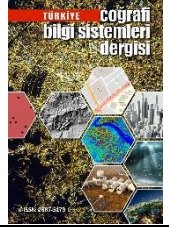




Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

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

e-ISSN 2687-5179



3B Kent Modelleri oluşturma sürecinde İHA fotogrametrisi ve CBS Entegrasyonu: Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Örneği

Seda Nur Gamze Hamal*¹, Ali Ulvi¹

¹Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

CBS
Mekânsal Analiz
İHA Fotogrametrisi
Bina
3B Model

ÖZ

İnsan nüfusunun artması ile beraber kentlerinde büyüme süreci hızlanmıştır. Hızla büyüyen kentlerin aynı oranda izlenmesi ve analizi edilmesi gerektiği için bir kente ait mekânsal verilerin hızlı ve doğru toplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Veriye hızlı erişim sürecinde çeşitli materyaller kullanılsa da ham veriler içerisinden gerekli donelerin tespiti de önemli bir süreçtir. Hızlı gelişen kentlerin izlenmesinde şüphesiz ki hava görüntüleri önemli bir araçtır. Özellikle gelişen İHA teknolojisiyle hava görüntülerine erişimde kolaylaşmıştır. Diğer yöntemlere göre hızlı olmasının yanı sıra içerisinde mekânsal bilgilerin olması İHA görüntülerinin sağladığı büyük avantajların başında gelmektedir. İHA görüntüleri ile mevcut kentsel alanları yönetmek ve izlemek kolaylaşmış olsa da daha verimli bir yönetim için 3B sanal kent modellerine giderek ihtiyaç duyulmaktadır. 3B bina modelleri ise 3B sanal kent modellerinin en önemli bileşenini oluşturduğu için İHA aracılığıyla elde edilen hava görüntülerinden fotogrametri yöntemi ile üretilen dijital ürünler kullanılarak mevcut binaların tespiti önemli bir adım oluşturmaktadır. Bu çalışmada İHA tarafından toplanan hava görüntülerinden üretilen sınıflandırılmamış nokta bulutları zemin, yüksek ve düşük gürültü ve binalar olmak üzere birkaç sınıfa ayrılmıştır. Sınıflandırma sonucunda oluşturulan yer yüzeyi ve bina olarak sınıflandırılan noktalara dayalı olarak gerçek geometrik yapıda 3B kent modelleri oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda oluşturulan 3B kent modelleri, yerleşimlerin altyapısını izlemek ve şehirlerin daha da gelişmesi ve mimarisi için önemli olan diğer analizler için bir temel olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

UAV Photogrammetry and GIS Integration for 3D City Model: a Case Study of Mersin University Çiftlikköy Campus

Keywords:

GIS
Spatial Analysis
UAV Photogrammetry
Building
3D Model

ABSTRACT

Because of the increase in the human population, the growth process in the cities has accelerated. In order to monitor and analyse cities with rapid strides, spatial data of the city must be collected quickly and accurately. Although various materials are used in the rapid data access process, the determination of the necessary data from the raw data is also an important process. Aerial images are undoubtedly an important tool in monitoring cities with rapid strides. Especially with the developing UAV technology, it has become easier to access aerial images. In addition to accessing data faster than other methods, the presence of spatial information is one of the major advantages of UAV images. Although it has become easier to manage and monitor existing urban areas with UAV images, 3D virtual city models are increasingly needed for more efficient management. 3D building models are the most important component of 3D virtual city models. Therefore, digital products produced by the photogrammetry method from aerial images obtained by UAVs are important in the detection of existing buildings. In this study, several classes of unclassified point clouds produced from aerial images were created: ground, high and low noise, and buildings. Based on the ground surface created as a result of the classification and the points classified as buildings, 3D city models in the real geometric structure were created. It has been revealed that the 3D city models created as a result of the study can be used as a basis for monitoring the infrastructure of settlements, further development, and the architecture of cities and analysis.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster:

*(sedanurgamzehamalae@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1050-3088
(aliulvi@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-3005-8011

Hamal S N G & Ulvi A (2022). 3B Kent Modelleri oluşturma sürecinde İHA fotogrametrisi ve CBS Entegrasyonu: Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(2), 97-105.

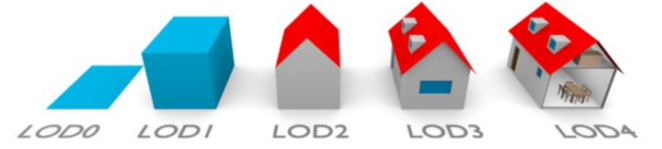
1. GİRİŞ

Teknolojideki hızlı gelişmeler ile üç boyutlu (3B) mekânsal-sayısal verilerin üretimi ve bu verilerin herkes tarafından anlaşılır olması sağlanmıştır. Bunun sonucu olarak iki boyutlu (2B) çizimlere göre algıyı çok daha fazla arttıran 3B kent modellerine olan ilgi hızla artmaktadır. 3B kent modelleri, yeryüzünün ve yeryüzündeki bina, yol ve diğer insan yapımı öğeler gibi yapay objelerin 3B geometrik bileşenlerini temsil eden ve bunları bilgisayar ortamında oluşturulan kent modellerine denilmektedir. 3B kent modelleri için kullanılan çeşitli terimler vardır ve bunlardan en çok tercih edileni “Sanal Şehir” veya “Dijital Şehir”dir”. Bu 3B kent modeller; şehir planlaması, çevresel gürültü haritası üretimi, güvenlik hizmetleri, afet yönetimi, telekomünikasyon, navigasyon, turizm ve uçuş simülasyonu vb. birçok alanda kullanılmaktadır (Mihalache et al., 2019; Carstens, 2019).

3B kent modelleme çalışmalarının en önemli bileşeni mekânsal verilerdir. Bu uygulamalarda kullanılan tipik bir 3B kent modeli; fotogrametri, lazer tarayıcılarla elde edilen veriler, yapay açıklıklı radar verileri, mimari modeller, 3B röleve çizimleri ve farklı ölçme ve veri toplama yöntemleri ile elde edilen verilerin bütünlük kullanımı ile üretilmektedir. 3B kent modelleri üretebilmek için; modellenen alanın 3B kaliteli (yeterli doğrulukta ve görsel zenginlikte), ekonomik ve güncel verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Yakar & Yılmaz, 2008; Yakar vd., 2016; Şasi & Yakar, 2017). Günümüzde fotogrametri ve LiDAR yöntemleri 3B modelleme çalışmalarında en çok tercih edilen mekânsal verilerdir. Fotogrametrik ve LiDAR yöntemleri ile elde edilen nokta bulutlarının temsil ettiği mekânsal verilerin, gelişen bilim ve teknoloji ile harmanlanarak kullanıcıya sunulması verilerin çok daha etkin ve nitelikli kullanımını sağlamaktadır. 3B şehirlerin ve binaların gösteriminde güvenilirlik ve güncellik için giderek artan gereksinimler nedeniyle, toplu ve hızlı veri toplama ihtiyacı duyulmaktadır. 3B kent modelleme çalışmalarında geleneksel veri toplama yöntemi ile yapılan çalışmalar çok fazla zaman alıcı olurken teknolojinin gelişmesiyle birlikte sıklıkla kullanılan 3B mekânsal bilgileri içinde barındıran nokta bulutları ile zamandan tasarruf edilmektedir. Aynı zamanda, geleneksel veri işleme prosedürü de doğrudan zaman alırken yeni teknoloji ve donanımlar sayesinde en kısa sürede sonuçlar elde edilebilmektedir (Şasi & Yakar, 2018; Sarı vd., 2020; Ulvi vd., 2020; Kaya vd., 2021).

Fotogrametri yöntemiyle elde edilen nokta bulutu verileri özellikle LiDAR verilerine kıyasla daha düşük maliyetli üretilebildiği için son zamanlarda 3B kent modelleme çalışmalarında daha etkin kullanılmaya başlanmıştır. Fotogrametri yöntemiyle üretilen 3B veriler tek tip kalitede noktaların nesneden bağımsız dağılımını kullanan belirli bir yüzey geometrisini temsil eder (Şasi & Yakar, 2017; Gergelova et al., 2020). Yapılan bu temsilin gerçekliği tam anlamıyla yansıtması altlık veri kullanımında istenilen seviyeye ulaşılmasında önemli rol oynar. Zaman içerisinde 2B verilerden 3B verilere geçiş süreciyle birlikte büyük alanlarda analizler kolaylaşmış olup teknolojinin gelişmesiyle modern ve kentsel gelecekle ilgili olan ve bu nedenle üçüncü bir

boyut gerektiren akıllı şehirler fikri doğmuştur. İlk 3B şehir modelleri, özellikle uygun uygulama araçlarının olmaması ve bu modellerin daha yaygın olarak kullanılmasını engelleyen standartların bulunmaması nedeniyle büyük zorluklarla yapılmıştır (Yastıklı vd., 2017). Bu nedenle 3B kent modellerinin standartlaşması ve gerçekleştirilen uygulamaların paylaşılabilmesi için Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından oluşturulan uluslararası City Geography Markup Language (CityGML) standartları geliştirilmiş ve bu alandaki ilk standart olmuştur. 3B verilerin geometrik ve semantik özelliklerini yapılandırmak için beş ardışık ayrıntı düzeyinde (Level of Detail/LoD) tanımlanmıştır, ancak bu LoD'ların belirsiz ve sınırlı olduğu gösterilmiştir (Şekil 1). LoD0 2.5 boyutlu Sayısal Arazi Modelini (SAM) içeren bölgesel model, LoD1 çatı yapıları olmayan bina bloğu, LoD2 çatı yapıları dâhil bina modeli, LoD3 detaylı mimari dâhil bina modeli ve LoD4 iç model dâhil bina modelini temsil etmektedir. Bu temsilin gerçekçi olabilmesi için altlık olarak kullanılan verilerin kalitesi ve gerçekliği yansıtması önemlidir (Yastıklı vd., 2017). Bu noktada fotogrametri yöntemiyle elde edilen görüntü tabanlı nokta bulutları ile 3B tam bir temsil gerçekleştirilebilir fakat bu veri kümesinde temsili gerçekleştirecek temel veriler dışında birçok veri bütünü bulunmaktadır. Bu yüzden yoğun veri içeren nokta bulutlarından istenilen temsil için anlamlı olanların otomatik ya da yarı otomatik olacak şekilde tespitlerinin gerçekleştirilmesi LoD seviyelerinin hızlı bir şekilde oluşmasına katkı sağlayabilir (Sharma et al., 2020; Yastıklı & Cetin, 2021).



Şekil 1. LoD seviyeleri (Biljecki, 2017; Rakićević, 2022).

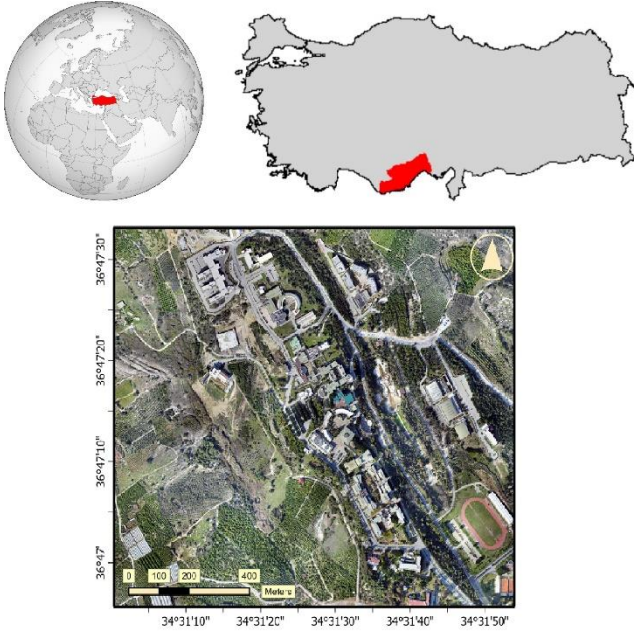
Bu çalışmada fotogrametri yöntemi kullanılarak İnsansız Hava Aracı (İHA) ile çekilen hava görüntülerinden üretilen yoğun nokta bulutlarına dayalı 3B sanal kent modeli geliştirilmiş ve bunun akıllı şehirler uygulamalarına uygulanabilirliğini analiz edilmiştir. İHA hava görüntülerinden üretilen yoğun nokta bulutlarından otomatik bina tespiti ile 3B kent modellerinin CBS entegrasyonunu ele alan bu çalışmada ilk olarak İHA fotogrametrik süreç irdelenmiştir. Daha sonra otomatik bir şekilde LoD'ları oluşturmak için yoğun nokta bulutlarından yapıların tespiti gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu tespit sonucunda LoD1 seviyesinde kullanılarak 3B kent modeli oluşturulmuş ve sonuçlar tartışılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada İHA görüntülerinden elde edilen nokta bulutlarından bina çıkarımı yapılarak LoD1 seviyesinde 3B kent modeli oluşturulmuştur. Bu kısım çalışma alanının tanıtımı, veri temini, 3B Kent Modeli Üretimi yönteminden oluşmaktadır.

2.1. Çalışma Alanı

3B kent modeli üretimi için, Mersin ilinin Yenişehir ilçesinde yer alan Mersin Üniversitesi ana kampüsünün yönetim ve dersliklerinin oluşturduğu bir bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Mersin Üniversitesi'nin ana kampüsü 1992 yılında inşa edilmiş olup kampüs alanının büyük bir kısmı bitki örtüsü ve doğal çevreden oluşmaktadır. Çalışmamız binaların tespitini içerdiği için bina yoğunluğunun fazla olduğu bir kısım çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Kampüs alanının geri kalanı spor alanları, kaldırımlar ve otopark için tasarlanmış ve kullanılmaktadır. Çiftlikköy Yerleşkesi özgün mimari tasarımı ve çağdaş düzenlemeleri, geniş ve göz alıcı binaları, yeşil ve orman alanları, birçok sosyal, kültürel ve spor tesisi ile ayrıcalıklı kampüsler arasında yer almaktadır. Çalışma için belirlenen ve şekil 2'de gösterilen alandaki yapılar birbirinin tekrarı olmayıp farklı geometrik özelliklere sahiptir ve bu durumun ortaya atılan metodolojinin etkinliğine katkı sunması beklenmektedir.



Şekil 2. Çalışma Alanı

2.2. Veri Temini

Çalışmada ilk olarak Şekil 3'te verilen sabit kanatlı bir İHA ile hava görüntüleri çekilmiştir. Uçuş alanı tüm kampüsü kapsamaktadır fakat çalışma alanı belli bir bölgede yapılmıştır. Tüm kampüs alanı 700 hektar büyüklüğünde olduğu için sabit kanatlı İHA tercih edilmesinde alanın büyüklüğü önemli rol oynamıştır. Çalışmada kullanılan İHA'nın havada kalma süresi yaklaşık 45 dakika olup muadili İHA'lara göre aynı çözünürlükte daha yüksek irtifadan veri toplayabilmektedir. Bu denli büyük bir alanda istenilen çözünürlükte görüntünün olabildiğince yüksekte alınması daha az sayıda görüntü verisi anlamına gelir. Ayrıca elde edilen hava görüntülerinde gölgelerden kaçınmak için güneş geliş açısına göre uçuş tarihi ve uçuş saati belirlenmiştir. Güneş geliş açısına bağlı olarak 26 Haziran tarihinde 11:00-13:00 saat aralığı belirlenmiştir.

Söz konusu İHA RGB bantlara sahip 21 megapiksel S.O.D.A dâhili kameraya sahiptir. Dijital fotogrametride uçuş planlamasında yükseklik görüntü çözünürlüğü ile alakalıdır. Bir başka deyişle uçuş irtifası Yer Örneklem Aralığı (YÖA) ile isimlendirilen piksel çözünürlüğü ile alakalıdır. Çalışmada kullanılan İHA ile 5 cm/piksel çözünürlüğünde fotoğraflar çekilmek istenildiği için bu çözünürlük değeri yaklaşık 212 metre yüksekliğe tekâmül etmektedir. Çalışmada kullanılan İHA ile toplam uçuş süresi yaklaşık 230 dakikadır (5 uçuş). Çalışmanın belirlenen sınırları için toplam 312 fotoğraf çekilmiş olup tamamı kullanılmıştır. Çekilen görüntülerden oluşturulan 3B verilerin hem doğruluğunu test etmek hem de gerçek konumunda oluşturabilmek için araziye 16 adet yer kontrol noktası tesis edilmiştir. YKN'ler 30 epok şeklinde tekrarlı olmak üzere 2 kez GNSS alıcısı ile ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan İHA kameranın teknik özellikleri sırasıyla şekil 3 ve tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan İHA

Tablo 1. Çalışmada kullanılan İHA'nın teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Ağırlık/Boyut	1100 g/1100 mm
Hız	40-130 m/s
Maksimum uçuş süresi	~50 dk
Uydu Konumlandırma Sistemleri	GPS-GLONASS
PPK/RTK	+
Çözünürlük/ Odak Uzaklığı	5472*3648/10.6 mm
Sensor type/ Sensor size	20 megapiksel/1 inch

3. İHA FOTOGRAMETRİ SÜRECİ

Kentsel alanların gelişiminin izlenmesi için büyük verilerden hedef alanların tespitleri uydu görüntüleri ile yapılmaktaydı fakat düşük ve orta çözünürlüklü uydu görüntüleri düşük mekânsal çözünürlüğe sahip olması küçük alanlar için dezavantaj oluşturmaktadır (Oruç, 2021a). Bundan dolayı, küçük alanlar için yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip görüntülerin İHA ile toplanması iyi bir alternatif çözüm olmuştur. Son zamanlarda İHA'lar ile yüksek çözünürlüklü ortofotoların üretilmesi sonucunda bu görüntülerden

obje tespiti çalışmalarına ağırlık verilmeye başlansa da iki boyutlu olan bu ortofotolardan tespit edilen hedef objeler 3B kent modelleri için kullanılamamaktadır. Bu verilerin 3B kent modellemesinde kullanılması için yükseklik bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla içerisinde 3B bilgileri barındıran yoğun nokta bulutlarından hedef nesne tespiti ile çalışmalar 3B kent modellemesinde güncel konular arasında yer almaktadır. 3B bilgiler barındıran yoğun nokta bulut verilerinin İHA görüntülerinden üretimi için fotogrametri tekniği kullanılmaktadır.

Fotogrametri, objenin farklı açılardan çekilmiş fotoğraflardan yararlanarak yerini, konumunu ve şeklini hassas bir şekilde belirleyen bir bilim dalıdır (Yakar & Doğan, 2017; Ulvi, 2021). Teknolojinin ilerlemesi ile fotogrametri ve bilgisayarlı görüntüleme teknolojisinin entegrasyonu, 3B modelleme çalışmalarında daha fazla esneklik ile 3B model üretim otomasyonunda ilerlemelere yol açmıştır (Yakar, 2011; Oruç 2021b). Günümüzde, 3B modelleme çalışmaları yapılmasını sağlayan çeşitli yazılımlar bulunmakta ve bu yazılımların çoğu da, Structure from Motion (SfM) gibi özel algoritmalara dayanmaktadır. SfM; sahnenin geometrisini, kamera konumlarını ve oryantasyonu, bilinen 3B konumlara sahip bir hedef ağının önceden tanımlanmasını gerektirmeden otomatik olarak çözen bir fotogrametrik algoritmadır (Yakar & Dogan, 2019). SfM algoritması; düşük maliyeti, son derece hızlı sonuç vermesi ve kolay 3B ölçüm kabiliyeti sebebiyle yer bilimlileri araştırmaları üzerinde dönüştürücü bir etkisi olmuştur. SfM algoritmasında 3B yapıları oluşturabilmek için birbiri üzerine binen bir dizi resim çerçeveleri kullanılmaktadır. Bir dizi örtüşen fotoğraf boyunca ortak noktaları bularak ve eşleştirerek çalışır (Yiğit et al., 2020).

SfM algoritması ışın demetleri ile blok dengelemesi algoritması kullanılmaktadır. Bu algorithmada ilk aşama fotoğrafları sıralayarak ön bir dengeleme yapar ve seyrek

nokta bulutu (Sparse point cloud) oluşturur. İkinci aşama ise yoğun nokta bulutu oluşturma işlemidir. Bu aşamada kullanılan algoritma ise yoğun çoklu görüntülü stereo algoritmasıdır. Yoğun nokta bulutunun üretildiği bu süreçte, birbiriyle eşlenmesi gereken pikseller ve onların sanal olarak 3B konumlarının tahmini ile katı model ve nokta bulutu oluşturulur.

İHA hava görüntülerin toplanması tamamen otomatik bir süreç oluşturmakta ve bu uçuş tekniğinde görüntülerin örtüşme oranları boyuna ve enine olmak üzere sırasıyla %80 ve %60'tır. Toplam uçuş süresi tüm alan için yüz yirmi sekiz dakikadır. Fotoğraf çekimi aşamasında güneş ışınlarının geliş açısı da dikkate alınmıştır. Tüm alanın 1993 hava fotoğrafı çekilirken bu çalışmanın yapıldığı alana ait 312 hava fotoğrafı kullanılmıştır. Literatür taraması sonucunda, birçok araştırmacının yaptıkları çalışmalarda SfM tekniğini kullanan yazılımlardan biri olan Agisoft Metashape yazılım sonuçlarının birçok bağlamda güvenilir olduğunu belirttikleri için bu yazılım çalışmada kullanılmıştır. Yazılıma ilk olarak fotoğraflar aktarıldıktan sonra "fotoğrafları hizalama" işlemi ile süreç başlatılmıştır. SfM algoritması uygulandığı bu süreçte hesaplanan iç yönlendirme parametreleri tüm fotoğraflar için aynıdır. Bu işlem adımından sonra dış yönlendirme parametreleri tek tek optimize edilerek kameralar hizalanmıştır. Arazide ölçülen 16 noktadan 8 tanesi benzerlik (Helmert) dönüşümünde kontrol noktası olarak kullanılırken, 8 tanesi denetleme noktası olarak kullanılmıştır. Fotogrametrik verilerin işlenmesi Intel(R) Core(TM) i7-10750H CPU işlemci, 2.60GHz hızında, 16.0 GB ram ve NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti 6gb ekran kartına sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Toplam süre yaklaşık 72 dakika sürmüştür. Çalışma sonunda üretilen 3B nokta bulutu (~41 milyon) şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Farklı açılardan verilmiş yoğun nokta bulutu

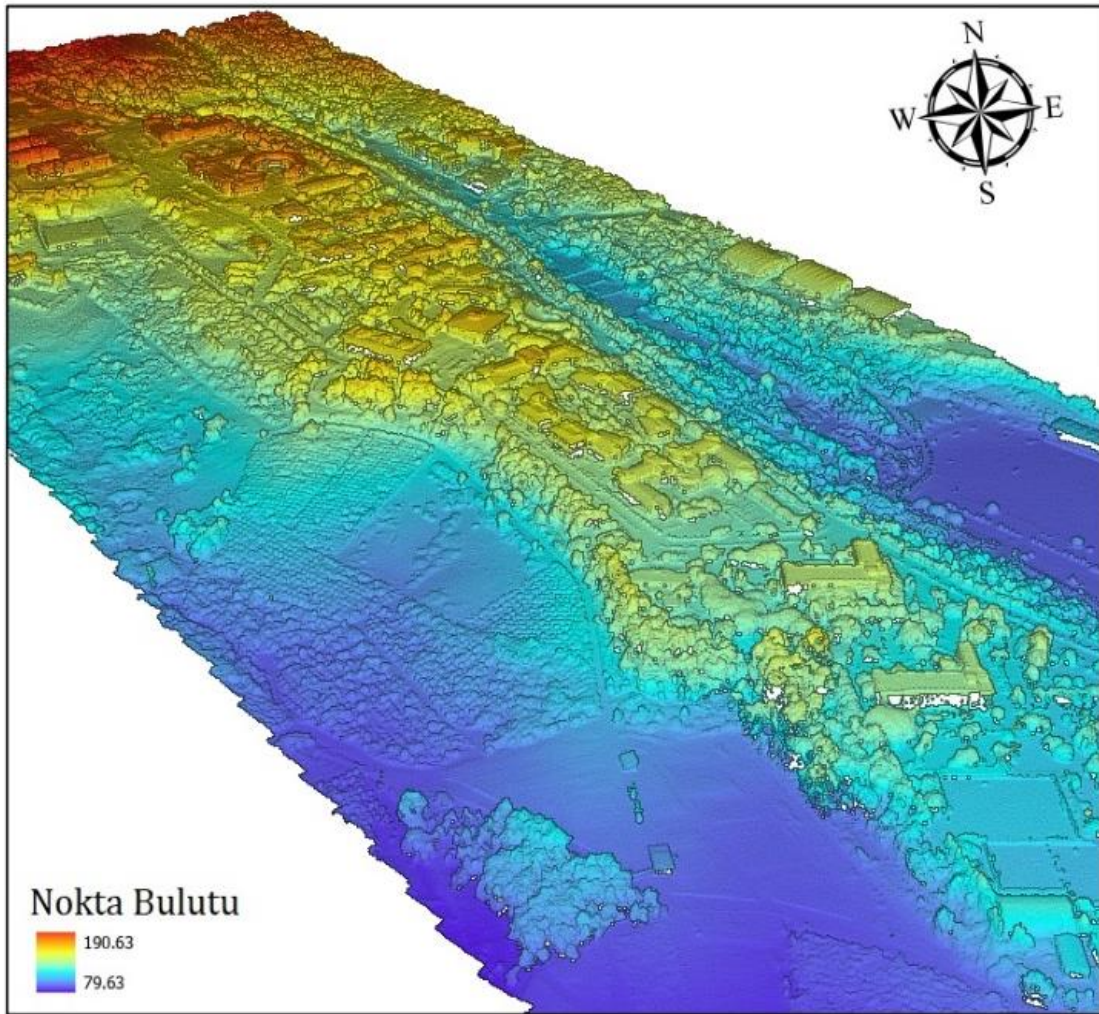
Şekil 3'te gösterilen İHA ile hava görüntülerinin fotogrametrik süreci Agisoft Metashape yazılımında yapılmıştır. Çalışmada ilk olarak fotoğraflar dengelenmiş ardından Şekil 4'te verilen 3B kent modelinin temsili olan otomatik bina çıkartımı için nokta bulutu verileri CBS yazılımına aktarılmıştır.

3.1. 3B Kent Modeli Üretimi

3B kent modeli üretimi için otomatik bina çıkartımı ArcGISPro yazılımında gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım 2B, 3B ve 4B olarak veri görselleştirme ve gelişmiş analizleri desteklemektedir. Ayrıca ArcGIS Online ve ArcGIS Enterprise gibi bir dizi ArcGIS ürünü arasında veri paylaşımını destekler ve kullanıcıların Web CBS

aracılığıyla ArcGIS sisteminde çalışmasına olanak tanımaktadır (Keranen & Kolvoord, 2017; Tickner, 2018). Yazılımda analiz yapmak ve fotogrametrik nokta bulutu veri setleri ile 3B olarak çalışmak için çeşitli araçlar kullanılabilir. ArcGISPro'da, haritalar, sahneler, düzenler, veriler, tablolar, araçlar ve diğer kaynaklara bağlantılardan oluşan ilgili bir çalışma grubu, tipik olarak bir projede düzenlenerek bir projenin kendi coğrafi veritabanı ve kendi araç kutusu sayesinde modeller oluşturularak analizler yapılmıştır.

Çalışmada İHA fotogrametri yöntemiyle üretilen nokta bulutu verisi kullanılmıştır. Görüntü verileri İHA aracılığıyla toplandıktan sonra ilk aşamada üretilen nokta bulutu verisi yazılıma aktarılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma alanının sınıflandırılmamış nokta bulutu

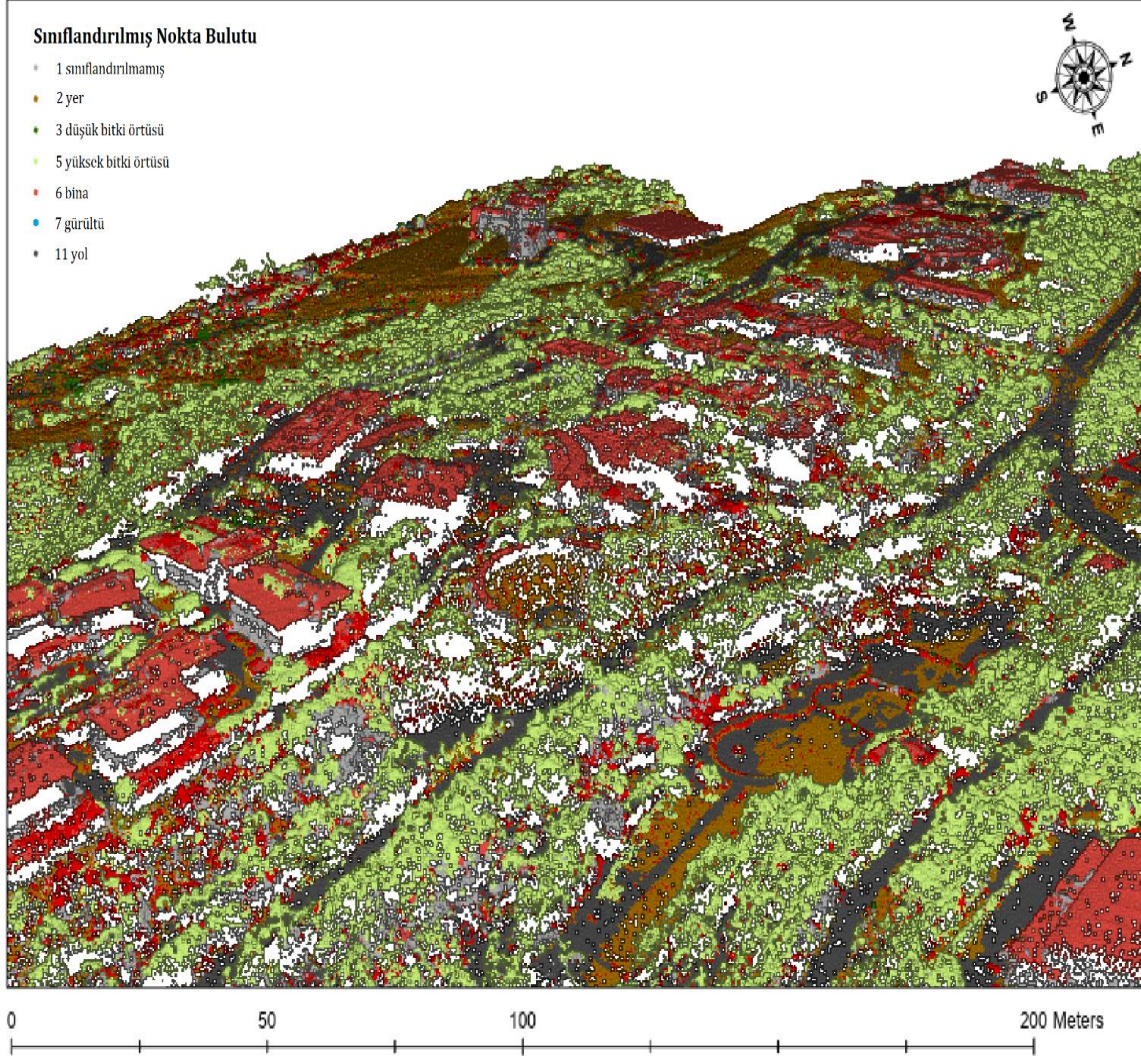
Nokta bulutu verisinin birkaç farklı amaç için kullanma olasılığı olduğundan girdi verileri ve çıktı verileri tamamen farklı adlarla isimlendirilmesine dikkat edilmiştir. Statik girişler ve çıkışlar yerine dinamik olarak parametre ayarlanmaları gerekmektedir. Girdi veya çıktı verileri parametre olarak ayarlandığında, verilerin girebilir ve çıktı yollarını veya depolama konumları ayarlanabilir. Sonraki adımda nokta bulutu verisi üzerinden sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturulmuştur. Ardından binaların çatılarının otomatik

tespiti amacıyla nokta bulutlarının sınıflandırılması yapılmıştır. Fotogrametri ile elde edilen nokta bulutu; zemin, yüksek ve düşük gürültü ve binalar sınıfına ayrılmıştır (Şekil 6).

İlk adımda yer noktaları sınıflandırılmıştır, ardından toprak yüzeyine göre düşük gürültü sınıflandırması yapılmış olup nokta bulutu içindeki gürültünün temizlenmesinden sonra, binaların çatılarının, yani ayak izlerinin sınıflandırılması yapılmıştır (Şekil 7a). Daha sonra bu noktalardan bir raster ve belirli araçların

uygulandığı bir çokgen oluşturulmuştur (Şekil 7b). Oluşturulan çokgenlerden bazıları doğru bina ayak izini temsil etmemektedir veyahut doğru ayak izlerini temsil eden çokgenler içerisinde yanlış temsiller bulunmaktadır. Tam ve doğru bina ayak izi temsili oluşturmak için şekil 7b'de gösterilen çokgenler analiz edilmiştir. Görsel analiz sonucunda en küçük bina ve bunu temsil eden çokgenler belirlenerek $70 m^2$ 'den daha küçük çokgenler temizlenmiştir. Aynı zamanda doğru bina ayak izi çokgenlerinin içerisindeki yanlış temsiller

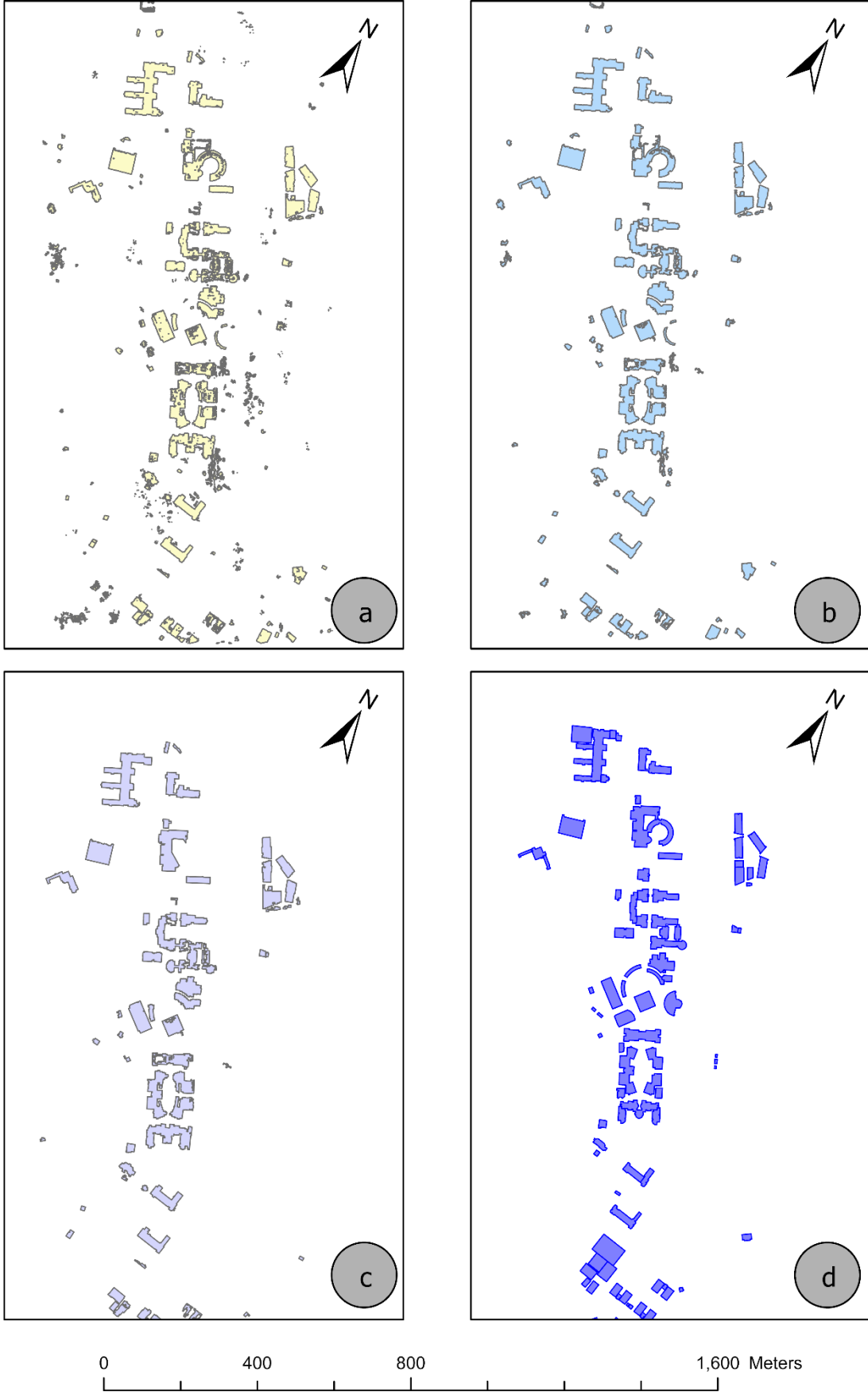
birleştirilerek şekil 7c'de gösterilen doğru bina ayak izi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ayak izleri raster veriden çokgene dönüştürüldüğü için basitleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem ArcGISPro'da hem otomatik hem de manuel olarak yapılarak şekil 7d'deki düzenlenmiş bina ayak izleri oluşturulmuştur. ArcGISPro yazılımında bina çıkarım süreci yaklaşık 40 dakika sürmüştür.



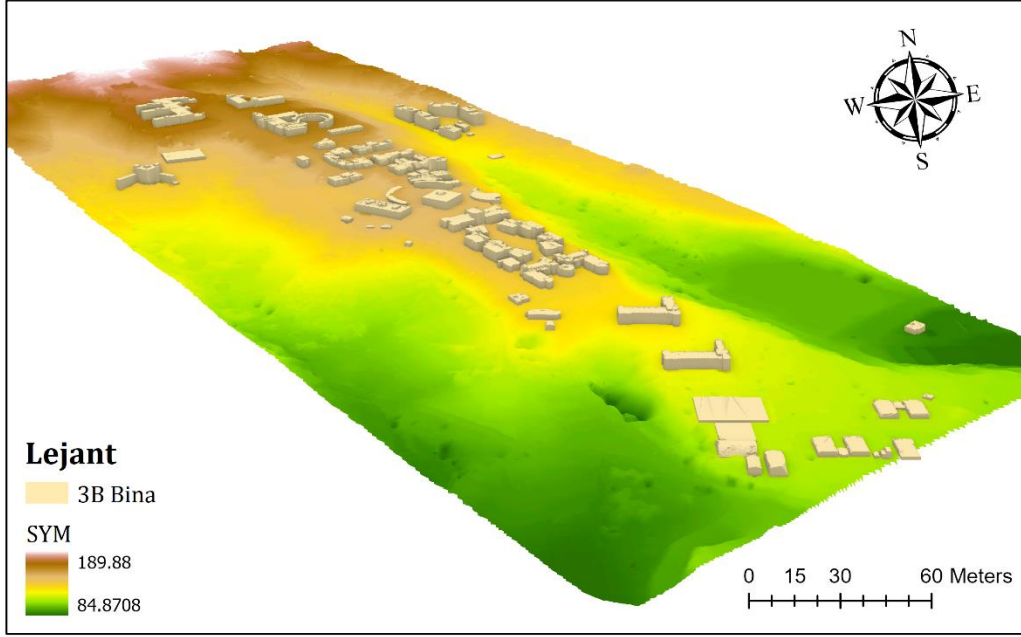
Şekil 6. Çalışma alanının sınıflandırılmış nokta bulutu

Son adım olarak, nokta bulutlarından elde edilen 2B çokgenlerden binaların gerçek geometrisinde 3B modelleri oluşturulmuştur. Nihai sonuç olarak, bir dizi

3B nesneyi, yani vektör formatındaki binaları ve ayrıca oluşturulan 3B nesnelere 2B çokgenlerini temsil eden gerçekçi 3B nesne modelleri şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Bina ayak izleri (a), çokgen bina ayak izleri (b), düzenlenmiş bina ayak izleri (c), basitleştirilmiş bina ayak izleri (d) düzenlenmiş bina ayak izleri



Şekil 8. Nokta bulutlarından tespit edilen 2B çokgenlerden oluşturulmuş LoD1 seviyesindeki Mersin Üniversitesi 3B kent modeli

4. BULGULAR ve SONUÇLAR

Yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntüleri, 3B dijital şehir için en önemli bilgi kaynaklarıdır. Uydu ve uçakla yapılan genel uzaktan algılama teknikleri, geniş bir alanın coğrafi bilgisini alabilir, ancak ayrıntılı bilgi edinmede bazı sınırlamalar vardır. İHA, yeni bir uzaktan algılama platformudur. İHA ile havadan alınan görüntüler uydu ve uçak görüntülerine göre çok yüksek çözünürlüğe sahiptir. Özellikle 3B kent modellemesinde kullanılacak olan fotogrametri yönteminde çözünürlük önemli bir etkidir. Bu anlamda kaliteli 3B kent modellemesinde İHA verileri oldukça avantaj sağlamaktadır. İHA görüntülerinden elde ettiğimiz tüm bilgileri kullanarak şehrin 3B modellerini yeniden oluşturulabilir. Görüntü alımından sonra fotogrametri ile İHA görüntülerinden geometri ve doku bilgisi çıkarılabilmektedir. İHA fotogrametrisinde veri işleme, fotogrametrik yazılımda uygulanan yoğun görüntü eşleştirme algoritmaları kullanılarak nokta bulutu üretimi için SfM tabanlı yaklaşımlar büyük avantaj sağlamaktadır. Bu algoritma sayesinde üretilen yoğun nokta bulutları ile bir kentin veya çalışma alanının yüksek çözünürlüklü 3B modeli elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, fotogrametrik nokta bulutu verilerinin otomatik nokta tabanlı sınıflandırmasına yönelik yeni bir yaklaşım ile bina ayak izlerinin tespiti ve 3B kent modelinin oluşturulması araştırılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Mersin Üniversitesi kampüsüne ait, ham nokta bulutu verilerinin önerilen nokta tabanlı sınıflandırmasını test etmek için kullanılmıştır. Sınıflandırmanın doğruluğunu artırmak için kural setinde daha gerçekçi parametreleri belirlemek için ilk olarak yer yüzeyi belirlenmiştir. Nokta verilerinin önerilen sınıflandırması, zemin, bina ve bitki örtüsü sınıflarını elde etmek için kullanılmıştır. Son adımda, otomatik nokta tabanlı sınıflandırma sonuçları kullanılarak 3B bina rekonstrüksiyonu verimli bir

şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, İHA aracıyla çekilen hava fotoğrafları kullanılarak fotogrametri yöntemiyle üretilen noktalarının önerilen otomatik nokta tabanlı sınıflandırmasının uzamsal özellikler kullanılarak başarıyla gerçekleştirilebileceğini doğrulanmıştır. Ayrıca, önerilen yaklaşımla sınıflandırılmamış nokta bulutu verisi kullanılarak kentsel ve telekomünikasyon planlaması, gerçek zamanlı simülasyonlar ve afet yönetimi gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılan 3B şehir modelleri için daha gerçekçi bir 3B yapı modeli oluşturulabileceği gösterilmiştir.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar/lar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Biljecki F (2017). Level of detail in 3D city models. *Tu Delft*, ISBN: 978-946-1868-00-8.
- Carstens D A (2019). BIM & GIS-New dimensions of improved collaboration for infrastructure and environment. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 4, 114-121.
- Gergelova M B, Kuzevicova Z, Labant, S, Kuzevic S, Bobikova D & Mizak J (2020). Roof's potential and suitability for PV systems based on LiDAR: A case

- study of Komárno, Slovakia. *Sustainability*, 12(23), 10018. <https://doi.org/10.3390/su122310018>
- Kaya Y, Yiğit A Y, Ulvi A & Yakar M (2021). Arkeolojik alanların dokümantasyonunda fotogrametrik tekniklerinin doğruluklarının karşılaştırmalı analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 165, 57-72.
- Keranen K & Kolvoord R (2017). Making Spatial Decisions Using ArcGIS Pro: A Workbook. *Esri Press Academic*.
- Mihalache C E, Călugăru A & Moise C (2019). Identification of Critical Areas on Power Lines Using Lidar and ArcGIS Pro Software. *Journal of Young Scientist*, 7, 171-174.
- Oruç M E (2021a). Küçük objelerin modellenmesinde videogrametri ve fotogrametri yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(2), 62-68. <https://doi.org/10.53030/tufod.1019385>
- Oruç, M. E. (2021b). The possibilities of data usage obtained from UAV. *Advanced UAV*, 1(1), 15-23.
- Rakićević N (2022). An Automated Process of Creating 3D City Model for Monitoring Urban Infrastructures. *Journal of Geographical Research| Volume*, 5(02). <https://doi.org/10.30564/jgr.v5i2.4093>
- Sarı B, Hamal S N G & Ulvi A (2020). Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Turkey Lidar Journal*, 2(2), 48-54.
- Sharma K, Rawal R, Fennell P, Mathur A, Ruyssevelt P, Crawley D & Korolija I (2020). Developing a 3D geometry for urban energy modelling of Indian cities. *IBPSA, Scotland*.
- Şasi A & Yakar M (2018). Photogrammetric modelling of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) using an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 6-11. <https://doi.org/10.26833/ijeg.328919>
- Şasi A & Yakar M (2017). Photogrammetric modelling of sakahane masjid using an unmanned aerial vehicle. *Turkish Journal of Engineering*, 1(2), 82-87. <https://doi.org/10.31127/tuje.316675>
- Tickner A (2018). Review of Making Spatial Decisions Using ArcGIS Pro: A Workbook. *Cartographic Perspectives*, (89), 59-60.
- Ulvi A (2021). İHA Fotogrametrisine Genel Bakış: Geleneksel Topoğrafik Harita Yapımı Tekniği ile Maliyet Karşılaştırması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 458-471. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.885579>
- Ulvi A Yakar M Yiğit, A Y & Kaya Y (2020). İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30. <https://doi.org/10.29128/geomatik.560179>
- Yakar M & Doğan Y (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı Fotogrametrik Rölöve Alımı ve Üç Boyutlu Modelleme Çalışması. *Geomatik*, 2 (1), 11-17. <https://doi.org/10.29128/geomatik.296763>
- Yakar M (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59. <https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2009.00583.x>
- Yakar M & Yılmaz H M (2008). Kültürel miraslardan tarihi Horozluhan'ın fotogrametrik rölöve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23(2), 25-33.
- Yakar M & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. *Conference of the Arabian Journal of Geosciences*, Hammamet, Tunisia, 73-75. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01440-7_18
- Yakar M, Kabadayı A, Yiğit A Y, Çıkıkcı, K, Kaya Y & Catin, S S (2016). Emir Saltuk Kümbeti fotogrametrik rölöve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18. <https://doi.org/10.29128/geomatik.294073>
- Yastıklı N, Çetin Z, Üçok U & Koçdemir K H (2017). Fotogrametrik Harita ve LiDAR Verileri ile 3B Kent Modeli Üretimi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye.
- Yastikli N & Cetin Z (2021). Classification of raw LiDAR point cloud using point-based methods with spatial features for 3D building reconstruction. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(3), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06377-5>
- Yiğit A Y, Orhan O & Ulvi A (2020). Investigation of the Rainwater Harvesting Potential at the Mersin University, Turkey. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 64-75.



© Author(s) 2022.

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