

Yapı Üretim Süreçlerinde BIM ve VR Uygulamalarının Entegrasyonunun Değerlendirilmesi

Gülce BOZKURT^{1*}
Selahattin ERSOY²
Enes YAŞA³



ÖZ

İnşaat sektörü yeniliğe ve değişikliklere açık bir sektördür. Yapı üretim süreçlerine entegre olabilecek birçok enformasyon teknolojisi geliştirilmiş, yapı üretim süreçlerinin daha hızlı, sistematik ve kontrollü olarak yürütülmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda yapı üretim süreçlerinde kullanılan enformasyon teknolojilerinden Yapı Bilgi Modelleme (BIM) ve Sanal Gerçeklik (VR) teknolojileri yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır. BIM süreçleriyle ve VR araçlarıyla yürütülen entegre projelerde yapı üretim süreçlerinde pek çok kolaylık sağlanmaktadır. Çalışmada yapı üretim süreçlerinde BIM ve VR entegrasyonunun kullanımının amaçlarını, güçlü ve zayıf yanlarını tespit etmek ve potansiyel tehdit ve fırsatlar bağlamında bir değerlendirme yapmak amaçlanmıştır. Bu bağlamda literatür taraması ve kullanıcı deneyimlerinin baz alındığı firma araştırması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapı Üretim Süreci, BIM (Yapı Bilgi Modelleme), VR (Sanal Gerçeklik), inşaat sektörü, BIM-VR Entegrasyonu, kullanıcı deneyimi, firma araştırması.

ABSTRACT

Evaluation of Integration of BIM and Virtual Reality Applications in Building Production Processes

The construction industry is a sector open to innovation and changes. Many information technologies that can be integrated into building production processes have been developed, and it is aimed to carry out building production processes faster, systematically and in a

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 14 Şubat 2023 günü ulaşmıştır. 11 Mart 2024 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Eylül 2024 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/10.18400/tjce.1244122>

1 İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
gulcebozkurt59@hotmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-0758-4219>

2 İstanbul Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul
selahattin.ersoy@istanbul.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-9426-9841>

3 İstanbul Üniversitesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul
enesyasa@istanbul.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-5705-5932>

* Sorumlu yazar

controlled manner. In this context, Building Information Modeling (BIM) and Virtual Reality (VR) technologies, which are information technologies used in building production processes, are widely encountered. Many conveniences are provided in building production processes in integrated projects carried out with BIM processes and VR tools. In the study, it is aimed to determine the aims, strengths and weaknesses of the use of BIM and VR integration in building production processes and to make an evaluation in the context of potential threats and opportunities. In this context, a literature review and a company research based on user experiences were made.

Keywords: Building production process, BIM (Building Information Modeling), virtual reality, Construction Industry, BIM-VR Integration, user experience, company research.

1. GİRİŞ

Yapı üretim süreci, kullanıcının açığa çıkan bir ihtiyacından veya ihtiyacının bir talebe dönüşmesiyle başlar. Yapı üretim sürecinde amaç, fiziksel bir yapının oluşmasıdır. Bu amaçla önce planlama daha sonra tasarım ve uygulama, son olarak kullanım aşamalarından geçilerek hedeflenen yapının oluşturulması sağlanır (Kuzey, 2007).

Günümüzde yapı üretim sürecinde hala geleneksel yöntemler kullanılıyor olmasına karşın, teknolojinin sağladığı üstünlük ve kolaylıklar sebebiyle bilgi yönetimine dayalı enformasyon teknolojileri kullanımı artık bir ihtiyaç haline gelmektedir. BIM (Yapı Bilgi Modelleme)süreçleri ve VR (Sanal Gerçeklik) araçlarıyla entegre şekilde yürütülen yapı üretim süreçleri daha planlı, kontrollü, sistematik ve tasarruflu olacaktır (Eastman ve diğ., 2011 ve Yenigün ve diğ., 2020). Yapı üretim süreçlerinde BIM ve VR teknolojilerinin, mimarlar, mühendisler, müteahhitler ve BIM yöneticileri tarafından yaygın olarak kullanımı, inşaat sektöründe yeni bir dönemin açılmasına sebep olmuştur (Şen, 2021). ABD, Çin ve İngiltere başta olmak üzere dünyanın farklı bölgelerinde geleneksel yöntemler terk edilerek, birçok ülkede yapı üretim süreçlerine standartlar geliştirilmeye başlanmıştır (Genç, 2019).

Bu çalışmanın amacı, inşaat sektöründeki gelişen teknolojiyle birlikte enformasyon teknolojilerinden BIM (Yapı Bilgi Modelleme) ve VR (Sanal Gerçeklik) entegrasyonun yapı üretim süreçlerine etkilerini incelemektir.

Çalışma kapsamında yöntem olarak ilk bölümde sistematik bir literatür taraması yaparak BIM (Yapı Bilgi Modelleme) ve VR (Sanal Gerçeklik) teknolojileri incelenmiş ve BIM-VR teknolojilerinin entegrasyonunun yapı üretim süreçlerinin; tasarım, yapım ve yapımın sonraki aşamalarda kullanım amaçlarına, bu aşamalara sağladığı katkılara erişilmiştir. İkinci bölümde literatürdeki örnek vaka çalışmaları derinlemesine incelenmiş, BIM-VR teknolojilerinin kullanılma amaçlarına ve bu entegrasyonun sağladığı faydalara erişilmiştir. İkinci bölüm literatüre destek olarak seçilen firmalarla yapılan çalışmayla desteklenmiştir. Üçüncü bölümde elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve sonuç bölümünde araştırmacılara ve sektöre yönelik önerilerde bulunulmuştur. Literatüre ve sektöre katkıda bulunmak istenen bu çalışmada, sektörün önde gelen şirketlerinin kullanıcı deneyimlerinin aktarılması bağlamında yapılan firma çalışmasının önemi büyüktür.

2. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, BIM (Yapı Bilgi Modelleme) ve VR (Sanal Gerçeklik) teknolojileri hakkında sistematik bir literatür taraması yapılmış, bu teknolojilerin ne olduğu ne amaçla ve nasıl kullanıldığı yanında kullanım alanları incelenmiştir. Yapılan literatür analizlerinin ardından BIM ve VR entegrasyonun yapı üretim süreçlerinde; tasarım, kültürel miras, yapım ve yapımdan sonraki aşamalarda kullanımları araştırılmıştır.

Yapılan literatür çalışmasında, konuyla ilgili var olan çalışmalar incelenmiş, erişilen çalışmalardan içerisinde BIM-VR entegrasyonunun örnek bir vaka çalışması üzerinde çalışılan 5 yayın detaylıca incelenmiştir. İncelemeler sonucunda BIM-VR entegrasyonunun kullanım amaçları, güçlü ve zayıf yanları tespit edilmiştir.

Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıracak bir yöntem olarak, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin inşaat sektörüne entegrasyonu ile ilgili yazılımları sunan firmaların kullanıcı yorumları ve blogları taranmış. Kullanıcı yorumları ve bloglarında inşaat firmalarıyla yaptıkları röportaj ve söyleşiler incelenmiş, belirtilen yorumlar üzerinden bir inceleme yapılarak BIM-VR entegrasyonu hakkındaki yorumlarına erişilmiştir. Taranan yazılım firmalarının kullanıcı yorumları bölümünden bu entegrasyonu kullanan inşaat firmalarına erişilmiştir. Erişilen inşaat firmalarının web sitelerindeki BIM ve VR ile ilgili örnek vaka çalışmaları, blogları ve yazıları taranmıştır. Erişilen bulgular ışığında, inşaat firmalarının BIM-VR entegrasyonunu hangi amaçla kullandıkları, güçlü ve zayıf bulunduğu yanlar tespit edilmiştir.

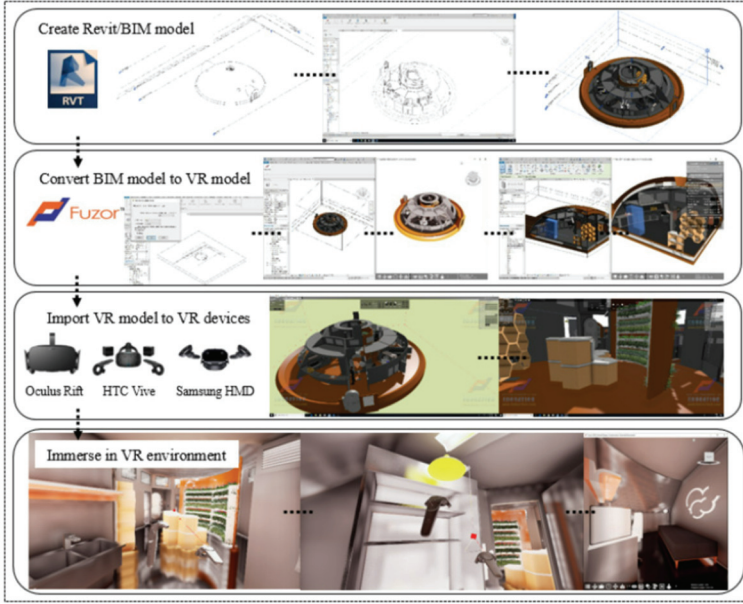
3. BIM VE SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİLERİNİN YAPI ÜRETİM SÜREÇLERİNDE KULLANIMI

BIM (Yapı Bilgi Modellemesi), çeşitli donanım ve yazılımlarla birlikte oluşturulması hedeflenen projenin tasarım aşamasından yıkım aşamasına kadar, proje katılımcılarıyla iş birliği ve bilgi paylaşımını hedefleyen bir süreç olarak özetle tanımlayabiliriz. BIM'in kullanım alanlarını tasarım süreçlerinde, çevresel analizlerde, bina yapım süreçlerinde ve bina işletim süreçlerinde kullanım şeklinde 4 ana başlıkta toplamak mümkündür (Ofloğlu, 2012).

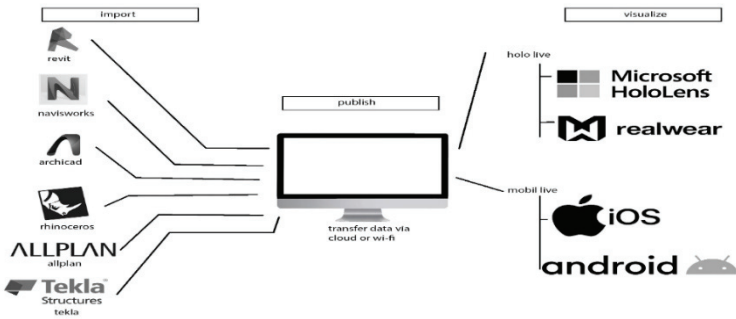
VR (sanal gerçeklik) teknolojisi kullanıcıların hareketlerini algılayarak, onların bu hareketlerine karşılık kullanıcıların hem fiziksel hem de psikolojik olarak geri bildirim alacağı bilgisayar simülasyonlarından oluşan ortamdır.

Günümüzde yaygın olarak masaüstü uygulamalardan gelişmiş sürükleyici deneyimlere kadar pek çok ticari alanda kullanılan VR teknolojisi, simülasyon ve görselleştirme yetenekleri sayesinde farklı disiplinler ve hedefler için inşaat sektöründe yapı üretim süreçlerinin kullanımına sunulmaktadır (Getuli ve ark., 2020). BIM ve VR'ın birlikte çalışabilirliği, BIM verilerinin zenginleştirilmesine ve proje yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında projenin üretimini, planlanmasını ve BIM modelinin doğruluğunu güçlendirebilmektedir (Halili, 2021). BIM ve VR teknolojilerinin entegrasyonu, yapı üretim süreçlerinde örneğin sorunların önceden tespiti, tasarım kalitesinin iyileştirilmesi, tasarım bileşenlerinin sürükleyici sanal ortamda incelenmesi gibi birçok hususa katkıda bulunmak konusunda büyük bir potansiyele sahiptir (Kim ve ark., 2021).

Alizadehsalehi ve arkadaşları yayınlarında BIM modelini, görüntülenebilir VR modele dönüştürme iş akışını Şekil 1’ deki gibi özetlemişlerdir. Bu iş akışı, bir Revit 2019 yazılımı ile mimar ve mühendislerin bulunduğu proje ekibinin bilgi açısından zengin bir 2D/3D-BIM parametrik modeli oluşturulmasıyla başlar. BIM 360 bulut sunucusu (veritabanı) ile tüm ekip üyelerinin gerçek zamanlı erişim sağlayabildiği bir çevrimiçi depolama alanı sağlamak için kullanılmıştır. Oluşturulan Revit modelini VR modeline dönüştürmek için Revit 2019’daki Fuzor eklentisi kullanılarak, model VR araçları olan Oculus Rift, HTC Vive ve Samsung HMD’ye aktarılmıştır. Böylece sürükleyici bir BIM/VR macerası deneyimlenmiştir (Alizadehsalehi ve ark., 2020).



Şekil 1 - BIM modelinin ve VR araçlarına transferi (Alizadehsalehi ve ark., 2020.)



Şekil 2 - BIM ve VR araçlarının transferi (HoloLens, Realwear ve Unity Web siteleri incelenerek kurgulanmıştır.)

Özetle Şekil 2'deki gibi BIM ile proje ekiplerince oluşturulan model, bir ara yazılım programıyla veya teknoloji şirketlerinin sunmuş olduğu eklentiler sayesinde dışa aktararak VR araçlarına yönlendirilmekte ve yapı üretim süreçlerinde kullanılmaktadır (Halili, 2021).

İnşaat endüstrisinde yapı üretim süreçlerinde kullanılan BIM-VR entegrasyonunu; tasarım, yapım ve yapım sonrasındaki aşamalarda ve kültürel miras yapılarında incelemek mümkündür.

3.1. Tasarım Aşamasında BIM-VR Kullanımı

BIM-VR teknolojileri mimari tasarım aşamalarında; tek bir model üzerinde çalışmak, görselleştirme, tasarım kusurlarının ve çakışmaların önceden tespiti, mekanı deneyimlemek, acil durum planlarına göre uygun tasarımlar yapmak ve daha çok fazla amaçla kullanılabilir.

Tasarım süreçlerinde BIM-VR entegrasyonunun en avantajlı kısmı, aynı model üzerinde tüm proje paydaşlarının birlikte çalışabilmesidir. Bu sayede farklı lokasyonlarda da olsa, proje paydaşları tek model üzerinde tasarım ve projelerin çizimini birlikte yürütebilmekte, projede iş birliği ve iletişim oldukça yüksek seviyede olmaktadır. Şekil 3'teki gibi bir BIM programında çizim yaparken arka planda bir VR gözlüğü ile çizilen projeyi deneyimlemek, proje üzerinde detayları görebilmeyi ve tasarım kusurlarının önceden tespitini yapabilmeyi ve çift taraflı kontrolü sağlamaktadır (Kieferle ve Woessner, 2015).



Şekil 3 - Tasarım aşamasında BIM-VR entegrasyonu ile tasarım denetimi (VECTION Technologies, 2022)

Proje paydaşlarıyla yapılan toplantılarda, yenilenen kısımların anında kaydedilebilmesi ve birden çok tasarımın anında görselleştirilebilmesi, tasarım toplantılarında zamandan tasarrufa ve memnuniyet artışına yardımcı olmaktadır (Woessner, 2015).

Mimari tasarım aşamalarında, tüm proje paydaşlarının tek bir model üzerinde çalışmasıyla statik, elektrik, tesisat, havalandırma gibi MEP projelerinin tek bir proje üzerinde

görülebilmesine yardımcı olmaktadır. Bu sayede, geleneksel sistemlerdeki gibi proje kayması, çakışmaların tespiti, tasarım kusurları gibi pek çok hatanın daha proje aşamasında sistem uyarıları ile fark edilmesine ve VR araçlarıyla bu detayların veya problemlerin 3 boyutlu şekilde görülmesine olanak sağlanır. Böylece, yapı üretim süreçlerinde geri dönüşler, tekrar yapım gibi maliyet ve zaman gerektiren uygulamalar minimuma inmiş olur.

BIM-VR teknolojilerinin tasarım aşamasında farklı bir alanda kullanımı, BIM ortamında oluşturulan bir model içerisinde VR donanımlarıyla örneğin yangın gibi acil bir durum yaratılabilmektedir. Yangın sırasında projelendirilen duman dedektörleri, yangın yağmurlama sistemleri gibi araçların sanal ortamda denenmesiyle eksiklerin belirlenmesi, model üzerinde acil durumlarda en çok hangi alanlara dikkat edilmesi gerektiğinin anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Böylece daha tasarım aşamasındayken, yapının acil durum planlamaları yapılabilmektedir (Park ve diğ., 2018).

Tasarım ekibi ve son kullanıcılar/müşteriler arasındaki ilişkide, müşterileri tasarım süreçlerine dahil ederek yapının iç ve dış mekanlarındaki erişilebilirlik, mekanın işlevselliği konularında müşterinin beklentilerine yönelik tasarım yapılması kolaylaşır. Müşterilerin VR araçlarıyla tasarlananları önceden görebilmesi, geri dönüşleri azaltmakta, zaman ve maliyet tasarrufu sağlamak ve ilk tasarım aşamalarını kısaltabilmektedir. Ayrıca tasarım ekibi ve müşterilerle olan iş birliği ve iletişim gelişmektedir (Moraru ve Pozanski, 2020). Tüm bunların yanında, proje aşaması bittiğinde anında erişilebilen görseller, derinlik hissinin verilebilmesi ve VR teknolojisiyle çeşitli sunum yöntemleri kullanılarak müşteriler mekanı 3 boyutlu ve etkileşimli şekilde deneyimleyebilmektedir. Bu sayede şantiye sürecine geçmeden satışların yapılabilmesine olanak sağlayacak, hatta satışlarda gözle görülür artış meydana getirecektir.

3.2. Yapı Üretimi Aşamasında BIM-VR Kullanımı

BIM ve VR teknolojilerinin şantiyede kullanımını; yapı üretim sürecinde görselleştirme ve kontrol aşamalarında, saha organizasyonu aşamasında ve iş güvenliği süreçlerinde olacak şekilde 3 aşamada incelemek mümkündür.

BIM ve VR teknolojilerinin şantiyede kullanımında 3 boyutlu görsellere erişebilmenin en büyük avantajı projenin gerçek anlamda anlaşılmasının kolaylığıdır. Bu sayede yapılması hedeflenen yapının farklı bakış açılarından görünümüyle, yapı şantiye ekibi tarafından kolayca algılanabilecektir. Yapım sürecinde 2 boyutlu çizimleri yorumlamak yerine, VR araçlarıyla hedeflenen üretimi 3 boyutlu şekilde görebilmek yanlış anlamaları azaltmakta ve iletişimin güçlenmesine yardımcı olmaktadır. Yapılacak olan imalatı 1/1 ölçeğinde görebilme kolaylığı, geri dönüşleri azaltacaktır. Ayrıca 1/1 ölçekte görüntülenebilen proje, tasarım kusurlarının önceden tespitini kolaylaştıracak, Şekil 4'teki gibi MEP ve çakışma kontrollerinin yapılmasına olanak sağlayacaktır (Johansson ve Roupe, 2019).

BIM-VR teknolojilerinin saha organizasyonunda, şantiyenin yerleşim planının yapılması ve görselleştirilmesi sağlanarak, saha lojistiği planlarının oluşumunda kullanılabilir. Vinç kurulum planları, malzemelerin depo alanı ve saha içerisinde malzemelerin ulaşım planları gibi tüm planlamaların yapılmasına ve 3 boyutlu şekilde simüle edilmesine yardımcı olur. Saha içerisinde gerçekleştirilecek farklı senaryoların ve çakışma testlerinin yapılmasıyla risk planlarının yapılabilmesine olanak verir. Bu şekilde saha organizasyonu,

mevcut durum ve gerçekleştirilecek senaryolara karşı 3 boyutlu şekilde kurgulanmış ve planlanmış olacaktır (Muhammad ve diğerleri, 2020). BIM-VR teknolojisinin proje paydaşları arasında karşılıklı bilgi paylaşımını destekleyici çözümler sunması, bu tür proje paydaşları arasındaki işçiler, planlamacılar ve yöneticiler gibi ekiplerin karşılıklı paylaşımlarıyla bilgilerin ortaya çıkarılmasını, resmileşmesini ve entegrasyonunu sağlar (Getuli ve ark., 2020).



Şekil 4 - Yapı üretimi aşamasında BIM-VR entegrasyonu ile MEP kontrolleri (VisualLive, 2023)



Şekil 5 - Yapı üretimi aşamasında BIM-VR entegrasyonu ile saha eğitimleri (ForgetFx, 2022)

BIM ve VR teknolojilerinin iş güvenliği planlamalarında kullanımı; BIM ile oluşturulan modellerde iş güvenliği planlamalarını yapmak, gerekli iş güvenliği ekipmanlarını hem saha personeli için hem de şantiye için doğru şekilde lojistiğini sağlamada yardımcı olmaktadır. BIM sistemine VR teknolojilerinin eklenmesiyle ise; Şekil 5'deki gibi işçilerin ve saha personelinin eğitiminde ve stajyer öğrencilerin saha eğitiminde görselleştirme araçları kullanılarak güvenli eğitimler verilebilmektedir (Park, Panya ve diğerleri, 2018). Bu durum

da BIM ve VR teknolojilerinin kombinasyonunun, iş sahası güvenlik tehditlerini azaltmaya, güvenlik tehlikelerini önceden belirleyerek saha çalışanlarını eğiterek bilgi paylaşımını artırmaya yardımcı olacağını göstermektedir. Sonuç olarak çok dilli bir ortamda dil engellerinin de kaldırılarak, sahadaki sağlık ve güvenlik ortamının genel olarak iyileşmesine yardımcı olacaktır (Afsal ve Shafiq, 2021).

3.3. Yapı Üretimi Sonrası Aşamada BIM-VR Kullanımı

BIM 'in parametrelerinden 7. Boyut olan tesis yönetimi ve işlemleri, yapının yaşam süreci boyunca işletilmesi ve bakımı konularını ele alır. Ayrıca BIM 'in simülasyon modelleriyle birlikte VR donanımlarıyla entegrasyonu sayesinde anında verilere ulaşım sağlanabilmekte ve tesis ile ilgili alınacak kararlara yardımcı olunabilmektedir. Bir VR aracı yardımıyla tesis içerisindeyken, modele daha önce erişim sağlayan ekibin uyarılarını görebilmekte veya ekibe o alan üzerinde uyarı mesajı gönderilebilmektedir (Şen, 2021). Tadilat gerektiren noktaların tespiti, MEP kontrolleriyle ana hatlara ulaşımında sıkıntı yaşanmadan ve malzeme kayıpları olmaksızın tadilatlar gerçekleştirilebilmekte ve yıkım projeleri planlanıp simülasyonlarla desteklenebilmektedir.

3.4. Kültürel Miras Yapılarında BIM-VR Kullanımı

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişim, yapı bilgi modellemesinde HBIM (Heritage BIM) olarak karşımıza çıkan ve özellikle kaybedilmiş kültürel miras yapılarının yeniden canlandırılabilmesini sağlayan bir kavramdır. HBIM gerçeğe dayalı olan, lazer tarama ve fotogrametriden elde edilen 3B bulutu sayesinde kültürel miras yapılarını modellemek, restorasyonunu yapmak ve yapım süreci yöntemi için kullanılmaktadır (Yang ve diğ., 2020).

Sanal gerçeklik teknolojilerinde sanal ortamda kültürel mirasın tespiti ve belgelenmesinin yanında sanal koruma, sanal restitüsyon, sanal rekonstrüksiyon gibi imkanlar da sağlamaktadır. Bu sayede kültürel miras yapıları, özgün kullanım dönemlerine ait çevreleriyle birlikte sanal ortamda canlandırılabilir (Aş, 2019).

Bu iki teknolojiyi birleşimi; fotogrametri veya lazer tarama yöntemleriyle elde edilen bulut verinin BIM programlarına kolayca aktarımı sonrasında, bulut veriyle birlikte BIM içinde kültürel miras yapısının modeli oluşturulmasıyla başlar. Model üzerinde, bilimsel analiz uygulamaları yapılabilir, sanal rekonstrüksiyon veya sanal restorasyon projeleri detaylandırılabilir. Ayrıca yine BIM programlarıyla kültürel mirasın çevresindeki yapıları da oluşturularak VR araçlarıyla birlikte, sanal ortam müzeleri, eğitim ve oyun uygulamaları gibi uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir (Sürücü, 2017).

4. YAPI ÜRETİM SÜRECİNDE BIM VE SANAL GERÇEKLİK TEKNOLOJİSİNİN İNCELENDİĞİ VAKA VE FİRMA ÇALIŞMALARI

Yapı üretim süreçlerinde BIM ve VR teknolojilerinin kullanımıyla ilgili, varolan akademik çalışmaların vaka çalışmalarına ve yazılım – inşaat firmalarının araştırmasına yönelik iki analiz yöntemi izlenmiştir.

4.1. İncelenen Örnek Vaka Çalışmaları

BIM ve VR Teknolojisinin kullanıldığı 5 adet örnek vaka çalışması incelenmiştir. (Tablo 1)

Tablo 1 - Örnek vaka çalışmaları sınıflandırması

YAYIN	AMAÇ	BIM-VR KULLANMANIN GÜÇLÜ YÖNLERİ	BIM-VR KULLANMANIN ZAYIF YÖNLERİ
Azhar, S. 2017	1- Risk Planlaması 2- Saha Planlaması 3- İş Güvenliği Planlaması 4- Acil Durum Planlaması 5- İş Kazalarının Önlenmesi 6- Potansiyel Tehlikelerin Tespiti	1- Çalışanlarla İletişimin Güçlendirilmesi 2- İş Güvenliği Ekipmanlarını 3 Boyutlu Görebilme 3- Simülasyonların Kurulumu Kolaylaştırması 4- İş Kazalarının Önlenmesi 5- İş Güvenliği Planlaması ve Eğitimi 6- Saha Planlamasının Yapılması 7- Etkili ve Etkileşimli Saha Yönetimi 8- Potansiyel Tehditleri Önceden Görebilmek	1- Kalibrasyon Sıkıntıları 2- Başlangıç Maliyetleri 3- Detaylı Ön Çalışma 4- Motivasyon Eksikliği
Baik, A. 2021	1- Restorasyon Projesi İçin Proje ve Model Oluşturmak 2- Proje Paydaşlarını Tek Bir Modelde Birleştirmek	1- Kültür Turizmin Devamlılığını Sağlamak 2- Tarihi Çalışmaları Belgelemek 3- Çevrimiçi Kültürel Miras Ziyaretleri	1-Detaylı Ön Çalışma
Zaker, R. ve Coloma, E. 2018	1- MEP Kontrollerinin Sağlanması 2- Mimari Tasarımın Gözden Geçirilmesi	1- 360 Derecelik Açılar Sahada Görünmeyen MEP Bağlantılarını Kolayca Görmeyi Sağlaması 2- VR Kullanımının Pratikliği ve Hızlılığı 3- Yapının Gerçekten İçinde Olma Hissini Vermesi 4- Ekipler Arası İletişimin Güçlenmesi 5- Müşteriye Sunumunun Güçlenmesi	1- Alışma Sürecinin Uzunluğu 2- Fizyolojik Zorluklar 3- Yazılım ve Donanım Maliyetleri 4- Teknolojiyle Adaptasyon Süreci 5- Firmaların Değişime Karşı Direnci
Haggard, K.E. 2017	1-İletişimi Güçlendirmek 2-Maliyetleri Azaltmak 3-Projede Yeniden Yapmayı ve Geri Dönüşleri Azaltmak 4- Detayları Yakalamak	1-Ekip Yönetimi. 2-Maliyet Tasarrufu. 3- Tasarım Kusurlarını Önceden Fark Etmek 4- Tesis Yönetiminde Yapılabilecek Tadilatlardaki Kolaylık	1- Uzman İnsan Kaynağının Az Olması 2- Çok Katılımcılı Sistemin Tasarım Sürecini Uzatması 3- Başlangıç Maliyeti
Deniz, G. 2019	1- Proje Paydaşlarını Tek Bir Modelde Birleştirmek 2- Kullanıcılardan Geri Bildirim Almak 3- Yapım Sürecini Önceden İzlemek 4- Proje Koordinasyonu 5- Değişiklikleri Azaltmak 6- Saha Yönetimini ve İş Güvenliği Planlamaları	1- Maliyet ve Zaman Tasarrufu 2- İş Akışını Oluşturmak 3- Kalite Kontrolünün Kolaylıkla Yapılması 4- Proje Paydaşları İçin Tek Projeye Kolay Erişim 5- Tasarım Sürecinin Kısalması 6- Paydaşlar Arası Koordinasyon ve İşbirliğinin Artışı 7- Katılımcı Tasarım Yöntemiyle Müşteri Memnuniyeti	1- Detaylı Ön Çalışma 2- Paydaşlar Arası Kalibrasyon Eksiklikleri 3- İlk Maliyetler 4- Render Alma Problemleri 5- Tüm Detaylarıyla Bitmiş Bir Proje Oluşturma Zorunluluğu

Tablo 2 - Örnek vaka çalışmalarından çıkarılan sonuçlar

BIM – VR TEKNOLOJİSİ KULLANIMININ GÜÇLÜ YÖNLERİ	BIM – VR TEKNOLOJİSİ KULLANIMININ ZAYIF YÖNLERİ
1- İletişiminin Güçlenmesi	1- Başlangıç Maliyetleri
2- Zaman ve Maliyet Tasarrufu	2- Teknolojiye Adaptasyon
3- Maliyetlerin Net Olarak Önceden Bilinmesi	3- Detaylı Ön Çalışma
4- Proje Paydaşlarını Tek Modelde Birleştirebilmek	4- Alışma Sürecinin Uzunluğu
5- Potansiyel Tehlikelerin Önceden Tespiti ve Risk Planlaması	5- Kalibrasyon Sıkıntısı
6- İş Güvenliği, Acil durum Planlaması ve Simülasyonlarla Çalışanların Eğitim Kolaylığı	6- Fizyolojik Zorluklar
7- Saha Planlaması ve Koordinasyonunda Kolaylık	7- Uzman İnsan Kaynağının Az Olması
8-Yeniden Yapımı ve Geri Dönüşleri Azaltması	8- Çok Katılımcı Sistemin Tasarım Sürecini Bir Miktar Uzatması
9- Detayları Önceden Görebilmek	9- Tüm Detaylarıyla Tam Olarak Bitmiş Bir Proje Oluşturma Zorunluluğu
10- Tesis Yönetiminin Kolaylığı	10- Firmaların Değişime Direnci
11- Yapım Sürecinin Önceden Simülasyonlarla İzlenmesi	
12- MEP Kontrolleri ve Çakışma Kontrollerinin Önceden Yapılabilmesi	
13- Restorasyon İçin Rölöve Alımı ve Model Oluşturmada Kolaylık ve Kesinlik	
14- Satışlarda Artış ve Müşteri Memnuniyeti	

4.2. İnşaat Firmaları Üzerinden BIM-VR İncelemesi

Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayırabilecek olan analiz yöntemi, BIM-VR entegrasyonu yapı üretim süreçlerinde yer alan örnek yazılım şirketlerinin ve inşaat firmalarının araştırıldığı çalışmadır.

Çalışmada sektörde öncü 2 adet yazılım firması taranmıştır, bunların ilki oyun sektöründe tekelleşmiş olan Unity firmasıdır. Unity firması oyun, film sektörlerinin yanı sıra otomotiv, enerji, havacılık, mimarlık ve mühendislik sektörlerinde de yer almakta ve dijital ikizler, eğitim ve rehberlik, tasarım, satış ve pazarlama, simülasyon ve insan- makine arayüzü gibi kullanım alanlarıyla küresel olarak tanınmış bir firma olarak çalışmaya katkı vereceği düşünüldüğünden tercih edilmiştir. İncelenen ikinci yazılım firması, inşaat sektörünün bir numaralı VR platformu olarak marka yapmış İrisVr/ Prospect firmasıdır. İrisVr yazılım

firması, 60.000’den fazla inşaat firmasının kullanıcısı olduğu, tasarım ve model incelemesini hızlı, doğru ve iş birliğine dayalı hale getirdiği ve ödüllü bir VR firması olması sebebiyle tercih edilmiştir.

Belirlenen 2 yazılım firmasının Web sitesinin müşteriler, kullanıcı yorumları ve blogları taranmış, kullanıcısı oldukları VR teknolojisi hakkındaki değerlendirmeleri sistemli şekilde gruplandırılmış, BIM- VR entegrasyonu ile ilgili yorumları, röportajları derlenmiş ve BIM-VR entegrasyonunu hangi amaçla kullandıkları, kullanım deneyimlerine erişilmiştir. Tablo 3’te inşaat şirketlerinin BIM-VR entegrasyonunu kullanma amaçlarına ilişkin görüşleri verilmiştir.

Tablo 3 - İnşaat Şirketlerinin BIM-VR Entegrasyonunu Kullanma Amaçları

Ürün Yorumu, Blog Yazısı, Röportajlar ve Vaka Çalışmalarındaki İfadeler	Karşılığı
1-“Süreçleri kolaylaştırmak ve genel iş birliğini geliştirmek için” <i>YVR Airport-İnovasyon ve Bilişim Direktörü</i> 2-“İş birliğini artırmak amaçlı” <i>Sitowise-Uzman</i> 3-“Alt yüklenicileri ve tasarım ekiplerini sürece dahil edebilmek amacıyla” <i>SPACE-Peyzaj Tasarımcısı</i> 4-“Koordinasyon toplantılarında daha iyi iletişim ve anlayışı güçlendirmek” <i>Gilbane-VDC Direktörü</i> 5-“İletişim ve iş birliği optimizasyonunu sağlamak amacıyla” <i>Barton Malow-Ekip Üyeleri</i>	İletişim, İş Birliği ve Koordinasyonun Artışı
1-“Geleneksel mekânsal analiz modelini atlamak” <i>Losci-Ceo/Kurucu</i> 2-“Tasarım düzeyinde öngörüler geliştirebilmek” <i>Zutari-İnteraktif Görselleştirme Uzmanı</i> 3-Tasarım kusurlarını erken yakalamak hedefiyle” <i>SHOP-AR/VR Arge Lideri</i> 4-“Her yapı arasındaki ölçek ilişkilerini daha iyi anlamak amacımızdı” <i>StudioMB-Baş Ürün Tasarımcısı</i> 5-“Çizimler ve 3D modellerle geleneksel tasarımı desteklemek, tasarımcıları yaratıcı sürece dahil edebilmek için” <i>SHOP Architects-Ekip Üyeleri</i>	Tasarımı Geliştirebilmek, Detaylara Hakim Olmak
1-“Maliyetleri azaltmak” <i>Zutari-İnteraktif Görselleştirme Uzmanı</i> 2-“Verimli ve uygun maliyetli iş akışlarını sağlayabilmek için” <i>One Alliance-Ekip Üyesi</i>	Maliyeti Düşürmek veya Tasarruf Etmek
1-“Süreyi azaltmak” <i>Zutari-İnteraktif Görselleştirme Uzmanı</i> 2-“Sorunları hızlı çözebilmek ve yapım süresini kısaltmak için” <i>SHOP-AR/VR Arge Lideri</i> 3-“Tasarım değişiklikleri için daha hızlı bir yola ihtiyacımız vardı” <i>BRC-Kreatif Direktör</i>	Zamandan Tasarruf Etmek
1-“Bakım, sürdürülebilirlik ve güvenlik gibi tesis zorluklarını ele almak için” <i>YVR Airport-İnovasyon ve Bilişim Direktörü</i>	Bakım ve Tesis Yönetimlerini Sistematik Yapmak
1-“Konutları bireysel ihtiyaçlara göre özelleştirmek için” <i>House by Urban</i> 2-“Müşteri deneyimini artırmak için” <i>Schnabel Engineering-Şirket Ortağı</i> 3-“Müşteriler ile malzeme ve tasarım seçeneklerini incelemek amaçlı kullanıyoruz” <i>StudioMB-Ekip Üyesi</i> 4-“Görselleştirmenin erken aşamalarını iyileştirmek” <i>Anglian Water-Ekip Üyeleri</i>	Müşteri Memnuniyeti ve Müşteriye Etkili Sunum, Görselleştirme
1-“Sahada değişiklikleri azaltmak hedefi” <i>Anglian Water-Ekip Üyeleri</i> 2-“Saha değişikliklerini azaltmak için” <i>One Alliance-Ekip Üyesi</i> 3-“İş akışlarını geliştirmek” <i>Friis & Moltke-Ekip Üyeleri</i>	Saha Planlaması ve Yönetiminde Kolaylık

1-“Kazaları azaltmak” “İşçilerin şantiyedeki güvenlik faktörleri konusunda farkındalığını artırmak” <i>Skanska-Proje Lideri/Üretim Müdürü/Teknoloji Direktörü</i> 2-“Güvenliği artırmak hedefiyle” <i>Sitowise-Uzman</i> 3-“Riskleri azaltmak hedeflerimizle” <i>Schnabel Engineering-Şirket Ortağı</i> 4-“Kontrollü ortamda güvenlik tehditlerinin belirlenmesi” <i>Barton Malow-Proje/VDC Mühendisi</i> 5-“İş yeri güvenliğini artırmak öncelikli hedefimiz” <i>Balfour Construction-Teknoloji Mükemmellik Merkezi Lideri</i>	İş Güvenliği ve Risk Planlamaları
---	-----------------------------------

Yazılım firma araştırmasında, Unity firmasından 16 adet blog yazısı, röportaj ve vaka çalışması incelenmiştir. İncelemeler sonucunda erişilen inşaat firmalarından, küresel anlamda en büyük ve BIM-VR entegrasyonu ile ilgili bloglarının olduğu 3 adet inşaat firması seçilmiştir. Yazılım firma araştırmasında, IrsVR firmasından 7 adedi yorum ve 32 adedi blog yazısı, röportaj ve vaka çalışması olmak üzere toplam 39 adet çalışma incelenmiştir. İncelemeler sonucunda erişilen inşaat firmalarından, küresel anlamda en büyük ve BIM-VR entegrasyonu ile ilgili bloglarının olduğu 7 adet inşaat firması seçilmiştir.

Toplamda incelenen 55 adet kullanıcı deneyimi çıktısı olarak;

BIM-VR entegrasyonunun inşaat firmalarınca güçlü yanları olarak değerlendirilen görüşlerin ifadesi ve karşılıkları Tablo 4’te verilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4 - İnşaat Şirketlerinin BIM-VR Entegrasyonunun Güçlü Yanları Olarak Değerlendirdiği İfadeler ve Karşılığı

Ürün yorumu, blog yazısı, röportajlar ve vaka çalışmalarındaki ifadeler	Karşılığı
1-“Ekibin gerçek zamanlı iş birliği yaptıklarını görmek harika” <i>Mortenson-Gelişen Teknoloji Geliştiricisi ve Proje Çözümleri Teknik Uzmanı</i> 2-“Paydaşlarla etkileşim için zengin bir materyal” <i>Zutari-İnteraktif Görselleştirme Uzmanı</i> 3-“Müşteri ve geliştirici ekibin gerçek zamanlı 3D tasarım incelemelerinde iş birliği yapılmasına olanak tanı” <i>Mortenson-Teknoloji Geliştiricileri</i> 4-“Kilit paydaşlarla iyi iletişim kurmayı sağlar” <i>SHOP-AR/VR Arge Lideri</i> 5-“Tasarımcıların koordinasyon sorununu çözer” <i>Gilbane-VDC Direktörü</i> 6-“Karar verme süresinin kısalması, 15 günden 15 dakikaya” <i>Gilbane-VDC Direktör</i> 7-“İyi iş birliği, daha hızlı kararlar, daha az hatayla çalışma” <i>Gilbane-VDC Direktör</i>	İletişim, İş Birliği ve Koordinasyonun Artışı
1-“Zaman ve para tasarrufu yanında tasarım işlevselliği ve paydaşların yapım aşaması öncesinde güvenini sağlamaştırır” <i>Losci-Ceo/Kurucu</i> 2-“VR’da koridordaki kolon sorununu yakalamak 500.000 dolardan fazla tasarruf sağladı” “Fiziksel modelde tahmini 45.000\$ tasarruf etmeyi başardık” <i>Mortenson-Gelişen Teknoloji Geliştiricisi ve Proje Çözümleri Teknik Uzmanı</i> 3-“İyi tahminler sayesinde kaynak planlamasına olan güven arttı” <i>YVR Airport-İnovasyon ve Bilişim Direktörü</i> 4-“Fiziksel modellerle ilgili masraf ve teslim süresi olmadan bütçe ve program dahilinde kalabildik” <i>Mortenson-Teknoloji Geliştiricileri</i> 5-“Daha doğru dokümantasyon ve inşaat yönetimi sayesinde saha az hata ve büyük tasarruf” <i>SHOP-AR/VR Arge Lideri</i> 6-“%15-20 ye varan verimlilik artışı, bazı durumlarda daha yüksek olabilir” <i>Sitowise-Uzman</i> 7-“Tüm katların inşa edilmesi 18 ayı buldu, geleneksel yöntemle bu 2-3 yılı bulurdu” <i>Kane-Dijital İnşaat Başkanı</i>	Maliyet ve Proje Süresinde Kesinlik, Tasarruf ve Verimlilik

<p>8-“Maddi olarak tasarruf sağladık” <i>Barton Malow-Proje/VDC Mühendisi</i> 9-“23.000€’luk yeniden yapım maliyet tasarrufu sağlandı” <i>Anglian Water-Ekip Üyeleri</i> 10-“Maket oluşturmaya gerek olmadığı için zaman ve maliyet tasarrufu sağlıyor” <i>Friis & Moltke-Ekip Üyeleri</i></p>	
<p>1-“Tasarım değişiklikleri üzerinde yineleme yapmamıza, tasarımdaki boşlukları ortaya çıkarıp gidermemizi sağlıyor” <i>Mortenson-Gelişen Teknoloji Geliştiricisi ve Proje Çözümleri Teknik Uzmanı</i> 2-“Tıbbi paydaşların yeni çalışma ortamlarını geniş ölçekte önceden deneyimlemelerine ve uyarlamalarına olanak tanıdı” <i>Mortenson-Teknoloji Geliştiricileri</i> 3-“Alternatif tasarımları keşfedebilmek” <i>Mortenson-Proje Çözümleri Teknoloji Uzmanı</i> 4-“Mekansal ilişkiler, mekan hacmi ve temel tasarım özellikleri, ölçek tartışılabilir” <i>Mortenson-Proje Çözümleri Teknolojisti</i> 5-“Tasarım incelemesi anlamlı hale geldi, ergonomi ve kullanılabilirlik testleri yapabildik” <i>SHOP Architects-Ekip Üyeleri</i> 6-“Güneş ayarları araçlarıyla tasarımı gerçek hayatta gibi algılayabilmek” <i>BB+C Arch-Ekip Üyesi</i></p>	<p>Tasarımın Detaylarla Geliştirilebilmesi</p>
<p>1-“Herkesin aynı anda VR’da olması karar verme sürecini hızlandırıyor” <i>Mortenson-Gelişen Teknoloji Geliştiricisi ve Proje Çözümleri Teknik Uzmanı</i> 2-“birden fazla paydaşın aynı anda erişebileceği sanal bir model” <i>Zutari-İnteraktif Görselleştirme Uzmanı</i> 3-“Modeli Revit ve Rhino’dan anında buluta aktarabilmek ve birden fazla kullanıcıyla canlı senkronizasyon gerçekleşti. Oldukça etkileyici” <i>Retima-Mimar</i> 4-“Müşteri ve geliştirici ekibin gerçek zamanlı 3D tasarım incelemelerinde iş birliği yapılmasına olanak tanıdı” <i>Mortenson-Teknoloji Geliştiricileri</i> 5-“Birleşik bir vizyonda hizmet eden herkesin erişimi” <i>Vectuel-CEO/İnovasyon Direktörü</i> 6-“Covid dolayısıyla uzaktan toplantı kolaylığı” <i>Gilbane-VDC Direktörü</i> 7-“Uzaktan çalışmada başarılı ve aynı odada olma hissini sağlıyor” <i>KPF-VR Uzmanı</i></p>	<p>Ortak Dili Paylaşmak</p>
<p>1-“Alanların nasıl görüneceği ve nasıl hissedileceği konusundaki belirsizlik ortadan kalkıyor” <i>Mortenson-Gelişen Teknoloji Geliştiricisi ve Proje Çözümleri Teknik Uzmanı</i> 2-“Alıcılar 3 boyutlu modelde etkileşim kurup, mekanı ve nesnelere algılayabiliyor” “Gerçekçi detaylar eklenebiliyor” <i>House by Urban</i> 3-“Modeli daha detaylı şekilde deneyimlemek” <i>Schnabel Engineering-Şirket Ortağı</i> 4-“Çıktıyı görselleştirebiliyor” <i>Schnabel Engineering-Şirket Ortağı</i> 5-“Tasarımların tek bir tıkla içine girebilme olanağı” <i>Payette-3D Görselleştirme Yöneticisi</i> 6-“Modeldeki sıkışık ve dar alanları gözlemleyebildik” <i>Gilbane-VDC Direktörü</i> 7-“Güvenlik için kamera alanlarının tespiti yapılabildi” <i>Barton Malow-Proje/VDC Mühendisi</i> 8-“Tasarımcılar 3D modelde değişiklikler yaptıkça sanal gerçeklik deneyimini tek tıklamayla hızla yeniden yaratabildiler” <i>Miele-Satış Müdürü</i> 9-“Ölçek ve oran anlayışımızı devreye sokarak daha iyi tasarım yapmamıza yardımcı oldu” <i>Deforest-Müdür</i></p>	<p>Daha Detaylı Model ve Detayları 3 Boyutlu Şekilde Görebilmek</p>
<p>1-“Montajın her bileşenin değerlendirilmesine olanak tanıdı” <i>Mortenson-Gelişen Teknoloji Geliştiricisi ve Proje Çözümleri Teknik Uzmanı</i> 2-“Hataları iş sahasından önce dijital olarak yakalamak büyük avantaj” <i>Stufolk-İnşaat Çözümleri Direktörü</i> 3-“MEP projelerinin koordinasyonunu sağlar” <i>Mortenson-Ekip Üyeleri</i> 4-“Tespit edilmesi zor çakışmalar, tam önünüzde olduğunda hemen fark edilir” <i>Perkins+Wills-Ekip Üyesi</i></p>	<p>Çakışma ve MEP Kontrollerinin Sağlanması</p>
<p>1-“İnşaatı izlemeye, bileşenlerin ne zaman ve nereye monte edilmesi gerektiğine ilişkin planlama rehberliği sağlamaya yardımcı olur” <i>Zutari-İnteraktif Görselleştirme Uzmanı</i> 2-“En üretken ve verimli iş akışları sağlandı.” <i>Mortenson-Teknoloji Geliştiricileri</i> 3-“Daha doğru dokümantasyon ve inşaat yönetimi sayesinde saha az hata ve büyük tasarruf” <i>SHOP-AR/VR Arge Lideri</i></p>	<p>Saha Planlaması ve Yönetiminde Kolaylık</p>

<p>4-“İnşaatı simüle edebilmek en temel faydası” <i>Vectuel-CEO/İnovasyon Direktörü</i></p> <p>5-“İnşaatın VR modellerini sunabilmesi” <i>Gilbane-VDC Direktörü</i></p> <p>6-“Saha kısıtlamalarının etkisini azaltır” <i>Gilbane-VDC Direktörü</i></p> <p>7-“Şantiyeleri dijital dünyaya taşımak için etkili bir yol” <i>Gilbane-VDC Direktörü</i></p> <p>8-“Saha ekipleriyle iletişim kurabilmeyi sağladı” <i>Barton Malow-Ekip Üyeleri</i></p> <p>9-“Şantiyede çıkan sorunların tespitinde ve çözümünde kolaylık” “<i>Makine operatörlerinin görüş açılarını anlamaya yardımcı</i>” <i>One Alliance-Ekip Üyesi</i></p>	
<p>1-“Ofislerde güvenlik eğitimi için VR çözümlerini kullanıyoruz” <i>Zutari-İnteraktif Görselleştirme Uzmanı</i></p> <p>2-“Çalışanların iş tehlikeleri konusunda farkındalığı arttı” “Daha güvenli çalışma sahaları yaratarak daha az kaza” “Riskleri ortadan kaldırma olanağı sağlıyor” “Geleneksel sınıf ve çevrimiçi eğitimlerde asla yapamayacağınız farkındalığı yaratıyor” <i>Skanska-Proje Lideri/Üretim Müdürü/Teknoloji Direktörü</i></p> <p>3-“Olası tehlikelerin tespiti ve VR güvenlik kontrollerinin yapılmasına yardımcı” <i>Barton Malow-Ekip Üyeleri</i></p>	İş Güvenliği ve Risk Planlamalarının Kolaylığı
<p>1-“Dronelar ile sahadan toplanan verilerle güncellenmiş görselleştirmeler her hafta müşterilere gönderilebiliyor” <i>Zutari-İnteraktif Görselleştirme Uzmanı</i></p> <p>2-“Anında müşteri geri bildirimini sağlıyor” <i>Mortenson-Teknoloji Geliştiricileri</i></p> <p>3-“Satış sunumlarının en önemli noktası oldu” <i>Mortenson-VR Geliştiricisi</i></p> <p>4-“En önemli parçalardan biri bir bütün olarak kullanıcı deneyimi” <i>House by Urban</i></p> <p>5-“Sanal tur, müşterilerin tasarımdaki ihtiyaçlarına ve taleplerine hızlı bir şekilde uyum sağlamamıza ve hatta bu değişiklikleri test etmenize olanak tanır” <i>Sound Hannam – CEO</i></p> <p>6-“Müşterilerimizi projenin çok erken bir zamanında memnun edebildik” <i>Kane-Dijital İnşaat Başkanı</i></p> <p>7-“Müşteriler tasarımın ilerleyişi konusunda ilgili ve bilgili hissettiler” <i>Reed-Ekip Üyeleri</i></p>	Satışlarda Artış ve Müşteri Memnuniyeti
<p>1-“Daha hızlı ve akıcı bir 3D program aracılığıyla gelişmiş müşteri deneyimi” <i>Marxent-Kurucu</i></p> <p>2-“Proje paydaşlarının ve müşterilerin tasarımları diledikleri kadar etkileşimli olarak görselleştirmelerine, gözden geçirmelerine ve optimize etmelerine olanak tanır” <i>Zutari-İnteraktif Görselleştirme Uzmanı</i></p> <p>3-“Müşterilerin yeni tasarım projelerini gerçek anlamda görselleştirmesine, deneyimlemesine ve onaylamasına yardımcı olur” <i>Mortenson-Teknoloji Geliştiricileri</i></p> <p>4-“Satış sunumlarının en önemli noktası oldu” <i>Mortenson-VR Geliştiricisi</i></p> <p>5-“Müşterilerin tasarımı anlaması avantajı” <i>Reed Hilderbrand-Kıdemli Üye</i></p> <p>6-“Birincil görselleştirme aracımız” <i>Thornton T.-Kıdemli Proje Mühendisi</i></p> <p>7-“Güçlü bir görsel temsili sağladı” “Kullanıcılar daha duygusal ve heyecanlı bir deneyim yaşadı” <i>SPACE-Peyzaj Tasarımcısı</i></p> <p>8-“Müşteriye renk seçimi ve bitiş modelini göstermemize yardımcı oldu” <i>StudioMB-Baş Ürün Tasarımcısı</i></p>	Müşteriye Etkili Sunum ve Görselleştirme

Buna göre, inşaat firmalarının BIM-VR entegrasyonunda en çok bahsedilen güçlü yan, cevapların %45 inde aktarılmış olan müşteri memnuniyetidir. Bu oranı sırasıyla, ifadelerin %43 ünde zaman tasarrufu, %41 inde 3D model ile ayrıntıları görebilmek ve %40 ile maliyet tasarrufu takip etmektedir. En az bahsedilen güçlü yan ise, ifadelerin %9 unu oluşturan saha planlaması ve yönetiminde sağlanan avantajlar ve çakışma-MEP kontrollerinin sağlanmasına olan faydasıdır.

BIM-VR entegrasyonunun inşaat firmalarınca zayıf yanları olarak değerlendirilen görüşlerin ifadesi ve karşılıkları Tablo 5’te verilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5 - İnşaat Şirketlerinin BIM-VR Entegrasyonunun Zayıf Yanları Olarak Değerlendirdiği İfadeler ve Karşılığı

Ürün yorumu, blog yazısı, röportajlar ve vaka çalışmalarındaki ifadeler	Karşılığı
<p>1-“Teknoloji yatırımı yapıldı” <i>Retima-Mimar</i></p> <p>2-“Saha ekibi için otel arazisinde özel VR odası kuruldu” <i>Kane-Dijital İnşaat Başkanı</i></p> <p>3-“Teknolojik altyapı kurduk” <i>Stufoff-İnşaat Çözümleri Direktörü</i></p> <p>4-“Geçici VR odasından, kalıcı bir VR odasına geçiş yapmak durumunda kaldık” <i>SPACE-Peyzaj Tasarımcısı</i></p> <p>5-“VR ekibi kuruldu” “Yazılım kurulumu yapıldı” <i>Gilbane-VDC Direktörü</i></p> <p>6-“Bir teknoloji yatırımı yaptık” <i>Gilbane-VDC Direktör</i></p> <p>7-“Başlangıçta bir kurulum satın aldık” <i>StudioMB-Baş Ürün Tasarımcısı</i></p> <p>8-“Kurulumu satın aldık” <i>Barton Malow-Proje/VDC Mühendisi</i></p> <p>9-“VR ofisinin kurulumuyla başladık, teknik altyapıyı güçlendirdik, fırsat buldukça büyük ekranlar koyuyoruz” <i>SHOP Architects-Ekip Üyeleri</i></p> <p>10-“VR laboratuvarı kuruldu” “Ekip üyeleri ve müşteriler için oda oluşturduk” <i>Deforest-Müdü</i></p> <p>11-“Büyük yatırımcıları bir şekilde etkileyip, projeye yatırım yapmaları için ikna etmeye çalıştık” <i>Agora Architecture-Baş Mimar ve Ekip Üyeleri</i></p> <p>12-“2-3 haftalık deneme boyunca 5.000€ ücret ayırmamız gerekti” <i>One Alliance-Ekip Üyesi</i></p>	Başlangıç Maliyetleri
<p>1-“Geleneksel mekânsal analiz modelini atlamak” <i>Losci-Ceo/Kurucu</i></p> <p>2-“Başkalari izlerken aracı kullanmada isteksizlik fark ettik ve oda değişiklikleri yaptık” <i>StudioMB-Baş Ürün Tasarımcısı</i></p> <p>3-“VR kullanımı için müşterilerden ek komisyon alındı” <i>SHOP Architects-Ekip Üyeleri</i></p> <p>4-“Dışa aktarımlarda Revit’in yeterli olmadığını gördük” <i>Agora Architecture-Baş Mimar ve Ekip Üyeleri</i></p> <p>5-“Yatırımlar müşterilerden ek komisyon almamıza sebep oldu” <i>Reed-Ekip Üyeleri</i></p>	Teknolojiye Adaptasyon
<p>1-“Projelerde aktarma yapmak zorunda kaldık” <i>SPACE-Peyzaj Tasarımcısı</i></p> <p>2-“Modelinizi hazırlamak için harcanan zaman, VR’da geçirilen süre ve ek faydalar için elinizden geleni yapmalısınız” “Tamamlanmamış unsurlar dikkatinizi dağıtmamalıdır” <i>Perkins+Wills-Ekip Üyesi</i></p> <p>3-“Modelleme için zaman harcamamız gerekiyor” <i>Reed-Ekip Üyeleri</i></p>	Uzun Süreli Çalışma
<p>1-“Tüm verileri görselleştirmemize yardımcı olacak çözümleri arıyoruz, şimdilik veri kabuğunu kullanmaktayız” <i>Schnabel Engineering-Şirket Ortağı</i></p> <p>2-“Müşterilere VR yazılımını anlattık” <i>SPACE-Peyzaj Tasarımcısı</i></p> <p>3-“Yeni VR ofisini kurmaya çalışıyoruz” “Müşteriler VR’ın mide bulandırdığını düşünüyorlar bu sebeple deneme konusunda tereddüt ediyorlar” <i>Gilbane-VDC Direktörü</i></p> <p>4-“Çalışanların teknolojiyi etkin şekilde kullanıp kullanmadıklarını sürekli kontrol ettik” <i>Reed-Ekip Üyeleri</i></p>	Aalışma Sürecinin Uzunluğu
<p>1-“Proje ekibi güçlendirildi” <i>Marxent-Kurucu</i></p> <p>2-“Virtual Insight ekibi oluşturduk” <i>Mortenson-Teknoloji Geliştiricileri</i></p> <p>3-“Yeni teknolojiyi geliştirmekle görevli Teknik AR-GE grubu oluşturuldu” <i>Schnabel Engineering-Şirket Ortağı</i></p> <p>4-“Bilgi İş İstasyonları oluşturuldu” <i>Zebradog-Kullanıcı Deneyimi Lideri</i></p>	Teknolojiye Adapte İnsan Kaynağını Sağlamak
<p>1-“Şirket içi gerekli eğitimler aldırıldı” <i>Mortenson-VR Geliştiricisi</i></p> <p>2-“1-3 saatlik eğitimler aldık” <i>SPACE-Peyzaj Tasarımcısı</i></p> <p>3-“Tüm ekibe yeni sistem tanıtıldı” <i>Treehouse-Creative+Design Başkan Yardımcısı</i></p> <p>4-“Çalışanlara eğitim aldırıldı” “Şirket içi eğitimlerimiz yeni gelenler oldukça devam etti” <i>Reed-Ekip Üyeleri</i></p>	Çalışanlara Verilmesi Gereken Eğitimlerin Maliyeti ve Süresi
<p>1-“Çoğu kişi tamamlanmamış modelin faydası olmaz diye VR’a başlama konusunda isteksiz” <i>Perkins+Wills-Ekip Üyesi</i></p> <p>2-“Yalnızca ilk müşteri etkisi dışında etkisi olmayacağını düşündük” <i>Agora Architecture-Baş Mimar ve Ekip Üyeleri</i></p>	Teknolojiye Karşı Duyulan İsteksizlik

Tablo 6 - İncelenen İnşaat Firmaları ve Değerlendirmesi

FİRMA	YAPI TÜRÜ	ÜLKELER	BIM-VR ARAÇLARI	BIM-VR KUL. AMAÇLARI	BIM-VR ENT. GÜÇLÜ YÖNLERİ	BIM-VR ENT. ZAYIF YÖNLERİ
Firma 1	Tünel,Eğitim, Sağlık, Köprü, Konut, Havalimanı, Ofis, Ulaşım, Alışveriş Merkezi	USA, Kanada, Estonya, Danimarka,Finlan diya, Norveç, Polonya, Romanya, Slovakya UK, Çek Cumhuriyeti	Revit - Navisworks - UAS(Drone)	1-Satış Hızlandırmak 2-Etkileşimli Ortamlar 3-Müşteri Deneyimini Geliştirmek 4- Yeni Bakış Açıları Yakalamak 5- Şantiyede Doğru Veriyi Doğru Kişiyi Doğru Zamanda Ulaştırmak	1-Güvenliğin Artması 2-Saha Yönetimi 3-İletişimin Güçlenmesi 4-Satın Alma Verilerinin Doğruluğu 5- İsrافی Azaltma 5-Maliyetleri Azaltma 6- İş birliğinin Artması 7-Bakım ve Tesis Yönetimi Kararlarının Kolaylığı	1- İlk Maliyetler 2- Teknolojiye Adapte Olmak
Firma 2	Endüstri, Eğitim, Sağlık, Ofis	Amerika,Kore,Sin gapur,Atlanta,Hollanda	Revit - BIM 360- Navisworks - Oculus Rift Headset	1- Proje Takibi 2- Tasarım Geliştirme 3- MEP Koordinasyonu 4- Güvenlik ve Saha Planlaması 5- Tesis Yönetimi	1- Proje Paydaşlarının Katılımını Arttırmak 2- İletişimin Güçlenmesi 3- Projedeki Zorlukların Çözümlemesi 4- Maliyet ve Zaman Konularında Kesinlik 5- İş Güvenliği Planlamaları	1- Uzun Süreli Çalışma 2- Teknolojinin Bazen Sadece Ofiste Kalması, Sahaya Adapte Edilmemesi
Firma 3	Endüstri,Ofis, Karma Kullanım, Kimya, Kamusal	Amerika	Laser scanning - Revit	1- Bina Sistemlerini Koordine Etme 2- Tasarımı Geliştirmek 3-Proje Görselleştirme	1- Belirsizliği Azaltmak 2-Çalışmaları Önceden Görebilmek 3-Zorluklara Kolay Çözüm Bulmak 4- İnşaat Öncesi Olası Etkilerin Simüle Edilmesi. 5- Kusursuz Yönetim	1- İlk Maliyetler 2- Çalışanlara Teknolojiler Hakkında Eğitim Verme
Firma 4	Kamusal, Konut, Ofis, Endüstri,Enerji, Sağlık, Karma Kullanım	Kanada, İngiltere, Türkiye, Irak, İspanya, USA, Japonya, Kore, Meksika, İsrail, Afganistan, İrlanda	Revit - Navisworks - UAC (Drone) - Laser Scanning-VR Headset	1- Üretimde Hızı Yakalamak 2- Proje Görselleştirme 3- Yapım Sırasında Sorunları Azaltmak	1-Tüm Paydaşların Ortak Bir Modelde Çalışması 2- Ekipler Arası Koordinasyonu Sağlaması 3- Kalite Kontrollerini Sağlamak 4- Çıkışma Kontrollerinin Sağlanması 5- Saha Lojistiği ve İş Güvenliği Planlamalarının Hızlı Yapılabilmesi	1- Uzun süreli çalışma 2- Teknolojiye Adapte İnsan Kaynağı

Firma 5	Havaalanı,Kütlü Merkezli,Hotel,Endüstri,Kamusal,Ulaştırma	Kazakistan,İtalya,Çin,Filipinler,Amerika,İspanya,Hindistan,Japonya,Kanada	HTC VIVE - Revit - Rhino - Grasshopper-Skeich Up- AutoCAD - Ms Project -	1- Tasarımın Sunumunu Etkinleştirme 2- Daha Detaylı Bir Model 3- Detayları Görebilmek	1- Yeniden Çalışmanın Azalması 2- Tüm Paydaşların Tek Bir Model Üzerinde Çalışması 3- Net Bir Maliyet Miktarı 4- Etkiletili, Derinlik Hissi Veren Modeller	1- İlk Maliyetler 2- Çalışanlara Teknolojiler Hakkında Eğitim Vermek
Firma 6	Enerji,Eğitim,Kamusal,Kararlı Kullanım,Endüstri,	Amerika,Kanada	UAS (İnsansız Hava Araçları- Drone) - Laser Scanning - Revit - Navisworks -	1- Hafriyat için Alanın Haritasını Çıkarmak 2- Çakışmaların Kontrolü	1- Zengin 3D Haritalar 2- İş Güvenliğinin Sağlanması 3- Proje Ekiplerinin Koordinasyon ve Verimliliğinin Artması 4- Müşteri Memnuniyetinin Artması 5- Kalite Kontrolünün Sağlanması	1- Uzun Süreli Çalışma 2- İlk Maliyetler
Firma 7	Eğitim,Endüstri,Kamusal,Sağlık,İç Mekan	USA	Revit - Laser scanning	1- Riskleri azaltmak 2- Etkileyici Tasarım	1- Riskleri Ortadan Kaldırmak 2- Tasarımların Geleceğini Görebilmek 3- Kolay Tesis Yönetimi 4- Maliyeti Azaltmak	1-Teknolojik Yatırım
Firma 8	Kararlı Kullanım,Eğitim,Gökçelen,Kamusal,İç Mekan,Ulaştırma	USA,Avustralya,Tayland, Hollanda	Unity Reflect - VIVE - Revit	1-Varlık ve Derinlik Hissi Yaratabilmek 2- Çakışma Kontrolleri Yapabilmek 3- Etkileşimlilik	1- İyi Geri Bildirimler 2- Tasarruf 3- Hataları Ortadan Kaldırma 4- Projeyi Güncelleme Kolaylığı	1-Teknolojik Yatırım
Firma 9	Eğitim, Sağlık, Ulaştırma, Ofis, Endüstri,Kamusal	USA, İngiltere	Revit - Rhino - BIM 360 - ArchiCAD - Tekla - Trimble - Navisworks - 3DsMAX	1-Güvenli İş Sahası 2- Ekipman Yönetimini Merkezileştirme 3- Koordinasyon	1- Kaliteyi Arttırmak 2- Verimlilik 3- Memnuniyet 4- Riskleri Ortadan Kaldırmak	1-Teknolojik Yatırım 2- İnsan Kaynağı Sağlamak
Firma 10	Ofis, Havaalanı,İç Mekan, Kültürel Ticaret	USA, Birleşik Arap Emirlikleri, Çin	BIM 360 - HTC VIVE Headset	1- Ortak Dili Paylaşmak 2- Müşteriye Etkin Sunum Yapabilmek	1- Zamandan Tasarruf 2- Fazla Çabayı Önlemesi 3- Müşteri İletişimini Arttırması 4- Tamamlayıcı Olması	1- İnsan Kaynağı Sağlamak

Buna göre, inşaat firmalarının BIM-VR entegrasyonunda en çok bahsedilen zayıf yan, cevapların %23 ünü oluşturan başlangıç maliyetleridir. Bunu cevapların %9 unu oluşturan çalışanlara verilmesi gereken eğitimlerin maliyeti, süresi ve bu teknolojilere alışma sürecinin uzunluğu takip etmiştir. En az bahsedilen zayıf yan ise, ifadelerin % 3 ünü oluşturan uzun süreli çalışmadır.

Çalışmanın devamında Unity ve İrisVr yazılım firmalarının müşteriler, kullanıcı yorumları ve bloglarının taranmasıyla ulaşılan inşaat firmalarından küresel anlamda çalışmaları olan 10 adet inşaat firması seçilmiştir. Seçilen inşaat firmalarının çalıştıkları yapı türleri, ülkeler ve kullandıkları BIM-VR araçları incelenmiştir. Ayrıca seçilen 10 inşaat firmasının Web sitelerindeki BIM ve VR teknolojisiyle ilgili blogları, örnek vaka çalışmaları ve bu teknolojilerin kullanımıyla ilgili değerlendirmeleri incelenmiş sonuç olarak inşaat firmalarının bu teknolojileri kullanma amaçlarına, bu teknolojiler hakkındaki deneyimlerine erişilmiştir. (Tablo 6)

Yazılım ve inşaat firmalarının Web sitelerindeki örnek vaka çalışmaları üzerindeki tespitleri, blog yazıları tarandığında, BIM-VR Teknolojisinin kullanıldığı projelerden elde edilen veriler özetle Tablo 7’ de verilmiştir.

Tablo 7 - Örnek Firma Çalışmalarından Çıkarılan Sonuçlar

BIM – VR TEKNOLOJİSİ KULLANIMININ GÜÇLÜ YÖNLERİ	BIM – VR TEKNOLOJİSİ KULLANIMININ ZAYIF YÖNLERİ
1- İletişim, İş Birliği ve Koordinasyonun Artışı	1- Başlangıç Maliyetleri
2- Maliyet ve Proje Süresinde Kesinlik, Tasarruf ve Verimlilik	2- Teknolojiye Adaptasyon
3- Tasarımın Detaylarla Geliştirilebilmesi	3- Uzun Süreli Çalışma
4- Ortak Dili Paylaşabilmek	4- Alışma Sürecinin Uzunluğu
5- Daha Detaylı Model ve Detayları 3 Boyutlu Şekilde Görebilmek	5- Teknolojiye Adapte İnsan Kaynağını Sağlamak
6- Çakışma ve MEP Kontrollerinin Sağlanması	6- Teknolojiye Adaptasyonda Kaybedilen Zaman
7- Saha Planlaması ve Yönetiminde Kolaylık	7- Çalışanlara Verilmesi Gereken Eğitimlerin Maliyeti ve Süresi
8- İş Güvenliği ve Risk Planlamalarının Kolaylığı	8- Teknolojinin Sadece Ofiste Kalması ve Sahaya Entegre Edilememesi
9- Satışlarda Artış ve Müşteri Memnuniyeti	9- Teknolojiye Karşı Duyulan İsteksizlik
10- Müşteriye Etkili Sunum ve Görselleştirme	

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Literatürde var olan çalışmaların vaka(alan) çalışmalarının incelenmesi ve inşaat firmalarının yapı üretim süreçlerinde BIM-VR entegrasyonunun kullanımına yönelik görüşlerinden çıkarılan verilerin sonucu olarak, yapı üretim süreçlerinde BIM-VR teknolojilerinin kullanım hedeflerini şu şekilde açıklamak mümkündür:

- BIM-VR entegrasyonunun başlıca kullanım amacı, paydaşlarla ortak bir dili paylaşabilmek ve iletişimi güçlendirmektir.
- Mimari tasarım aşamalarında; tasarımı geliştirebilmek, detaylara hakim olabilmek ve restorasyon projelerinde model oluşturmak amacıyla kullanıldığını söylemek mümkündür.
- Yapım sürecinde BIM-VR teknolojilerini; proje takibini kolay yapabilmek, üretimde hızı ve kaliteyi yakalamak, maliyetleri düşürmek, geri dönüş ve değişiklikleri azaltmak, MEP koordinasyonunu sağlamak ve iş güvenliği, risk ve saha planlamalarında sağladığı kolaylıklardan yararlanabilmek amacıyla kullanılmaktadır.
- Yapım sonrası süreçlerde, tesis yönetimini sistematik şekilde yapabilmek amacıyla kullanılmaktadır.
- Satış süreçlerinde ise satışı hızlandırmak ve arttırmak, müşteri deneyimini geliştirmek, yeni bakış açıları sağlayabilmek ve müşterilerden geri bildirim alabilmek hedefleriyle kullanıldığını söylemek mümkündür.

Seçilen 10 inşaat firmasının Web sitelerinin taranması sonucunda;

İncelenen inşaat firmalarının ana merkezlerinin ABD olduğu görülmekte, bu sebeple BIM-VR teknolojilerinin kullanıldığı projelerin yoğunlukla ABD’de olduğu ve ABD’nin yanı sıra Kanada, İngiltere, Çin ve Japonya gibi ülkelerin de bu teknolojileri aktif olarak kullandığı görülmektedir. Bu durumu, ABD, Çin, Japonya ve pek çok Avrupa ülkesinin BIM kullanımı hakkında standartlar getirmiş olmasıyla açıklamak mümkündür. McGraw-Hill’in 2012 senesinde yapmış olduğu araştırmada, 2007 senesinde yapı sektöründe BIM kullanımının benimsenme oranı %28 iken, 2012 senesindeki benimsenme oranı %71’e yükselmiştir. Yine McGraw-Hill’in 2010 senesinde yapmış olduğu araştırmada Avrupa ülkelerinde BIM kullanımının benimsenme oranı %36 olarak belirtilmiştir. (Alizadehsalehi, S. ve ark., 2020, Bernstein, H. M. ve diğerleri, 2012 ve McGraw-Hill Construction Report, 2010) Ülkemizde BIM-VR entegrasyonunun yapı üretim süreçlerinde aktif olarak görülmemesi ise ulusal bir standardın olmayışıdır. Bu teknolojilerin Türk yapı sektöründe kullanımının yaygınlaşmasını hızlandırmak için, tüm ilgili kurumlar aracılığıyla ulusal BIM standartları, kılavuzları hazırlanmalı, kanun ve yönetmelikler düzenlenmeli ve gerekli teşvikler sağlanmalıdır (Erdik ve Gökuç, 2020).

İnşaat firmalarının çalışma alanları ve BIM-VR teknolojilerini kullandıkları yapı türlerinin eğitim, sağlık, kamusal, endüstri, ofis ve kültür merkezi gibi daha komplike sistemleri içeren, MEP kontrollerinin dikkatlice yapılması gereken ve toplu kullanıma hizmet eden büyük projeler olduğu dikkat çekmektedir.

İncelenen inşaat firmalarının kullandıkları yazılım ve programlara bakıldığında, BIM yazılımlarından en çok Revit, sonrasında Navisworks yazılımlarını görülmektedir. VR

teknolojilerini kullandıkları donanım ve araçlara bakıldığında ise, Headsetler, Lazer Tarayıcılar ve Drone ların yoğunlukla kullanıldığını söylemek mümkündür.

Çalışma boyunca incelenen yorumlar, röportajlar, blog yazıları ve örnek vaka çalışmalarına göre BIM- VR entegrasyonunun yapı üretim süreçlerinde kullanımının güçlü ve zayıf yanları çıkarımları yapılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonucu olarak, yapı üretim süreçlerinde BIM-VR teknolojilerinin kullanımının güçlü yanları sistematik şekilde yorumlanırsa:

BIM-VR entegrasyonunun proje ekiplerine sağladığı güçlü yanların en çok bahsedilene yapı üretim sürecinin tüm aşamalarında paydaşlar arasındaki iletişim, koordinasyon ve iş birliğindeki önemli artıştır.

BIM ve VR teknolojisiyle daha tasarım aşamasındayken, çakışma ve MEP kontrollerinin yapılabilmesi, yapım süreci öncesinde sistem seçiminden kaynaklanan hataların önlenmesine, yapım aşamasında değişikliklere sebep olacak çakışmaların, gerekli hacimlerdeki eksiklikleri veya hatalarının önceden tespiti açısından önem arz etmektedir. Üretim aşamasında, çakışma ve MEP kontrollerinin sahada 3 boyutlu şekilde kontrollerinin yapılmasıyla geri dönüşler azalmakta, sistem kontrolleri yapılabilmektedir. Ayrıca restorasyon projelerinde rölöve alımında kolaylık ve kesinlik gibi faydaları da bulunmaktadır.

BIM ve VR teknolojilerinin üretimde öncelikle saha ve risk planlamalarının yapılmasında sağladığı kolaylıklar, iş güvenliği ve acil durum eylem planlamalarının yapımıyla birlikte saha ekibinin iş güvenliği eğitimlerinin simülasyonlarla desteklenmesi gibi güvenlik ve saha yönetimi aşamalarında epey kolaylık sağlamaktadır. Üretim sonrası süreçte BIM-VR entegrasyonu, tesis yönetiminde dokümantasyon ve tadilat-tamirat planlarının yapılmasında kolaylık sağlamaktadır.

BIM-VR entegrasyonunun firma performansına sağladığı güçlü yanlarının ilki tasarım süreçlerinde tüm paydaşların ortak bir dili paylaşarak, tek bir model üzerinde çalışması proje süreçlerine hız kazandırması, böylece daha tasarım aşamasında zamandan tasarruf edilmesidir. Projenin maliyetinin net şekilde çıkarılabilmesiyle proje bütçesi net ve kesin olarak elde edilmektedir.

Ayrıca 1/1 ölçekte ve 3 boyutlu şekilde görüntülenebilir detaylarla üretimde geri dönüşler ve yeniden yapım azalmaktadır. Bu sayede geriye dönüşler, tamirat ve yeniden yapım aşamalarındaki maliyet ve zaman kaybı önlenecektir.

BIM-VR entegrasyonunun müşterilere sağladığı güçlü yanları ise, projenin daha tasarım aşaması sırasında kullanıcının (müşteri) katılabileceği ve herhangi bir değişiklik isteğinin anında 3 boyutlu karşılığını görebileceği çok katılımcı tasarım toplantıları organize edilebilmesiyle, tasarım süreci müşteri memnuniyetiyle sonuçlanabilmektedir. Müşteriler tasarım süreçlerinde aktif olarak rol alabilmektedirler.

Bunun yanında, yapım süreçlerini canlı olarak gözlemleyerek, yapım süreci hakkında daha ilgili ve bilgili olabilirler.

Satış aşamalarında ise, daha projenin tasarım aşamasında 3 boyutlu şekilde, derinlik ve varlık hissiyle proje deneyimlenebilmekte, etkin görselleştirme yöntemleri sayesinde satışlarda ve müşteri memnuniyetinde artış söz konusu olmaktadır.

Yapı üretim süreçlerinde BIM-VR teknolojilerinin kullanımının zayıf yanları sistematik şekilde yorumlanırsa:

BIM-VR entegrasyonunun proje ekiplerince görülen zayıf yanlarının ilki BIM-VR teknolojilerini yapı üretim süreçlerine entegre edebilmek için detaylı bir model oluşturma zorunluluğu bulunmasıdır. Ancak bu detaylı modelin oluşturulmasıyla gerçekçi görsellere, MEP detaylarının ayrıntılarına erişilebilmektedir. Yapı üretim süreçlerinde, gerçekleşecek her aşamayı denetimli, kontrollü ve sistematik olarak ele alabilmek adına, beklenen detayda bir görüntü için sisteme ayrıntılı bir model girişinin yapılması gerekmektedir. Tasarım süreçlerindeki geleneksel yöntemle kıyasla, BIM-VR entegrasyonu yapı üretim süreçlerinin tasarım aşamasında daha uzun süreli çalışmalar gerçekleştirebilmektedir. Bunun sebebi detaylı model oluşturma, proje paydaşlarıyla yapılan toplantılar, analizler ve çakışma kontrol testleri şeklinde örneklenebilir. Tasarım aşamasında yapılan bu çalışmalar yapım sürecinde karşımıza çıkacak problemlerin önceden tespitiyle yapım aşamasında zaman ve maliyet tasarrufu şeklinde geri dönmektedir.

Teknolojiye alışma sürecinin uzun olması ve beraberinde bir süreç gerektirmesi, proje ekiplerinin eğitimlerle desteklenmesini ve denetimlerin sıklaştırılmasını gerektirebilmektedir.

Dosya aktarımlarından kaynaklanan hatalar, fizyolojik problemler gibi kullanıcı kaynaklı bazı aksamalar da BIM-VR teknolojisinin zayıf yönleri olarak değerlendirilmiştir. Bu sistemleri kullandıkça, yaşanılacak aksaklıkların üstesinden kolayca gelinecektir.

BIM-VR entegrasyonunun firma performansınca zayıf yanı BIM-VR teknolojilerinin yatırım maliyetinin bir miktar yüksek oluşudur. BIM ve VR teknolojilerin ilk yatırım maliyetlerinin bir miktar yüksek olması doğrudur ancak bu teknolojilerin kullanımıyla sahadaki geri dönüşlerin ve yeniden yapımın azalması sağlanacak böylece maliyet ve zaman tasarrufu yapılabilecektir.

BIM-VR'ın diğer bir zayıflık olarak görülen yönü, teknolojiye adapte insan kaynağını karşılamaktır. Bunun yanında yeni bir ekip kurulmayacaksa, güncel çalışanlara verilmesi gereken eğitimlerin maliyet ve süresi de BIM-VR entegrasyonuna geçişte zayıf yan olarak değerlendirilmiştir. Zayıf yan olarak değerlendirilen çalışanların teknolojiye adapte oluşu, BIM-VR teknolojisine geçiş sürecinin bir parçasıdır. İlerleyen süreçlerde kazanılan zaman ve tasarruflarla birlikte bu zayıf yanların faydaya dönüşeceği şüphesizdir.

BIM-VR entegrasyonunun müşterilerce zayıf yanı ise, BIM-VR teknolojisine duyulan isteksizlik ve ön yargı şeklinde yorumlanabilir. VR kullanmanın baş döndürücü ve mide bulandırıcı olduğunu düşünen müşteriler, deneyimleri sonrasında bu zayıf yanın aslında bir ön yargı olduğunu fark edeceklerdir. Bu durum yapılan firma çalışmasında görülmüştür.

Çalışma boyunca incelenen yorumlar, röportajlar, blog yazıları ve örnek vaka çalışmalarına göre BIM-VR entegrasyonunun yapı üretim süreçlerinde kullanımının potansiyel fırsat ve olası tehditleri çıkarımları yapılmıştır. BIM-VR teknolojilerinin yapı üretim sürecine entegrasyonunun potansiyel fırsatlarını yorumlamak gerekirse:

- Öncelikle kaynakların kullanımında sağlanabilecek tasarruflar en büyük fırsat olarak dikkat çekmektedir. BIM-VR entegrasyonu ile yapı üretim sürecinin tüm aşamaları planlı ve kontrollü şekilde ilerleyecek, geri dönüşler ve tadilatlar azaltılacaktır. Bu

sayede su, malzeme, enerji gibi tükenen kaynaklar korunacak ve bu kaynakların israfı önlenmiş olacaktır.

- Diğer bir fırsat ise, potansiyel işçilik kalitesindeki artış olabilir. Saha çalışanlarının elinde tüm detaylarıyla bir proje oluşu ve gerektiğinde bu detayları 3 boyutlu ve 1/1 ölçekte görüntüleyebilmek daha estetik, düzgün bitişli ve hatasız işçiliğe yardımcı olacaktır.
- Fırsatlardan bir diğeri ise, teknolojiye adapte insan kaynağı olarak kendini yetiştirmek ve bireysel istihdamını sağlamaktır. Küresel anlamda, inşaat sektörünün bir parçası haline gelen bu teknolojilere adapte olacak şekilde kendini yetiştirerek firmaların dikkatini çekmek, aranan bir uzman haline gelmek ve böylece bireysel istihdamı artırmak önemli bir fırsattır.

BIM ve VR teknolojilerinin yapı üretim sürecinde kullanımının olası tehditleri ise:

- BIM ve VR teknolojilerine adaptasyon için personellere eğitim verme veya aldırma şartıdır. İş verenler bu durumu zaman ve maliyet kaybı olarak düşündüklerinden, teknolojiye adapte insan kaynağı arayışına girebilmektedirler. Bu durum da dijitalleşme sonrası düşük bir miktar olsa da mevcut çalışanlarda istihdam kaybını gündeme getirebilmektedir. Ancak kendini bu teknolojilere adapte eden bireyler, kendi bireysel istihdamını artırabilmektedirler.
- Tehditlerden bir diğeri ise; müşteri ve projenin paydaşlarının da dahil olduğu tasarım toplantılarında çok katılımcı yaklaşımla her bireyin fikrini beyan etmesi ile tasarım sürecinin bir miktar uzaması ihtimalidir. Fakat bu durum, optimal tasarımın sağlandığında üretim sürecinde geri dönüşleri azaltacak, zaman ve maliyet tasarrufu şeklinde geri dönecektir.
- Son potansiyel tehdit, teknolojinin sadece ofiste kalması, sahada bu teknolojilerin kullanılmaması veya saha ekiplerince yeterli donanım eksikliğinden geleneksel yöntemlere devamlılık şeklinde olabilir. Bu durumda teknolojik yatırımın saha bazında da yapılması ve saha çalışanlarının teknolojiye adaptasyon için eğitimi şart hale gelmiştir.

6. SONUÇLAR

Yapı üretim süreci, küresel bağlamda en çok enerji tüketen ve yapılan hatalarla birlikte enerji, zaman, maliyet ve malzeme kaybının en yoğun olduğu süreçtir. Yapı üretim süreçlerinde geleneksel yöntemlerin kullanımı sonucu karşımıza çıkan sorunları; tasarım aşamalarında müşteriye toplantı esnasında bir model verememek, tesisat, elektrik, statik gibi tüm projelerin farklı platformlarda çizilmesi ve bu projelerin bütünlük sağlayamaması, proje maliyetine net şekilde erişememe, kültürel miras yapılarında; yanlış rölöve alımı, yapım aşamalarında; yanlış imalatlarla geri dönüşler yapılması, tesisat projelerinde çakışmalar yaşanması, çalışanlarca istenen detayın tekrar tekrar çizilmesi gerekliliği, imalat kontrollerin insan gözüne ve eline bağlı olması, iş güvenliğine dikkat edilmemesi veya eğitim eksikliği, saha lojistiğinin ve organizasyonun düşünülmemesi ve yapım sonrası süreçlerde; tamirat ve tadilat esnasında yapım aşamasında dikkat edilen noktaların kaybı, tadilat süreci planlamasının yapılmasında zorluklar gibi problemlerle karşılaşılmaktadır. Bahsedilen problemler sektörde

karşılaşılan problemlerin çok küçük bir yüzdesini oluşturmaktadır (Proverbs ve diğ., 2000 ve Jaffar ve diğ., 2011). Yapılan her geri dönüş ve tekrar yapım enerji, zaman, malzeme ve maliyet kaybına sebep olmaktadır. Geleneksel yöntemlerle uzayıp giden yapı üretim süreçleri, daha sistematik ve daha organize bir yapı üretim süreci ihtiyacını ve talebini doğurmuştur. Tüm bunların yanında akademik alanda, mimarlık ve inşaat mühendisliği öğrencilerinin yapı üretim süreçlerine ilişkin eğitimlerinde, geleneksel eğitim yöntemleri devam etmekte, sektör küresel bağlamda değişmeye devam ederken öğrencilere gelişen teknoloji ve yazılımlardan uzak bir eğitim süreci işlemektedir.

İnşaat sektörü her daim yeniliklere açık ve teknolojiye adapte olabilen bir sektör olmuştur. Gelişen teknoloji yapı üretim süreçlerinde yansımaları bulmuş, BIM ve VR teknolojileri yapı üretim süreçlerinde tercih edilen teknolojiler haline gelmiştir. Yeni nesil VR araçlarının çoğunun BIM yazılımları ile çalışması iki teknolojiyi birbirine kenetlemiş ve sektörde giderek yaygınlaşmasına yardımcı olmuştur. Yapı üretim süreçlerine bu iki teknolojinin entegrasyonunun dahil edilmesiyle süreç daha optimize, daha kontrollü ve daha sistematik şekilde ilerlemektedir. Yapı üretim süreçlerinin tasarım, kültürel miras, yapım ve yapım sonrası aşamalarda kullanımının tasarım aşamasında; görselleştirmedeki gerçekçilik ve derinlik hissi, tüm proje paydaşlarının tek model üzerinde çalışabilmesi, tasarım kusurlarının önceden tespiti, analizler ve çakışma testlerini 3 boyutlu olarak deneyimleyebilmek ve müşterilerle ilişkilerin ve iş birliğinin geliştirilebilmesi gibi kolaylıklar dikkat çekmektedir. Kültürel miras yapılarında; yapının rölevoellerinin alınmasında kesinlik, restorasyon sonunda sanal ortam müzesi, eğitim ve oyun amaçlı uygulamalara imkan verebilmektedir. Yapı üretim süreçlerinde BIM-VR kullanımıyla ise; çalışanlar arası iletişim ve koordinasyonun artışıyla, proje takibinin ve imalat kontrollerinin kolayca yapılabilmesi, saha organizasyonunun sağlanması ve iş güvenliği planlamalarında sağladığı kolaylık ve kesinlikle, proje yönetimine ciddi avantajlar kazandırmaktadır. Son olarak yapım sonrası süreçte tesis yönetiminde; ön görülen veya ön görülemeyen tadilatlar için planlamaların yapılabilmesi, yapı hakkındaki dokümantasyon kolaylığı gibi birçok dikkat çekici yararları bulunmaktadır. Projenin tasarım aşamasından yıkımına kadarki süreçte BIM ve VR teknolojilerinin entegre kullanımı, yapının yaşam döngüsü boyunca sistematik, kontrollü ve gerçekçi bir yönetim sağlamaktadır. Yapının yaşam döngüsü boyunca BIM-VR teknolojilerini bütünsel şekilde kullanmakla verimlilik, tasarruf ve kaynakların korunumu gibi ana faydaları sağlayacaktır.

Yapılan araştırmalar dünyanın BIM (Yapı Bilgi Modelleme) ve VR (Sanal Gerçeklik) araçlarına son 5-10 yılda entegre olduğunu ve BIM-VR entegrasyonunun yapı üretim süreçlerinde yerini almaya başladığı göstermektedir. Bu ilerleme hızla kendine yeni donanımlar ekleyerek devam etmektedir. Yapılan literatür taramasında BIM-VR entegrasyonu ile ilgili çalışmaların büyük çoğunun yabancı kaynaklardan oluşması, örnek vaka çalışmalarındaki örneklerin yabancı ülkelerde oluşu ve yapılan firma araştırmasında erişilen firmaların hepsinin yabancı olması, ne yazık ki Türkiye'nin BIM-VR teknolojisine hala tam anlamıyla adapte olamadığını göstermektedir. İncelenen çalışmalarda BIM ve VR teknolojilerine farkındalığın oluştuğu, fakat bu teknolojilere geçişte bir tereddütlü davranıldığı görülmüştür. Bu noktada uygulama ve proje süreçlerinin yürütülmesinde referans alınacak standart ve kılavuzların eksikliği dikkat çekmektedir. Gelişmiş ülkelerde bu teknolojilerin kullanımı kamu ihalelerinde zorunlu ve özel sektörde sözleşmelere eklenmektedir. Ülkemizde ise, bu teknolojilerin kullanımı kamu ihalelerinde bir seçenek şeklinde yer almaktadır (Atabay ve Öztürk, 2019 ve Bahçeci ve Polat, 2020).

Bu çalışma sonucunda BIM-VR teknolojilerini kullanmanın faydalarından ve potansiyel fırsatlarından yararlanmak için sektörel bazda; Türkiye'nin bu teknolojiye yatırım yapması, inşaat sektörünü canlandırması ve potansiyel insan kaynağı bu teknolojilere yönelik eğitimlerle desteklenmelidir. Firma sahiplerine, mimarlara, mühendislere hatta tüm sektör çalışanlarının BIM-VR entegrasyonu tanınmaları ve kullanmalarına yönelik fuar, etkinlik, tanıtımlar düzenlenmeli, bu teknolojilerin kullanımıyla ilgili çalıştay, konferans ve atölyeler düzenlenmelidir. Devletin yapı üretim süreçlerine ilişkin teknolojik gelişmeleri desteklemesi, katkıda bulunması ve kullananlara ayrıcalıklar tanınması BIM-VR entegrasyonunu yapı üretim süreçlerinde sıkça görmemize yardımcı olacaktır. Bu konuda dünyada ve ülkemizde yapılan yayınlar, tüm sektör paydaşlarıyla paylaşılmalı ve akademiden sektöre devamlı bilgi akışı sağlanmalıdır.

Bu eksiklerin sadece sektörde değil, akademik alanda da olduğu yapılan literatür taramasında görülmüştür. Yapılan literatür taramasında Türkiye'de yapılan yayınlarda, BIM ve VR teknolojileri hakkında ayrıntılı bilgi verilse de örnek vaka çalışmaları ve farklı yöntemlerle incelenmesi bakımından eksiktir. Küresel bağlamda da tasarım ve inşa edilebilirlik incelemesi, sıralama ve iş planlaması gibi inşaat odaklı bir bağlamda BIM-VR entegrasyonunun yararları ve kullanım durumuyla ilgili araştırmaların sınırlı olduğu ve bir bilgi boşluğu olduğu ortadadır (Johansson ve Roupe, 2024 ve Akbay, 2021). Akademisyenler ve hayatına akademide devam edecek öğrencilerin bu teknolojilerle ilgili çalışmalarında farklı yöntemler ve vaka çalışmalarının kullanımının desteklenmesi gerekmektedir. Ayrıca akademik alanda, mimarlık ve mühendislik meslekleri gibi yapı üretim süreçlerinde başlıca aktörlerinin; gelişen teknolojiye adapte olarak eğitim alması, BIM ve VR teknolojilerini üniversite eğitimleri sürecinde kullanmaları desteklenmelidir. Bu konu özelinde, yapı bilgisi derslerinde VR kullanımı ile ilgili yapılan tez çalışması Z kuşağı bireylerinin yeniliklere ve teknolojiye açık olduğunu ve derslerin algılanması, kavranması ve yapısal öğelerin hayal edilmesine katkılarının olduğunu göstermiştir (Özdoğan, 2021). Ayrıca sektörde bu sistemler ile yapı üretim süreçlerinde bulunan proje aktörlerinin eğitime dahil edilmesi sağlanmalıdır. Bu sayede sektör ve akademik iş birliği sağlanarak, güncel yapı üretim süreçlerine hakim bireyler yetiştirmek mümkün olabilecektir.

Konuyla ilgili gelecekte yapılacak çalışmalara öneriler olarak, yöntem katkıda bulunmak amacıyla sektörde BIM-VR entegrasyonuna geçiş yapan inşaat firmalarıyla mülakatlar yapılabilir. Bu mülakatlarda BIM-VR entegrasyonuna geçiş sonrasında yapı üretim süreçlerinde tespit edebildikleri faydalar ve zararlar sorularak çalışma desteklenebilir. Bunun yanında yapı üretim süreçlerinde BIM-VR entegrasyonunun kullanıldığı gerçek projelerde vaka çalışmaları üzerinden tasarım, yapım, yapım sonrası veya kültürel miras projelerinde kullanımlarının amaçları, fayda ve zararları tespit edilebilir.

Özetle, en büyük kaynak tüketimi yapan inşaat sektörü teknolojiye uyarlanmalı, sektörle ilgili yenilikler takip edilmeli, yapı üretim süreçlerinde BIM-VR entegrasyonu sağlanmalı, BIM-VR entegrasyonu ile ilgili potansiyel fırsatlar gerçek faydalara dönüştürülmelidir. Sektörel bazda yenilikçiliğin yanında akademide de BIM-VR entegrasyonu ile ilgili daha çok analiz, vaka çalışması bazında yayınlar üretilmelidir. Ancak sektör ve akademi birleşip yenilikçi olmak şartıyla inşaat sektörünün içinde taşıdığı potansiyellere erişim sağlanabilir. Bu bağlamdaki çalışmaların devamlılığıyla BIM-VR teknolojilerinin ülkemiz inşaat sektöründe yeni geleneksel sistem olarak kendine yer bulacağı şüphesizdir.

Kaynaklar

- [1] Afzal, M. and Shafiq M. T., Evaluating 4D-BIM and VR for Effective Safety Communication and Training: A Case Study of Multilingual Construction Job-Site Crew, *Buildings* 2021, 11(8), 2021.
- [2] Akbay, R. B. Türk İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Şantiyede Kullanımına Yönelik Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi, 2021.
- [3] Alizadehsalehi, S., Hadavi, A. and Huang, J.C., From BIM to extended reality in AEC industry, *Automation in Construction*, volüme 116, 2020.
- [4] Aş, H. Saran Mimari Yazılım ve Teknolojilerinin Kültürel Mirası Koruma Çalışmalarında Kullanımı. *Tasarım Enformatiği*, 01(02), 92-106, 2019.
- [5] Atabay, Ş., Öztürk M. B. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Uygulama Planı Üzerine Bir İnceleme, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 418-430, 2019.
- [6] Azhar, S. Role of visualization technologies in safety planning and management at construction jobsites, *Procedia Engineering*, 171(2017), 215-226, 2017.
- [7] Bahçeci, H., Polat H., İnşaat Sektöründe Yüklenici Firma Ölçeğine Göre BIM Kullanımının Araştırılması, *Online Journal of Art and Design*, 8(2), 2020.
- [8] Baik, A. The Use of Interactive Virtual BIM to Boost Virtual Tourism in Heritage Sites, Historic Jeddah. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(9), 577, 2021.
- [9] Bernstein, H. M., Jones, S. A., Russo, M. A., The business value of BIM in North America: Multi-year trend analysis and user rating (2007–2012), McGraw-Hill Construction, Bedford, MA, 1-72, 2012.
- [10] Deniz, G. Expanding applications of virtual reality in construction industry: A multiple case study approach, *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 2(2), 48-66, 2019.
- [11] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons. 2011
- [12] Erdik, M. Ve Gökuç T., Y. Türk Yapı Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Adaptasyonu, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 22(1), 159-171, 2020.
- [13] Genç, M. Sanal Gerçeklik Teknolojilerinin, İnşaat Endüstrisinde ve İnşaat Mühendisliğinde Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 2019.
- [14] Getuli, V., Capone, P., Bruttini, A. and Isaac, S. BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach, *Automation in Construction*, volüme 114, 2020.
- [15] Haggard K. E. Case Study on Virtual Reality in Construction, 2017.

- [16] Halili, A., An XML-based approach for geo-semantic data exchange from BIM to VR applications, *Automation in Construction*, volüme 121, 2021.
- [17] Jaffar, N., Tharim, A.H., Shuib M.N. Factors of Conflict in Construction Industry: A Literature Review, *The 2nd International Building Control Conference 2011*, 20(2011), 193-202, 2011.
- [18] Johansson M., Roupé M. BIM and Virtual Reality (VR) at the construction site, *Konferans Bildirisi, Chalmers Teknoloji Üniversitesi*, 2020.
- [19] Kieferle, J., Woessner U. BIM Interactive - About combining BIM and Virtual Reality - A Bidirectional Interaction Method for BIM Models in Different Environments. *eCAADe proceedings*, 2015.
- [20] Kim, J. I., Li, S., Chen, X., Keung, C., Suh, M. and Kim, T. W., Evaluation framework for BIM-based VR applications in design phase, *Journal of Computational Design and Engineering*, 8(3), 910-922, 2021.
- [21] McGraw-Hill Construction Report, *The business value of BIM in Europe, Getting building information modeling to the bottom line in the United Kingdom, France and Germany*, SmartMarket Report, Bedford, MA: McGrawHill Construction, 1-52, 2010.
- [22] Moraru A., Pozanski K. Integrating BIM, Virtual Reality and Serious Gaming for effective collaboration and communication between end-users and the design team, *Yüksek Lisans Tezi, Aalborg Üniversitesi*, 2020.
- [23] Muhammad, A. A., Yitmen, İ., Alizadehsalehi, S., Çelik, T. Adoption of Virtual Reality (VR) for Site Layout Optimization of Construction Projects, *Teknik Dergi*, 31(2), 9833-9850, 2020.
- [24] Ofluoğlu, S. *Yapı Bilgi Modelleme: Yeni Nesil Mimari Yazılımlar*. Mimar Sinan Üniversitesi, 2012.
- [25] Özdoğan, M. *Mimarlık Okullarında Yapı Bilgisi Eğitiminin Sanal Gerçeklik Sistemleri İle Bütünleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, 2021.
- [26] Park, H., Panya, D.S., Goo, H.N., Kim, T., Seo, J. BIM-based Virtual Reality and Human Behavior Simulation For Safety Design, *Corpus ID: 174793816*, 2018.
- [27] Proverbs, D. G., Holt, G. D. ve Cheok, H. Y. Construction industry problems: the views of UK construction directors 16th Annual ARCOM Conference, 6-8 September 2000, Glasgow Caledonian University. *Association of Researchers in Construction Management*, 73-81, 2000.
- [28] Şen, G. AR/VR Destekli BIM Teknolojileri İle Tesis Yönetimi, *Yapı Bilgi Modelleme*, 03(01), 12-22, 2021.
- [29] Sürücü, O. *Sanal Gerçekliğin Kültürel Mirası Korumada Kullanımı Salih Bozok Villası Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 2017.
- [30] Yang, X., Grussenmeyer, P., Koehl, M., Macher, H., Murtiyoso, A., Landes, T. Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques, *Journal Of Cultural Heritage*, 46(2020), 350-360, 2020.

- [31] Yenigün,İ., Yenigün, K. ve Erdoğan, S. Sanal Gerçekliğe Ticari Uygulama Yaklaşımları, GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST), 3(1), 22-31, 2020.
- [32] Yılmaz, G., Güngör, A. A., Demirörs, O. İnşaat Sektöründe Kullanılan Bilgi ve İletişim Teknolojileri, 562-573, 2016.
- [33] Zaker, R. & Coloma, E. Virtual reality-integrated workflow in BIM-enabled projects collaboration and design review: a case study, Visualization in Engineering, 6(4), 2018.
- [34] Visualization and Virtual Reality. AECOM, Web Sitesi <https://aecom.com/services/visualization-and-virtual-reality-2/> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [35] OUR SERVICES. BRASFIELD GORRIE, Web Sitesi <https://www.brasfieldgorrie.com/services/virtual-design-construction/> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [36] Virtual Design & Construction. BNBuilders, Web Sitesi <https://www.bnbuilders.com/service/expertise/our-services/virtual-design-and-construction> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [37] Virtual Reality Transforming Design. CORGAN, Web Sitesi <https://www.corgan.com/story/virtual-reality-transforming-design/> Ziyaret Tarihi 29 Kasım 2022.
- [38] How We Build VIRTUAL DESIGN & CONSTRUCTION. DPR Construction, Web Sitesi <https://www.dpr.com/construction/expertise/collaborative-virtual-building-and-bim> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [39] ACCESS EQUIPMENT, VIRTUAL REALITY TRAINING SIMULATORS. FORGETFX, Web Sitesi <https://forgefx.com/clients/access-equipment-operator-training-simulator/access-equipment-aerial-work-platform-training-simulator/> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [40] Building for Tomorrow using Virtual Reality. Gilbane Ink, Web Sitesi <https://www.gilbaneco.com/blog/bim/building-for-tomorrow-using-virtual-reality/> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [41] Prospect, Virtual Reality for Construction. IRISVR, Web Sitesi <https://irisvr.com/industry/construction/> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [42] The Importance Of Virtual Design & Construction. Mortenson, Web Sitesi <https://www.mortenson.com/vdc/study> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [43] V Unity, SHoP Architects: A Unity Reflect case study. SHoP Architects, Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023, Web Sitesi <https://unity.com/case-study/shop-architects#building-right-tool> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [44] VDC / BIM. SKANSKA, Web Sitesi <https://www.usa.skanska.com/what-we-deliver/services/innovation/vdc--bim/> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.

- [45] BUILDING INFORMATION MODELLING. TAKENAKA, Web Sitesi <https://www.takenaka.asia/singapore/services/building-information-modelling/> Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2023.
- [46] Mimarlık, Mühendislik, İnşaat ve İşletme. Unity, Web Sitesi <https://unity.com/solutions/architecture-engineering-construction> Ziyaret Tarihi 4 Ocak 2024.
- [47] HoloLens2/ Microsoft, Web Sitesi <https://www.microsoft.com/en-us/hololens> Ziyaret Tarihi 05 Ocak 2024.
- [48] RealWear, Web Sitesi <https://www.realwear.com/> Ziyaret Tarihi 05 Ocak 2024.
- [49] VisualLive/ Unity, Web Sitesi <https://unity.com/products/visuallive> Ziyaret Tarihi 05 Ocak 2024.