., Pan, Z., Glennie, C. L., Lynne, A. M., Haarman, D. P., & Hill, J. M. (2014). Terrestrial laser scanning to model sunlight irradiance on cadavers under conditions of natural decomposition. *International journal of legal medicine*, 128, 725-732.
- [34] Kabadayı, A. (2023). Yersel lazer tarama yöntemi ile röleve ve restütasyon projelerinin hazırlanması; Akşehir Kale Kalıntısı Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(1), 17-25.
- [35] Kabadayı, A. (2023). Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Köprülerin Modellenmesinde Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(2), 68-75.

- [36] Wieczorek, T., Przyłucki, R., Lisok, J., & Smagór, A. (2019). Analysis of the accuracy of crime scene mapping using 3D laser scanners. In *Methods and Techniques of Signal Processing in Physical Measurements* (pp. 406-415). Springer International Publishing.
- [37] Tredinnick, R., Smith, S., & Ponto, K. (2019). A cost-benefit analysis of 3D scanning technology for crime scene investigation. *Forensic Science International: Reports*, 1, 100025.
- [38] Ruotsala, A. H. (2016). Digital Close-Range Photogrammetry – A Modern Method to Document Forensic Mass Graves. *Yüksek Lisans Tezi, Helsinki Üniversitesi, Helsinki, Finlandiya*.
- [39] Marcin, A., Maciej, S., Robert, S., & Adam, W. (2017). Hierarchical, three-dimensional measurement system for crime scene scanning. *Journal of forensic sciences*, 62(4), 889-899.
- [40] Cavagnini, G., Sansoni, G., & Trebeschi, M. (2009, January). Using 3D range cameras for crime scene documentation and legal medicine. In *Three-Dimensional Imaging Metrology* (Vol. 7239, pp. 187-196). SPIE.
- [41] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kaya bloklarının 3B nokta bulutunun yersel lazer tarayıcı kullanarak elde edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(1), 1-4.
- [42] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Mersin Akyar Falezinin 3B modeli. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(1), 5-9.
- [43] Karabacak, A. & Yakar, M. (2023). Giyilebilir Mobil Lidar ve Uygulamaları. *Mersin Üniversitesi Harita Mühendisliği Kitapları*, Mersin, Türkiye.
- [44] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D modeling of Mersin Akyar Cliffs with wearable mobile LIDAR. *Advanced Engineering Days (AED)*, 6, 86-89.
- [45] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D modeling of Mersin Sarisih Caravanserai with wearable mobile LIDAR. *Advanced Engineering Days (AED)*, 6, 90-93.
- [46] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D Modeling of Mufti Abdullah Siddik Mosque using Wearable Mobile LiDAR. *Advanced LiDAR*, 3(1), 01-09.
- [47] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). Giyilebilir Mobil LiDAR'ın Kadastroda Kullanılabilirliği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(2), 52-60.
- [48] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). Incorrect use of wearable mobile LiDAR: Example of Mersin Soli Beach and Ankara National Library Underpass. *Intercontinental Geoinformation Days*, 7, 234-237.
- [49] Yakar, M., Alyılmaz, C., Telci, A., Baygul, E., Çolak, S., Aydın, M., ... & Yılmaz, H. M. (2009). 3D laser scanning and photogrammetric measurement of Akhan caravansaray.
- [50] Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, O. (2009). Comparative Evaluation of Excavation Volume by Terrestrial Laser Scanner and Total Topographic Station Based Methods. *Lasers in Engineering*, 19(5), 331.
- [51] Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Giyilebilir Mobil LiDAR Kullanım Alanları ve Cambazlı Kilisesinin 3B Modellemesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(2), 37-52.
- [52] Yılmaz, H. M., Yakar, M., Yıldız, F., Karabörk, H., Kavurmacı, M. M., Mutluoğlu, O., & Göktepe, A. (2010). Determining rates of erosion of an earth pillar by terrestrial laser scanning.
- [53] Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, O. (2014). Performance of photogrammetric and terrestrial laser scanning methods in volume computing of excavation and filling areas. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 387-394.
- [54] Fleming, S., Woodhouse, I. H., & Cottin, A. (2015). Bringing colour to point clouds. *Hip International*, 29(2), 22-25.
- [55] San José Alonso, J. I., Martínez Rubio, J., Fernández Martín, J. J., & García Fernández, J. (2012). Comparing time-of-flight and phase-shift. The survey of the Royal Pantheon in the Basilica of San Isidoro (León). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 377-385.
- [56] Jaafar, H. A. (2017). Detection and localisation of structural deformations using terrestrial laser scanning and generalised procrustes analysis (*Doctoral dissertation*, University of Nottingham).
- [57] Mihandoost, R. K. (2015). A validation study of the measurement accuracy of SCENE and SceneVision 3D software programs. University of Central Oklahoma.



- [58] Baber, C., & Butler, M. (2012). Expertise in crime scene examination: comparing search strategies of expert and novice crime scene examiners in simulated crime scenes. *Human factors*, 54(3), 413-424.
- [59] Mullins, R. A. (2016). Virtual views: exploring the utility and impact of terrestrial laser scanners in forensics and law. *Master's thesis, University of Windsor, Canada*.
- [60] Siuru, B. (2004). Laser Technology Helps Preserve Crime Scenes. *Law and Order-Wilmette Then Deerfield*, 52(5), 52-57.
- [61] Dustin, D., Liscio, E., & Eng, P. (2016). Accuracy and repeatability of the laser scanner and total station for crime and accident scene documentation. *J Assoc Crime Scene Reconstr*, 20(1), 57-67.
- [62] Buck, U., Kneubuehl, B., Näther, S., Albertini, N., Schmidt, L., & 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 science international*, 206(1-3), 22-28.
- [63] Luchowski, L., Pojda, D., Tomaka, A. A., Skabek, K., & Kowalski, P. (2021). Multimodal imagery in forensic incident scene documentation. *Sensors*, 21(4), 1407.
- [64] Raneri, D. (2018). Enhancing forensic investigation through the use of modern three-dimensional (3D) imaging technologies for crime scene reconstruction. *Australian journal of forensic sciences*, 50(6), 697-707.
- [65] Forensic Technology Center of Excellence. (2016). "Landscape Study on 3D Crime Scene Scanning Devices. <https://forensiccoe.org/private/5dd6ad2d0ffeb> (Erişim Tarihi: 22.11.2024).
- [66] Jaafar, H. A. (2017). Detection and localisation of structural deformations using terrestrial laser scanning and generalised procrustes analysis (*Doctoral dissertation, University of Nottingham*).
- [67] Feng, X. (2012). "Crime Scene Reconstruction Based on Virtual Reality." *Nauka, Bezbednost, Policija*, 17(3), 149-160.
- [68] Kottner, S., Thali, M. J., & Gascho, D. (2023). Using the iPhone's LiDAR technology to capture 3D forensic data at crime and crash scenes. *Forensic Imaging*, 32, 200535.
- [69] Lenda, G., & Marmol, U. (2023). Integration of high-precision UAV laser scanning and terrestrial scanning measurements for determining the shape of a water tower. *Measurement*, 218, 113178.
- [70] Karasaka, L., & Beg, A. A. R. (2021). Yersel lazer tarama yöntemi ile farklı geometrik yapıdaki özelliklerin modellenmesi. *Geomatik*, 6(1), 54-60.
- [71] Reshetyuk, R. (2006). "Investigation and Calibration of Pulsed Time-of-Flight Terrestrial Laser Scanners." *Master's Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, İsveç*.
- [72] Özdoğan, M. V., & Deliormanlı, A. H. (2018). Yersel lazer tarayıcı ile yeralti galerisinde meydana gelen deformasyonların belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(59), 663-675.
- [73] Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E., & Kraus, K. (2004). Laser scanning: A new method for recording and documentation in archaeology. *In Proceedings of FIG Working Week*.
- [74] Özdoğan, M. V. (2015). Madencilik Faaliyetleri Sonucu Oluşan Yüzey Hareketlerinin Yeni Teknolojiler ile Belirlenmesi. *Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye*.
- [75] Petrie, G., & Toth, C. K. (2018). Introduction to laser ranging, profiling, and scanning. *In Topographic laser ranging and scanning*, (pp 1-28). CRC Press.
- [76] Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, Ö. (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Engineering*, 19(5-6), 331-345.
- [77] Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2008). Computing of volume of excavation areas by digital close range photogrammetry. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 33(1), 63-79.
- [78] Boehler, W., & Marbs, A. (2002). 3D scanning instruments. *Proceedings of the CIPA WG*, 6(9), 1-4.



© Author(s) 2024.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>