

## Etkileşim Tasarım Aracı Olarak Fotogrametri Tabanlı Dijital Varlıklar

Onur Şahin Karakuş<sup>1</sup>

### Özet

Bu çalışma, fotogrametri tabanlı dijital varlıkların etkileşim tasarımı süreçlerindeki rolünü kavramsal, teknik ve deneysel boyutlarıyla değerlendirmektedir. Son yıllarda özellikle dijital oyun, artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik gibi alanlarda kullanımı yaygınlaşsa da, fotogrametri tabanlı dijital varlıkların etkileşim tasarımıdaki rolü yalnızca görsel gerçekçiliğe ulaşmakla sınırlı değildir. Fotogrametrinin etkileşim tasarımıda bir araç olarak nasıl konumlandırıldığı ve kullanıcı deneyimini biçimlendirirken algısal, mekânsal ve anlamsal katmanlara nasıl katkı sunduğu da incelenmesi gereken bir konudur.

Çalışma kapsamında fotogrametrik veri toplama ve işleme süreçleri, modelleme iş akışı ve etkileşimli ortamlara yönelik optimizasyon yaklaşımları açıklanmakta; bu teknik süreçlerin etkileşimli deneyim üretimiyle kurduğu ilişki tartışılmaktadır. Ayrıca dijital oyun tasarımı, artırılmış gerçeklik / sanal gerçeklik, müze ve sergi alanlarında fotogrametrinin kullanıcı deneyimini zenginleştiren potansiyeli değerlendirilmektedir. Fotogrametrinin sunduğu yüksek seviyede görsel gerçekçilik ve üretim hızı gibi avantajlarının yanı sıra beraberinde getirdiği veri yoğunluğu, farklı değişkenlere olan bağımlılık ve işleme maliyetleri gibi sınırlılıkları eleştirel bir bakışla incelenmektedir. Son olarak yapay zekâ destekli veri işleme ve gerçek zamanlı tarama teknolojileri bağlamında fotogrametrinin gelecekteki dönüşüm potansiyeli değerlendirilmiştir.

### Giriş

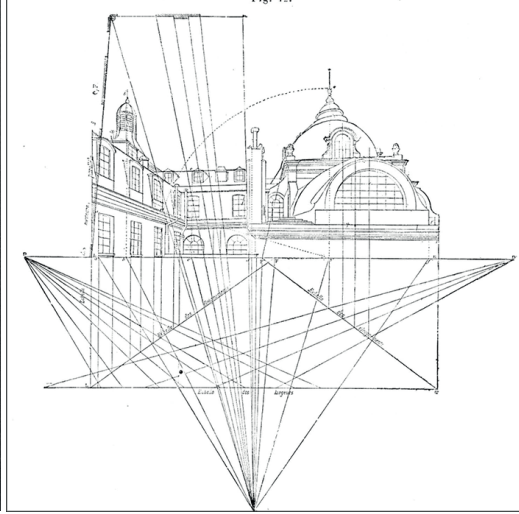
Fotogrametri kelimesi etimolojik olarak Yunanca phōs (ışık) + gramma (yazmak, kayıt) + metron (ölçü) sözcüklerinin birleşiminden türemiştir ve “ışıkla elde edilen kayıtların ölçülmesi anlamına” gelir (Schenk, 2005: s.1). Daha basitçe ifade etmek gerekirse fotogrametri, görüntülerden yola

<sup>1</sup> Arş. Gör. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, 0000-0002-6531-6722

çıkarak ölçüm yapmaktır. Bu alandaki çalışmaların temellerinin atıldığı dönem olarak 20. yüzyılın başları gösterilmektedir. Fransız mühendis ve asker Aimé Laussedat, fotografik görüntüleri topografik ölçüm yapmak için kullanan ilk kişi olarak kabul edilmektedir (Koneckny, 1985).



Görsel 1. Aimé Laussedat, 1819-1917  
[researchgate.net/publication/225769208](https://researchgate.net/publication/225769208).



Görsel 2. Laussedat'ın ofisinden bir görünüm - 1850  
[Researchgate.net/figure/289429494](https://Researchgate.net/figure/289429494)

Günümüzdeki teknik karşılığı olarak ise fotogrametri, optik görüntüler kullanılarak nesnelerin, mimari yapıların veya doğrudan doğadaki varlıkların üç boyutlu olarak modellenmesi yöntemidir. Erken dönemlerde bu isimlendirme, veri kaynağı olarak analog fotoğrafçılığa işaret ediyordu fakat günümüzde fotogrametri çalışmalarında dijital görüntüler kullanılmaktadır. Bu yöntemdeki temel mantık, farklı açılardan elde edilen görüntülerdeki ortak noktaların analiz edilmesi sayesinde gerçek dünyadaki geometrik bilgiye (boyut, konum, biçim) ulaşmaktır. Böylece iki boyutlu görüntülerden üç boyutlu modeller, haritalar ve ölçümler elde edilmektedir.

Fotogrametri son yıllarda dijital 3B model üretiminde yaygınlaşan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Özellikle yüksek çözünürlüklü kameraların yaygınlaşması ve drone teknolojilerinin erişilebilirliği arttıkça gerçek dünyadaki nesne ve mekânların hızlı biçimde sayısallaştırılması mümkün hale gelmiştir. Bu durum yalnızca dijital oyun ve sinema gibi görsel üretim alanlarında değil; artırılmış gerçeklik, sanal müzeler, mimari belgeleme, adli mimarlık (forensic architecture) gibi pek çok disiplinde fotogrametriyi etkili bir modelleme tekniği haline getirmiştir. Fotogrametrinin manuel 3B modelleme süreçlerine kıyasla

birçok durumda daha yüksek görsel gerçeklik üretme potansiyeli taşıması ve belirli senaryolarda zaman tasarrufu sağlayabilmesi tasarımcılar ve araştırmacılar arasında bu yönetime yönelik ilgiyi artırmıştır.

Fotogrametri, etkileşim tasarımı bağlamında kullanıcı ile dijital ortam arasındaki ilişkiyi sezgisel ve gerçekçi hale getirdiği için önemli bir rol üstlenir. Fiziksel dünyadan elde edilen nesne ve mekânların yüksek doğrulukla dijital ortama aktarılması, kullanıcıların tanıdık görsel ipuçları üzerinden etkileşime girmesini kolaylaştırır. Özellikle artırılmış ve sanal gerçeklik uygulamalarında kullanıcıların mekânsal farkındalığını güçlendirerek beden, hareket ve algı arasındaki etkileşimi derinleştirir. Bunun yanı sıra gerçekçi dokular ve kusurlar içeren dijital varlıklar, etkileşim tasarımında duygusal bağ kurmayı ve inandırıcılığı artırır. Böylece fotogrametri yalnızca görsel doğruluk sağlayan teknik bir araç olmaktan öte, kullanıcı deneyimini zenginleştiren, mekânsallık hissini güçlendiren ve etkileşimi daha doğal bir süreç haline getiren bir tasarım yöntemi olarak değerlendirilebilir.

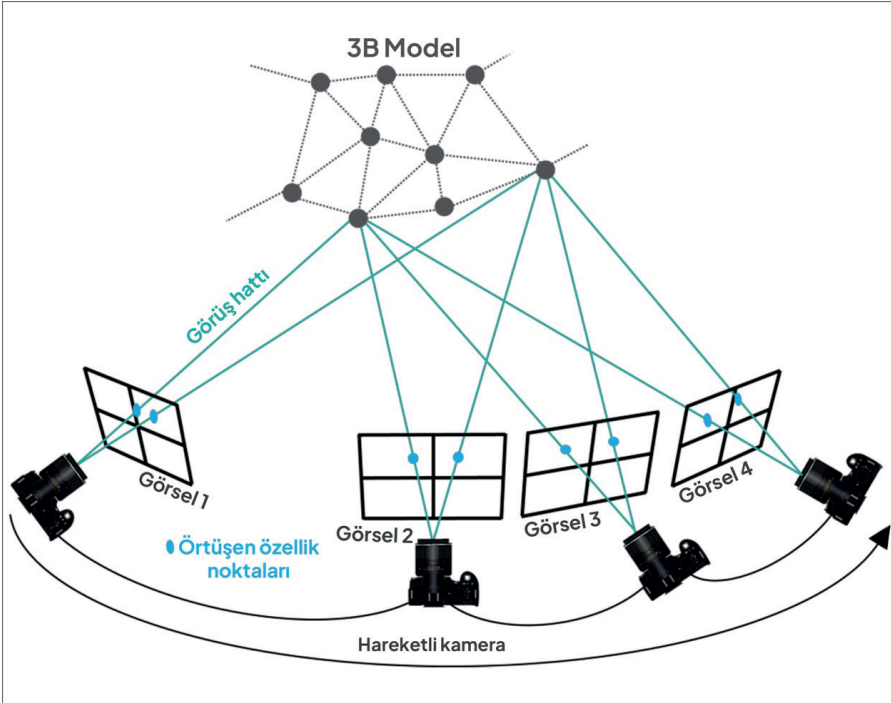
## 1. Fotogrametrinin Yapı Taşları ve Çalışma Aşamaları

Fotogrametri çalışmalarının temel amacı, fiziksel dünyaya ait nesne ve mekânların üç boyutlu dijital temsillere dönüştürülmesidir. Bu süreç, görüntüler arasındaki ortak noktaların matematiksel olarak eşleştirilmesi ve bu eşleşmeler üzerinden mekânsal ilişkinin yeniden kurulması prensibiyle çalışır. Yöntemi anlayabilmek için veri yakalama koşullarını, kullanılan donanım ve yazılım araçlarını ve görüntülerin işleme mantığını kavramak gerekmektedir. Bu nedenle aşağıdaki alt başlıklarda fotogrametrinin çalışma prensipleri, teknik araçları ve veri işleme süreçleri temel düzeyde ele alınmıştır.

### 1.1. Çalışma Prensipleri

Fotogrametrinin temel çalışma prensibi, bir nesnenin ya da mekânın farklı açılardan çekilmiş çok sayıda görüntüsünü karşılaştırmaya dayanır. Görüntülerde tekrar eden yüzey noktaları tespit edilir ve her fotoğrafın çekildiği konum da hesaba katılarak bu noktaların uzaydaki gerçek yeri hesaplanır. Bu nedenle fotogrametrik bir ölçümün ilk çıktısı bir nokta bulutu olacaktır (Banfi ve Mandelli, 2021: s.48). Bu işlem aslında bir insanın iki gözüyle derinlik algılamasına benzer bir üçgenleme (triangulation) prensibiyle çalışır. Önce uzayda yoğun bir nokta bulutu oluşturulur, ardından bu noktalar birleştirilerek yüzeyler (mesh) üretilir ve son aşamada görüntülerden elde edilen renk verileri modele uygulanır. Böylece iki boyutlu görüntülerden yola çıkılarak ölçülebilir, gerçek ölçekli ve detay seviyesi yüksek üç boyutlu modeller, haritalar ortaya çıkarılır. Fotogrametri tekniğinin başlıca uygulama adımları olarak şunlar sıralanabilir:

- Görüntü toplama (image acquisition): Nesne ya da mekân, mümkün olduğunca çok açıdan ve yüksek örtüşme oranıyla fotoğraflanır. Görseller arasındaki örtüşme, yazılımın ortak referans noktalarını tespit edebilmesi için kritik öneme sahiptir.
- Özellik noktalarının tespiti (feature detection): Fotogrametri yazılımları, fotoğraflar üzerinde köşe, doku veya kontrast içeren ayırt edici noktaları otomatik olarak belirler. Bu noktalar farklı görüntüler arasında eşleştirilerek geometrik ilişkiler oluşturulur.
- Kamera konumlandırma ve hareket ile nesne oluşturma (structure from motion) kısa adıyla “SfM”, nesnelerin birden fazla fotoğrafını kullanarak ilgili yüzeyle örtüşen X, Y, Z koordinatlarına sahip üç boyutlu nokta kümeleri oluşturan bir uzaktan algılama tekniğidir (Bkz. Görsel 3). Bu veri kümesi, RGB renk bilgisiyle birlikte “nokta bulutu” olarak adlandırılır. Bu yöntemle kameraların (veya aynı kameranın farklı zamanlardaki) konumları-yönelimleri otomatik olarak hesaplanır. Böylece bir dizi örtüşen iki boyutlu görüntüler üzerinden dijital 3B modeller oluşturulması sağlanır (Shervais, 2023: s.2).



Görsel 3. Hareketten yapı oluşturma (SfM) metodolojisinin temelleri  
<https://serc.carleton.edu/details/files/88791.html>

- Yoğun yeniden yapılandırma (dense reconstruction): Seyrek nokta bulutundan elde edilen başlangıç geometrisi, çoklu görüntüler arasındaki yoğun eşleştirme süreçleriyle detaylandırılır ve sahnenin yüksek yoğunluklu bir nokta bulutu üretilir. Bu aşama sayesinde yüzey rekonstrüksiyonuna temel oluşturacak geometrik detay önemli ölçüde artırılır.
- Mesh ve yüzey oluşturma (Surface reconstruction): Bu aşamada yoğun nokta bulutu üzerinden üçgenleme yöntemiyle sahnenin sürekli ve topolojik olarak bütüncül yüzey-mesh modeli elde edilir.
- Doku kaplama (Texturing): Son aşamada fotoğraflardan elde edilen renk ve doku bilgisi mesh üzerine aktarılır. Bu işlem modelin fotogerçekçi görünmesini sağlar.

## 1.2. Kullanılan Donanımlar ve Yazılımlar

Fotogrametri sürecinde kullanılan araçlar genel olarak donanım ve yazılım olmak üzere iki ana grupta ele alınır. Profesyonel tarama süreçleri için kamera sistemleri, kameraların daha rahat sabitlenmesini ve hareket ettirilmesini sağlayan rig sistemleri, geniş alanların, mimari yapıların ve arazilerin görüntülenmesi için kullanılan drone'lar, aydınlatma ekipmanları ve yoğun veri işleme için gerekli olan CPU, GPU gibi bilgisayar bileşenleri donanım alt başlığında yer alan araçlardan bazılarıdır.

Agisoft Metashape, RealityCapture, Pix4D gibi yazılımlar ise hizalama, nokta bulutu, mesh ve doku üretimi gibi temel rekonstrüksiyon süreçlerini gerçekleştirir. Mesh temizleme, retopoloji ve optimizasyon işlemleri için Blender, ZBrush, Autodesk Maya gibi 3B modelleme ve düzenleme yazılımları kullanılabilir.

Geniş alanlardaki çalışmalar için ise OpenDroneMap, en yaygın açık kaynak fotogrametri araçlarından biridir ve özellikle drone fotoğraflarından 3B modeller üretmek üzere tasarlanmıştır. Bu yazılım arkeolojik alanlar ya da inşaat projeleri gibi geniş bölgelerin haritalanmasında özellikle kullanışlıdır. Bir diğer açık kaynak fotogrametri yazılımı olarak COLMAP önerilebilir. COLMAP fotoğraflardan 3B modeller üretir ve zorlu ışık koşullarına sahip sahnelerde (ör. düşük ışık veya yüksek kontrast) görüntülerden yeniden yapılandırma elde etme konusunda güçlü bir alternatiftir ve sanal gerçeklik uygulamalarında, dijital oyunlarda kullanılabilen etkili bir araçtır (Nagar, 2023: s. 2).

Fotogrametri yöntemi ile elde edilmiş varlıkların etkileşimli ortamlarda kullanılması için öne çıkan başlıca yazılımlar ise Unreal Engine, Unity gibi oyun

geliştirme motorları ve Twinmotion, Lumion gibi gerçek zamanlı görselleştirme yazılımlarıdır.

### 1.3. Veri Toplama ve İşleme Süreçleri

Fotogrametri tabanlı dijital varlık üretiminde veri toplama ve işleme süreçleri, modelin doğruluğunu ve görsel kalitesini belirleyen kritik aşamalardır. Veri toplama süreci bir nesnenin ya da mekânın yüksek örtüşme oranına sahip olacak şekilde fotoğraflanmasıyla başlar. Algoritmaların görüntüler arasındaki ortak noktaları doğru biçimde eşleştirebilmesi önem taşır. Bu nedenle homojen aydınlatma, net odak, çekim açısı çeşitliliği, yeterli doku çeşitliliği, kamera kalibrasyonu ve çekim planının sistematik biçimde kurgulanması ölçü doğruluğunu artıran unsurlar arasında yer alır. Büyük ölçekli sahnelerde drone kullanımı efektif ve kısmen zorunlu bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Profesyonel olmayan kameraların dahi 3B modeller üretmek için gerekli olan görsel veriyi sunma potansiyeline ek olarak hafif ve düşük maliyetli drone'ların giderek daha erişilebilir hâle gelmesi, fotogrametrinin saha uygulamalarını genişletmiş ve veri toplama süreçlerini hızlandırmıştır (Corradetti vd. 2021: s.4).

Görüntülerin işleme süreci ise yazılım ortamında başlar ve “Structure from Motion” (SfM) yaklaşımıyla kamera konumlarının ve seyrek nokta bulutunun hesaplanmasını içerir. Bunu yoğun nokta bulutu üretimi, mesh oluşturma ve doku haritalama aşamaları izler. Bu adımlar sırasında gürültü temizleme, delik doldurma ve topolojik düzeltmeler gibi veri iyileştirme işlemleri gerçekleştirilir. Sürecin son aşamasında elde edilen model, hedef kullanım bağlamına göre ölçeklendirilir, optimize edilir ve farklı formatlarda dışa aktarılır. Böylece ham fotoğraf verisi, ölçülebilir ve etkileşimli ortamlarda kullanılacak dijital bir varlığa dönüştürülmüş olur.

Bir sonraki aşamada fotogrametrik varlığın görsel gerçekliğini belirleyen temel aşamalardan biri olan doku üretimi aşaması başlar. Bu süreçte kaynak fotoğraflar, oluşturulan mesh yüzeyi üzerine projeksiyon yöntemiyle aktarılır ve UV haritalama aracılığıyla yüzey ile görüntü arasında mekânsal bir eşleşme kurulur. Çoklu görüntülerin birleştirilmesi sırasında renk tutarlılığı, gölge farkları ve yansıma hataları gibi sorunlar ortaya çıkabileceğinden, yazılımlar genellikle otomatik renk dengeleme ve “*blending*” algoritmaları kullanır. Sonuç olarak elde edilen yüksek çözünürlüklü dokular, modelin yalnızca geometrik değil, materyal ve yüzey karakteri açısından da gerçekçi bir temsil sunmasını sağlar ve optimizasyon aşamasına geçilir.

Fotogrametrik modeller çoğunlukla yüksek poligon sayısı ve büyük doku boyutları içerdiğinden, etkileşimli ortamlarda kullanılabilmesi için

optimizasyon gerektirir. Bu aşamada poligon azaltma (decimation), yeniden topoloji oluşturma (retopology) gibi teknikler uygulanarak modelin görsel kalitesi korunurken hesaplama yükü düşürülür. (Boutsis, 2025: s:51). Bu optimizasyon süreci sayesinde fotogrametriyle üretilmiş yüksek detaylı varlıklar, etkileşim tasarımı, artırılmış gerçeklik, sanal sergiler ve simülasyon ortamları gibi gerçek zamanlı platformlarda verimli biçimde kullanılabilir.

## 2. Etkileşim Tasarımında Kullanım Alanları

Fotogrametri tabanlı dijital varlıklar, etkileşim tasarımında gerçeklik algısını güçlendiren ve kullanıcı deneyimini mekânsal olarak derinleştiren önemli bir içerik üretim yöntemi hâline gelmiştir. Fiziksel dünyaya ait nesne ve mekânların yüksek doğrulukla sayısallaştırılması, kullanıcıların dijital ortamlarla kurduğu ilişkiyi yalnızca görsel bir temas olmaktan çıkararak keşif, dolaşım ve analiz gibi eylemlerle zenginleştirir. Bu bağlamda fotogrametri, etkileşim tasarımının farklı uygulama alanlarında hem temsil hem de deneyim üretimi açısından dönüştürücü bir rol üstlenmektedir.

Örneğin Dijital Oyun tasarımında fotogrametri, çevresel varlıkların ve yüzey detaylarının gerçek dünyadan doğrudan aktarılmasını sağlayarak üretim süreçlerinde hem hız hem de görsel doğruluk avantajı sunar. Doğal peyzajlar, mimari öğeler ve organik yüzeyler gibi karmaşık geometrilerin fotogrametriyle elde edilmesi, oyun dünyalarının daha inandırıcı ve atmosferik bir karakter kazanmasına katkı sağlar. Bunun yanı sıra fotogrametrik varlıklar, oyuncunun mekânı algılama biçimini etkileyerek keşif odaklı oynanış dinamiklerini güçlendirir ve çevresel hikâye anlatımını destekleyen bir tasarım aracı hâline gelir (Statham vd. 2020). Dijital oyunlarda çevre / mekan üretiminde fotogrametri kullanımının öncü ve erken bir örneği olarak 2014 çıkışlı “The Vanishing of Ethan Carter” gösterilebilir.



Görsel 4. *Vanishin of Ethan carter* – 2014 [theastronauts.com](http://theastronauts.com)

Artırılmış ve sanal gerçeklik ortamlarında ise fotogrametri sayesinde fiziksel dünyaya ait unsurların sürükleyici deneyimlere entegre edilmesi mümkün hale gelir. Artırılmış gerçeklik bağlamında, taranmış nesnelerin gerçek mekâna yerleştirilmesi kullanıcıya bağlamsal ve ölçekli bir etkileşim sunarken; sanal gerçeklikte fotogrametrik mekânlar, kullanıcıyı gerçek bir yerin dijital temsili içinde dolaşmaya davet eder. Bu durum özellikle mekânsal bellek, varlık hissi ve gerçeklik algısı gibi deneyimsel boyutların güçlenmesine katkıda bulunur.

Fotogrametrinin müze ve sergi tasarımında kullanımı da kültürel mirasın dijital korunumu ve erişilebilirliği açısından önemli olanaklar sunar. Eserlerin yüksek çözünürlüklü 3B temsilleri, ziyaretçilerin fiziksel olarak dokunamayacağı ya da yakından inceleyemeyeceği objelerle etkileşim kurmasına imkân tanır. Sanal sergiler, çevrim içi koleksiyonlar ve interaktif kiosk uygulamaları aracılığıyla kullanıcılar, eserleri farklı açılardan inceleyebilir, detaylara yaklaşabilir ve çeşitli bilgilere katmanlı biçimde erişebilir. Böylece fotogrametri, müze deneyimini pasif izleme pratiğinden aktif keşif sürecine dönüştüren bir araç hâline gelir.

## Sonuç

Dijital oyunlar, AR/VR deneyimleri ve sanal müze uygulamaları vb. gerçek zamanlı etkileşimli alanlarda üretim süreçleri hız, maliyet ve kalite baskısı altında yeniden şekillenmektedir. Bu dönüşümün olası bir sonucu olarak, fotogrametri, manuel modelleme ve yapay zekânın birbirini tamamlayan araçlar olarak aynı üretim hattında çalışan hibrit bir üretim modeli ortaya koyacağı söylenebilir. Çünkü bu üç aracın sahip olduğu farklı avantajların aynı

hedefe odaklı kullanımı, var olan tasarım geliştirme problemlerinin çözümünü hızlandırabilir.

Fotogrametri gerçek dünyanın detaylarının ve inandırıcılığının elde edilmesini ve duygusal bir çıktı olarak sentetiklik çekincelerinin önüne geçilmesini sağlarken, manuel modelleme ise tasarım sürecinin kontrollü ilerleyişini, belirli bir stilin-konseptin oluşturulmasını ve tutarlı biçimde sürdürülmesini sağlar. Yapay zekâ ise tekrarlayan teknik iş yükünü azaltarak üretim hızını yükseltir.

Fotogrametri özellikle çevresel varlıklar, organik yüzeyler ve “gerçeğe yakınlık” beklentisi yüksek sahnelerde benzersiz bir başlangıç noktası sunar. Ancak ham tarama çıktıları çoğu zaman oyun motorlarının ve etkileşimli platformların gerektirdiği topoloji, optimizasyon ve tutarlılık standartlarını tek başına karşılamaz. Bu noktada manuel modelleme sayesinde tasarımcılar, tarama verisini “ham gerçekçilikten” üretim hedeflerine uygun, okunabilir ve işlevsel bir forma dönüştürebilir ve eksik bölümleri bilinçli biçimde yeniden inşa eder. Bu sayede stilizasyon ve sanat yönetimi alanındaki karar verici pozisyon korunmuş olur. Böylece model, yalnızca gerçekçi değil aynı zamanda sahne diliyle uyumlu bir anlatım aracına dönüşebilir. Yapay zekâ ise bu iki yaklaşım arasındaki köprü işlevini giderek daha güçlü biçimde üstlenir. Delik kapatma, yüzey temizleme, gürültü azaltma, renk/ışık tutarlılığını iyileştirme gibi zaman alan adımları otomatikleştirerek tarama verisinin kullanılabilirliğini yükseltir. Otomasyondaki bu gelişmelerin manuel işçiliği ortadan kaldırmak yerine onu daha değerli bir yere taşıyacağı söylenebilir. Tasarımcının - sanatçının zamanının teknik iş yükünden sıyrılıp deneyim tasarımına kayması beklenebilir. Üretim bütçelerinin daraldığı, kullanıcı beklentilerinin yükseldiği, içerik miktarının ve rekabetin arttığı bir ortamda, bu hibrit kullanım bir tercih olmaktan çok, ölçeklenebilir ve sürdürülebilir üretimin doğal standardına dönüşebilir.

## Kaynakça

- Banfi, F., & Mandelli, A. (2021). Interactive virtual objects (ivos) for next generation of virtual museums: from static textured photogrammetric and hbim models to xr objects for vr-ar enabled gaming experiences. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 47-54.
- Boutsi, A. M. (2025). Photogrammetric Techniques and Algorithms Optimization for the Development of Interactive Augmented Reality Systems.
- Corradetti, A., Seers, T. D., Billi, A., & Tavani, S. (2021). Virtual outcrops in a pocket: The smartphone as a fully equipped photogrammetric data acquisition tool. *GSA TODAY*, 31(9), 4-9.
- Koneckny, G., 1985. The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing – 75 years old, or 75 years young. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 7, 919-933.
- Nagar, S. (2023). Photogrammetry open-source tools.
- Schenk, T. (2005). Introduction to photogrammetry. *The Ohio State University, Columbus*, 106(1), 1.
- Shervais, K. (2016). Structure from Motion (SfM) Photogrammetry Field Methods Manual for Students. *UNAVCO. Rescatado de URL: [https://d32ogogm-ya1dw8.cloudfront.net/files/getsi/teaching\\_materials/high-rez-topo/fm\\_field\\_methods\\_manual.v3.pdf](https://d32ogogm-ya1dw8.cloudfront.net/files/getsi/teaching_materials/high-rez-topo/fm_field_methods_manual.v3.pdf)*.
- Statham, N., Jacob, J., & Fridenfolk, M. (2020, January). Photogrammetry for game environments 2014-2019: What happened since the vanishing of ethan carter. In *Proceedings of DiGRA 2020 Conference: Play Everywhere*.