

Temsilden Deneyime: Mimarlık Eğitiminde Oyunlaştırma, Yapı Bilgi Modellemesi ve Genişletilmiş Gerçeklik

YAZARLAR

Mehmet Oğuz DURU
Rabia Piraye ARSLAN



BİDGE Yayınları

**Temsilden Deneyime: Mimarlık Eğitiminde Oyunlaştırma, Yapı
Bilgi Modellemesi ve Genişletilmiş Gerçeklik**

Yazarlar: Mehmet Oğuz Duru ve Rabia Piraye Arslan

ISBN: 978-625-8821-81-9

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 18.08.2026

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Mimarlık ve yapılı çevre alanında yaşanan sayısal dönüşüm, yalnızca kullanılan araçları değil, tasarım bilgisinin üretilme, aktarılma ve deneyimlenme biçimlerini de önemli ölçüde değiştirmektedir. Yapı Bilgi Modellemesi, genişletilmiş gerçeklik teknolojileri ve oyunlaştırma, bu dönüşümün farklı yönlerini temsil etmekle birlikte, güncel eğitim ve uygulama ortamlarında giderek daha fazla bir arada kullanılmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu üç alanı birbirinden bağımsız teknolojik gelişmeler olarak ele almak yerine, aralarındaki ilişkileri ortak bir kavramsal çerçeve içinde değerlendirme düşüncesinden doğmuştur. Özellikle mimarlık eğitiminde iki boyutlu ve kodlanmış temsillerden mekânsal kavrayışa geçiş sürecinde karşılaşılan güçlükler, çalışmanın temel tartışma zeminini oluşturmuştur. Bu doğrultuda kitapta, oyunlaştırmanın motivasyon ve etkileşim boyutu, Yapı Bilgi Modellemesinin yapılandırılmış bilgi altyapısı ve genişletilmiş gerçeklik teknolojilerinin deneyimsel olanakları birlikte ele alınmıştır.

Çalışmanın, mimarlık ve yapılı çevre eğitimi alanında çalışan araştırmacılara, akademisyenlere ve lisansüstü öğrencilere kavramsal bir başvuru çerçevesi sunmasını; aynı zamanda gelecekte gerçekleştirilecek uygulamalı ve ampirik araştırmalara yeni sorular geliştirilmesi açısından katkı sağlamasını umuyoruz.

Bu kitabın hazırlanması ve yayımlanması sürecinde emeği geçen kişi ve kurumlara teşekkür eder, çalışmanın ilgili alan yazınına yararlı olmasını dileriz.

Mehmet Oğuz Duru¹

Rabia Piraye Arslan²

Konya, 2026

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, ORCID: 0000-0002-0583-0439

² Yüksek Lisans Öğrencisi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ORCID: 0009-0000-4474-6689

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	4
İKİNCİ BÖLÜM: OYUNLAŞTIRMA KAVRAMI	9
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM: YAPI BİLGİ MODELLEMESİ	26
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: SANAL, ARTIRILMIŞ VE GENİŞLETİLMİŞ GERÇEKLİK	46
BEŞİNCİ BÖLÜM: ÜÇ BİLEŞENİN KESİŞİMİ: BÜTÜNLEŞİK BİR BAKIŞ	66
ALTINCI BÖLÜM: MİMARLIK VE YAPILI ÇEVRE EĞİTİMİ BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRME	79
SONUÇ	99
KAYNAKÇA	104

GİRİŞ

Yapılı çevre üreten disiplinler, son otuz yılda köklü bir temsil ve üretim dönüşümü yaşamaktadır. Bu dönüşümün ilk aşaması, elle çizimden bilgisayar destekli çizime geçişle yaşanmıştır. Ancak bu geçiş, temsilin aracını değiştirmiş, mantığını değiştirmemiştir. Kâğıt üzerindeki çizgi ekrana taşınmış, buna karşılık üretilen şey hâlâ iki boyutlu ve statik bir belge olarak kalmıştır. İkinci ve asıl dönüşüm, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) (Building Information Modeling-BIM) yaklaşımının yaygınlaşmasıyla başlamıştır. Bu yaklaşımda üretilen şey bir çizim değil, geometrik verinin yanı sıra nesne kimliklerini, malzeme özelliklerini, performans bilgilerini ve mekânsal ilişkileri taşıyan bütünsel bir veri kümesidir.

Bu ikinci dönüşümün ölçeği, yalnızca teknik bir güncellemeyle açıklanamaz. Sacks ve arkadaşlarının (2018) belirttiği gibi YBM, bir yazılım ya da bir modelleme tekniği değil, bir süreç ve iş birliği biçimidir. Yapının tasarımından işletilmesine uzanan tüm yaşam döngüsünü kapsayan bir bilgi yönetimi yaklaşımıdır. Bu niteliğiyle YBM, yapı üretim süreçlerinde paydaşlar arasındaki bilgi akışını yeniden düzenlemiş, sektörün çalışma biçimini kademeli olarak dönüştürmüştür.

Ancak bu zengin veri birikimi kendi başına bir sorunu çözmemektedir. Bir yapı bilgi modeli, taşıdığı veri ne kadar kapsamlı olursa olsun, bu verinin insanlar tarafından nasıl deneyimleneceği ve anlamlandırılacağı sorusunu yanıtsız bırakır. Model, tasarımcı için okunabilir bir kaynak olsa dahi, mesleki

eğitimi olmayan bir paydaş ya da henüz uzmanlaşmamış bir öğrenci için büyük ölçüde kapalı kalabilir. Bu boşluk, son yıllarda sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve genişletilmiş gerçeklik teknolojilerinin yapı sektörüne ve mimarlık eğitimine hızla girmesinin temel nedenidir. Söz konusu teknolojiler, YBM'in taşıdığı veriyi kullanıcının içinde bulunabildiği, gezinebildiği ve doğrudan deneyimleyebildiği bir ortama dönüştürmektedir.

Deneyimin kendisi de tek başına yeterli değildir. Bir sanal ortamda gezinmek, kullanıcının o ortamla etkin bir ilişki kuracağını güvence altına almaz. Bu noktada, bilgisayar oyunlarından ödünç alınan tasarım stratejileri devreye girmektedir. Oyunlaştırma yaklaşımı, oyun tasarımı unsurlarını oyun-dışı bağlamlara taşıyarak kullanıcının katılımını ve motivasyonunu yapılandırmayı amaçlamaktadır. Bu üç bileşen, yani yapılandırılmış veri kaynağı olarak YBM, deneyim ortamı olarak genişletilmiş gerçeklik ve katılım katmanı olarak oyunlaştırma, son on yılda birbirinden bağımsız gelişmiş olmakla birlikte giderek daha sık aynı uygulamalarda bir araya gelmektedir.

Bu yakınsamanın en görünür olduğu alanlardan biri eğitimdir. Mimarlık ve yapılı çevre eğitimi, doğası gereği zor bir aktarım sorunu barındırır. Öğrenciden, iki boyutlu ve kodlanmış temsiller üzerinden üç boyutlu, malzemesel ve bedenle deneyimlenen bir mekân kavrayışı geliştirmesi beklenir. Bu geçiş, deneyimli bir tasarımcı için otomatikleşmiş bir beceriyken, öğrenci için önemli bir bilişsel çaba gerektirir. Söz konusu üç teknolojinin bir araya gelmesi, tam da bu geçiş sorununa yönelik yeni olanaklar sunmaktadır. Nitekim son yıllarda yayımlanan çalışmaların artan bir bölümü, bu bileşenleri ayrı ayrı değil, birlikte ele almaktadır.

Buna karşılık alan yazınında belirgin bir eksiklik bulunmaktadır. Oyunlaştırma, YBM ve genişletilmiş gerçeklik üzerine yürütölen çalışmalar çoğunlukla kendi disiplinler çerçeveleri

içinde kalmaktadır. Oyunlaştırma literatürü ağırlıklı olarak motivasyon psikolojisine, YBM literatürü yapı üretim süreçlerine ve birlikte çalışabilirliğe, genişletilmiş gerçeklik literatürü ise öğrenme kuramlarına ve teknolojik altyapıya odaklanmaktadır. Üçünün kesişiminde ortaya çıkan uygulamalar hızla çoğalmasına karşın, bu kesişimi kavramsal olarak bir arada ele alan çalışmalar sınırlıdır. Yalçın'ın (2024) oyunlaştırma ile YBM'in bütünleştirilmesi üzerine yürüttüğü kapsamlı çalışma ile Rehman ve arkadaşlarının (2025) YBM ve oyun motoru bütünleşmesine ilişkin derlemesi bu yöndeki nadir örnekler arasındadır.

Bu çalışmanın amacı, söz konusu kavramsal boşluğu doldurmaya yönelik bütünlük bir çerçeve sunmaktır. Çalışma, üç bileşeni önce kendi kavramsal ve kuramsal zeminleri içinde ayrı ayrı ele almakta, ardından bunların kesişiminde ortaya çıkan uygulamaları ve sorunları incelemektedir. Son aşamada ise bu bütünleşmenin mimarlık ve yapı çevre eğitimi bağlamındaki karşılığı, uzamsal algı ve bilişsel zorluklar ekseninde değerlendirilmektedir. Çalışmanın kapsamı kavramsal ve kuramsaldır. Görgül bir araştırma yürütülmemekte, bunun yerine mevcut literatürün sistematik bir okuması yapılarak ileride yürütülecek görgül araştırmalar için bir zemin oluşturulmaktadır.

Çalışma yedi bölümden oluşmaktadır. Bu giriş bölümünü izleyen ikinci bölümde oyunlaştırma kavramı ele alınmaktadır. Oyunun kendisine ilişkin klasik kuramsal yaklaşımlardan başlanarak, oyunlaştırmanın ciddi oyunlar ve oyun tabanlı öğrenme gibi komşu kavramlardan ayrımı netleştirilmekte, ardından motivasyon kuramları ve tasarım çerçeveleri üzerinden kavramın kuramsal temelleri incelenmektedir. Bölüm, oyunlaştırmanın eğitimde ve yapı sektöründeki uygulamalarıyla tamamlanmaktadır.

Üçüncü bölüm, Yapı Bilgi Modellemesi'ni konu almaktadır. YBM'in tanımı, olgunluk düzeyleri ve nesne tabanlı parametrik

modelleme yapısı incelendikten sonra, modele eklenilen veri katmanları üç boyuttan n boyuta uzanan bir genişleme olarak ele alınmaktadır. Bölümün son iki alt başlığı, YBM'in yükseköğretim müfredatına entegrasyonu ile oyun motorlarıyla teknik bütünleşmesine ayrılmıştır. Bu son alt başlık, çalışmanın bütününde tekrar eden aktarım sorunlarının teknik zeminini kurmaktadır.

Dördüncü bölüm, sanal, artırılmış ve genişletilmiş gerçeklik teknolojilerini ele almaktadır. Milgram ve Kishino'nun (1994) gerçeklik-sanallık sürekliliği üzerinden kavramsal sınırlar netleştirilmekte, ardından teknolojik altyapı, öğrenme kuramlarıyla ilişki ve yapıları çevre eğitimindeki uygulamalar sırasıyla incelenmektedir. Bu bölümde yapılandırmacı ve deneyimsel öğrenme kuramlarının sanal ortamlarla kurduğu bağ, çalışmanın altıncı bölümündeki değerlendirmenin kuramsal dayanağını oluşturmaktadır.

Beşinci bölüm, üç bileşenin kesişimini bütünleşik bir bakışla ele almaktadır. Bu bütünleşmenin neden bir tercih değil giderek bir gereklilik hâline geldiği tartışıldıktan sonra, literatürden derlenen uygulama örnekleri hizmet ettikleri işlevlere göre gruplandırılmaktadır. Bölüm, bütünleşik yaklaşımın karşılaştığı teknik, kurumsal ve etik zorlukların değerlendirilmesiyle tamamlanmaktadır.

Altıncı bölüm, buraya kadar kurulan çerçeveyi mimarlık ve yapıları çevre eğitimi bağlamına taşımaktadır. Öğrencinin karşılaştığı uzamsal ve bilişsel zorluklar birbirinden ayrıran üç başlık altında incelenmekte, bu zorlukların hangi teknolojik yaklaşımla hangi mekanizma üzerinden karşılandığı ortaya konmaktadır. Bölüm, mevcut ampirik bulguların eleştirel bir değerlendirmesi ve gelecekteki araştırma yönelimlerinin belirlenmesiyle sona ermektedir. Sonuç bölümü ise çalışmanın ulaştığı sonuçları özetlemektedir.

Bu çalışmanın hedef okuyucusu, mimarlık ve yapılı evre eğitimi alanında çalışan akademisyenler ile bu alanda araştırma yürütmeyi planlayan lisansüstü öğrencilerdir. Çalışmanın, hızla genişleyen ancak kavramsal olarak henüz yeterince düzenlenmemiş bir alanda yn bulmayı kolaylaştıran bir başvuru metni işlevi görmesi amaçlanmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM:

OYUNLAŞTIRMA KAVRAMI

2.1. Tanım ve kavramsal sınırlar

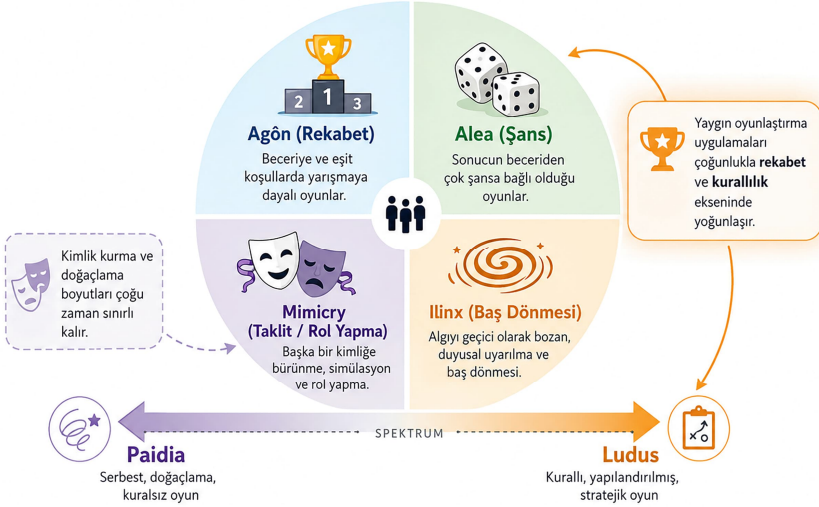
Oyunlaştırma, akademik yazına 2010'lu yılların başında girmiş görece genç bir terim olmasına rağmen, kısa sürede hem endüstri pratiğinde hem de eğitim araştırmalarında merkezi bir konum kazanmıştır. Kavramın bu hızlı yayılımı, terimin kendisinden çok daha eski bir olguya, oyunun insan davranışı üzerindeki etkisine dayanır. Bu nedenle oyunlaştırmanın kavramsal sınırlarını belirlemeden önce, beslendiği oyun kuramına kısaca değinmek gerekir.

Huizinga (1955'ten akt. Süvari, 2021), oyunu kültürün bir ürünü değil, kültürden önce gelen temel bir insani kategori olarak konumlandırır. Bu yaklaşıma göre oyunun tanımlayıcı özellikleri; gönüllü katılım, gündelik hayatın zorunluluklarından ayrılmış bir zaman-mekân dilimi oluşturmaya ve kendi iç kurallarıyla sınırlanmış olmasıdır. Bu üç özellik, oyunlaştırma tartışması açısından doğrudan bir anlam taşımaktadır. Gönüllülük ilkesi, zorunlu tutulan bir oyunlaştırma sisteminin neden çoğunlukla beklenen etkiyi üretmediğini; kurala bağlılık ilkesi ise, kuralları belirsiz veya keyfî işleyen bir sistemin neden güven kaybına yol açtığını açıklar.

Caillois (1958'den akt. Süvari, 2021), oyun olgusunu dört kategoride sınıflandırarak bu çerçeveyi genişletir. Agôn, rekabete ve beceriye dayanan, katılımcıların eşit koşullarda yarıştığı oyunları;

Alea, sonucun katılımcının becerisinden bağımsız olarak şansa bağlı olduğu oyunları; Mimicry, oyuncunun geçici olarak başka bir kimliği üstlendiği simülasyon ve rol yapma oyunlarını; Ilinx ise algıyı geçici olarak bozan, baş dönmesi ve duyuusal uyarılma üzerine kurulu oyunları ifade eder. Caillois ayrıca bu dört kategoriye kesen ikinci bir eksen tanımlar: bir uçta serbest, doğaçlama ve kuralsız oyun biçimi (Paidia), diğer uçta ise katı kurallara ve hesaplanmış stratejiye dayalı yapılandırılmış oyun biçimi (Ludus) yer alır. Bu sınıflandırmanın oyunlaştırma literatürü açısından analitik değeri, mevcut uygulamaların hangi oyun biçimlerinden beslendiğini görünür kılmasıdır. Yaygın oyunlaştırma uygulamalarının büyük çoğunluğu Agôn ve Ludus eksenlerinde, yani rekabet ve kurala bağlılık zemininde yoğunlaşır; buna karşılık Mimicry'nin kimlik kurma potansiyeli ile Paidia'nın doğaçlama serbestliği çoğunlukla kullanılmadan kalır. Bu tespit, ileride 2.3'te ele alınacak yüzeysellik eleştirisinin kavramsal kökenlerinden birine işaret etmektedir. Kavramların görsel açıklaması Şekil 1'de ifade edilmiştir.

Şekil 1 Caillois'in oyun kategorileri ve ikincil eksen kavramları



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

"Oyun tasarımı unsurlarının oyun-dışı bağlamlarda kullanılması" biçiminde tanımlanan oyunlaştırma kavramı, Deterding ve arkadaşlarının (2011) çalışmasında alanın en sık atıf yapılan güncel kavramsallaştırmasını oluşturmaktadır. Bu kısa tanımın üç bileşeni de kasıtlı biçimde seçilmiştir. "Unsurlar" ifadesi, oyunlaştırmanın bir oyunun bütününe değil, ondan ayırıştırılmış belirli parçaları devrettiğini vurgular; bu, kavramı ciddi oyunlardan ayıran temel ölçüttür. "Oyun tasarımı" nitelemesi, bu unsurların rastgele seçilmiş özellikler değil, oyun tasarımcılarının belirli bir deneyim üretmek amacıyla geliştirdiği kasıtlı yapılar olduğunu belirtir. "Oyun-dışı bağlamlar" ifadesi ise kavramın uygulama alanını eğlence endüstrisinin dışına, eğitim, sağlık, işletme ve kamu hizmetleri gibi alanlara taşınabileceğini gösterir.

Kapp (2012) tanımı daha geniş tutarak oyunlaştırmayı, katılımı ve motivasyonu artırmak, öğrenme süreçlerini desteklemek ve problem çözmeyi kolaylaştırmak amacıyla oyun mekanikleri,

estetik değerler ve oyun-temelli dūřınme biçimlerinin kullanılması olarak tanımlar. Bu tanımda vurgunun, kullanılan unsurların kendisinden bu unsurların hizmet ettiği amaca kaydığı görülür; dolayısıyla Kapp'ın yaklaşımı, oyunlaştırmayı bir tasarım tekniği olmaktan çok bir ğretim stratejisi olarak konumlandırır. Seaborn ve Fels (2015) ise tanımı davranışsal bir eksene taşıyarak, oyunlaştırmayı oyun unsurlarının veya oyunsu bir deneyimin oyun-dışı görev ve bağlamlarda kasıtlı kullanımı biçiminde ifade eder. Bu tanımın ayırt edici yanı, oyunlaştırmanın ille de somut bir bileşen (bir rozet simgesi, bir puan tablosu) eklemeyi gerektirmediğini, kullanıcıda oyunsuluk hissi uyandıran daha soyut tasarım kararlarının da kavramın kapsamına girdiğini kabul etmesidir. Bu üç tanımın ortak paydası, oyunlaştırmanın bütünlüklü bir oyun değil, oyunlardan ödünç alınmış parçalı bir tasarım stratejisi olduğudur. Söz konusu ayırım, kavramı komşu iki kavramdan, ciddi oyunlar ve oyun tabanlı öğrenmeden ayırıştırmak açısından belirleyicidir. Ciddi oyunlar, eğlence dışında bir amaç için tasarlanmış olsalar da baştan sona bütünlüklü bir oyun deneyimi sunar; kendi kuralları, anlatısı, karakterleri ve kazanma-kaybetme koşulları vardır. Oyun tabanlı öğrenme ise bir ürün değil bir yöntemdir: mevcut oyunların, ticari veya özel amaçlı olarak geliştirilmiş olsun, öğrenme hedeflerine ulaşmak için pedagojik bir araç olarak kullanılmasını ifade eder. Bu l ayırım Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Tablo 1 Oyunlaştırma, ciddi oyunlar ve oyun tabanlı öğrenme kavramlarının karşılaştırması

Kavram	Tanımlayıcı Özellik	Yapılı Çevre Alanından Örnek
Oyunlaştırma (Gamification)	Oyun-dışı bir sürece seçilmiş oyun unsurlarının eklenmesi; asıl etkinlik bir oyun değil, oyunsu hâle getirilmiş gerçek bir görevdir.	Bir model kontrol sürecinin, tamamlanan denetim adımları için puan ve rozet veren bir katmanla desteklenmesi
Ciddi Oyunlar (Serious Games)	Eğlence dışı bir amaç için tasarlanmış, kendi kuralları, anlatısı ve kazanma/kaybetme koşulları bulunan bütünlüklü bir oyun.	Kullanıcının tahliye rotası aradığı, bağımsız bir YBM tabanlı yangın simülasyonu
Oyun Tabanlı Öğrenme (Game-Based Learning-GBL)	Öğrenme hedeflerine ulaşmak için mevcut oyunların pedagojik bir yöntem olarak kullanılması; bir ürün değil, bir yaklaşımdır.	Bir tasarım stüdyosu dersinin, ticari bir sanal dünya platformu üzerinden yürütülmesi

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Bu ayrımın işlevselliği, aynı eğitim hedefinin üç farklı yaklaşımla ele alınabildiği durumlarda belirginleşir. Bir binadaki tahliye prosedürünün öğretilmesi örneğinde, oyunlaştırma yaklaşımı mevcut tatbikat sürecine katılımı puanlayan ve ekipleri karşılaştıran bir katman ekler; tatbikatın kendisi değişmez. Ciddi oyun yaklaşımı, gerçek binadan bağımsız, tümüyle simüle edilmiş bir ortamda kullanıcının kendi kararlarıyla ilerlediği bütünlüklü bir deneyim kurgular. Oyun tabanlı öğrenmede mevcut bir afet simülasyonu doğrudan eğitim aracı olarak kullanılır. Üç yaklaşım aynı hedefe yönelse de tasarım, maliyet ve öğrenme biçimi açısından farklılaşır (Şekil 2).

Şekil 2 Aynı kurguda farklı yaklaşımların karşılaştırılması



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Alan yazınında bu kavramların sınırlarının zaman zaman bulanıklaştığı, bazı yazarların ise pratik amaçlar doğrultusunda bu ayrımı önemsiz gördüğü anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, kavramsal bir çerçeve çalışmasında söz konusu ayrımın açıklığa kavuşturulması, yöntemsel tutarlılığın sağlanması ve literatür taramasının kapsamının doğru biçimde belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu kavramsal ayrımın netleştirilmesi gerekliliği, özellikle Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling-BIM/YBM) ve genişletilmiş gerçeklik teknolojileriyle kesişen çalışmalarda daha belirgin hâle gelmektedir; çünkü oyunlaştırılmış bir YBM arayüzü ile YBM verilerinden yararlanan bir ciddi oyunun birbirinden ayırt edilmesi, ilerleyen bölümlerde ele alınacak bütüncül uygulamaların doğru biçimde sınıflandırılmasına temel oluşturmaktadır.

2.2. Kuramsal temeller

Oyunlaştırmanın hangi koşullarda etkili olduğu, hangi koşullarda ise beklenen sonucu üretmediği sorusunun yanıtı, büyük ölçüde motivasyon psikolojisinden gelen iki kurama dayanır. Bu kuramlar birbirini dışlamaz; farklı sorulara yanıt verdikleri için

birlikte kullanıldıklarında oyunlaştırma tasarımına daha bütünlüklü bir zemin sağlarlar.

Öz-Belirleme Kuramı (Self-Determination Theory-SDT), Deci ve Ryan (2000) tarafından geliştirilmiştir. Kuram, insan davranışının iki farklı motivasyon kaynağından beslendiğini öne sürer: içsel motivasyon, bir etkinliğin kendisinden alınan doyum nedeniyle sürdürülmesini; dışsal motivasyon ise bir ödül elde etmek veya olumsuz bir sonuçtan kaçınmak amacıyla gerçekleştirilen davranışı ifade eder. Kurama göre sürdürülebilir motivasyon ve psikolojik iyi oluş, üç temel ihtiyacın karşılanmasına bağlıdır. Bunlardan ilki özerklik, bireyin kendi eylemleri üzerinde seçim ve kontrol sahibi olduğunu hissetmesidir; oyunlaştırma tasarımında birden fazla görev yolu veya kişiselleştirme seçeneği sunulması bu ihtiyacı desteklerken, tek ve doğrusal bir ilerleme çizgisinin dayatılması onu zayıflatır. İkincisi yeterlik, bireyin bir beceride giderek ustalaştığını algılamasıdır; kademeli olarak zorlaşan görev yapıları ve performansı görünür kılan geri bildirim mekanizmaları bu ihtiyaca karşılık gelir. Üçüncüsü ise ilişkisellik, başkalarıyla anlamlı bir bağ kurma gereksinimidir; takım tabanlı görevler, ortak hedefler ve kullanıcılar arası iletişim kanalları bu boyutu besler. Söz konusu üç temel ilke Şekil 3'te görsel olarak özetlenmiştir.

Şekil 3 Öz-Belirleme Kuramı'nın temel motivasyon bileşenleri ve oyunlaştırma tasarımıyla ilişkisi



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

SDT'nin oyunlaştırma literatürüne en kritik katkısı, uygulamaların neden bazen başarısız olduğunu açıklayabilmesidir. Kuramın öngördüğü mekanizmaya göre, birey zaten içsel olarak motive olduğu bir etkinliğe dışsal bir ödül eklendiğinde, o etkinliği zamanla ödülün kendisiyle ilişkilendirmeye başlar; ödül ortadan kalktığında ise etkinliğe olan ilgi, ödül hiç sunulmamış olsaydı görüleceği düzeyin de altına inebilir. Bu durum, tasarım eğitimi bağlamında özel bir önem taşır: tasarım sürecinin kendisinden doyum alan bir öğrencinin motivasyonu, süreç yalnızca puan toplama hedefine indirgendiğinde zayıflayabilir. Dolayısıyla puan ve rozet gibi unsurlar salt bir kontrol aracı olarak kurgulandığında risk taşır; aynı unsurlar özerklik ve yeterlik algısını destekleyecek biçimde, yani ilerlemeyi görünür kılan ancak zorlayıcı bir ödül-ceza düzeni dayatmayan bir yapıda tasarlandığında ise kalıcı katılıma katkı sağlar.

Bu kuramsal öngörüü destekleyen güncel bir ampirik örnek, Arrighi'nin (2026) yükseköğretimde oyunlaştırma üzerine yürüttüğü doktora çalışmasıdır. Bir lisans dersinde oyunlaştırma platformu aracılığıyla yürütölen araştırma, öz-yönelimli öğrenme, öz-motivasyon, sahiplenme hissi ve algılanan etkililik olmak üzere dört yapıyı ölçmüştür. Bunlardan öz-yönelimli öğrenme ve sahiplenme hissi SDT'nin özerklik boyutuyla, öz-motivasyon ise doğrudan içsel motivasyon kavramıyla örtüşmektedir. Çalışmanın bu yapılarda olumlu ve anlamlı bulgular sunması, kuramın önermelerinin güncel yükseköğretim ortamlarında da geçerliliğini koruduğunu göstermesi bakımından dikkate değerdir.

Akış Kuramı (Flow Theory), Csikszentmihalyi (1975, 1990) tarafından, bireyin bir etkinliğe derinlemesine odaklandığı, zaman algısının değıştiğı ve etkinliğin kendisinin ödüllendirici hâle geldiğı optimal deneyim durumunu açıklamak üzere geliştirilmiştir. Kuram, bu durumun ortaya çıkışını üç koşula bağlar: görevin zorluk düzeyi ile bireyin beceri düzeyi arasında denge bulunması, hedeflerin açık ve anlaşılır olması ve geri bildirimin anlık ve belirsizlikten arınmış olması. Bu koşullardan ilki, kuramda genellikle iki eksenli bir model üzerinden açıklanır: beceri düzeyi görevin zorluğunu aştığında birey sıkılma bölgesine, görevin zorluğu beceriyi aştığında ise kaygı bölgesine geçer. Akış deneyimi yalnızca bu iki bölge arasındaki dar bantta, zorluk ve becerinin birlikte yükseldiğı koşullarda ortaya çıkar. Bu model, sabit zorluk düzeyine sahip eğitim yazılımlarının neden farklı deneyim düzeyindeki kullanıcılara aynı anda hitap edemediğini açıklamaktadır. Buna göre deneyimli kullanıcı sıkılma, yeni başlayan kullanıcı ise kaygı bölgesine düşer (Şekil 4).

Şekil 4 Akış Kuramı'nda görev zorluğu, beceri düzeyi ve optimal deneyim ilişkisi



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Akış Kuramı'nın oyunlaştırma tasarımıdaki karşılığı doğrudandır. İlerleme çubukları hedeflerin netliğini, kademeli zorluk artışına dayanan seviye yapıları zorluk-beceri dengesini, anlık puan ve görsel-işitsel bildirimler ise geri bildirim hızını sağlamaya yönelik tasarım kararlarıdır. SDT ile Akış Kuramı, birbirini tamamlayan ancak farklı sorulara odaklanan iki çerçevedir. SDT bir davranışın neden sürdürüleceğini, yani motivasyonun kaynağını açıklarken, Akış Kuramı bireyin etkinliği gerçekleştirirken nasıl bir deneyim yaşadığını, yani deneyimin niteliğini tanımlar. Etkili bir oyunlaştırma stratejisinin her iki düzeyi de gözetmesi beklenir.

2.3. Oyunlaştırma bileşenleri ve mekanikleri

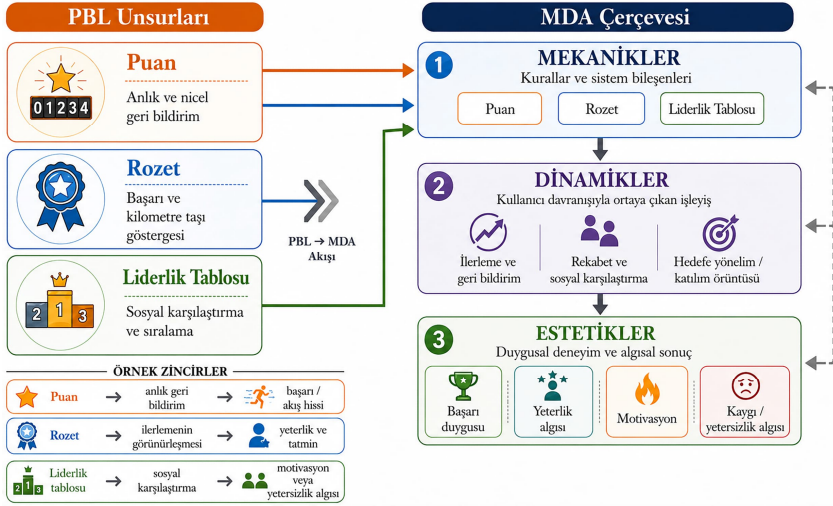
Oyunlaştırma unsurlarını sistematik biçimde sınıflandırmak amacıyla literatürde birbirini tamamlayan çeşitli çerçeveler geliştirilmiştir. En yaygın ve aynı zamanda en çok eleştirilen unsur grubu Puan, Rozet ve Liderlik Tablosu'dur (Points-Badges-Leaderboards-PBL). Bu üç unsurun her biri farklı bir psikolojik işlev üstlenir. Puanlar, bir eylemin hemen ardından gelen nicel ve anlık geri bildirim sağlayarak Akış Kuramı'nın öngördüğü geri bildirim koşulunu karşılar. Rozetler, belirli bir kilometre taşına ulaşıldığını

kalıcı ve görünür bir simgeyle işaretleyerek yeterlik algısını pekiştirir; ayrıca kullanıcıya, sistem içindeki ilerlemesinin bir özetini sunar. Liderlik tabloları ise bireyin performansını başkalarınıninkiyle karşılaştırarak sosyal bir referans noktası oluşturur. Ancak bu son unsurun etkisi tek yönlü değildir: üst sıralarda yer alan kullanıcılarda motivasyonu güçlendirirken, sürekli alt sıralarda kalan kullanıcılarda karşılaştırmanın bir yetersizlik göstergesine dönüşmesi ve katılımın azalması söz konusu olabilir. Bu nedenle literatürde sıkça dile getirilen eleştiri, PBL üçlüsünün tek başına kullanıldığında oyunlaştırmayı yüzeysel bir puanlaştırma (pointsification) pratiğine indirgemesi ve asıl deneyimi zenginleştirmeden yalnızca dışsal bir ödül katmanını eklemesidir.

Hunicke ve arkadaşları (2004) tarafından geliştirilen “Mekanikler-Dinamikler-Estetikler” (Mechanics-Dynamics-Aesthetics-MDA) çerçevesi, PBL'nin yanıtlayamadığı nedensellik sorusunu üç katmanlı bir yapıyla ele alır. Mekanikler, sistemin kurallarını ve bileşenlerini; dinamikler, bu kuralların kullanıcı davranışıyla etkileşiminden doğan işleyiş örüntülerini; estetikler ise bunun sonucunda kullanıcıda ortaya çıkan duygusal deneyimi ifade eder. Bu üç katman arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması, çerçevenin analitik gücünü oluşturur: aynı mekanik, farklı kullanıcı gruplarında farklı dinamikler ve dolayısıyla birbirinden bağımsız estetik sonuçlar üretebilir. Örneğin belirli bir görevin tamamlanmasını puanlayan tek bir mekanik, beceri düzeyleri birbirine yakın bir grupta sağlıklı bir rekabet dinamiği ve başarı duygusu üretirken, beceri düzeyleri belirgin biçimde farklılaşan bir grupta yetersizlik algısına yol açabilir. MDA'nın oyunlaştırma tasarımına katkısı, tasarımcıyı yalnızca belirli mekanikleri sisteme eklemekle yetinmek yerine, bu mekaniklerin kullanıcı davranışlarını nasıl şekillendireceğini, hangi etkileşim örüntülerini ortaya çıkaracağını ve sonunda nasıl bir duygusal deneyim üreteceğini

tasarımın başlangıcından itibaren değerlendirmeye yöneltmesidir (Şekil 5).

Şekil 5 PBL unsurları ile MDA çerçevesi arasındaki ilişkinin şematik gösterimi



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Werbach ve Hunter (2012) MDA modelinden esinlenerek oyunlaştırma unsurlarını üç katmanlı bir hiyerarşi biçiminde ele alır. En üstte, kısıtlamalar, duygular, anlatı, ilerleme ve ilişkiler gibi soyut yapılardan oluşan dinamikler; ortada, meydan okuma, iş birliği, rekabet, geri bildirim, kaynak kazanımı ve ödüller gibi bu dinamikleri hayata geçiren mekanikler; en altta ise puanlar, rozetler, liderlik tabloları, seviyeler, görevler ve avatarlar gibi somut bileşenler yer alır. Bu hiyerarşik okuma, PBL üçlüsünün aslında yalnızca en alttaki bileşen katmanına ait olduğunu, dolayısıyla kalıcı bir katılımın üst katmanlardaki mekanik ve dinamiklerin tutarlı tasarımına bağlı bulunduğunu açıkça ortaya koyar.

Süvari'nin (2021) iç mimarlık stajının oyunlaştırılması üzerine yürüttüğü kapsamlı tez çalışması, yukarıdaki çerçevelere ek

olarak literatürde geliştirilmiş çok sayıda modeli bir araya getirmektedir. Bu modeller arasında en kapsamlısı, Chou'nun (2015'ten akt. Süvari, 2021) geliştirdiği “Octalysis” çerçevesidir. Söz konusu çerçeve, insan davranışını yönlendiren sekiz temel dürtüyü (core drive) tanımlar ve bunları içsel ile dışsal motivasyon eksenine göre konumlandırır. Örneğin epik anlam ve çağrı dürtüsü, bireyin kendisinden büyük bir amacın parçası olduğu hissine; güçlenme ve geri bildirim dürtüsü, beceride ustalaşma ve ilerleme algısına karşılık gelir ve her ikisi de içsel motivasyon alanında yer alır. Buna karşılık kıtlık ve sabırsızlık dürtüsü, bir kaynağa erişimin sınırlandırılmasıyla oluşan çekimi; öngörülemezlik ve merak dürtüsü ise sonucun belirsizliğinden doğan ilgiyi ifade eder ve daha çok anlık, dışsal bir etki üretir. Bu sekizli yapının analitik değeri, PBL veya MDA'nın tek başına ayırt edemediği motivasyonel farklılıkları görünür kılmaktır. Örneğin bir rozetin kullanıcı üzerindeki çekiciliğinin yeterlik algısından mı yoksa kıtlık etkisinden mi kaynaklandığı bu çerçeveye ayrıştırılabilir. Süvari'nin çalışmasında ayrıca Niman'ın (2014'ten akt. Süvari, 2021) yaklaşımı, oyunlaştırılmış e-öğrenme için geliştirilen GED Modeli, Deneyimsel Oyun Modeli, Morschheuser ve arkadaşlarının (2018'den akt. Süvari, 2021) yaklaşımı, Cosentino ve arkadaşlarının (2017'den akt. Süvari, 2021) yaklaşımı, Mobil Oyun Öğrenme Sistemi, Rutkauskiene ve arkadaşlarının (2016'dan akt. Süvari, 2021) yaklaşımı ve oyuncu-merkezli tasarım da ele alınmaktadır. Bu modellerin önemli bir bölümü, yukarıda tartışılan temel çerçevelerin belirli bir uygulama bağlamına uyarlanmış türevleri niteliğindedir. Tablo 2, tartışılan dört ana çerçeveyi karşılaştırmalı olarak özetlemektedir.

Tablo 2 Oyunlaştırma unsurlarını sınıflandıran dört temel çerçevenin karşılaştırması

Çerçeve	Analiz Düzeyi	Kuramsal Katkı ve Sınırlılık
PBL Üçlüsü (Points-Badges-Leaderboards)	Somut, gözle görülür bileşenler	Uygulaması kolaydır; tek başına kullanıldığında yüzeysel "puanlaştırma" riski taşır.
MDA (Mechanics-Dynamics-Aesthetics)	Kural, davranış örüntüsü ve duygusal deneyim arasındaki nedensellik	Tasarımcıyı mekaniğin üreteceği deneyimi baştan öngörmeye yöneltir.
Werbach ve Hunter Hiyerarşisi	Dinamik, mekanik ve bileşen katmanları	PBL'nin yalnızca en alttaki bileşen katmanına ait olduğunu gösterir.
Octalysis	Sekiz temel motivasyonel dürtü (core drive)	İçsel ve dışsal motivasyon kaynaklarını ayırtırmayı sağlar.

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Bu çerçeveler birbirini dışlamaz; aksine, art arda uygulanabilecek bir çözümleme sırası oluştururlar. PBL, sistemde hangi somut bileşenlerin bulunduğunu; MDA ve Werbach-Hunter modelleri, bu bileşenlerin hangi davranış örüntülerini ve hangi üst düzey yapıları oluşturduğunu; Octalysis ise bu yapının hangi temel motivasyonel dürtüye hitap ettiğini ortaya koyar. Tüm çerçevelerin ortak vurgusu, oyunlaştırmanın statik bir ödül listesi olmadığı, kullanıcı eylemi ile sistem tepkisi arasında işleyen döngüsel bir yapı oluşturduğudur. Bir eylemin hemen ardından gelen ve belirsizlikten arınmış geri bildirim, hem Akış Kuramı'nın öngördüğü koşulu karşılar hem de kullanıcının sistemle etkileşimini sürdürmesi için gerekli motivasyonu besler.

2.4. Eğitimde ve yapı sektöründe uygulamalar

Yukarıda ele alınan kuramsal çerçevelerin öngörülleri, eğitim ve yapı çevre alanındaki uygulamalarda sınanmış; bu uygulamalar hem kuramın geçerliliğini destekleyen bulgular hem de sınırlılıklara

ilişkin gözlemler üretmiştir. Arrighi'nin (2026) daha önce değinilen yükseköğretim çalışması bu doğrulamanın güncel bir örneğidir. Çalışmanın kavramsal açıdan öğretici yanı, yalnızca PBL bileşenlerine dayanan yüzeysel uygulamaların kısa vadeli bir ilgi artışı sağlamasına karşılık, özerklik ve yeterlik algısını destekleyen tasarımların daha kalıcı öğrenme kazanımlarıyla ilişkilendirilmiş olmasıdır; böylece 2.2'de tartışılan kuramsal ayrım uygulama düzeyinde de gözlemlenebilmektedir.

Yapılı çevre eğitimindeki uygulamalar, farklı teknik olgunluk düzeylerini temsil eden birkaç eksende kümelenmektedir. Elsamahy (2017), mimarlık eğitiminde dijital oyun tabanlı öğrenmeyi (Digital Game-Based Learning-DGBL) inceleyerek, ticari bir sanal dünya platformu üzerinden yürütülen stüdyo uygulamalarını ve oyun motorlarıyla üretilen mimari yürüyüş (walkthrough) çalışmalarını değerlendirmiştir. Çalışmanın temel katkısı, öğrencinin kendi tasarımını statik bir sunum üzerinden değil, içinde birinci şahıs bakış açısıyla gezinerek deneyimlemesinin mekânsal kavrayışı geleneksel sunum yöntemlerine kıyasla nasıl farklılaştırdığını ortaya koymasındır. Yazar ayrıca, mevcut ticari oyunların mimarlık eğitiminin farklı alt disiplinleriyle eşleştirilebileceğini; örneğin tarihsel strateji oyunlarının mimarlık tarihi öğretiminde, simülasyon oyunlarının ise tasarım becerilerinin geliştirilmesinde kullanılabileceğini belirtmektedir. Çekmiş ve Karakaya'nın (2024) İstanbul Teknik Üniversitesi'nde birinci sınıf mimarlık öğrencileriyle yürüttüğü çalışma, bu tartışmayı değerlendirme boyutuyla genişletir. Geliştirilen ciddi oyun, öğrencinin bir ızgara düzeni üzerinde renk, biçim ve boyut değişkenlerini kullanarak iki boyutlu kompozisyonlar oluşturmasını istemekte; ardından bu kompozisyonu, denge, vurgu ve ritim gibi görsel tasarım ilkelerini tanımak üzere eğitilmiş bir yapay zekâ modeliyle çözümlemektedir. Model, tek bir kesin yanıt yerine üç olası ilke tahminini yüzdelik olasılıklarla sunarak öğrenciye kendi kompozisyonu üzerinde

düşünme olanağı tanır. Bu yaklaşım, geri bildirimin anlık olması koşulunu karşılarken değerlendirmenin kapalı ve tartışmasız bir hükme dönüşmesini de engellemektedir. Yüz yirmi altı öğrenciyle yürütülen test sürecinde katılımcıların oyunla ortalama bir saat meşgul olduğu ve yüzde yetmiş dokuzunun tüm görevleri tek oturumda tamamladığı belirlenmiştir. Bu bulgu, görev yükünün öğrencinin ilgisini yitirmesine yol açmayacak biçimde dengelendiğini, dolayısıyla zorluk-beceri dengesinin uygulamada gözetildiğini düşündürmektedir.

Süvari'nin (2021) çalışması ise oyunlaştırmayı stüdyo dersinden farklı bir bağlama, iç mimarlık staj sürecine uygulamaktadır. Geliştirilen çevrimiçi staj sistemi; stajyerin sistem içinde bir avatar aracılığıyla temsil edilmesini, meslektaşlarıyla forum üzerinden etkileşim kurmasını, tamamladığı görevler karşılığında puan ve rozet kazanmasını ve süreci dijital bir staj defterinde belgelemesini içerir. Bu bileşenler Werbach ve Hunter'ın hiyerarşisi üzerinden okunduğunda, salt bileşen düzeyinde kalmadıkları görülür. Forum bileşeni ilişkisellik ihtiyacına, avatar bileşeni kimlik ifadesi ve özerklik algısına, puan-rozet düzeni ise yeterlik hissine karşılık gelecek biçimde birbirine bağlanmıştır. Çalışmanın kavramsal katkısı, oyunlaştırmının yalnızca ders ortamlarına değil, mesleki uygulama süreçlerine de sistematik biçimde uyarlanabileceğini göstermesidir.

Oyunlaştırmının inşaat sektöründeki uygulamaları ise daha operasyonel bir olgunluk düzeyini yansıtır. De Marco'nun (2022) Politecnico di Milano'da tamamladığı yüksek lisans çalışması, İtalya'daki iş güvenliği mevzuatının güncellenmesi bağlamında saha sorumlusu rolünün eğitimini oyun motoru tabanlı oyunlaştırılmış simülasyonlarla desteklemeyi önermektedir. Çalışma, bu tür bir sistemin kurulmasının birbirine bağlı üç sorunu aynı anda çözmesi gerektiğini vurgular. Eğitim gereksinimlerinin yapılandırılması, bağlama ve mevzuata uygun senaryoların üretilmesi ve immersif

sanal gerçeklik donanımıyla arayüzün kurulması. Yazar ayrıca, oyun motorlarının yaygın YBM platformlarıyla artan birlikte çalışabilirliğinin, video oyunu endüstrisi ile inşaat sektörü arasında hibrit yaklaşımları teşvik ettiğini ve bu motorların günümüzde dijital ikiz (digital twin) geliştirme ortamlarının bir bileşeni olarak değerlendirildiğini belirtmektedir.

Bu çalışmalar bir arada değerlendirildiğinde, oyunlaştırmanın yapıları çevre bağlamındaki uygulama alanının temel tasarım eğitiminden stüdyo çalışmasına, mesleki staj sürecinden saha güvenliği eğitimine kadar uzanan geniş bir yelpazeyi kapsadığı görülmektedir. Nitekim Rüppel ve Schatz (2011)Metin girmek için buraya tıklayın veya dokununuz. ile Teizer ve arkadaşlarının (2020) çalışmalarının da işaret ettiği üzere, bu uygulamaların önemli bir bölümü artık bağımsız ve özel amaçlı ortamlar olarak değil, doğrudan Yapı Bilgi Modeli verilerinden türetilen ortamlar biçiminde tasarlanmaktadır. Söz konusu bütünleşmenin kavramsal ve teknik temelleri, bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM:

YAPI BİLGİ MODELLEMESİ

3.1. Tanım, gelişim süreci ve olgunluk düzeyleri

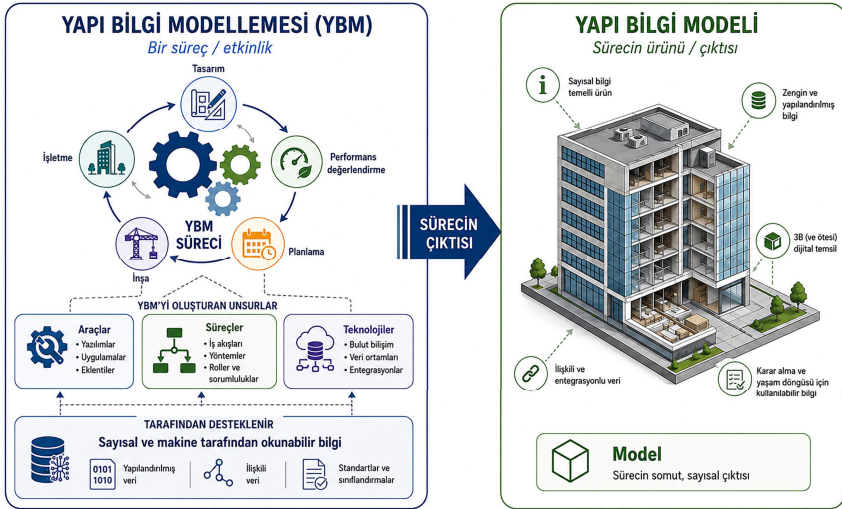
Önceki bölümün sonunda değinildiği üzere, yapılı çevre eğitimindeki oyunlaştırma ve ciddi oyun uygulamalarının önemli bir bölümü artık bağımsız ortamlar olarak değil, doğrudan yapı bilgi modeli verilerinden türetilen ortamlar biçiminde geliştirilmektedir. Bu bütünleşmenin nasıl mümkün olduğunu anlayabilmek için, öncelikle Yapı Bilgi Modellemesi'nin (YBM) ne olduğunun ve hangi teknik özellikleri sayesinde başka ortamlara aktarılabilir bir veri kaynağı hâline geldiğinin açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

Sacks ve arkadaşları (2018), YBM'i tanımlarken önemli bir kavramsal ayrım yapar: YBM bir nesne değil, bir etkinliktir. Buna göre Yapı Bilgi Modellemesi (YBM); bir yapının tasarımı, performansının değerlendirilmesi, planlanması, inşası ve işletilmesi boyunca kullanılan, sayısal ve makine tarafından okunabilir bilgilerle desteklenen araç, süreç ve teknolojilerin bütünüdür. Bu süreç sonucunda oluşturulan sayısal bilgi temelli ürün ise “yapı bilgi modeli” olarak adlandırılır. Türkçe yazında sıklıkla karşılaşılan "YBM modeli" ifadesindeki görünürdeki tekrarın kaynağı da budur: kısaltma süreci, sonuna eklenen sözcük ise o sürecin çıktısını karşılamaktadır.

Ulusal YBM Standardı (National Building Information Modeling Standard-NBIMS), YBM kavramını üç temel düzeyde ele

almaktadır. Buna göre YBM; belirli bir yapıya ait nesne tabanlı sayısal veri tabanı olarak bir ürün, bilişim teknolojileri ve açık standartlarla desteklenen bir teslimat ve iş birliği süreci ve son olarak tesisin yaşam döngüsünü kapsayan bir yönetim yaklaşımıdır. Bu sınıflandırma, YBM'nin yalnızca bir yazılım ya da modelleme tekniği olarak değerlendirilmesinin kavramın kapsamını daralttığını göstermektedir. Nitekim yapı bilgi modeli, bir yapıya ilişkin geometri, performans, planlama, yapım ve işletme bilgilerini bütünleştiren sayısal bir veri tabanı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 6).

Şekil 6 YBM süreci ve çıktısı arasındaki kavramsal ayrım

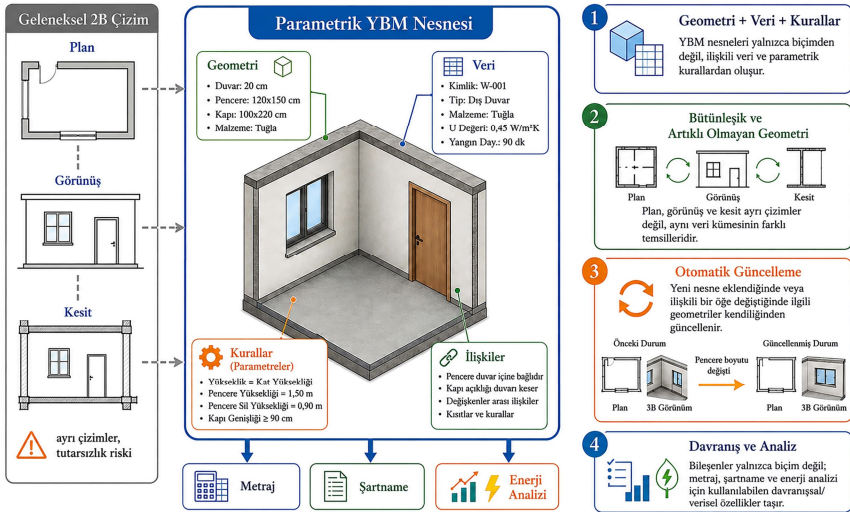


Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

YBM'i geleneksel iki boyutlu çizim üretiminden ayıran teknik çekirdek, nesne tabanlı parametrik modelleme yaklaşımıdır. Sacks ve arkadaşları (2018), parametrik YBM nesnelerinin dört tanımlayıcı özelliğini sıralar. Birincisi, bu nesneler yalnızca geometrik tanımlardan değil, aynı zamanda ilişkili veri ve kurallardan oluşur. İkincisi, geometri artıklı olmayan

(nonredundant) biçimde bütünleşiktir; bir nesnenin planı ile görünüşü birbirinden bağımsız iki çizim değil, aynı veri kümesinin iki temsildir ve dolayısıyla aralarında tutarsızlık oluşamaz. Üçüncüsü, parametrik kurallar, modele yeni bir nesne eklendiğinde veya ilişkili nesnelerde değişiklik yapıldığında ilgili geometrileri kendiliğinden günceller. Dördüncüsü, bileşenler yalnızca biçimlerini değil, davranışlarını da tanımlayan veriler taşır; bu veriler metraj çıkarımı, şartname üretimi veya enerji analizi gibi çözümlemelerin doğrudan model üzerinden yürütülmesini olanaklı kılar (Şekil 7).

Şekil 7 YBM’de nesne tabanlı parametrik modellemenin temel özellikleri



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

YBM'in bir başka karakterizasyonu ise, bilişim teknolojisinin yapı sektöründeki uygulanma düzeyinin bir olgunluk sıralaması üzerinden tanımlanmasıdır. Bu bakışta YBM, tek bir teknolojik eşik değil, bilgisayar destekli çizimle başlayan ve sektörü sayısal çağa taşıyan bir yolculuğun birbirinden ayrılan aşamaları olarak görülür. İngiltere Hükûmeti YBM Görev Grubu'nun

benimsemesinin ardından uluslararası ölçekte yaygınlaşan Bew ve Richards olgunluk modeli, bu aşamaları Düzey 0'dan Düzey 3'e uzanan dört kademede tanımlar (Tablo 3).

Tablo 3 Bew ve Richards YBM olgunluk modeli

Düzey	Tanım	Temel Özellik
Düzey 0	Yönetilmeyen CAD	İki boyutlu, kâğıt ya da elektronik çıktı temelli üretim; ortak bir veri yapısı ve iş birliği protokolü yoktur.
Düzey 1	Yönetilen CAD	Ortak bir veri ortamı ve adlandırma standardı kullanılır; üç boyutlu model kullanımı başlar, ancak disiplinler arası model paylaşımı sınırlıdır.
Düzey 2	İş birlikçi model kullanımı	Her disiplin kendi modelini üretir; modeller ortak bir dosya biçimi üzerinden bir araya getirilerek eşgüdüm sağlanır. İngiltere'de kamu projeleri için asgari hedef olarak belirlenmiştir.
Düzey 3	Tam bütünleşme (Açık YBM)	Merkezî bir havuzda tutulan tek ve paylaşımlı bir model üzerinden tam iş birliği; tüm taraflar aynı modele erişir ve onu değiştirebilir, böylece çelişkili bilgi riski ortadan kalkar.

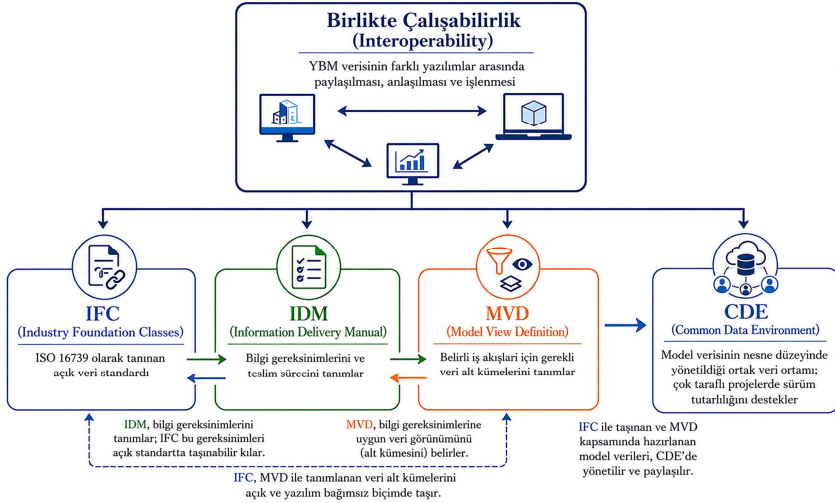
Kaynak: Sacks ve arkadaşlarının (2018) çalışması temel alınarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Bu modelin en çok tartışılan eşiği Düzey 2 ile Düzey 3 arasındadır. Düzey 2'de her disiplin kendi modelini üretmeyi sürdürür ve eşgüdüm, bu ayrı modellerin bir araya getirilmesiyle sağlanır; dolayısıyla çelişkili bilgi riski tümüyle ortadan kalkmaz, yalnızca denetlenebilir hâle gelir. Düzey 3 ise merkezî bir havuzda tutulan tek bir paylaşımlı model öngördüğü için bu son risk katmanını da kaldırır; ancak bu, yalnızca teknik bir altyapı sorunu

değil, aynı zamanda sözleşme yapıları, sorumluluk paylaşımı ve mesleki alışkanlıklarla ilgili bir dönüşüm gerektirir. Bu yaklaşımı destekler biçimde Sacks ve arkadaşları (2018), sektörün Düzey 0'daki görev otomasyonundan Düzey 3'teki bütünleşik ve birlikte çalışabilir iş akışına geçişini, teknolojik bir güncellemeden çok bir süreç dönüşümü olarak niteler.

Farklı üreticiler tarafından geliştirilen YBM yazılımlarının aynı veriyi birbirine aktarabilmesi, doğru biçimde yorumlayabilmesi ve bu veri üzerinde işlem yapabilmesi anlamına gelen birlikte çalışabilirlik (interoperability), söz konusu dönüşümün temel teknik koşuludur. Bu amaçla geliştirilen açık standartların başında, ISO 16739 olarak da tanınan Endüstri Temel Sınıfları (Industry Foundation Classes-IFC) gelir. IFC'nin kapsamı geniş olduğu için, belirli bir iş akışının gerektirdiği veri alt kümelerini tanımlamak üzere Model Görünüm Tanımları (Model View Definitions-MVD) ve bu tanımların dayandığı bilgi gereksinimlerini belirleyen Bilgi Teslim Kılavuzu (Information Delivery Manual-IDM) yapıları geliştirilmiştir. Model verisinin dosya düzeyinde değil nesne düzeyinde yönetilmesini sağlayan Ortak Veri Ortamı (Common Data Environment-CDE) uygulamaları ise, çok taraflı projelerde sürüm tutarlılığının korunmasına hizmet eder (Şekil 8). Bu yapıların ortak amacı, farklı yazılım ve paydaşlar arasında veri alışverişini yalnızca mümkün kılmak değil, aktarılan bilginin anlamını ve kullanım değerini de korumaktır. Dolayısıyla birlikte çalışabilirlik, basit bir dosya dönüştürme işleminden çok, geometrik ve anlamsal bilginin sürekliliğini sağlayan bütüncül bir veri yönetimi yaklaşımı olarak değerlendirilmelidir. Bu standartların önemi, 3.4'te ele alınacak aktarım sorunları bağlamında yeniden gündeme gelecektir; zira farklı YBM platformlarının nesne davranışlarını farklı biçimde tanımlaması, hem platformlar arası hem de platform-oyun motoru aktarımlarındaki temel güçlüğün kaynağıdır.

Şekil 8 YBM’de birlikte çalışabilirliği destekleyen açık standartlar ve veri yönetim yapıları



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

3.2. Yapı Bilgi Modellemesi'nin boyutları: üç boyuttan n boyuta

YBM yazınında sıkça kullanılan "boyut" kavramı, geometrik anlamdaki uzamsal boyutlardan farklı bir şeye işaret eder. Burada boyut, üç boyutlu model geometrisine eklenen yeni bir veri katmanını ifade eder. Modele eklenen her boyut; zaman, maliyet, sürdürülebilirlik veya işletme gibi farklı bir alana ilişkin bilgi sağlayarak modelin belirli yönetsel sorulara yanıt vermesini mümkün kılar. Böylece YBM, yalnızca yapının görsel temsilini sunan bir araç olmaktan çıkarak planlama, değerlendirme ve karar alma süreçlerini destekleyen bütünselik bir ortama dönüşmektedir.

Üç boyutlu model, geometri ve nesne verisini taşır; görselleştirme, disiplinler arası çakışma denetimi ve tasarım eşgüdümü bu düzeyde gerçekleşir. Dördüncü boyut, modeli iş programıyla ilişkilendirerek inşaat sürecinin zaman içindeki

gelişiminin benzetimini olanaklı kılar. Beşinci boyut, modele maliyet verisinin eklenmesiyle oluşur. Çelik (2020) göre model tabanlı maliyet tahmini, güncel metraj bilgilerine hızlı ve güvenilir biçimde erişilmesini sağlarken, farklı tasarım seçeneklerinin oluşturduğu maliyet farklarının da kolaylıkla karşılaştırılmasına olanak sağlar. Yazar, beşinci boyutun yalnızca model tabanlı maliyet analiziyle sınırlı görülmemesi, bunun yerine maliyetlerin proje yaşam döngüsü boyunca bütünleşik biçimde ele alındığı bir “maliyet yaşam planı” olarak değerlendirilmesi gerektiğini vurgular. Maliyet ve zaman verilerinin birlikte kullanılması, proje bütününe ilişkin kritik analizlerin yapılmasına olanak tanırken, aynı zamanda makine öğrenmesi gibi yöntemlerle işlenebilecek kapsamlı bir sayısal veri kaynağı oluşturur. Çelik'in (2020) çalışması aynı zamanda bu boyutların pratikte neden sorunsuz işlemediğine dair önemli bir uyarı da içerir. Tüm inşaat süreçlerinin beşinci boyutta modellenememesi, kesin bir maliyet tahmini için iki boyutlu çizimlerle çalışmayı sürdürme zorunluluğunu doğurmaktadır. Buna ek olarak, verinin toplanması aşamasındaki düzensizlikler ciddi kayıplara yol açmakta; güncellenmeyen ve tutarsız veri, karar destek sistemine katkı sağlamak bir yana, karar vericilerin hatalı sonuçlara ulaşmasına neden olabilmektedir. Yazarın önerdiği çözüm, saha personelinin kolaylıkla benimseyebileceği uygun bir veri aktarım yönteminin belirlenmesi ve bu yöntemin mevcut çalışma alışkanlıklarını kesintiye uğratmadan geleneksel süreçlerle bütünleştirilmesidir. Bu yaklaşım, bir teknolojinin başarıyla uygulanabilmesi için yalnızca teknik yeterliliğin değil, kullanıcıların uyum sağlama ve benimseme koşullarının da tasarım sürecinde dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Aynı derlemede yer alan Zorlutuna ve arkadaşlarının (2020) çalışması, boyut tartışmasının uygulamadaki karşılığını somutlaştırır. M9 İkitelli-Ataköy metro hattı projesinde perde duvar sistemlerinin metraj raporlarının üretilmesi incelenmiş; sistemin

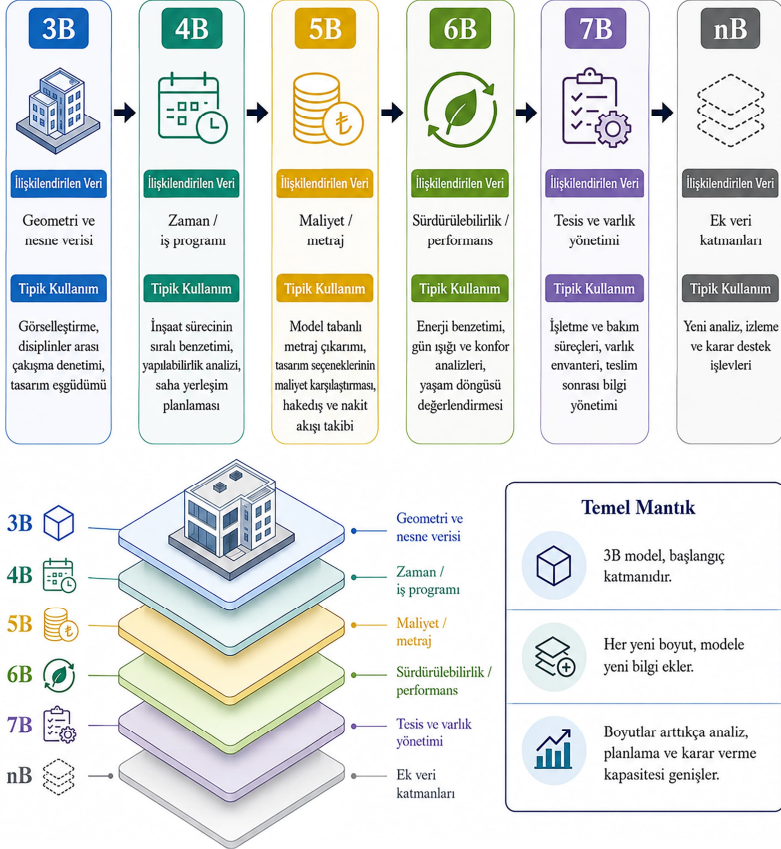
hem mimari hem strüktürel model öğelerinden oluşması nedeniyle, uzunluk ve alan değerlerinin modelleme yazılımının ön tanımlı listeleme özellikleriyle çekilemediği saptanmıştır. Başka bir deyişle, model öğeleri veriyi taşımakta, ancak bu veri istenen bilgi biçiminde çıkarılamamaktadır. Çalışma bu güçlüğü aşmak için görsel programlama eklentilerine başvurmuştur. Bu örnek, yalnızca veriye sahip olmanın yeterli olmadığını; asıl değer, bu verinin anlamlı ve kullanılabilir bilgiye dönüştürülmesiyle ortaya çıktığını göstermektedir. Bu ayrım, ilerleyen bölümlerde ele alınacak verilerin oyun motorlarına aktarılması konusuna da kavramsal bir zemin hazırlamaktadır.

Altıncı ve yedinci boyutlar ise sırasıyla sürdürülebilirlik/performans analizleri ile tesis ve varlık yönetimi süreçlerine karşılık gelir. Bu iki üst boyutun adlandırılması yazında tümüyle standartlaşmış değildir; kimi kaynaklar altıncı boyutu tesis yönetimiyle, kimileri ise sürdürülebilirlikle ilişkilendirir. Terimlerin kullanımında farklılıklar bulunsa da temel yaklaşım aynıdır: modele eklenen her yeni veri katmanı, yapının yaşam döngüsünün farklı bir aşamasına ilişkin analiz ve karar verme olanaklarını genişletir. Dolayısıyla boyutların sayısal olarak nasıl adlandırıldığından çok, modelin hangi bilgi türlerini bütünleştirdiği ve bu bilgilerin hangi karar süreçlerini desteklediği önem kazanmaktadır. Bu yaklaşım, YBM'nin yalnızca tasarım ve yapım aşamalarına değil, kullanım, bakım, performans değerlendirmesi ve yaşam döngüsü yönetimine kadar uzanan bütüncül bir bilgi ortamı olarak ele alınmasını gerektirir (Şekil 9).

Bu genişleme, YBM'nin eğitimdeki kapsamını ve önemini de artırmaktadır. Üç boyutlu model oluşturmayı öğrenmek, YBM yetkinliğinin yalnızca başlangıç düzeyini oluşturur. Öğrencinin zaman, maliyet, performans ve işletme verilerinin modele nasıl bütünleştirildiğini kavraması ise mesleki uygulamada karşılaşacağı çok boyutlu sorunlara hazırlanmasını sağlar. Bu nedenle YBM

eğitiminin yalnızca model üretme becerisine odaklanması yeterli değildir.

Şekil 9 YBM boyutlarının genişlemesi ve eğitimdeki yansımaları



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Öğrencinin modelde yer alan veriler arasındaki ilişkileri okuyabilmesi, bu verileri farklı analiz süreçlerinde kullanabilmesi ve elde edilen sonuçları tasarım kararlarıyla ilişkilendirebilmesi de temel bir yetkinlik olarak değerlendirilmelidir. Böyle bir yaklaşım, öğrenciyi yalnızca sayısal model üreten bir kullanıcı olmaktan çıkarak, yapı yaşam döngüsü boyunca üretilen bilgiyi

yorumlayabilen ve karar süreçlerine dâhil edebilen bir meslek insanı olmaya hazırlar. Bu konu, bir sonraki alt bölümde ele alınmaktadır.

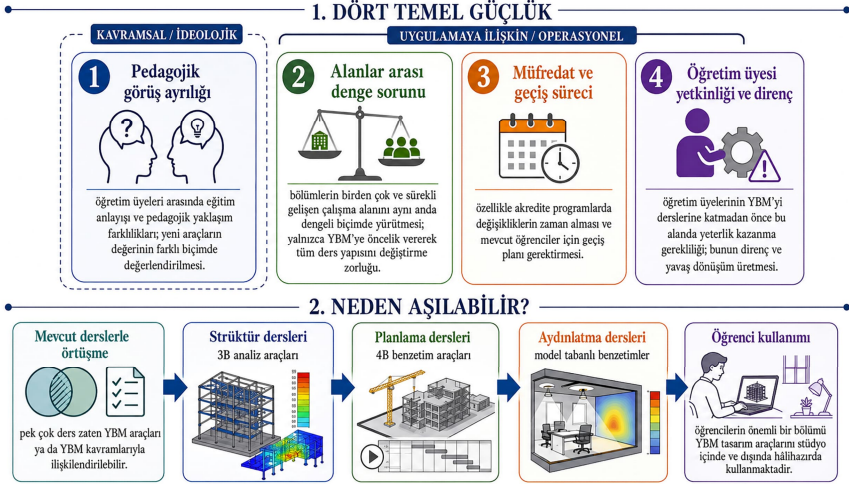
3.3. Yapı Bilgi Modellemesi ve eğitim

YBM'in yükseköğretim müfredatına dâhil edilmesi, teknik bir içerik ekleme sorunu olmanın ötesinde, program yapısına ilişkin bir karar sorunudur. Sacks ve arkadaşları (2018), bu kararın önündeki dört temel güçlüğü tanımlar. Bu güçlüklerin ilki, öğretim üyeleri arasındaki eğitim anlayışı ve pedagojik yaklaşım farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Yazarlar bu durumu, 1980'li ve 1990'lı yıllarda bazı öğretim üyelerinin bilgisayar destekli çizimin eğitim ve sektör üzerindeki etkisini öngörememesi, hatta öğrencilerin bu araçları kullanmasını sınırlandırmasıyla karşılaştırmaktadır. İkinci güçlük, bölümlerin birden fazla ve sürekli gelişen çalışma alanını aynı anda dengeli biçimde yürütmek zorunda olmasıdır. Bu nedenle yalnızca YBM'ye öncelik verilerek ders programının bütünüyle yeniden yapılandırılması kolay değildir. Üçüncü güçlük, özellikle akredite programlarda müfredat değişikliklerinin zaman alması ve mevcut öğrenciler için uygun bir geçiş planı gerektirmesidir. Son ve en belirleyici güçlük ise öğretim üyelerinin YBM'yi derslerine dâhil etmeden önce bu alanda yeterlik kazanmalarının gerekmesidir. Bu öğrenme süreci, değişime karşı direnç oluşturabilmekte ve kurumsal dönüşümün uzun bir zamana yayılmasına neden olabilmektedir.

Yazarlar, son üç güçlüğü uygulamada sanıldığından daha kolay aşılabileceğini belirtmektedir. Bunun temel nedeni, mevcut derslerin önemli bir bölümünde YBM araçlarının hâlihazırda kullanılması veya ders içeriklerinin YBM kavramlarıyla ilişkilendirilmiş olmasıdır. Strüktür derslerinin üç boyutlu analiz araçlarıyla yürütülmesi, planlama derslerinde dört boyutlu benzetim araçlarının kullanılması ve aydınlatma derslerinde model tabanlı benzetimlere başvurulması bu duruma örnek gösterilir. Dahası,

öğrencilerin önemli bir bölümü YBM tasarım araçlarını stüdyo içinde ve dışında hâlihazırda kullanmaktadır (Şekil 10).

Şekil 10 YBM'nin yükseköğretim müfredatına entegrasyonu



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Bu koşullar altında geliştirilen müfredat entegrasyon yaklaşımları üç modelde toplanabilir (Tablo 4). Birinci model, YBM'in mevcut derslerin içinde zaten öğretildiği ya da öğretileceği varsayımına dayanır ve lisans düzeyinde neredeyse hiçbir değişiklik öngörmez; bunun yerine son sınıfa bütünlüklük bir tasarım-mühendislik stüdyosu, lisansüstüne ise ileri düzey YBM dersleri eklenir.

Tablo 4 YBM'nin lisans müfredatına entegrasyonunda üç model

Model	Yaklaşım	Müfredat Üzerindeki Etkisi
Birinci model	YBM'in zaten mevcut derslerin içinde öğretildiği varsayılır; lisans son sınıfa bütünlük bir tasarım-mühendislik stüdyosu, lisansüstüne ileri düzey YBM dersleri eklenir.	Mevcut müfredatta hiç ya da çok az değişiklik gerektirir.
İkinci model	Mevcut lisans programına, ağırlıklı olarak YBM araçlarına ve temel kavramlarına odaklanan birkaç giriş dersi eklenir.	Ara düzeyde bir değişiklik; program yapısı korunur.
Üçüncü model	Mevcut bir program YBM odaklı hâle getirilir ya da tümüyle yeni, YBM'e özgü bir derece programı açılır.	En kapsamlı dönüşüm; sektör talebine hızlı yanıt verir, ancak akreditasyon ve geçiş süreci yönetimi gerektirir.

Kaynak: Sacks ve arkadaşlarının (2018) çalışması temel alınarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

İkinci model, mevcut lisans programına ağırlıklı olarak araç ve temel kavram odaklı birkaç giriş dersi ekleyen ara bir yaklaşımdır. Üçüncü model ise mevcut bir programı YBM odaklı hâle getiren ya da tümüyle yeni bir YBM derece programı açan en kapsamlı seçenektir; sektör talebine hızlı yanıt vermesi nedeniyle çok sayıda lisans programı tarafından benimsenmiştir.

Üniversite programlarının yanı sıra, sürekli eğitim ya da yüksek lisans programlarının parçası olarak yürütülen YBM eğitim ve sertifika programları da yaygınlaşmıştır. Georgia Institute of Technology, Stanford University, University of Washington ve Tallinn Teknoloji Üniversitesi bu programların örnekleri arasında sayılmaktadır. Bu programların ders başlıkları incelendiğinde, YBM eğitiminin salt araç kullanımıyla sınırlı kalmadığı görülür. Tasarımda nesne tabanlı modelleme ve model tabanlı analizden dört boyutlu modelleme, benzetim, iş programı ve tesis yönetimine; süreç modelleme ve çakışma denetimine kadar uzanan bu başlıklar, YBM

yetkinliğinin teknik, yönetsel ve iş birliğine dayalı boyutlarını bütüncül biçimde kapsamaktadır.

Bu tabloya Türkiye bağlamı da eklenebilir. Türk yapı sektöründe YBM'in benimsenme eğilimlerini inceleyen çalışmalar, konunun yalnızca uluslararası bir gündem olmadığını; ulusal ölçekte de hem sektörel hem akademik bir araştırma alanı oluşturduğunu göstermektedir (Ozener ve arkadaşları, 2020).

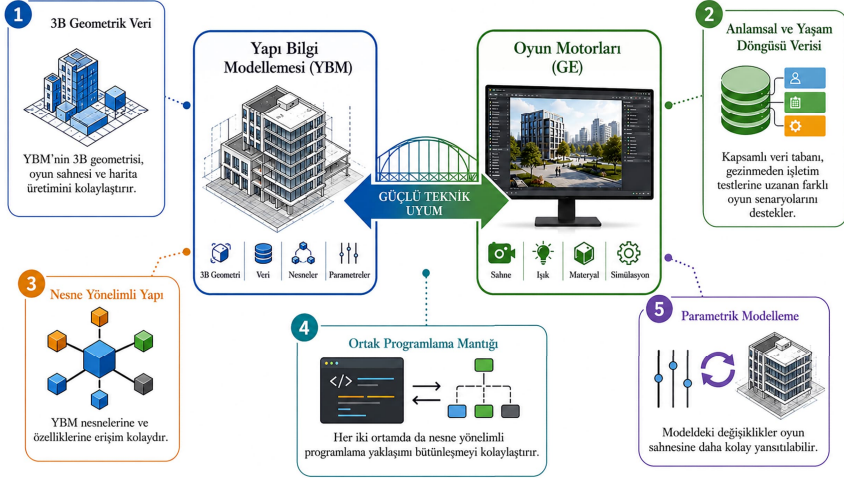
Ancak bu alt bölümün asıl önemi, YBM eğitiminin kendi içinde taşıdığı bir gerilimde yatar. YBM, doğası gereği çok disiplinli ve süreç odaklı bir yaklaşımdır; buna karşılık yükseköğretim programları çoğunlukla disipline göre ayrılmış ve ders temelli bir yapıda örgütlenmiştir. Bir öğrencinin YBM'i gerçek anlamda kavraması, yalnızca bir yazılımı kullanmayı değil, farklı disiplinlerin ürettiği modellerin nasıl bir araya geldiğini, hangi noktalarda çeliştiğini ve bu çelişkilerin nasıl çözüldüğünü deneyimlemesini gerektirir. Geleneksel ders ortamında bu deneyimin sağlanması güçtür. İşte tam bu noktada, ikinci bölümde tartışılan oyunlaştırma ve ciddi oyun yaklaşımları ile bir sonraki alt bölümde ele alınacak oyun motoru bütünleşmesi, YBM eğitiminin yapısal bir sorununa yanıt üretme potansiyeli taşımaktadır.

3.4. Yapı Bilgi Modellemesi'nin oyun motorlarıyla bütünleşmesi

YBM ile oyun motorlarının (Game Engine-GE) bir araya getirilmesi, alanın kurucu çalışmalarından biri olan Yan ve arkadaşlarının (2011) makalesiyle sistematik bir zemine oturmuştur. Yazarlar, YBM'in oyun ortamlarıyla neden bu denli uyumlu olduğunu beş teknik gerekçeyle dayandırır. Birincisi, YBM'in üç boyutlu geometrik verisi, oyunlardaki sahne ve harita üretimini kolaylaştırır. İkincisi, YBM'in anlamsal veriyi ve yapı yaşam döngüsü verisini içeren kapsamlı veri tabanı, basit bir gezinme deneyiminden karmaşık bina işletim testlerine uzanan farklı oyun kurgularına olanak tanır. Üçüncüsü, YBM'in nesne yönelimli

modelleme yapısı, nesnelere ve özelliklerine erişimi kolaylaştırır. Dördüncüsü, hem oyun hem YBM araçlarının geliştirilmesinde nesne yönelimli programlama paradigmasının kullanılması, iki ortamın bütünleştirilmesini teknik olarak olanaklı kılar. Beşincisi, YBM'in parametrik modelleme yaklaşımı, modelde yapılan değişikliklerin oyun sahnelerine yansıtılmasını, parametrik olmayan modellemeye kıyasla çok daha kolay hâle getirir. Bu özellikler birlikte değerlendirildiğinde, YBM'nin oyun motoruna yalnızca geometrik bir model aktarmadığı, aynı zamanda yapılandırılmış ve anlam taşıyan bir veri kaynağı sunduğu görülmektedir. Böylece oyun ortamı, yalnızca görsel bir temsil alanı olmaktan çıkarak nesne özelliklerinin sorgulanabildiği, farklı senaryoların sınanabildiği ve kullanıcı etkileşimine bağlı sonuçların üretilebildiği bir çalışma ortamına dönüşebilir. Bu bütünleşme özellikle eğitim, tasarım değerlendirmesi, işletme benzetimleri ve karar destek uygulamalarında YBM verisinin etkileşimli biçimde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla YBM ile oyun motorları arasındaki uyumun temelinde yalnızca üç boyutlu geometri değil, geometriyle birlikte taşınan veri, ilişkiler ve parametrik davranışlar bulunmaktadır (Şekil 11).

Şekil 11 YBM ve oyun motorları arasındaki teknik uyumun ilkeleri



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Bu beş gerekçenin ortak paydası dikkat çekicidir: hiçbir görselleştirme kalitesiyle ilgili değildir. Yazarların öne çıkardığı üstünlük, görsel nitelikten çok yapısal özelliklere dayanmaktadır. YBM; oyun ortamlarının gereksinim duyduğu yapılandırılmış, erişilebilir ve güncellenebilir veriyi sağlayan kapsamlı bir kaynak sunar. Bununla birlikte çalışma, oyun geliştirme araçları ile yaygın tasarım yazılımları arasında geometrik verinin kolay ve doğrudan biçimde aktarılmasını sağlayan uygun yöntemlerin bulunmamasını dönemin temel teknik sorunu olarak tanımlamaktadır. Öğrencilerin oyun sahnesi üretebilmek için, tasarım iş akışlarından kopuk ayrı bir düzenleyici aracı öğrenmek zorunda kalması, yazarların tasarım verisiyle sürülen (design-data-driven) açık ve modüler bir oyun platformu önermelerinin gerekçesini oluşturur.

Bu erken tespitin ardından geçen süre, sorunun biçim değiştirdiğini ancak ortadan kalkmadığını göstermektedir. Rehman ve arkadaşlarının (2025) YBM-oyun motoru bütünleşmesine ilişkin

kapsamlı derlemesi, birlikte çalışabilirliğin hâlâ süregelen bir sorun olduğunu ortaya koyar: YBM'in yapılandırılmış parametrik verisi, oyun motorlarının ağ (mesh) tabanlı ortamına verimli biçimde aktarılamamakta; bu da veri kaybına, elle yeniden çalışmaya ve model doğruluğunda tutarsızlığa yol açmaktadır. Derlemede aktarılan bulgulara göre, kimi dönüştürme iş akışlarında özellikle nesne üst verisi ve mekânsal ilişkiler düzeyinde belirgin bilgi kaybı yaşanmaktadır. İkinci bir güçlük ölçeklenebilirliktir; büyük YBM veri kümeleri gerçek zamanlı görüntüleme için yüksek işlem gücü gerektirdiğinden, performansın korunabilmesi ayrıntı düzeyi ayarlamalarını ve ön işleme tekniklerini zorunlu kılmaktadır.

De Marco'nun (2022) daha önce değinilen çalışması, bu değerlendirmeyi tamamlayan bir bakış açısı sunmaktadır. Çalışmaya göre geometrinin sanal oyun ortamlarına aktarılması artık büyük ölçüde yerleşmiş bir uygulamadır. Güncel temel sorun ise dışa aktarma sürecinde, sanal ortamda kullanılmaya elverişli bir model topolojisi oluşturulurken modelde bulunan bilgi ve üstverinin eş zamanlı olarak korunabilmesidir. Yazara göre mevcut ticari iş akışlarında eksik olan bileşen tam olarak budur. Aynı sorun Pybus ve arkadaşlarının (2019) Kanada Parlamentosu Merkez Blok üzerinde yürüttüğü çalışmada da karşımıza çıkmaktadır. Tek tuşla YBM'den sanal gerçekliğe aktarım vadeden ticari araçların, kamuya yönelik bir anlatı deneyimi kurmak için yetersiz kaldığı; modelin görüntülenmesini sağladığı ancak kapsamlı bir sunum projesine dönüştürülmesine izin vermediği saptanmıştır. Yazarlar bu nedenle Yan ve arkadaşlarının (2011) önerdiği ara katman (crossover module) yaklaşımına dayanan, ağ geometrisini düzenleyen ve iyileştiren titiz bir son işleme iş akışının gerekliliğini vurgular.

Kullanılan araçların dağılımı da bu teknik tartışmanın bir parçasıdır. Safikhani ve arkadaşlarının (2022) sistematik derlemesi, incelenen çalışmalarda oyun motoru tercihinin belirgin biçimde yoğunlaştığını göstermektedir. Unity'nin yaygınlığında, görsel

programlama araçlarının programlama geçmişi olmayan kullanıcılara da erişim sağlaması etkili görünmektedir. Unreal Engine'in payı ise daha sınırlıdır; ancak dördüncü sürümüyle birlikte ücretsiz ve kamuya açık hâle gelmesi, bu motora yönelik ilgiyi artırmıştır. Aynı derlemede, Unreal Engine için geliştirilen veri aktarım eklentilerinin çeşitli YBM araçları ve dosya biçimleriyle veri alışverişini daha hızlı ve daha yapılandırılmış hâle getirdiği belirtilmektedir. Donanım tarafında ise başa takılan görüntüleme aygıtlarının belirli modellerinde yoğunlaşma gözlenmekte; mobil temelli çözümlerin düşük maliyet ve kablolu kullanım üstünlüğüne karşılık, işlem gücü sınırlılığı nedeniyle görselleştirme kalitesinden ödün verdiği vurgulanmaktadır.

Bu teknik çerçevenin eğitim bağlamındaki en açık uygulamalarından biri Anifowose ve arkadaşlarının (2022) çalışmasıdır. Bu çalışma, Yan'ın 2011'deki kurucu makalesiyle aynı araştırma hattının on yıl sonraki eğitim odaklı devamı olması bakımından da dikkate değerdir. Araştırmacılar, Farnsworth Evi üzerinden bir sanal gerçeklik oyunu geliştirmiş; yapıyı önce bir YBM ortamında ayrıntılı olarak modelleyip, soyut kavram modellerini ayrı bir araçta üreterek bunları oyun motorunda birleştirmiştir. Çalışmanın özgün katkısı, oyun zorluk düzeylerini farklı geliştirme düzeyleriyle (Level of Development-LOD) eşleştirmesidir; böylece yapı, kavramsal tasarımdan ayrıntılı tasarıma uzanan bir ölçekte kademeli olarak öğretilmektedir. Kullanıcılar önce yapıyı serbestçe keşfetmekte, ardından bir montaj görevi aracılığıyla öğrendiklerini sınamaktadır. Elde edilen geri bildirimler, sanal ortamda yalnızca yapı geometrisinin değil, dolaşım ve doğal aydınlatma gibi soyut kavram modellerinin de sunulmasının bilgi kalıcılığını artırdığına işaret etmektedir.

Aynı çalışma, teknik güçlükleri de açıklıkla ortaya koyar. Araştırmacılar, YBM nesnelerinin oyun nesnelerine dönüştürülmesi sırasında geometri verisinin korunmasında ve özel betik üretiminde

zorluklarla karşılaştıklarını belirtmekte; bu sorunu, ağır YBM dosyalarının içe aktarılmasına olan bağımlılığı azaltan bir nesne üretme sistemi geliştirerek aşmışlardır. Bu çözüm, 3.1'de değinilen parametrik nesne mantığının pratikteki sınırını görünür kılmaları bakımından öğreticidir. Model, kuramsal olarak taşınabilir bir veri kümesi olsa da, aktarım her zaman doğrudan ve kayıpsız gerçekleşmemektedir.

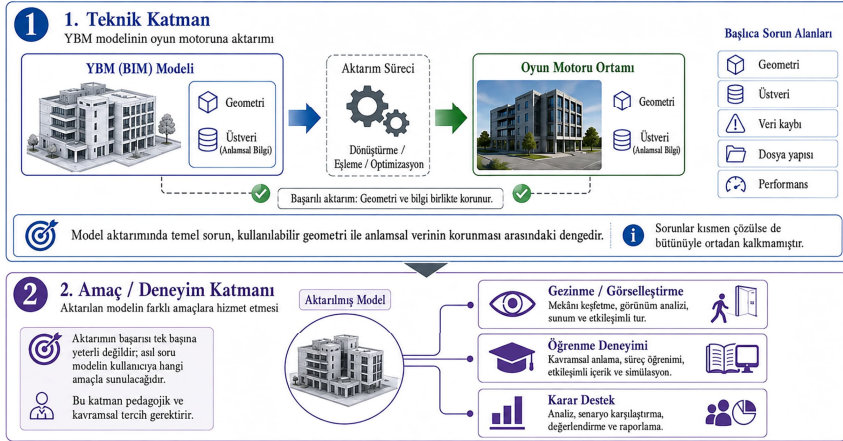
Bu bütünleşmenin uygulama alanları eğitimle sınırlı değildir. Davidson ve arkadaşlarının (2020) çalışması, sanal gerçeklik ile YBM'in bütünleştirilmesini metraj üretimi bağlamında ele alarak beşinci boyutla doğrudan ilişkilendirir. Liu ve arkadaşlarının (2014) çalışması, YBM tabanlı bir ciddi oyun ortamında acil durum tahliyesini konu edinerek, modelin insan davranışı benzetimine zemin oluşturabileceğini gösterir. Kapogiannis ve arkadaşlarının (2020) çalışması ise oyunlaştırılmış bir YBM ortamını maliyet ve tesis yönetimi süreçleriyle ilişkilendirir. Danker ve Jones (2014) ise bu tartışmayı akademik alandan sektöre taşıyarak, artırılmış gerçeklik ve YBM birlikteliğini yapı sektörü profesyonelleriyle yürütülen görüşmeler ve bir anket çalışması üzerinden değerlendirir; böylece teknik olanaklar ile sektörel benimseme arasındaki açıklığı görünür kılar.

Ayrıca bu bütünleşme, tarihî yapı ve kültürel miras alanında da erken bir uygulama zemini bulmuştur. Boeykens (2011), parametrik modelleme, YBM ve oyun motorlarının tarihî yapıların yeniden kurgulanmasında birlikte kullanılabileceğini çok sayıda örnek üzerinden tartışmış; Yönder (2021) ise YBM modellerinin sayısal oyun ortamına aktarılmasını, YBM araçları ve oyun betikleriyle bir oyun ortamı kurma sorunu olarak ele almıştır. Ashour ve Yan (2020) ve Ashour ve arkadaşlarının (2022) artırılmış gerçeklik odaklı çalışmaları ise bütünleşmeyi tümüyle sanal bir ortamdan çıkarıp fiziksel mekânla üst üste bindirme sorununa taşımaktadır.

Bu alışmalar birlikte değerlendirildiğinde, YBM ile oyun motoru bütünüleşmesinin iki temel katmanda ele alınabileceği görülmektedir. Birinci katman, YBM modelinin oyun motoruna aktarılması sırasında ortaya çıkan geometri, üstveri, veri kaybı, dosya yapısı ve performans sorunlarını kapsayan teknik boyuttur. Bu sorunlar on beş yılı aşkın süredir araştırılmakta; farklı veri aktarım yöntemleri ve yazılım araçlarıyla önemli ölçüde azaltılabilmekle birlikte bütünüyle ortadan kaldırılamamaktadır. Özellikle geometrinin oyun motorunda kullanılabilir hâle getirilmesi ile YBM modelinde bulunan anlamsal ve nesne temelli bilginin korunması arasındaki denge, bütünüleşmenin temel teknik sorunlarından biri olmaya devam etmektedir. Bu nedenle başarılı bir aktarım, yalnızca model geometrisinin oyun ortamına taşınmasını değil, modelin içerdieği bilginin de mümkün olduğunca korunmasını gerektirmektedir.

İkinci katman ise aktarılan modelin hangi amaç doğrultusunda kullanılacağını belirleyen deneyim ve kullanım boyutudur. Aynı YBM modeli oyun motoruna aktarıldıktan sonra yalnızca yapının gezilebildiği bir görselleştirme ortamına, belirli görev ve etkileşimlerin yer aldığı bir öğrenme deneyimine ya da çeşitli tasarım ve işletme seçeneklerinin değerlendirilebildiği bir karar destek aracına dönüştürülebilir. Dolayısıyla modelin oyun motoruna başarılı biçimde aktarılmış olması, tek başına anlamlı bir uygulama ortaya çıkarmak için yeterli değildir. Kullanıcıya hangi bilgilerin sunulacağı, hangi etkileşimlerin sağlanacağı ve deneyimin hangi öğrenme ya da karar verme hedeflerine hizmet edeceği ayrıca belirlenmelidir. Bu aşamada teknik altyapının ötesine geçen pedagojik ve kavramsal tercihler önem kazanmaktadır (Şekil 12).

Şekil 12 YBM modelinin oyun motoruna aktarımı ve kullanım amaçları



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Bir sonraki bölümde ele alınacak sanal, artırılmış ve genişletilmiş gerçeklik teknolojileri de YBM verisinin kullanıcıya hangi deneyim biçimi içinde sunulacağını belirleyen temel ortamları oluşturmaktadır. Böylece tartışma, “model oyun motoruna nasıl aktarılır?” sorusundan “aktarılan model kullanıcıya nasıl ve hangi amaçla deneyimletilir?” sorusuna doğru genişlemektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM:

SANAL, ARTIRILMIŞ VE GENİŞLETİLMİŞ GERÇEKLİK

4.1. Kavramsal çerçeve: gerçeklik-sanallık sürekliliği

Önceki bölümde, Yapı Bilgi Modellemesinin (YBM) oyun motorlarıyla bütünleştirilmesinin iki temel boyut içerdiği ortaya konmuştur. Bunlardan ilki model aktarımı sırasında karşılaşılan teknik güçlükler, ikincisi ise aktarılan modelin hangi amaçla kullanılacağını belirleyen pedagojik tercihtir. Pedagojik tercih, kullanıcıya sunulacak deneyimin niteliğini doğrudan etkilediği için modelin hangi gerçeklik ortamında kullanılacağı sorusunu da gündeme getirmektedir. Bu bölümde söz konusu ortamların kavramsal sınırları, teknolojik altyapıları ve öğrenme kuramlarıyla ilişkileri ele alınmaktadır.

Alanın terminolojik zeminini kuran çalışma, Milgram ve Kishino'nun (1994) karma gerçeklik görsel sunum sistemleri üzerine geliştirdiği taksonomidir. Yazarların bu çalışmayı yazma gerekçesi dikkate değerdir. Alanda çalışan araştırmacılar arasında kavram sınırlarının belirsiz ve terim kullanımının tutarsız olduğunu gözlemlemişler ve bu belirsizliği gidermek üzere sistematik bir sınıflandırma çerçevesi önermişlerdir. Bu gerekçe, otuz yılı aşkın süre sonra bugün de geçerliliğini korumaktadır; sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve genişletilmiş gerçeklik terimleri yazında sıklıkla birbirinin yerine, tanım verilmeksizin kullanılmaktadır.

Yazarların önerdiği temel kavram, gerçeklik-sanallık sürekliliğidir (virtuality continuum). Bu süreklilik, bir uçta yalnızca gerçek nesnelerden oluşan ortamları, diğer uçta ise yalnızca sanal nesnelerden oluşan ortamları konumlandırır. Sanal gerçekliğe ilişkin yerleşik kanı, katılımcının tümüyle içine daldığı ve fiziksel çevreden büyük ölçüde koptuğu bir deneyim olduğu yönündedir. Ancak Milgram ve Kishino'ya (1994) göre bu yaklaşım, tam daldırma ve tam sentezin söz konusu olmadığı, gerçek ve sanal öğelerin farklı oranlarda bir araya geldiği çok sayıdaki ara ortamı açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yazarlar, gerçek ve sanal çevreleri birbirinden kesin sınırlarla ayırmak yerine, aynı eksen üzerinde konumlanan geçişli bir yapı içinde değerlendirmeyi önermektedir.

Bu ara bölgede yer alan ve gerçek ile sanal dünyanın farklı biçimlerde birleştirildiği durumlar, karma gerçeklik (Mixed Reality-MR) şemsiyesi altında toplanmaktadır. Artırılmış gerçeklik (Augmented Reality-AR), temel çevrenin gerçek olduğu ve bu çevrenin bilgisayar tarafından üretilen sanal öğelerle zenginleştirildiği durumu ifade eder. Artırılmış sanallık (Augmented Virtuality-AV) ise bunun tersine, temel çevrenin sanal olduğu ve bu ortama gerçek dünyadan alınan nesne, görüntü ya da diğer verilerin eklendiği deneyimleri kapsar. Böylece AR gerçeklik ucuna, AV ise sanallık ucuna daha yakın bir konumda yer almaktadır.

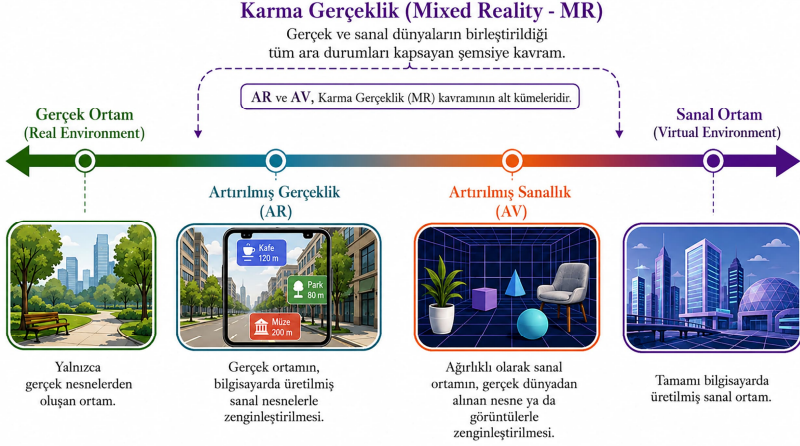
Bu sınıflandırma, teknolojileri kullanılan donanımına göre değil, gerçek ve sanal öğelerin deneyim içinde nasıl birleştiğine göre tanımlar. Aynı cihaz, içerik ve etkileşim biçimine bağlı olarak sürekliliğin farklı noktalarında yer alabilir. Bu nedenle AR, AV ya da sanal ortam ayırımında belirleyici olan deneyimlenen çevrenin yapısıdır. Yaklaşım, bulanıklaşan teknolojik sınırların tutarlı biçimde sınıflandırılmasına ve genişletilmiş gerçeklik (XR) kavramının anlaşılmasına kuramsal zemin sağlar. Süreklilik üzerindeki bu kavramlar Tablo 6'da özetlenmiş ve Şekil 13'de grafiksel olarak ifade edilmiştir.

Tablo 5 Gerçeklik-sanallık sürekliliği üzerindeki temel kavramlar

Kavram	Süreklilik Üzerindeki Konumu	Tanımlayıcı Özellik
Gerçek Ortam (Real Environment)	Sürekliliğin sol ucu	Yalnızca gerçek nesnelerden oluşan ortamlar; doğrudan gözlem ya da gerçek bir sahnenin görüntü aktarımı bu kapsamdadır.
Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality-AR)	Gerçek uca yakın ara bölge	Gerçek bir ortamın görüntüsünün, bilgisayarda üretilmiş sanal nesnelerle zenginleştirilmesi.
Artırılmış Sanallık (Augmented Virtuality-AV)	Sanal uca yakın ara bölge	Ağırlıklı olarak sanal bir ortamın, gerçek dünyadan alınan nesne ya da görüntülerle zenginleştirilmesi.
Sanal Ortam (Virtual Environment)	Sürekliliğin sağ ucu	Yalnızca sanal nesnelerden oluşan, tümüyle bilgisayarda üretilmiş ortamlar.
Karma Gerçeklik (Mixed Reality-MR)	İki uç arasındaki tüm ara bölge	Gerçek ve sanal dünyaların birleştirildiği bütün durumları kapsayan şemsiye kavram; AR ve AV bu kapsamın alt kümeleridir.

Kaynak: Milgram ve Kishino (1994) temel alınarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 13 Gerçeklik-sanallık aksında AR, AV ve VR teknolojilerinin konumlanması



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Yazarların katkısı bu doğrusal sıralamayla sınırlı değildir. Milgram ve Kishino (1994), altı farklı karma gerçeklik sunum sınıfı tanımlamış; ancak bu sınıfları yalnızca video temelli mi yoksa bilgisayar grafiği temelli mi oldukları, gerçek dünyanın doğrudan mı yoksa bir elektronik aracıyla mı görüldüğü, izleyicinin ortamın içinde mi yoksa dışarıdan bakan konumda mı olduğunun tasarlandığı gibi ölçütlere göre ayırmaya çalıştıklarında, her ölçütün birbirinden farklı gruplamalar ürettiğini saptamışlardır. Bu saptama, tek boyutlu bir sıralamanın yetersizliğini ve çok eksenli bir sınıflandırmaya duyulan gereksinimi ortaya koymuştur.

Bunun üzerine geliştirilen yaklaşık üç boyutlu taksonomi, Tablo 6'da özetlenen üç eksen içerir. Dünya Bilgisinin Kapsamı (Extent of World Knowledge-EWK), sunum sistemini denetleyen bilgisayarın, görüntülenen dünyadaki nesnelerin biçimi ve konumu hakkında ne kadar bilgi sahibi olduğunu ifade eder. Eksenin bir ucunda, tarayıcılarla elde edilen ancak içeriği bilinmeyen ham görüntüler; diğer ucunda ise bilgisayarın nesnelerin kimlik ve

konumlarıyla gözlemcinin bakış açısını eksiksiz bildiği tümüyle sanal dünyalar bulunur. Yeniden Üretim Sadakati (Reproduction Fidelity-RF), görüntünün gerçekçilik düzeyini; Mevcudiyet Metaforunun Kapsamı (Extent of Presence Metaphor-EPM) ise gözlemcide sahnenin içindeymiş hissi oluşturma derecesini tanımlar.

Tablo 6 Karma gerçeklik ortamlarının üç boyutlu taksonomisi

Boyut	Yanıtlandığı Soru	Uç Değerleri
Dünya Bilgisinin Kapsamı (Extent of World Knowledge-EWK)	Görüntülenen dünya hakkında ne kadar bilgi sahibiyiz?	Modellenmemiş dünya ↔ Tümüyle modellenmiş dünya
Yeniden Üretim Sadakati (Reproduction Fidelity-RF)	Bu dünyayı ne kadar gerçekçi görüntüleyebiliyoruz?	Basit tel kafes / düşük çözünürlüklü görüntü ↔ Gerçek zamanlı yüksek sadakatli üretim
Mevcudiyet Metaforunun Kapsamı (Extent of Presence Metaphor-EPM)	Gözlemcinin o dünyanın içinde bulunma yanılsaması ne ölçüdedir?	Dışarıdan izleme (dış-merkezli) ↔ Ortamın içinde bulunma (öz-merkezli)

Kaynak: Milgram ve Kishino (1994) temel alınarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

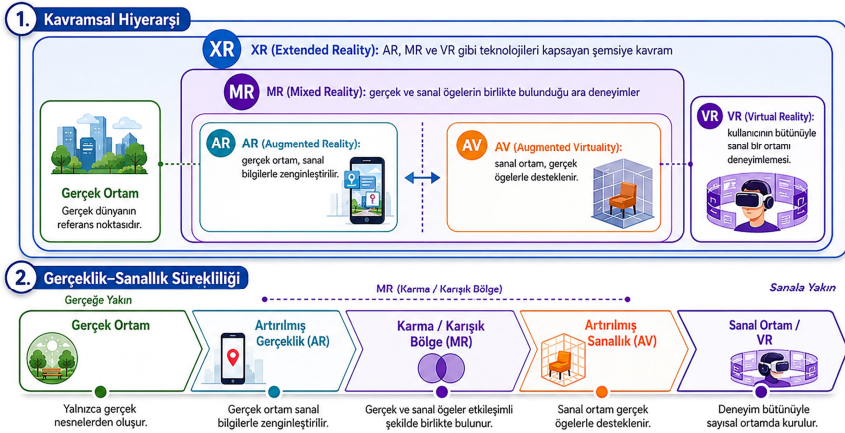
Bu üç eksen den ilki, önceki bölümün tartışmasıyla doğrudan ilişkilidir. Dünya Bilgisinin Kapsamı eksen, aslında bir ortamın ne kadar zengin bir veri kümesine dayandığını ölçmektedir. Dolayısıyla YBM'den türetilen ortamların bu eksen de neden avantajlı bir konumda bulunduğu açıklık kazanır. Nesne kimliklerini, malzeme bilgilerini ve mekânsal ilişkileri taşıyan bir yapı bilgi modeli, sisteme yüksek düzeyde dünya bilgisi sağlar; buna karşılık yalnızca geometrik kabuğu aktarılmış bir model, aynı görsel sadakate sahip olsa dahi bu eksen de geride kalır. Üçüncü bölümde tartışılan üstveri kaybı sorununun eğitsel açıdan neden önemli olduğu da bu noktada belirginleşir. Kaybolan yalnızca veri değil, ortamın kullanıcıya sunabileceği etkileşim ve sorgulama olanağıdır.

Üçüncü eksen olan mevcudiyet metaforu ise, kendi başına geniş bir literatüre kaynaklık etmiştir. Anderson (2015), YBM

modellerinin sanal dünyalarda kullanımını incelediği çalışmasında, uzaktan bulunma (telepresence) ve birlikte bulunma (copresence) kavramlarını, dağınık ekiplerin ortak bir sanal ortamda iş birliği yapmasının kuramsal çerçevesi olarak kullanır. Pybus ve arkadaşları (2019) ise mevcudiyet kavramının kökenini daha da geriye, 1980'li yılların uzaktan bulunma tartışmalarına dayandırmaktadır. Bu kavramsal hat, sürekliliğin yalnızca teknik bir sınıflandırma olmadığını; aynı zamanda kullanıcının o ortamla kurduğu psikolojik ilişkiyi de kapsadığını göstermesi bakımından önemlidir.

Milgram ve Kishino'nun (1994) terminolojisine sonradan eklenen bir kavram ise genişletilmiş gerçekliktir (Extended Reality-XR). Bustos Lopez ve arkadaşlarının (2024) tanımıyla XR, sanalı gerçeğin üzerine bindiren ya da kullanıcıyı tümüyle sanal ve etkileşimli bir ortama taşıyan teknolojik platformların tümünü kapsayan bir şemsiye kavramdır ve tam gerçek ile tam sanal arasındaki geniş yelpazeyi içerir. Aguiar ve arkadaşları (2024) da benzer biçimde XR'ı, VR, AR ve MR teknolojilerinin birlikte anıldığı bir üst terim olarak kullanır. Bu kavramın işlevi, teknolojiler arasındaki sınırların pratikte giderek bulanıklaşması karşısında kapsayıcı bir adlandırma sağlamaktır; ancak bu kolaylık, kavramsal netlik pahasına elde edilmemelidir. Bir çalışmada XR teriminin kullanılması, hangi tür ortamın kastedildiğini belirsiz bırakma gerekçesi olamaz (Şekil 14). Bu nedenle bu bölümde, kapsayıcı ifadelerde XR terimi, belirli bir uygulamadan söz edilirken ise ilgili ortamın kendi adı kullanılacaktır.

Şekil 14 XR, VR, AR ve MR kavramlarının gerçeklik–sanallık sürekliliği içindeki konumu



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

4.2. Teknolojik altyapı

Kavramsal sürekliliğin farklı noktalarında konumlanan ortamlar, birbirinden ayrıışan donanım ve yazılım altyapıları gerektirir. Bu altyapının bugünkü dağılımı hakkında en kapsamlı veriyi, Safikhani ve arkadaşlarının (2022) sistematik derlemesi sunmaktadır. Donanım tarafında, sanal ortama erişim ağırlıklı olarak başa takılan görüntüleme aygıtları (Head-Mounted Display-HMD) aracılığıyla sağlanmaktadır. Derlemeye göre incelenen çalışmaların yaklaşık yüzde seksen biri belirli iki aygıt ailesinde yoğunlaşmakta; yaklaşık yüzde on altısı mobil temelli sanal gerçeklik çözümleri kullanmakta, çok küçük bir bölümü ise mağara benzeri otomatik sanal ortam (Cave Automatic Virtual Environment-CAVE) sistemlerine başvurmaktadır. Yazarlar, yaygın kullanılan aygıtların bir bilgisayara bağlanma zorunluluğu taşıdığını ve izleme sistemleri için önceden hazırlanmış bir ortam kurulumu gerektirdiğini belirtmektedir. Buna karşılık bütünleşik (all-in-one) aygıtlar, daha iyi görüntü kalitesi, daha yüksek işlem gücü ve erişilebilir maliyet

sundukları için son yıllarda yaygınlaşmakta; kablosuz kullanım olanağı sayesinde sanal gerçeklik benzetimlerinin şantiye gibi ortamlarda dahi uygulanabilmesinin önünü açmaktadır. Mobil temelli çözümlerin düşük maliyet ve kablosuz kullanım üstünlüğüne karşılık işlem gücü sınırlılığı nedeniyle görselleştirme kalitesinden ödün verdiği de aynı derlemede vurgulanmaktadır.

Yazılım tarafında ise oyun motorları belirleyici konumdadır. Aynı derlemenin bulgularına göre incelenen çalışmalarda en çok kullanılan oyun motoru Unity'dir; bunu Unreal Engine izlemekte, geri kalan çalışmalar ise gerçek zamanlı görüntüleme eklentileri gibi başka araçlara başvurmaktadır. Yazarlar bu dağılımın nedenlerini de tartışır: Unity'nin görsel programlama araçları, oyun mekaniklerinin programlama geçmişi olmayan kullanıcılar tarafından da kurgulanmasına olanak tanımaktadır. Unreal Engine ise 1998'de yayımlanmış olmasına karşın uzun süre ücretsiz olmadığı için görselleştirme aracı olarak daha az tercih edilmiş; dördüncü sürümüyle birlikte ücretsiz ve kamuya açık hâle gelmesinin ardından ilgi görmeye başlamıştır. Bu motor için geliştirilen veri aktarım eklentilerinin, çeşitli YBM araçları ve dosya biçimleriyle veri alışverişini daha hızlı ve daha yapılandırılmış hâle getirdiği de belirtilmektedir.

Sanal gerçeklik donanımının kendine özgü teknik sorunları da bulunmaktadır. Sektör raporlarında, kullanıcıda baş dönmesi ve görsel yorgunluk oluşmasının başlıca üç kaynağı tanımlanmaktadır: düşük görüntü kalitesi, görme duyusu ile diğer duysal kanallar arasındaki uyumsuzluk ve göz yakınsaması ile odaklanma arasındaki çatışma (vergence-accommodation conflict). Bu son sorun, iki gözün farklı açılardan gördüğü görüntülerin derinlik etkisi üretmesine karşın, gözün odağının görüntünün gerçek derinliğine uyarlanamamasından kaynaklanır. Kullanıcı, gerçek dünyada olduğunun aksine, yaklaştığı ya da uzaklaştığı nesnelerin netliğinde beklediği değişimi göremez. İlk iki soruna yönelik çözümler

geliştirilmiş olsa da, üçüncüsü için yaygın kullanıma girmiş bir çözüm bulunmadığı; odak derinliği ayarlanabilir görüntüleme teknolojilerinin bu nedenle öncelikli araştırma konuları arasında yer aldığı belirtilmektedir. Eğitim bağlamında kritik bir etkiye sahip olan bu teknik ayrıntı, uzun süreli kullanımlarda ortaya çıkan yorgunluk faktörü nedeniyle sanal ortamların ders içi uygulama sürelerini doğrudan kısıtlamaktadır.

Artırılmış gerçeklik tarafında ise belirleyici teknik sorun, izleme (tracking) ve yerleştirmedir (registration); yani sanal içeriğin fiziksel dünyadaki doğru konuma hizalanmasıdır. İzleme yöntemleri genel olarak görü temelli, algılayıcı temelli ve karma yaklaşımlar biçiminde sınıflandırılır. Görü temelli yöntemler, işaretleyici kullanan ve kullanmayan olmak üzere ikiye ayrılır; işaretleyici temelli yaklaşımlar belirli uygulamalar için elverişli olsa da, şantiye gibi hareketli ortamlarda insanlar, mobilya ve ekipman nedeniyle işaretleyici algılanmasının bozulabilmesi bu yöntemin kullanımını sınırlar. Önceki bölümde değinilen Ashour ve Yan (2020) ve Ashour ve arkadaşlarının (2022) çalışmaları, yalnızca aygıt hareket algılayıcılarına dayanan bir çözümün iç mekânda doğru hizalamayı koruyamadığını; bina ölçeğinde güvenilir bir yerleştirme için derin öğrenme ve üç boyutlu tarama tekniklerinin bütünleştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Donanım seçiminin pedagojik sonuçları da bulunmaktadır. Milovanovic ve arkadaşları (2017), mimari tasarım ve eğitimde kullanılan sanal ve artırılmış gerçeklik sistemlerini derledikleri çalışmalarında, sanal gerçekliğin başa takılan bir aygıtla ya da immersif bir oda içinde deneyimlenebileceğini belirtir. Bu iki seçenek arasındaki fark yalnızca teknik değildir. Başa takılan aygıt bireysel ve yalıtılmış bir deneyim üretirken, immersif oda birden çok kişinin aynı anda aynı ortamı paylaşmasına olanak tanır. Yazarlar, uygun fiyatlı başa takılan aygıtların yaygınlaşmasının bu teknolojileri kurumlar ve üniversiteler için erişilebilir kıldığını

belirtmekle birlikte, iş birlikçi tasarım süreçlerini desteklemek üzere sanal gerçeklik ile mekânsal artırılmış gerçekliği birlikte içeren alternatif bir sistem önermektedir. Bu öneri, teknoloji seçiminin eğitsel amaca göre yapılması gerektiğini göstermesi bakımından dikkate değerdir.

4.3. Öğrenmede sanal ve artırılmış gerçeklik: deneyimsel ve yapılandırmacı temeller

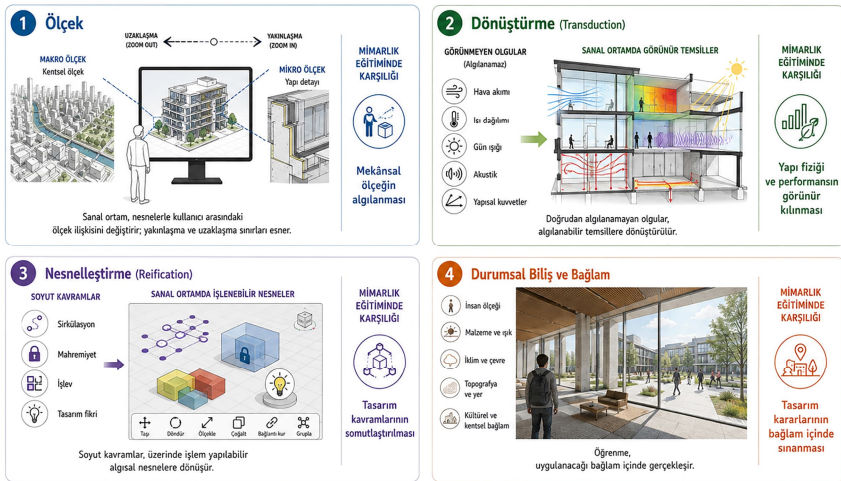
Bu bölüme kadar ele alınan kavramsal ve teknik çerçeve, sanal ortamların ne olduğunu ve nasıl kurulduğunu açıklamaktadır. Ancak eğitim bağlamındaki asıl soru farklıdır: bu ortamlar öğrenmeyi neden ve hangi mekanizmalarla destekler? Bu sorunun yanıtı, ikinci bölümde ele alınan motivasyon kuramlarından farklı bir kuramsal aileye, öğrenme kuramlarına dayanır.

Alanın kurucu metinlerinden biri, Winn'in (1993) sanal gerçekliğin eğitsel uygulamaları için kavramsal bir temel geliştirdiği çalışmasıdır. Yazar, yapılandırmacılığın (constructivism) sanal ortamlarda öğrenme kuramı geliştirmek için en uygun temel olduğunu açıkça savunur. Bu görüşün temelinde, immersif sanal gerçekliğin kullanıcı ile bilgisayar arasındaki geleneksel arayüz sınırını azaltarak katılımcının sanal ortamı birinci şahıs bakış açısından doğrudan deneyimlemesine olanak tanınması bulunmaktadır. Yazara göre metin, konuşma dili ya da bilgisayar gibi bir simge dizgesi aracılığıyla dolayımlanan her öğrenme, kaçınılmaz olarak bir başkasının deneyiminin yansımasıdır; oysa sanal bir dünyaya daldırma, bilginin deneyim betimlemelerinden değil, doğrudan deneyimden inşa edilmesini sağlar. Bu argüman, ikinci bölümde tartışılan yapılandırmacı yaklaşımın sanal ortamlar bağlamındaki en net ifadelerinden biridir.

Winn (1993), sanal ortamların gerçek dünyada bulunmayan üç bilgi kurma olanağı sunduğunu da öne sürer. Bunlardan ilki ölçektir: gerçek dünyada bir nesneye yaklaşılabileceğimiz en yakın ve

uzaklaşabileceğimiz en uzak nokta sınırlıyken, sanal bir dünyada bu sınırlar ortadan kalkar ve nesnelerle aramızdaki ölçek ilişkisi köklü biçimde değiştirilebilir. İkincisi dönüştürmedir (transduction): duyularımızın doğrudan algılayamadığı olgular, algılanabilir bir biçime çevrilerek deneyimlenebilir hâle getirilir. Üçüncüsü ise nesnelleştirmedir (reification): soyut kavramlar, üzerinde işlem yapılabilir algısal nesnelere dönüştürülür (Şekil 15).

Şekil 15 Sanal ortamların bilgi kurma olanakları ve mimarlık eğitimindeki karşılıkları



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Yazar ayrıca durumsal biliş (situated cognition) atıfla, sanal gerçekliğin gerçek dünyayı benzetebildiği ölçüde öğrencilerin öğrendiklerini uygulayacakları bağlamın içinde öğrenmelerine olanak tanıdığını belirtir. Bu üç kavram, mimarlık eğitiminde özellikle önemlidir. Çünkü mekânsal ölçeğin algılanması, yapı fiziği gibi doğrudan gözlemlenemeyen olguların anlaşılır biçimde temsil edilmesi ve tasarım kararlarının kendi bağlamı içinde değerlendirilmesi, disiplinin temel öğrenme alanları arasında yer almaktadır.

Dede (2009), immersif arayüzlerin öğrenmeyi destekleme biçimlerini üç başlıkta toplayarak bu çerçeveyi genişletir. Yazara göre immersiyon tek türden değildir; duysal, eylemsel ve simgesel olmak üzere farklı katmanlarda gerçekleşir. Bu ayrım, immersiyonun yalnızca görsel-işitsel bir yoğunluk meselesi olmadığını, kullanıcının ortamda gerçekleştirebildiği eylemlerin ve ortamın taşıdığı simgesel anlamların da bu deneyimin parçası olduğunu gösterir. Yazar, immersif ortamların öğrenmeye üç yolla katkı sağladığını öne sürer: aynı olguya birden çok bakış açısından yaklaşabilme, durumsal öğrenme ve öğrenilenin başka bağlamlara aktarılabilmesi. Bu son nokta, yakın aktarım ve uzak aktarım ayrımıyla birlikte ele alındığında, sanal ortamlarda kazanılan bilginin gerçek dünyadaki karşılığına ilişkin eleştirel bir soruyu da gündeme getirir.

Huang ve arkadaşları (2010), bu kuramsal önermeleri görgül olarak sınavan çalışmalarında sanal gerçeklik öğrenme ortamlarını doğrudan yapılandırmacı yaklaşımla ilişkilendirir ve bu ortamların pedagojik motorunun yapılandırmacılık olduğunu savunur. Yazarlar, sanal ortam deneyimini daldırma, etkileşim ve hayal gücü olmak üzere üç bileşen üzerinden değerlendirmiş; iki ayrı vaka çalışmasında bu bileşenlerin öğrenme motivasyonu ve problem çözme üzerindeki etkisini ölçmüştür. Çalışmanın Dewey'in durumsal öğrenme anlayışına doğrudan atıf yapması, sanal gerçeklik literatürünün yirminci yüzyıl başındaki eğitim felsefesiyle kurduğu sürekliliği göstermesi bakımından da dikkat çekicidir.

Dalgarno ve Lee (2010), sorunu farklı bir açıdan ele alarak üç boyutlu sanal öğrenme ortamlarının hangi özgün olanakları (affordance) sunduğunu sorar. Yazarlara göre bu ortamları ayırt eden iki temel nitelik, temsil sadakati ve öğrenen-bilgisayar etkileşimidir. Bu iki nitelikten beş öğrenme olanağı doğar. Bunların ilki ve yazarların en çok vurguladığı olanak, geliştirilmiş uzamsal bilgi temsidir. Diğerleri ise deneyimsel öğrenme fırsatları, artan

motivasyon ve katılım, öğrenilenin bağlamsallaştırılması ve iş birlikçi öğrenmedir. Bu beşli çerçeve, bu çalışmanın altıncı bölümünde ele alınacak uzamsal algı tartışmasının doğrudan kuramsal dayanağını oluşturmaktadır.

Buraya kadar aktarılan kuramsal çerçevenin tümü ağırlıklı olarak sanal gerçeklik üzerine kuruludur. Artırılmış gerçekliğin öğrenme kuramlarıyla ilişkisi ise Dunleavy ve Dede (2014) tarafından ele alınmıştır. Yazarlar artırılmış gerçeklik uygulamalarını açıkça durumsal ve yapılandırmacı öğrenme kuramıyla hizalar. Böylece iki teknolojinin ortak kuramsal zeminde bulunduğunu gösterirler. Çalışmanın ayırt edici yönlerinden biri, yöntemin sınırlılıklarını da açık biçimde ortaya koymasıdır. İlk sınırlılık, fiziksel çevre ile sanal bilgi katmanının eş zamanlı olarak işlenmesinin öğrencinin bilişsel kapasitesini zorlayabilmesidir. İkinci sınırlılık, bu tür etkinliklerin planlanması ve yürütülmesinin çoğu zaman birden fazla kolaylaştırıcı gerektirmesi nedeniyle ortaya çıkan yönetsel karmaşıklığıdır. Üçüncü sınırlılık ise artırılmış gerçekliğin keşfe dayalı ve açık uçlu yapısının, standartlaştırılmış ve ölçme odaklı eğitim düzenleriyle her zaman uyumlu olmamasıdır. Bu durum, özellikle açık uçlu senaryolara alışkın olmayan bazı öğrencilerde belirsizlik ve hayal kırıklığı yaratabilmektedir.

Crogman ve arkadaşları (2025) da benzer biçimde, sanal, artırılmış ve karma gerçekliği deneyimsel öğrenme çerçevesinde ele aldıkları derlemelerinde, bu teknolojilerin eleştirel düşünme, iş birliği ve uygulamalı beceri gelişimini desteklediğini belirtmekle birlikte erişilebilirlik, maliyet ve bilişsel aşırı yüklenme sorunlarını da tartışmaktadır. Bilişsel aşırı yüklenmenin iki ayrı çalışmada bağımsız olarak öne çıkması, bunun tekil bir gözlem değil, alanın yapısal bir sınırlılığı olduğunu düşündürmektedir.

Bu kuramsal çerçeve, ikinci bölümde ele alınan motivasyon kuramlarıyla da kesişmektedir. Dalgarno ve Lee'nin (2010)

sıraladığı olanaklar arasında motivasyon ve katılımın yer alması, Öz-Belirleme Kuramı ile bağlantı kurmayı olanaklı kılar; öte yandan sanal ortamlarda akış deneyimine ilişkin bulgular, Akış Kuramı'nın bu bağlamdaki geçerliliğine işaret etmektedir. Bu kesişim, altıncı bölümde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

4.4. Yapılı çevre eğitiminde uygulamalar

Kuramsal çerçevenin yapılı çevre eğitimindeki karşılığı, birbirinden farklı ölçek ve bağlamlarda yürütülmüş çok sayıda uygulamada izlenebilir. Bu uygulamalar, ortak bir kuramsal zemini paylaşmakla birlikte farklı eğitsel sorunlara yanıt üretmektedir.

Alanın erken dönem değerlendirmelerinden biri olan Milovanovic ve arkadaşlarının (2017) çalışması, bilgisayar destekli mimari tasarım yazınından derlenen bir literatür üzerinden sanal ve artırılmış gerçeklik sistemlerinin olanaklarını ve sınırlarını tartışmaktadır. Bu değerlendirmeden hareketle mimari pedagojiyi desteklemek üzere Çoklu Modalite (Multimodal) bir platform önerir. Gębczyńska-Janowicz'in (2020) çalışması farklı bir duruma dikkat çekmektedir. Sanal gerçeklik, tasarım pratiğinde giderek yaygınlaşmasına rağmen mimarlık eğitiminde hâlen sınırlı düzeyde kullanılmaktadır. Yazarın aktardığı bir sektör anketine göre teknolojinin kullanıcıları arasında öğrencilerin ve akademisyenlerin payı yüzde birkaç düzeyinde kalmıştır. Buna karşılık kendi kurumunda yürüttüğü ankette, mimari tasarımı sanal gerçeklikle birleştiren derslere ilgi duyduğunu belirten öğrencilerin oranı yüzde seksen beşi bulmaktadır. Bu iki bulgu arasındaki açıklık, sorunun öğrenci ilgisizliğinden değil, kurumsal ve altyapısal etkenlerden kaynaklandığını düşündürmektedir. Yazar ayrıca sanal gerçekliğin, izi kalmamış mimari yapıların yeniden kurgulanmasına olanak tanımasını, anma mekânları ve koruma eğitimi açısından özel bir kazanım olarak değerlendirir. Bu değerlendirme, Karadallı'nın

(2022) tarihî çevrenin korunmasında sanal gerçeklik kullanımını ele alan çalışmasıyla da örtüşmektedir.

Tasarım stüdyosu bağlamındaki uygulamalar, bu bölümün en yoğun kümesini oluşturur. Abu Alatta ve Freewan (2017), öğrencilerin tasarımlarını hem geleneksel yöntemlerle hem de sanal ortamda jüriye sunmalarını sağlayarak, değerlendirme sürecinde ortamın etkisini incelemiştir. Çalışmanın nitel bulguları arasında, bir jüri üyesinin sanal ortamda deneyimledikten sonra başlangıçta olumsuz değerlendirdiği bir tasarıma ilişkin kanaatini değiştirmesi yer alır. Yazarlar bunu malzeme, ışık, gölge ve boyut algısının sanal ortamda daha eksiksiz kavranmasına bağlamaktadır. Obeid ve Demirkan (2023) ise aynı soruyu nicel bir tasarımla ele alarak, temel tasarım stüdyosundaki öğrencilerle yürüttükleri deneyde immersif ve immersif olmayan ortamları karşılaştırmış; uzamsal yetenek, akış durumu ve motivasyon değişkenlerini standart ölçeklerle ölçmüştür. İki çalışmanın farklı yöntemlerle benzer yönde bulgular üretmesi, sonucun yöntemsel bir yanılsama olmadığına işaret etmesi bakımından önemlidir.

Salgın koşullarının zorunlu kıldığı uzaktan eğitim, bu alanda özgün bir uygulama kümesi doğurmuştur. Agirachman ve Shinozaki (2021), uzaktan yürütülen tasarım stüdyolarında öğrenci ile danışman arasındaki etkileşimin bilgisayar ekranıyla sınırlı kalmasının yarattığı sorundan hareketle, YBM olarak modellenmiş stüdyo çıktılarının sanal ortamda değerlendirilmesini sağlayan oyun motoru tabanlı bir sistem geliştirmiştir. Değerlendirme süreci, yapının kullanıcıya sunduğu olanaklar ve erişilebilirlik ölçütleri üzerine odaklanmaktadır. Bu çalışma, dördüncü bölümün konusu olan sanal ortam teknolojilerinin üçüncü bölümde tartışılan YBM altyapısıyla nasıl bir araya geldiğinin somut bir örneğidir.

Elgewely ve arkadaşlarının (2021) çalışması ise yapı detayı eğitiminde şantiye ziyaretlerinin yerini alabilecek bir öğrenme

ortamı oluşturarak farklı bir eğitsel boşluğu gidermeyi amaçlamıştır. Yazarlar, akademik dönem içinde derslerin özgül gereksinimlerine uygun şantiye ziyaretleri düzenlemenin güçlüğünden hareketle, YBM'i bir bilgi havuzu, sanal gerçekliği ise görselleştirme ve etkileşim aracı olarak kullanan bir sanal şantiye ortamı geliştirmiştir. Ortam, öğrencinin gerçek ölçekli bir yapı içinde dolaşmasına, yapı öğelerini ayırıştırmasına ve belirli detayları kurmasına olanak tanıyarak, oyunlaştırma unsurlarıyla desteklenmiş bir öğrenme deneyimi sunar. Doğrulama çalışmasında, sanal gerçeklik grubunun öğrenme kazanımlarındaki ortalama ilerlemesinin geleneksel yöntemle çalışan gruba kıyasla iki katından fazla olduğu saptanmıştır. Öğretim üyeleriyle yapılan görüşmelerde ise ölçülebilir geri bildirim üreten etkinliklerin yararlı bulunduğu, buna karşılık gerçek şantiye ziyaretlerinin yerini tümüyle alamayacağı görüşü dile getirilmiştir. Bu değerlendirme, sanal ortamların tamamlayıcı bir araç olarak konumlandırılması gerektiğine ilişkin yaygın kanıyı desteklemektedir.

Aguiar ve arkadaşlarının (2024) çalışması, tekil bir uygulama yerine bütünsel bir entegrasyon modeli önermesiyle ayrışır. Yazarlar, eylem araştırması yöntemiyle yürüttükleri bilgisayar destekli mimari tasarım dersinde, YBM araçları, sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri ile üç boyutlu baskıyı bütünleşik bir iş akışı içinde kullanarak bu teknolojilerin tasarım sürecinin farklı aşamalarına nasıl dâhil edilebileceğini sistematik biçimde ortaya koymuştur. Çalışmanın kuramsal katkısı, temsilin dikey izdüşümlere dayalı kodlanmış biçimlerinden mekânsal deneyime ve niteliksel değerlendirmeye kayan bir eğitim anlayışını tartışmaya açmasıdır.

Bustos Lopez ve arkadaşlarının (2024) çalışması ise tartışmayı bilişsel bir çerçeveye taşır. Geliştirilen genişletilmiş gerçeklik öğrenme ortamı, öğrencinin mekân algısını çok duyulu bir keşif yoluyla geliştirmeyi amaçlar ve tasarımcının bilişsel ekolojisini yükseltme hedefiyle kurgulanmıştır. Çalışmanın en dikkat çekici

bulgusu, yöntem seçimine ilişkin önemli bir uyarı sunmaktadır. Yapılandırmacı ilkelere dayalı değerlendirmede, genişletilmiş gerçeklik ortamının geleneksel yöntemlere göre algısal öğrenmeyi daha fazla desteklediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, en nitelikli tasarım ürünlerinin geleneksel yöntemler ile immersif teknolojilerin birlikte kullanıldığı süreçlerde ortaya çıktığı görülmüştür. Yazarlar bu sonucu, genişletilmiş gerçekliğin stüdyonun yerini alan değil, onu destekleyen bir araç olduğunun kanıtı olarak yorumlamaktadır.

Díaz González ve arkadaşlarının (2025) çalışması, mühendislik ve mimarlık alanlarında kavramsal tasarım öğretiminde etkileşimli sanal gerçekliğin etkisini dört aşamalı bir kurguyla incelemiştir. Öğrenciler önce geçici mimarlık üzerine kuramsal bir ders almakta, ardından başa takılan aygıtlarla üç boyutlu eskiz oturumlarına katılmakta, bu eskizleri sayısal modellere dönüştürmekte ve son aşamada tasarımlarının yerleştirildiği kentsel mekânı sanal bir tur aracılığıyla deneyimlemektedir. Anket sonuçlarına göre katılımcıların büyük çoğunluğu sanal gerçekliğin biçim, renk ve malzeme algısını desteklediğini; eskiz ve çizimleri incelemeye kıyasla üstün bir kavrayış sağladığını belirtmiştir. Katılımcıların tamamı ise teknolojiyi, mekânları inşa edilmeden önce anlamak bakımından yararlı bulmuştur. Bununla birlikte katılımcıların üçte ikisinin daha önce kayda değer bir sanal gerçeklik deneyimi olmadığını bildirmesi, bulguların yenilik etkisinden bağımsız olarak değerlendirilmesi gerektiğini de düşündürmektedir.

Artırılmış gerçekliğin eğitimdeki kullanımına ilişkin farklı bir yaklaşım, Zarzycki'nin (2014) çalışmasında görülür. Yazar, öğrencileri artırılmış gerçeklik uygulamalarını yalnızca kullanan bireyler olarak değil, bu uygulamaları geliştiren tasarımcılar olarak konumlandırmaktadır. Bu kapsamda kent parkına yönelik bir bilgilendirme uygulaması, işaretleyici tabanlı bir labirent oyunu ve iç mekân döşeme seçeneklerini görselleştiren bir arayüz gibi öğrenci projelerini tartışmaktadır. Yazarın önemli bir gözlemi, oyun

motorlarıyla bütünleşen geliştirme araçlarının artırılmış gerçekliği teknoloji odaklı bireylerin alanı olmaktan çıkarıp tasarım odaklı kullanıcılara açtığı; bunun da sayısal yaratıcı araçların demokratikleşmesi anlamına geldiğidir. Bu gözlem, ikinci bölümde tartışılan öğrenen-tasarımcı yaklaşımıyla doğrudan örtüşmektedir. Öğrenci, hazır bir içeriğin tüketicisi olmaktan çıkıp içeriğin üreticisi konumuna geçtiğinde öğrenme deneyiminin niteliği de değişmektedir. Buraya kadar incelenen yapıli çevre alan yazınındaki çalışmaların başlıca örnekleri Tablo 7’de özetlenmiştir.

Tablo 7 Yapılı çevre eğitiminde sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamalarından örnekler

Çalışma	Bağlam	Teknoloji	Öne Çıkan Bulgu
Abu Alatta ve Freewan (2017)	Tasarım stüdyosu ve jüri değerlendirmesi	Başa takılan görüntüleme aygıtı (HMD)	Jüri üyeleri, malzeme, ışıık ve ölçek algısını sanal ortamda belirgin biçimde farklı değerlendirmiştir.
Obeid ve Demirkan (2023)	Temel tasarım stüdyosu (42 öğrenci)	İmmersif ve immersif olmayan sanal tasarım ortamı	Uzamsal yetenek, akış durumu ve motivasyon ilişkisi nicel olarak ölçülmüştür.
Gębczyńska-Janowicz (2020)	Anma mekânları ve koruma dersleri	VR ve MR uygulamaları	Var olmayan mimari yapıların yeniden kurgulanması, tasarım eğitiminde bir anlatım aracına dönüşmüştür.
Agirachman ve Shinozaki (2021)	Uzaktan yürütölen tasarım stüdyosu	Oyun motoru tabanlı VR sistemi (VRDR)	YBM, salgında sanal stüdyo eleştirisini mümkün kılmıştır.
Elgewely ve arkadaşları (2021)	Yapı detayı ve inşaat eğitimi	HMD tabanlı sanal şantiye, YBM veri kaynağı	VR grubundaki öğrenme kazanımı artışı, geleneksel grubun iki katını aşmıştır.

Aguiar ve arkadaşları (2024)	Bilgisayar destekli mimari tasarım dersi	YBM, VR, AR ve hızlı prototipleme	XR teknolojilerinin tasarım sürecinin tümüne yayıldığı bir entegrasyon modeli önerilmiştir.
Bustos Lopez ve arkadaşları (2024)	İkinci sınıf mimarlık öğrencileri	Çok duyulu XR öğrenme ortamı (XRLE)	En iyi sonuçlar, XR'ın geleneksel stüdyo yöntemlerinin yerine değil, onlarla birlikte kullanıldığı durumlarda elde edilmiştir.
Díaz González ve arkadaşları (2025)	Kavramsal tasarım öğretimi	VR ve AR başlıkları	Katılımcıların tamamı, yapılmadan önce mekânı anlamak bakımından teknolojiyi yararlı bulmuştur.

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde üç ortak eğilim öne çıkmaktadır. İlk olarak, uygulamaların büyük bölümü mekânsal kavrayışı geliştirmeye odaklanmaktadır. Bu eğilim, dördüncü bölümde ele alınan kuramsal çerçevenin, özellikle Dalgarno ve Lee'nin (2010) geliştirilmiş uzamsal bilgi temsiline ilişkin yaklaşımının uygulamadaki karşılığını oluşturmaktadır. İkinci olarak, çalışmaların önemli bir kısmında sanal ortamlar geleneksel yöntemlerin yerine geçen araçlar olarak değil, bu yöntemleri destekleyen tamamlayıcı öğrenme ortamları olarak ele alınmaktadır. Elgewely ve arkadaşlarının (2021) öğretim üyesi görüşlerine dayanan bulguları ile Bustos Lopez ve arkadaşlarının (2024) tasarım ürünlerine ilişkin değerlendirmeleri bu yaklaşımı desteklemektedir. Üçüncü olarak, uygulamaların giderek daha büyük bir bölümü doğrudan YBM altyapısıyla ilişkilendirilmektedir. Bu durum, çalışmada ele alınan YBM, oyunlaştırma ve genişletilmiş gerçeklik bileşenlerini birbirine bağlayan temel eksenin YBM tabanlı veri ve model bütünleşmesi olduğunu göstermektedir. Bu üçüncü örüntü, aynı zamanda bir sonraki bölümün gerekçesini oluşturmaktadır.

Buraya kadar oyunlaştırma, Yapı Bilgi Modellemesi ve genişletilmiş gerçeklik ayrı başlıklar altında ele alınmış; ancak her bölümün sonunda bu bileşenlerin uygulamada birbirinden yalıtlmış biçimde değil, i içe geçmiş hlde bulunduğuna işaret edilmiştir. Beşinci bölüm, bu i ie geçmenin neden kaçınılmaz olduğunu, hangi örneklerde somutlaştığını ve hangi sınırlılıklarla karşılaştığını bütünleşik bir bakışla ele alacaktır.

BEŞİNCİ BÖLÜM:

ÜÇ BİLEŞENİN KESİŞİMİ: BÜTÜNLEŞİK BİR BAKIŞ

5.1. Bütünleşik Bir Çerçeveye Duyulan Gereksinim

Önceki üç bölüm, oyunlaştırma, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve sanal/artırılmış/genişletilmiş gerçekliği ayrı başlıklar altında ele almıştır. Ancak her bölümün kapanışında bu ayrımın yalnızca sunum kolaylığı için yapıldığı, uygulamada bu üç bileşenin birbirinden yalıtılmış biçimde var olmadığı vurgulanmıştır. İkinci bölümde, yapılı çevre eğitimindeki ciddi oyun uygulamalarının artık doğrudan YBM verilerinden türetildiği görülmüştür. Üçüncü bölümde, YBM-oyun motoru bütünleşmesinin teknik bir katman kadar amaca ilişkin bir katman da taşıdığı ortaya konmuştur. Dördüncü bölümde ise incelenen uygulamaların artan bir bölümünün YBM altyapısıyla doğrudan ilişkilendirildiği saptanmıştır. Bu gözlemin farklı çalışmalarda yinelenmesi rastlantısal değildir. Aksine, üç bileşenin birlikte ele alınmasını gerekli kılan yapısal bir ilişkiye işaret etmektedir.

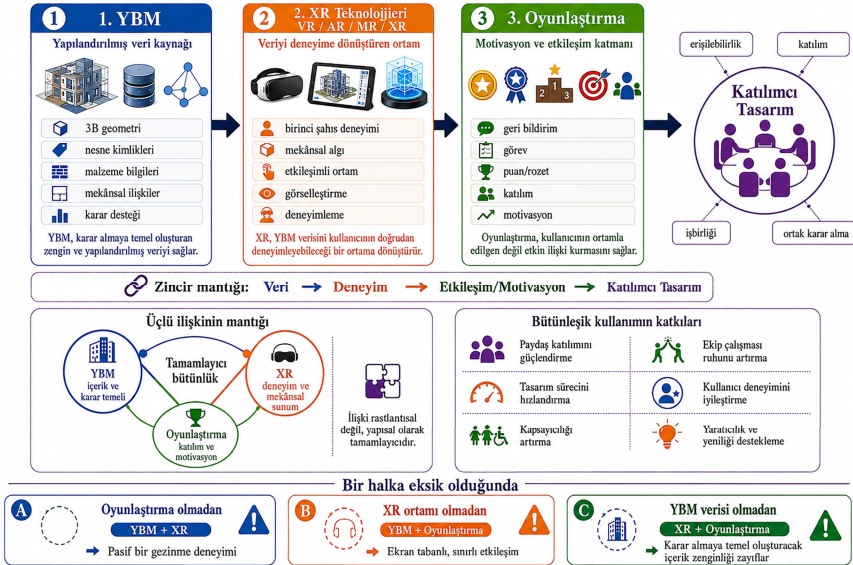
Bu gerekçe, en açık biçimde Yalçın'ın (2024) oyunlaştırma ile YBM'in katılımcı tasarımı güçlendirmek üzere bütünleştirilmesi üzerine yürüttüğü kapsamlı çalışmada ortaya konmaktadır. Yazara göre YBM ile oyunlaştırmının birleştirilmesi, paydaşlar arasında popüler sonuçları pekiştirebilir, ekip çalışması ruhunu güçlendirebilir, tasarım aşamasını hızlandırabilir, kullanıcı deneyimini optimize edebilir ve kapsayıcılık, yaratıcılık ile yeniliğin

düzeyini artırabilir. Yalçın'ın vurguladığı nokta, bu iki bileşenin birbirini rastlantısal değil tamamlayıcı biçimde güçlendirdiğidir. YBM, karar almaya temel oluşturan zengin ve yapılandırılmış veriyi sağlarken, oyunlaştırma bu verinin paydaşlar tarafından erişilebilir, motive edici ve katılıma açık bir biçimde deneyimlenmesini sağlar. Sanal, artırılmış ve genişletilmiş gerçeklik teknolojileri ise bu ikisi arasındaki köprüyü kurar. Bu teknolojiler, YBM'in taşıdığı veriyi, oyunlaştırmanın öngördüğü etkileşimli deneyime dönüştürecek ortamı sunar.

Bu üçlü ilişkiyi bir zincir olarak okumak mümkündür. YBM, üçüncü bölümde tartışıldığı üzere, yalnızca geometriyi değil, nesne kimliklerini, malzeme bilgilerini ve mekânsal ilişkileri taşıyan yapılandırılmış bir veri kaynağıdır. Bu veri kaynağı, dördüncü bölümde ele alınan sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri aracılığıyla, kullanıcının birinci şahıs olarak deneyimleyebileceği bir ortama dönüştürülür. İkinci bölümde tartışılan oyunlaştırma unsurları ise bu deneyime bir motivasyon ve etkileşim katmanı ekleyerek, kullanıcının bu ortamla edilgen değil etkin bir ilişki kurmasını sağlar. Bu bakımdan üç bileşen, aynı sistem içinde farklı fakat birbirini tamamlayan işlevler üstlenmektedir. YBM içeriği ve karar vermeye esas olacak veriyi sağlarken, XR teknolojileri bu içeriği mekânsal ve deneyimsel bir ortama taşır; oyunlaştırma ise kullanıcının bu ortamla nasıl ilişki kuracağını biçimlendirir. Böylece veri, deneyim ve etkileşim katmanları tek bir bütünlük yapısı içinde bir araya gelir. Bu yapı, kullanıcının yalnızca modeli gözlemlemesini değil, görevler gerçekleştirmesini, seçenekleri karşılaştırmasını, geri bildirim almasını ve farklı senaryoları deneyerek sonuçlarını değerlendirmesini de mümkün kılar. Özellikle eğitim ve katılımcı tasarım bağlamında bu bütünlük, kullanıcının yapı bilgisiyle doğrudan ve amaçlı bir ilişki kurmasını destekler. Aynı zamanda karmaşık YBM verilerinin daha erişilebilir hâle gelmesini sağlayarak teknik bilgi ile kullanıcı deneyimi arasındaki mesafeyi

azaltır. Bu nedenle bütünleşmenin değeri, yalnızca üç farklı teknolojinin aynı uygulamada kullanılmasından değil, her bir bileşenin diğerinin işlevini güçlendirmesinden kaynaklanmaktadır. Zincirin herhangi bir halkası eksik olduğunda bütün zayıflar. Oyunlaştırma unsurları olmadan bir YBM-XR ortamı yalnızca pasif bir gezinme deneyimi sunar. XR ortamı olmadan oyunlaştırılmış bir YBM arayüzü ise ekran tabanlı, sınırlı bir etkileşimle kalır. YBM'in yapılandırılmış verisi olmadan ise ne oyunlaştırma ne de XR, karar almaya temel oluşturacak bir içerik zenginliğine kavuşabilir. Dolayısıyla üçlü yapının asıl gücü, bileşenlerin tek başına sahip oldukları kapasiteden çok, aralarında kurulan işlevsel bağımlılıkta ortaya çıkmaktadır (Şekil 16).

Şekil 16 Katılımcı tasarım için YBM, XR ve oyunlaştırmanın tamamlayıcı yapısı



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Bu bütünleşmenin bir tercih değil, giderek bir zorunluluk hâline geldiğine işaret eden bir başka gösterge, alanın kendi

araştırma gündeminde görülür. Rehman ve arkadaşlarının (2025) daha önce değinilen derlemesi, YBM ile oyun motoru bütünleşmesinin tasarım görselleştirmesinin ötesine geçerek gerçek zamanlı benzetim, modüler inşaat iş akışları ve proje yönetimini de kapsayacak biçimde genişlediğini belirtir. Yazarlara göre bu genişlemenin önündeki asıl engel artık teknik olanaksızlık değil, birlikte çalışabilirlik, ölçeklenebilirlik ve maliyet gibi uygulama sorunlarıdır. Bu saptama, bu bölümün ikinci alt başlığında ele alınacak somut örneklerin neden bu kadar çeşitlendiğini de açıklar. Teknik olanak sabitlendiğinde, araştırmacıların ilgisi hangi alanlarda uygulanabileceği sorusuna kaymaktadır.

İkinci bölümde tartışılan Werbach ve Hunter (2012) hiyerarşisi, bu bütünleşmenin neden yalnızca bileşen düzeyinde kalmaması gerektiğini anlamak için de kullanılabilir. O hiyerarşiye göre bileşenler (puan, rozet) yalnızca en alt katmandır. Kalıcı katılım ise üst katmandaki mekanik ve dinamiklerin tutarlı tasarımına bağlıdır. Aynı mantık, üç bileşenin bütünleşmesine de uygulanabilir. YBM verisini bir XR ortamına aktarıp üzerine birkaç rozet eklemek, bileşen düzeyinde bir bütünleşmedir ve büyük olasılıkla kalıcı bir etki üretmez. Buna karşılık Karadallı'nın (2022) yaş grubuna göre farklılaşan görev kurgusu ya da Anifowose ve arkadaşlarının (2022) geliştirme düzeyi ile zorluk seviyesini eşleştiren yaklaşımı gibi örnekler, bütünleşmeyi dinamik düzeyde kurar. Bu örneklerde YBM verisi, oyunlaştırma mantığının kendisini şekillendirir, ona dışarıdan eklenen bir süs olmaktan çıkar. Bu ayırım, ikinci alt başlıkta örnekleri değerlendirirken kullanılacak gizil bir ölçüttür.

5.2. Literatürden Bütünleşik Uygulama Örnekleri

Bütünleşik uygulamaları kronoloji veya coğrafya temelinde sıralamak yerine, hizmet ettikleri işlevlere göre gruplandırmak, aralarındaki ortak yapısal mekanizmaların görünür kılınması ve

farklı uygulama alanları arasındaki ilişkilerin daha açık biçimde ortaya konması açısından daha açıklayıcıdır (Tablo 8).

Tablo 8 Bütünleşik uygulama örneklerinin işlevlerine göre sınıflandırılması

İşlev Kümesi	Örnek Çalışmalar	Ortak Mekanizma
Katılımcı tasarım ve kamu katılımı	Ehab ve arkadaşları (2023), Agirachman ve Shinozaki (2021), Davidson ve arkadaşları (2020)	YBM verisi, oyun motoru aracılığıyla paydaşların gerçek zamanlı geri bildirim verebildiği bir arayüze dönüştürülür.
Maliyet ve tesis yönetimi	Kapogiannis ve arkadaşları (2020)	Lazer tarama ve fotogrametriyle üretilen model, karma gerçeklik ortamında son kullanıcı geri bildirimine açılır.
Güvenlik ve acil durum	Liu ve arkadaşları (2014) De Marco (2022)	YBM'in mekânsal verisi, düşük riskli bir ortamda insan davranışı benzetimine zemin oluşturur.
Kültürel miras	Boeykens (2011) Pybus ve arkadaşları (2019) Argiolas ve arkadaşları (2022) Karadallı (2022)	H-BIM verisi, kaybolmuş ya da erişimi kısıtlı yapıların yeniden kurgulanmasında bir anlatı aracına dönüşür.
Eğitimsel gelişim süreci	Elsamahy (2017) Anifowose ve arkadaşları (2022) Yönder (2021) Elgewely ve arkadaşları (2021)	YBM, oyunlaştırılmış zorluk seviyeleri ya da sanal şantiye deneyimleri aracılığıyla kademeli bir öğrenme aracına dönüştürülür.

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Katılımcı tasarım ve kamu katılımı kümesindeki en doğrudan karşılaştırma, Ehab ve arkadaşlarının (2023) çalışmasından gelir. Yazarlar, Londra'daki iki kamusal proje (Sky Garden ve Crossrail Place Roof Garden) üzerinden, YBM'in doğrudan bir VR

eklentisiyle (Enscape) zenginleştirilmesi ile aynı modelin bir oyun motoruna (Unreal Engine) aktarılması yaklaşımlarını otuz üç katılımcıyla karşılaştırmıştır. Bulgular, iki yöntemin de katılımı artırdığını, ancak katılımcıların YBM yazılımı içinde doğrudan VR kullanımını tercih ettiğini göstermektedir. Yazarlar bunu, oyun motorlarının sunduğu görsel zenginliğin, YBM'den ayrıştırılmış bir iş akışının getirdiği ek karmaşıklık her zaman telafi etmediği biçiminde yorumlamaktadır. Yarı yapılandırılmış görüşmelerde katılımcılar, YBM-VR eklentisinin tasarım alternatiflerini gerçek zamanlı olarak üretip sinama olanağını özellikle değerli bulduklarını belirtmiştir. Bu bulgu, katılımcı tasarımın yalnızca bitmiş bir tasarımı deneyimlemekten ibaret olmadığını, tasarım kararının kendisine müdahale edebilme hissinin de sürecin bir parçası olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, üçüncü bölümde tartışılan aktarım maliyetinin yalnızca teknik değil, kullanıcı deneyimine ilişkin bir maliyet de taşıdığını göstermesi bakımından önemlidir.

Agirachman ve Shinozaki'nin (2021) daha önce değinilen VRDR sistemi, aynı kümenin salgın koşullarında zorunlu hâle gelen bir türevidir. YBM olarak modellenmiş stüdyo çıktıları, oyun motoru tabanlı bir sanal ortamda erişilebilirlik ve kullanım olanakları ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Davidson ve arkadaşlarının (2020) çalışması ise aynı kümeye farklı bir işlevsel katman ekler. Sanal gerçeklik ile YBM'in bütünleştirilmesi, tasarım aşamasında gerçek zamanlı metraj üretimini olanaklı kılmaktadır. Böylece katılımcı tasarım yalnızca estetik bir değerlendirme değil, maliyet farkındalığı da içeren bir sürece dönüşmektedir.

Maliyet ve tesis yönetimi kümesindeki en ayrıntılı örnek, Kapogiannis ve arkadaşlarının (2020) çalışmasıdır. Yazarlar, mevcut bir yapıyı lazer tarama ve fotogrametriyle belgeleyip 300 geliştirme düzeyinde (LOD 300) bir modele dönüştürmüş, iç mekân konumlandırma sistemiyle birleştirerek HoloLens üzerinden deneyimlenebilir hâle getirmiştir. İki vaka çalışmasından ilkinde, bir

tasarım firmasının müşterisi karma gerçeklik ortamında modelin içinde dolaşarak doğrudan geri bildirim vermiştir. Yarı yapılandırılmış görüşmelerle yapılan tematik analiz, iletişim, tartışma ve koordinasyon süreçlerinde belirgin bir iyileşme saptamıştır. Çalışmanın öğretici bir gözlemi, bu iyileşmeye karşın müşterinin yine de belge örneklerinin e-posta ile gönderilmesini ve görüntülerin basılı çıktısını talep etmeye devam etmesidir. Yazarlar bunu, insan faktörleri yazınında bilinen bir eğilimle, bireylerin yeni bir teknolojiyle doğrulanmış bir kanıyı geleneksel yollarla da teyit etme eğilimiyle ilişkilendirmektedir. Bu gözlem, 5.3'te ele alınacak benimseme sorununun teknik yeterlilikten bağımsız bir boyutu olduğunu önceden işaret etmektedir.

Güvenlik ve acil durum kümesi, YBM'in mekânsal verisinin insan davranışı benzetimine nasıl zemin oluşturduğunu gösterir. Liu ve arkadaşlarının (2014) çalışması, YBM tabanlı bir ciddi oyun ortamında acil tahliye senaryosunu ele alarak, modelin yalnızca statik bir temsil değil, davranışsal bir benzetim ortamı olarak da kullanılabileceğini gösterir. De Marco'nun (2022) inşaat sahası güvenlik eğitimi çalışması ise aynı mantığı, olay sonrası tahliyeden olay öncesi önlemeye taşır. Saha sorumlusu eğitimi, oyunlaştırılmış bir simülasyon ortamında, gerçek riskle karşılaşmadan deneyimlenebilir hâle getirilir.

Kültürel miras kümesi, bu çalışmanın Bölüm 3 ve 4'te de defalarca değinilen en tutarlı örnek grubunu oluşturur. Boeykens (2011)'in erken dönem çalışması, parametrik modelleme, YBM ve oyun motorlarının tarihî yapıların yeniden kurgulanmasında birlikte nasıl kullanılabileceğini çok sayıda vaka üzerinden göstermiştir. Pybus ve arkadaşlarının (2019) Kanada Parlamentosu Merkez Blok çalışması, bu erken önerinin on yıl sonraki, kurumsal ölçekte bir uygulamasıdır. Argiolas ve arkadaşlarının (2022) İtalya'daki Santa Croce Kompleksi üzerine yürüttüğü çalışma ise H-BIM verisini doğrudan bir sanal tur ortamına dönüştürerek, Murphy ve

arkadaşlarının (2009) H-BIM tanımını ve LOD standardını somut bir uygulamaya taşıtmaktadır. Karadallı'nın (2022) İzmir Kemeraltı Çarşısı üzerine yürüttüğü tez çalışması ise bu kümeye Türkiye bağlamından bir örnek ekler. H-BIM verisinin Twinmotion aracılığıyla erişilebilir bir sanal deneyime dönüştürülmesi ve yaş grubuna göre farklılaşan oyunlaştırılmış görevlerin (ocuklar için yapboz, yetişkinler için daha ileri düzey görevler) tasarlanması, bu çalışmanın  bileşeninin (oyunlaştırma, YBM, XR) aynı anda göründüğü en bütünlüklü örneklerden birini oluşturur.

Eğitimsel gelişim süreci kümesi ise ikinci ve dördüncü bölümlerde ayrı ayrı değinilen çalışmaları, bir öğrenme sürekliliği olarak yeniden bir araya getirir. Elsamahy'nın (2017) Second Life ve oyun motoru tabanlı stüdyo uygulamalarından, Anifowose ve arkadaşlarının (2022) Farnsworth Evi vakasında geliştirme düzeylerini oyun zorluk seviyeleriyle eşleştiren yaklaşımına, Yönder'in (2021) YBM-oyun ortamı bütünleşmesine ve Elgewely ve arkadaşlarının (2021) sanal şantiye ortamına uzanan bu çizęi, öğrencinin temel tasarım ilkelerinden yapı detaylandırmasına kadar giderek karmaşıklaşan bir öğrenme yolunu izlediğini göstermektedir. Bu çizeginin başlangıcında, ikinci bölümde ele alınan ancak o bölümde henüz YBM ile ilişkilendirilmemiş iki çalışma da yeniden okunabilir. Çekmiş ve Karakaya'nın (2024) yapay zekâ destekli ciddi oyunu, henüz YBM verisi kullanmasa da, öğrenciyi nicel geri bildirimle değerlendiren bir mekanik kurgusuyla Anifowose ve arkadaşlarının (2022) zorluk-geliştirme düzeyi eşleştirmesine kavramsal olarak yakın durur. Süvari'nin (2021) staj oyunlaştırması ise, mesleki pratiğe geçişi sistematikleştiren bileşen tasarımıyla, eğitimsel gelişim sürecinde stüdyo ile meslek hayatı arasındaki eksik halkasını temsil eder. Bu değerlendirme, ikinci bölümde farklı bağlamlarda ele alınan çalışmaların YBM'nin sürece dâhil edilmesiyle nasıl ortak bir gelişim çizgisi üzerinde

ilişkilendirilebildiğini göstermekte ve bölümün bütünleştirici niteliğini ortaya koymaktadır.

Bu beş küme bir arada değerlendirildiğinde, bütünleşmenin tek bir standart formülü olmadığı görülür. Kimi uygulamada YBM birincil veri kaynağı, oyunlaştırma ikincil bir katmandır (Kapogiannis ve arkadaşları, 2020). Kimi uygulamada ise oyunlaştırma unsurları (zorluk seviyeleri, görev yapıları) tasarımın merkezine yerleşir ve YBM arka planda bir içerik kaynağı olarak kalır (Anifowose ve arkadaşları 2022). Bu çeşitlilik, bir sonraki alt başlıkta ele alınacak zorlukların da neden tek bir çözümle aşılamayacağını önceden işaret etmektedir.

5.3. Zorluklar ve sınırlılıklar

Bütünleşik uygulamaların zenginliği, bu yaklaşımın sorunsuz yaygınlaştığı izlenimini vermemelidir. Literatürde tekrar eden zorluklar, teknik, kurumsal ve etik olmak üzere üç düzeyde incelenebilir.

Teknik düzeydeki zorluklar, üçüncü bölümde ayrıntılı olarak ele alınan aktarım sorunlarının bir uzantısıdır. Sidani ve arkadaşlarının (2021) sistematik derlemesi, incelenen çalışmalardaki başlıca sınırlılıkları YBM modelinin geliştirilme ve işleme (render) süresi, yazılımlar ile donanım arasındaki uyumluluk sorunları ve düşük grafik kalitesiyle kare gecikmesinden (frame lag) kaynaklanan gerçekçilik eksikliği olarak sıralamaktadır. Rehman ve arkadaşları (2025) bu tabloyu güncel verilerle doğrulayarak, birlikte çalışabilirlik engellerinin, yüksek uygulama maliyetlerinin ve ölçeklenebilirlik kısıtlarının hâlâ yaygın benimsemenin önünde durduğunu belirtmektedir. Yazarlar özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için açık kaynaklı çözümler ve abonelik tabanlı yazılım hizmeti modelleri gibi maliyet-etkin stratejilere duyulan gereksinime dikkat çekmektedir. Bu vurgu, bütünleşik yaklaşımların

yalnızca büyük ölçekli kurumlar için erişilebilir kalma riskini örtük biçimde kabul etmektedir.

Bu maliyet sorununun somut bir görünümü, Yalçın'nın (2024) derlemesinde listelenen araç yelpazesinde (BIM 360, Dalux, Synchro, Enscape, BIMObject, Buildertrend gibi) görülebilir. Yazar, bu araçların kullanıcı katılımını, verimliliği ve üretkenliği artırdığını kabul etmekle birlikte, dik bir öğrenme eğrisi ve uyumluluk sorunları gibi dezavantajlar taşıdığını da belirtir. Bir kurumun bütünleşik bir sistem kurabilmesi için genellikle birden çok ticari aracı bir arada lisanslaması, bu araçlar arasındaki veri aktarımını kendi bünyesinde çözmesi ve personelini her biri için ayrıca eğitmesi gerekir. Bu durum, önceki bölümlerde tartışılan tekil teknoloji benimseme maliyetinin, bütünleşik sistemlerde katlanarak arttığı anlamına gelir.

Kurumsal düzeydeki zorluklar ise teknik olanaklardan bağımsız olarak ortaya çıkar. Danker ve Jones'un (2014) İngiltere inşaat sektöründen kırk üç katılımcıyla yürüttüğü anket çalışması, burada özellikle öğretici bir örüntü sunar. Yazarlar, yeni teknolojilerin benimsenmesindeki kuşak farkını, teknolojiyle büyüyen "dijital yerliler" ile teknolojiyle sonradan tanışan "dijital göçmenler" ayrımı üzerinden okumaktadır. Uzman panelinden bir katılımcının aktardığı gözlem dikkate değerdir. Yapılar hakkında giderek daha çok veri toplanmasına karşın bu verinin çözümlenip bir sonraki projeye geri beslenmediği, yani bir "geri bildirim döngüsünün" hâlâ eksik olduğu vurgulanmaktadır. Yazarlar, dijital göçmenlerin karar alma pozisyonlarından zamanla ayrılmasıyla bu direncin azalacağını öngörmekle birlikte, bunun kısa vadeli bir çözüm olmadığını da kabul etmektedir.

Bu kurumsal direncin Türkiye bağlamındaki karşılığı, Ozener ve arkadaşlarının (2020) Türk YBM sektöründeki benimseme eğilimleri üzerine yürüttüğü görüşmelerde daha da somutlaşır. Yazarlar, YBM kapasitesine sahip firmalar ile sahip

olmayanlar arasında bir "bilgi uçurumu" olduğunu belirtmektedir. Bu uçurum, proje bilgisinin YBM'e uyumlu tarafta biriktiği, diğer paydaşlara ise büyük ölçüde geleneksel belgelere dönüştürülerek sınırlı bilgi aktarıldığı bir tıkanma yaratmaktadır. Çalışma ayrıca, kamu ihale mevzuatına bağlı sözleşme yapılarının YBM ve bütünleşik proje teslimi yaklaşımlarıyla uyumsuz kaldığını ortaya koymaktadır. Rekabetin yoğun olduğu bir pazarda firma sahipleri, mevcut iş hacmini korumak amacıyla YBM'e karşı temkinli bir tutum benimsemektedir. Bu bulgular, üçüncü bölümde tartışılan müfredat entegrasyonu güçlükleriyle de örtüşmektedir. Teknolojiyi öğreten kurumlar ile teknolojiyi talep eden sektör arasındaki uyum sorunu, yalnızca eğitim programlarını değil, mesleki pratiği de kapsayan yapısal bir sorundur.

Etik düzeydeki zorluklar ise en az tartışılan, ancak literatürde giderek daha çok dile getirilen bir boyuttur. Yalçın (2024), oyunlaştırılmış YBM ortamlarının etik sonuçlarının sürekli olarak incelenmesi gerektiğini, bu araçların uygun biçimde kullanılmasını güvence altına almak için gerekli olduğunu vurgulamaktadır. Yazarın gelecekteki araştırmalar için önerdiği dört öncelik alanı bu bağlamda dikkat çekicidir: kullanıcı merkezli tasarım yoluyla karmaşıklığın ve öğrenme eğrisinin azaltılması, farklı proje senaryolarında maliyet-fayda dengesinin daha kesin biçimde ortaya konması, YBM ve oyunlaştırma çözümleri arasında birlikte çalışabilirlik standartlarının geliştirilmesi ve oyunlaştırma uygulamalarının etik sonuçlarının sürekli gözden geçirilmesi. Bu dördüncü öncelik, önceki bölümlerde teknik bir mesele olarak ele alınan bütünleşmenin, aslında kimin hangi veriye eriştiği, hangi davranışın ödüllendirildiği ve hangi ölçüm kriterinin belirleyici sayıldığı gibi normatif sorular da taşıdığını hatırlatır.

Kültürel miras kümesinde bu etik boyut farklı bir biçimde ortaya çıkar. Karadallı'nın (2022) çalışmasında değinilen ICOMOS Tüzüğü, tarihî çevrenin sanal ortamda sunumunun keyfi bir

yorumlama değil, belgelenmiş kanıta dayalı ve mesleki standartlara uygun bir süreç olması gerektiğini şart koşar. Bu gereklilik, oyunlaştırma unsurlarının (görev, ödül, ilerleme) tarihî doğruluğun önüne geçmemesi gerektiği biçiminde okunabilir. Bir tarihî yapının sanal yeniden kurgusu, eğlendirici olduğu kadar sorumlu da olmak zorundadır.

Son olarak, dördüncü bölümde tartışılan bilişsel aşırı yüklenme sorunu, bütünleşik ortamlarda katlanarak artabilir. Bir kullanıcının aynı anda YBM'in yoğun veri katmanlarını, XR ortamının duyuşal uyarımını ve oyunlaştırmanın hedef-ödül yapısını işlemesi beklendiğinde, Dunleavy ve Dede'nin (2014) işaret ettiği bilişsel yük sorunu, tek bir teknolojinin kullanıldığı durumlara kıyasla daha belirgin hâle gelebilir. Bu risk, literatürde henüz sistematik olarak ölçülmemiş olsa da, bütünleşik sistemlerin tasarımında sadeliğin karmaşıklık kadar önemli bir tasarım ilkesi olması gerektiğini düşündürmektedir.

Bu üç düzeydeki zorluklara karşın, literatür tümüyle karamsar bir tablo izmemektedir. Rehman ve arkadaşları (2025), standartlaştırılmış bütünleşme protokolleri, daha sezgisel kullanıcı arayüzleri ve gelişmiş birlikte çalışabilirlik çözümlerinin geliştirilmesini gelecek araştırma gündeminin merkezine yerleştirir. Yazarlar ayrıca yapay zekâ, otomasyon ve genişletilmiş gerçekliğin bu çözümlere dahil edilmesini önermektedir. Benzer biçimde Kapogiannis ve arkadaşlarının (2020) gözlemlediği "muhafazakr" kullanıcı tepkisi de değişmez bir engel değildir. Yazarlar bu tepkiyi, yeni bir teknolojiyle doğrulanmış bir kanıyı geleneksel yollarla teyit etme alışkanlığına bağlamakta ve bu alışkanlığın, teknoloji güvenilirliği arttıkça zamanla azalacağını öngörmektedir. Bu iyimser okumaların ortak varsayımı, zorlukların teknik ya da kurumsal olarak kalıcı değil, geçiş dönemine özgü olduğudur. Ancak bu varsayımın kendisi de sınanmayı bekleyen bir öngörüdür.

Bu üç düzeydeki zorluklar bir arada değerlendirildiğinde, bütünleşik yaklaşımın önündeki asıl engelin artık "mümkün m" sorusu olmadığı görülür. Sorun artık, "kimin için, hangi maliyetle ve hangi sorumlulukla" sorularına kaymıştır. Bu, altıncı bölümde ele alınacak mimarlık eğitimi değerlendirmesinin de zeminini oluşturmaktadır. Bir eğitim kurumunun bu üç bileşeni müfredatına taşıması, yalnızca teknik bir yatırım kararı değil, bu bölümde sıralanan kurumsal ve etik sorulara da bir yanıt geliştirmesini gerektirmektedir.

ALTINCI BÖLÜM:

MİMARLIK VE YAPILI ÇEVRE EĞİTİMİ

BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRME

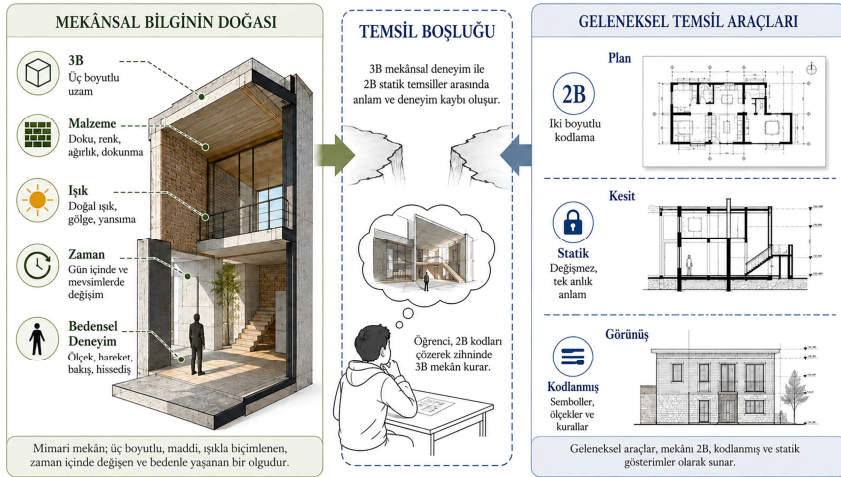
6.1. Uzamsal algı ve bilişsel zorluklar

Önceki bölüm, oyunlaştırma, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve genişletilmiş gerçekliğin bütünleşik kullanımını teknik, kurumsal ve etik olmak üzere üç düzeyde değerlendirerek tamamlanmıştı. Bu bölüm ise aynı bütünleşmeyi, mimarlık ve yapıli çevre eğitiminin kendine özgü bir sorunu üzerinden ele almaktadır. Söz konusu sorun, tasarım bilgisinin doğası ile bu bilgiyi aktarmak için kullanılan temsil araçları arasındaki uyumsuzluktur.

Mimari tasarım bilgisi, özü gereği üç boyutlu, malzemesel, ışıkla ve zamanla değişen, bedenle deneyimlenen bir bilgidir. Buna karşılık bu bilginin öğretiminde ve aktarımında kullanılan başlıca araçlar, yüzyıllardır iki boyutlu ve statik kalmıştır. Plan, kesit ve görünüş, mekânı temsil eden değil, mekâna ilişkin kodlanmış bilgi taşıyan araçlardır. Bu araçların okunabilmesi, öğrencinin bu kodu çözerek zihninde üç boyutlu bir mekân kurmasını gerektirir. Buraya kadarki bölümlerde ele alınan çalışmaların büyük çoğunluğu, farklı terimlerle ve farklı bağlamlarda da olsa, bu temsil boşluğuna işaret etmektedir. Bu boşluk, öğrencinin zihinsel kaynaklarının bir bölümünü öğrenilecek mekânsal içeriğe değil, farklı temsil biçimleri arasında sürekli dönüşüm yapmaya ayırmasına neden olmaktadır. Özellikle mesleki deneyimi sınırlı öğrenciler açısından bu süreç, ölçek, derinlik, malzeme, ışık ve mekânsal ilişkilerin birlikte

kavranmasını güçleştirebilmektedir. Bu nedenle sorun yalnızca çizim araçlarının teknik sınırlılığı değil, bilginin öğrenene hangi deneyim biçimi içinde sunulduğuyla da ilgilidir. YBM, mekânsal ve anlamsal bilgiyi bütünlük bir model içinde toplarken, genişletilmiş gerçeklik bu bilginin doğrudan deneyimlenebileceği bir ortam sağlar. Oyunlaştırma ise bu deneyime görev, geri bildirim ve etkileşim mekanizmaları ekleyerek öğrencinin süreçte daha etkin bir konum almasına katkıda bulunur. Dolayısıyla üç bileşenin eğitim bağlamındaki ortak değeri, mimari bilginin temsil edilmesi ile doğrudan deneyimlenmesi arasındaki mesafeyi azaltma potansiyellerinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 17).

Şekil 17 Mimarlık eğitiminde üç boyutlu mekânsal bilgi ile iki boyutlu temsil arasındaki boşluk



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Bu boşluğun Türkiye bağlamındaki iki farklı görünümü, ikinci ve dördüncü bölümlerde ele alınan Süvari'nin (2021) ve Karadallı'nın (2022) çalışmalarında izlenebilir. Süvari'nin (2021) iç mimarlık stajı üzerine geliştirdiği oyunlaştırma modeli, öğrencinin henüz fiilen deneyimlemediği bir mesleki ortama hazırlanması

sorununu ele almaktadır. Karadallı'nın (2022) tarihî çevre çalışması ise artık fiziksel olarak erişilemeyen ya da özgün niteliğini yitirmiş bir mekânın deneyiminin nasıl yeniden kurulacağı sorusuna odaklanmaktadır. Biri geleceğe, diğeri geçmişe dönük olan bu iki çalışma, aynı temel boşluğun iki ucunu temsil etmektedir. Her iki durumda da doğrudan deneyimlenemeyen bir mekânın, öğrenciye ya da kullanıcıya dolayımli biçimde aktarılması gerekmektedir.

Bu bölümde söz konusu boşluk, tek bir bütün olarak değil, birbirinden ayrışan üç bilişsel zorluk üzerinden incelenmektedir. Bu ayrıştırma, literatürde çoğunlukla birlikte anılan sorunların hangi teknolojik çözümle hangi mekanizma üzerinden karşılandığını görünür kılmak açısından gereklidir.

Uzamsal Yeteneğin Rolü

Üç zorluğu ele almadan önce, bunların hepsinin dayandığı bilişsel kapasitenin tanımlanması gerekir. Obeid ve Demirkan'ın (2023) aktardığı yerleşik tanıma göre, fiziksel ve soyut bilginin zihinsel olarak temsil edilmesi, dönüştürülmesi, türetilmesi ve üretilmesi kapasitesidir. Bu kapasite, iki ve üç boyutlu zihinsel temsiller arasında geçiş yapabilmeyi kapsar. Tasarım öğrencilerinin ve tasarımcıların yüksek düzeyde uzamsal yeteneğe sahip olması beklenir. Ancak alan yazınında sıkça vurgulandığı gibi, öğrencilerin önemli bir bölümü yeterli tasarım bilgisine sahip olsa dahi, fikirlerini iki boyutlu çizimlerde ya da üç boyutlu modellerde dışsallaştırmakta güçlük çekmektedir.

Bu noktada gözden kaçırılmaması gereken bir ayrım vardır. Deneyimli bir mimar, iki boyutlu bir kesiti okurken zihninde neredeyse çaba harcamadan üç boyutlu bir mekân kurabilir. Bu, yıllar süren bir pratikle otomatikleşmiş bir uzmanlık becerisidir. Buna karşılık birinci sınıf öğrencisi için aynı okuma işlemi, bilinçli ve yorucu bir zihinsel çaba gerektirir. Bu acemi ile uzman arasındaki fark, bu bölümde ele alınan teknolojilerin eğitimdeki potansiyel

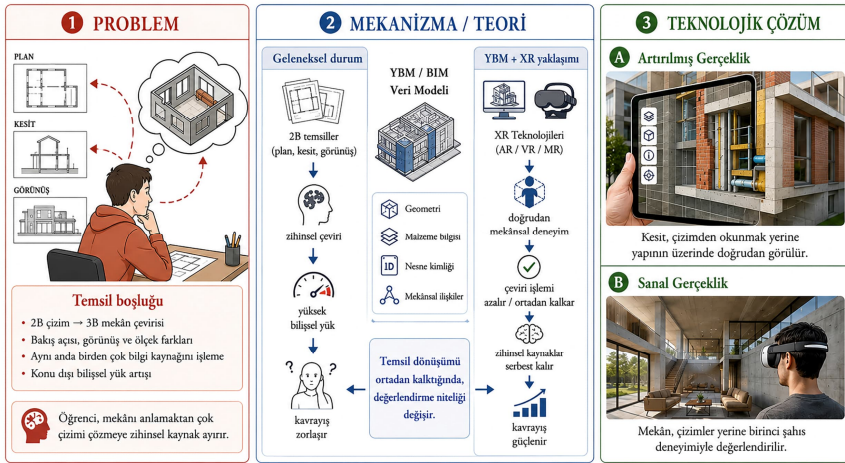
katkısının nerede yoğunlaştığını göstermektedir. Söz konusu araçlar, uzman bir tasarımcı için sunum ve doğrulama kolaylığı sağlarken, henüz bu otomatikleşmeyi kazanmamış bir öğrenci için telafi edici bir bilişsel destek işlevi görebilir. Nitekim Bustos Lopez ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında, geliştirilen genişletilmiş gerçeklik öğrenme ortamının müfredatın daha erken dönemlerine, uzamsal becerilerin henüz gelişmekte olduğu aşamaya yerleştirilmesinin önerilmesi bu değerlendirmeyi desteklemektedir.

Birinci Zorluk: Temsil Dönüşümü Yükü

İlk ve en yaygın zorluk, iki boyutlu temsil ile üç boyutlu mekân arasındaki sürekli zihinsel çeviri gerekliliğidir. Ashour ve Yan (2020), bu güçlüğü bilişsel yük kuramı çerçevesinde açıklamaktadır. Yazarlara göre bir çizimin bileşenlerini fiziksel dünyadaki karşılıklarıyla ilişkilendirme süreci, görünüş açıları, bakış açıları ve ölçekler arasındaki farklılıklar nedeniyle öğrencide belirgin bir zihinsel yük oluşturmaktadır. Birbirinden mekânsal olarak uzak bilgi kaynaklarını aynı anda işleme zorunluluğu, bu yükü konu dışı bilişsel yük olarak artırmaktadır. Buradaki kritik nokta, harcanan zihinsel çabanın öğrenilecek konuya değil, temsiller arasındaki çeviri işlemine gitmesidir. Öğrenci, mekânı anlamak yerine çizimi çözmekle meşgul olmaktadır. Bu durum özellikle mekânsal deneyimi sınırlı öğrencilerde, plan, kesit ve görünüş arasındaki ilişkilerin kurulmasını daha da güçleştirebilir. Böylece temsil aracının kendisi, öğrenmeyi destekleyen bir araç olmaktan çıkarak ek bir bilişsel görev hâline gelebilir. Sonuç olarak öğrencinin dikkat ve çalışma belleği kapasitesinin önemli bir bölümü, mekânsal ilişkileri kavramak yerine farklı gösterimler arasında bağlantı kurmaya ayrılmaktadır. Bu nedenle temsil biçiminin bilişsel yükü azaltacak şekilde yeniden düzenlenmesi, öğrenme sürecinin niteliği açısından önem taşımaktadır.

Bu tanım, teknolojik çözümün hangi mekanizmayla işlediğini de açıklar. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde tartışılan YBM ile genişletilmiş gerçeklik bütünleşmesi, çeviri işlemini ortadan kaldırarak zihinsel kaynakları serbest bırakmaktadır. Ashour ve arkadaşlarının (2022) geliştirdiği BIMxAR sistemi bu yaklaşımın en doğrudan örneğidir. Sistem, YBM verisini gerçek yapının üzerine hizalayarak kullanıcının yapıyı sanal olarak kesip iç bileşenlerini görmesine olanak tanımaktadır. Yazarlar bu deneyimi tıbbi görüntülemeye benzetmektedir. Öğrenci, bir kesit çizimini okuyup zihninde yapıya yerleştirmek yerine, kesiti doğrudan yapının üzerinde görmektedir (Şekil 18).

Şekil 18 2B temsil ile 3B mekânsal kavrayış arasındaki bilişsel boşluk ve YBM–XR tabanlı çözüm



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Aynı mekanizmanın sanal gerçeklik tarafındaki karşılığı, dördüncü bölümde ele alınan Abu Alatta ve Freewan (2017) ile Díaz González ve arkadaşlarının (2025) bulgularında görülmektedir. Birincisinde bir jüri üyesinin, sanal ortamda deneyimledikten sonra başlangıçta olumsuz bulduğu bir tasarıma ilişkin kanaatini değiştirmesi aktarılmaktadır. İkincisinde ise katılımcıların yüzde

seksen beş buçuğu, immersif deneyimin eskiz ve çizimleri incelemeye kıyasla üstün bir kavrayış sağladığını belirtmiştir. İki bulgu da aynı mekanizmaya işaret etmektedir. Temsil dönüşümü ortadan kalktığında, mekâna ilişkin değerlendirme niteliksel olarak değişmektedir.

İkinci Zorluk: Algılanamayan Olguların Temsili

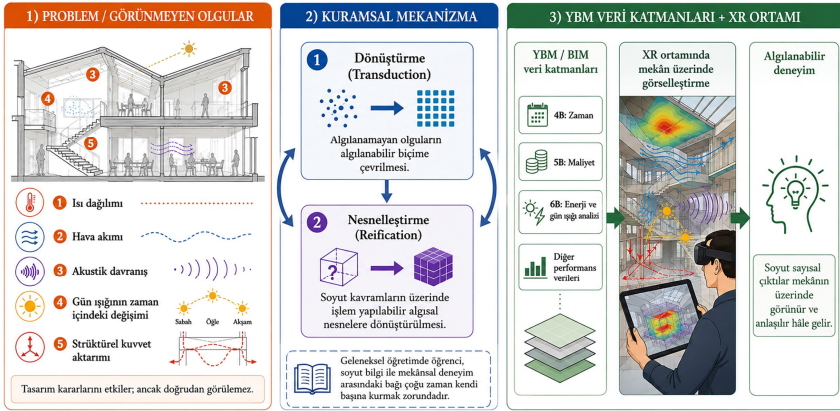
İkinci zorluk, birincisinden niteliksel olarak farklıdır. Burada sorun temsiller arasındaki çeviri değil, temsil edilecek olgunun insan duyularıyla doğrudan erişilebilir olmamasıdır. Bir mekândaki ısı dağılımı, hava akımı, akustik davranış, gün ışığının gün içindeki değişimi ya da bir strüktürel sistemdeki kuvvet aktarımı, tasarım kararlarını doğrudan belirleyen ancak gözle görülemeyen olgulardır.

Winn'in (1993) dördüncü bölümde ele alınan iki kavramı, bu zorluğa yönelik kuramsal çerçeveyi sunmaktadır. Dönüştürme, duyuların algılayamadığı olguların algılanabilir bir biçime çevrilmesini ifade eder. Nesnelleştirme ise soyut kavramların üzerinde işlem yapılabilir algısal nesnelere dönüştürülmesini tanımlar. Geleneksel eğitim araçları bu iki dönüşümü ya hiç gerçekleştirmez ya da öğrencinin soyut bilgi ile deneyim arasında kendi başına kurması gereken bir bağa indirger. Bir öğrencinin yapı fiziği dersinde öğrendiği ilkeleri, tasarladığı mekânın gerçek davranışıyla ilişkilendirmesi çoğunlukla bu nedenle güçtür.

Bu noktada üçüncü bölümde tartışılan YBM boyutları tartışması yeniden anlam kazanmaktadır. Modele eklemlenen her yeni veri katmanı, aslında Winn'in (1993) tanımladığı dönüştürme işlemi için bir kaynak oluşturmaktadır. Altıncı boyuttaki enerji ve gün ışığı analizleri, dördüncü boyuttaki zaman verisi ya da beşinci boyuttaki maliyet bilgisi, kendi başlarına soyut sayısal çıktılardır. Bu çıktıların genişletilmiş gerçeklik ortamında mekânın kendisi üzerinde görselleştirilmesi ise onları algılanabilir kılmaktadır. Böylece öğrenci, sayısal bir değeri yalnızca tablo veya grafik

üzerinden okumak yerine, bu değerin mekânsal karşılığını bulunduğu bağlam içinde doğrudan değerlendirebilir. Örneğin ısı kayıplarının yüzeyler üzerinde, hava hareketlerinin yön ve yoğunluklarıyla ya da gün ışığı düzeylerinin mekânsal dağılımla birlikte gösterilmesi, soyut performans verisi ile tasarım kararı arasındaki ilişkiyi somutlaştırır. Bu durum, öğrencinin yalnızca sonucu görmesini değil, farklı tasarım kararlarının yapı performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırarak neden-sonuç ilişkileri kurmasını da destekler. Dolayısıyla XR ortamı, YBM’de depolanan veriyi yalnızca sunan bir arayüz değil, sayısal bilgiyi mekânsal deneyime dönüştüren bir öğrenme ortamı olarak işlev görmektedir. Bu bakımdan YBM ile XR bütünleşmesinin eğitimdeki değeri yalnızca görselleştirme kalitesinde değil, görünmeyeni görünür kılma kapasitesinde aranmalıdır (Şekil 19).

Şekil 19 Algılanamayan olguların temsili ve YBM–XR bütünleşmesi



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Üçüncü Zorluk: Yerinde Deneyime Erişim Sınırlılığı

Üçüncü zorluk, ilk ikisinden daha az tartışılan ancak mimarlık disiplininin doğasına en yakın olanıdır. Mekân, yalnızca

görsel bir olgu değildir. Ölçek algısı, bir mekânda bulunma hissi, atmosfer ve bedeninin çevreyle kurduğu ilişki, hiçbir iki boyutlu temsile tam olarak aktarılamaz. Bu nedenle mimarlık eğitiminde mekânın yalnızca çizimler veya ekran üzerindeki görüntüler aracılığıyla aktarılması, öğrencinin çevreyle kuracağı bedensel ve duyuşsal ilişkisinin önemli bir bölümünü dışarıda bırakmaktadır. Özellikle insan ölçeğinin kavranması, hareket sırasında değişen görüş alanlarının algılanması, malzemenin yarattığı duyuşsal etkiler ve mekânsal sınırların bedensel olarak hissedilmesi, doğrudan deneyimle güçlenen bilgi türleridir.

Bustos Lopez ve arkadaşlarının (2024) geliştirdiği bilişsel ekoloji çerçevesi bu zorluğu doğrudan ele almaktadır. Yazarlara göre mekân algısı, zihin, beden ve dünya sistemleri arasındaki karşılıklı bağımlılık ağı içinde gerçekleşmektedir. Görme, dokunma ve iç duyum gibi farklı algısal kanallardan gelen bilginin bütünleştirilmesiyle oluşmaktadır. Bu yaklaşım, nöromimari (neuroarchitecture) alanındaki gelişmelerden beslenmekte ve mimarlığın bilişsel-duyuşsal boyutunun henüz yeterince araştırılmadığını vurgulamaktadır. Genişletilmiş gerçeklik ortamlarının bu çerçevedeki temel değeri, kullanıcıda bedensel olarak mekânın içinde bulunma hissi oluşturarak çevrenin görsel, işitsel ve mekânsal ipuçlarıyla çok duyulu biçimde deneyimlenmesini sağlamasıdır. Böylece öğrenci, mekânı dışarıdan izlenen bir temsil olarak değil, içinde hareket edilen ve farklı konumlardan algılanan bir çevre olarak değerlendirebilir. Kullanıcının bakış yönü, hareketi ve mekân içindeki konumu değiştiğinde deneyimin de değişmesi, geleneksel iki boyutlu temsillerde bulunmayan önemli bir öğrenme olanağı sunmaktadır. Bununla birlikte, sanal ortamın sağladığı bu bedensel konumlanma hissi gerçek çevrede yaşanan deneyimin tüm duyuşsal bileşenlerini eksiksiz biçimde yeniden üretmemektedir. Dokunsal geri bildirim,

fiziksel direnç, sıcaklık, koku ve çevresel koşullar gibi pek çok unsur sanal deneyimde sınırlı kalabilmektedir.

Bu üçüncü zorluk, dördüncü bölümde ele alınan Elgewely ve arkadaşlarının (2021) öğretim üyesi görüşmelerinde de dolaylı olarak görünür hâle gelmektedir. Görüşülen bir öğretim üyesinin, sanal şantiye ortamını yararlı bulmakla birlikte gerçek şantiye ziyaretlerinin daha değerli olduğunu belirtmesi, bedensel deneyimin sanal ortamda henüz tam olarak karşılanamadığına dair bir uyarı olarak okunabilir. Aynı yönde bir bulgu Bustos Lopez ve arkadaşlarının çalışmasında da bulunmaktadır. En nitelikli tasarım ürünlerinin, geleneksel yöntemlerle immersif teknolojilerin birlikte yürütüldüğü süreçlerde ortaya çıkması, sanal ortamın şantiye sahasındaki deneyimin yerini almadığını, onu tamamladığını göstermektedir (Şekil 20).

Şekil 20 Yerinde deneyime erişim sınırlılığı ve XR'nin tamamlayıcı rolü



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur; oluşturma sürecinde YZ araçlarından yararlanılmıştır.

Bu durum, genişletilmiş gerçeklik teknolojilerinin eğitimdeki rolünün gerçek saha deneyimini ikame etmekten çok, erişimin mümkün olmadığı veya sınırlı kaldığı durumlarda deneyim boşluğunu azaltmak olarak değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir. Öğrenci, sanal ortam aracılığıyla mekânı

önceden deneyimleyebilir, farklı senaryoları güvenli biçimde tekrar edebilir ve gerçek saha ziyaretine daha hazırlıklı hâle gelebilir. Benzer biçimde, saha deneyimi sonrasında sanal ortamın yeniden kullanılması, gözlemlenen mekânsal ve yapısal ilişkilerin tekrar değerlendirilmesine olanak sağlayabilir. Böylece gerçek ve sanal deneyim birbirinin alternatifi değil, aynı öğrenme sürecinin birbirini destekleyen iki bileşeni hâline gelir. Bu açıdan temel mesele, sanal ortamın ne ölçüde gerçekçi olduğu kadar, öğrencinin bedensel ve mekânsal deneyimini hangi ölçüde desteklediği ve gerçek ortamlarla nasıl ilişkilendirildiğidir.

6.2. Ampirik Bulguların Eleştirel Değerlendirmesi

Yukarıda aktarılan kuramsal çerçeveyi destekleyen ampirik çalışmaların bulguları genel olarak olumlu yöndedir. Sanal ve genişletilmiş gerçeklik ortamlarının mekânsal kavrayışı güçlendirdiği, tasarım sürecine katılımı artırdığı ve bazı durumlarda geleneksel temsil araçlarına kıyasla daha nitelikli öğrenme deneyimleri oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte, bu sonuçların teknolojinin doğrudan ve koşulsuz bir üstünlüğü olarak yorumlanması yanıltıcı olabilir. Çalışmaların kullandığı karşılaştırma grupları, katılımcıların teknoloji deneyimi, uygulama süresi, ölçülen değişkenler ve deney ortamının niteliği gibi yöntemsel farklılıklar, elde edilen sonuçların nasıl okunması gerektiğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle olumlu bulgular kadar, bu bulguların hangi koşullar altında ortaya çıktığının da değerlendirilmesi gerekmektedir. Obeid ve Demirkan'ın (2023) kırk iki birinci sınıf öğrencisiyle yürüttüğü deneysel çalışma, bu açıdan özellikle öğretici bir örnek sunmaktadır.

Çalışmada uzamsal yetenek standart bir zihinsel döndürme testiyle, akış durumu ve motivasyon ise yerleşik ölçeklerle değerlendirilmiştir. Bulgular, immersif sanal tasarım ortamında çalışan öğrencilerin daha yüksek uzamsal yetenek düzeyi

sergilediğini ve tasarım sürecindeki yaratıcılığın bu ortamda daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, immersif ortamların öğrencinin tasarım nesnesiyle daha doğrudan bir mekânsal ilişki kurmasını destekleyebileceği yönündeki kuramsal beklentiyle uyumludur. Öğrencinin modeli yalnızca dışarıdan gözlemlemek yerine çevresinde hareket edebilmesi, farklı bakış noktalarını deneyimleyebilmesi ve ölçek ilişkilerini birinci şahıs perspektifinden değerlendirebilmesi, iki boyutlu ya da ekran tabanlı temsillerde gerekli olan bazı zihinsel dönüşüm işlemlerini azaltabilmektedir. Bu açıdan bulgu, önceki alt başlıklarda tartışılan temsil boşluğu ve bedensel konumlanma sorunlarıyla da doğrudan ilişkilendirilebilir.

Bununla birlikte yazarların dikkat çektiği bir ayrıntı, sonuçların daha temkinli okunmasını gerektirmektedir. Akış durumunun genel düzeyinde iki grup arasında anlamlı bir fark bulunmamış, farklılık yalnızca akış ölçeğinin özerk deneyim alt boyutunda belirginleşmiştir. Yazarlar bu durumu, karşılaştırmanın immersif ortam ile geleneksel kâğıt-kalem ortamı arasında değil, immersif ve immersif olmayan iki sanal ortam arasında gerçekleştirilmiş olmasıyla açıklamaktadır. Başka bir ifadeyle, her iki grup da sayısal ve etkileşimli bir tasarım aracıyla çalışmıştır. Dolayısıyla yalnızca bilgisayar destekli bir ortamda tasarım yapmanın sağladığı etkileşim, geri bildirim ve görsel temsil olanakları her iki grupta da belirli düzeyde akış deneyimi oluşturmuş olabilir. Bu durum, immersifliğin etkisini teknolojik ortamın genel etkisinden ayırmanın yöntemsel önemini ortaya koymaktadır.

Bu ayrıntı, alan yazınının bütününe değerlendirirken dikkate alınması gereken daha genel bir soruna işaret etmektedir. Sanal gerçekliğin olumlu etkisini bildiren çalışmaların önemli bir bölümü, immersif ortamları plan, kesit, görünüş, basılı materyal veya geleneksel sınıf uygulamalarıyla karşılaştırmaktadır. Böyle bir deney tasarımı iki grup arasındaki fark yalnızca immersiflik

düzeyinden kaynaklanmayabilir. Üç boyutlu model kullanımı, gerçek zamanlı etkileşim, hareketli görselleştirme, anlık geri bildirim veya sayısal ortamın sağladığı diğer olanaklar da sonuçlara katkıda bulunabilir. Dolayısıyla “VR daha başarılıdır” biçimindeki genel bir sonuç, aslında birden fazla değişkenin birlikte oluşturduğu etkiyi tek bir teknolojiye atfetme riski taşımaktadır. Obeid ve Demirkan’ın (2023) deney tasarımının önemi, karşılaştırmayı iki sayısal ortam arasında kurarak bu karışıklığın en azından bir bölümünü denetim altında tutmaya çalışmasıdır.

Bu bağlamda gelecekteki çalışmalar açısından önemli olan, yalnızca farklı teknolojileri karşılaştırmak değil, karşılaştırılan ortamlar arasındaki değişkenleri mümkün olduğunca ayırtılabilmektir. Örneğin aynı üç boyutlu modelin masaüstü ekranda, başa takılan bir ekran aracılığıyla ve geleneksel çizimler üzerinden sunulduğu deney düzenekleri, immersifliğin etkisini temsil biçiminin etkisinden daha açık biçimde ayırabilir. Benzer şekilde etkileşim düzeyi, hareket serbestliği, geri bildirim yoğunluğu ve kullanıcı kontrolü gibi değişkenlerin ayrı ayrı değerlendirilmesi, hangi teknolojik özelliğin hangi öğrenme kazanımına katkıda bulunduğunun anlaşılmasını sağlayabilir. Böyle bir yaklaşım, araştırma sorusunu “hangi teknoloji daha iyidir?” biçimindeki genel bir karşılaştırmadan çıkararak “hangi özellik, hangi kullanıcı grubu için, hangi öğrenme hedefinde ve hangi koşullar altında etkilidir?” sorusuna yöneltecektir. Alanın olgunlaşması açısından daha açıklayıcı olan yaklaşım da budur.

İkinci önemli uyarı, yenilik etkisiyle ilgilidir. Díaz González ve arkadaşlarının (2025) çalışmasında katılımcıların üçte ikisi daha önce kayda değer bir sanal gerçeklik deneyimi yaşamadığını bildirmiştir. Benzer biçimde Obeid ve Demirkan’ın (2023) örnekleminde de katılımcıların yaklaşık üçte ikisi sanal gerçeklik araçlarına yabancıdır ve hiçbiri bu araçları daha önce tasarım amacıyla kullanmamıştır. Bu durum, teknolojinin ilk kez

deneyimlenmesinden kaynaklanan merak, ilgi ve heyecanın ölçülen motivasyon ya da memnuniyet düzeylerini yükseltmiş olabileceği ihtimalini gündeme getirmektedir. Kullanıcı açısından yeni ve alışılmadık bir arayüz, öğrenme içeriğinden bağımsız olarak dikkat çekici olabilir. Dolayısıyla kısa süreli deneyler sonunda bildirilen yüksek memnuniyet veya motivasyon, teknolojinin uzun vadeli pedagojik değerini tek başına kanıtlamamaktadır.

Yenilik etkisinin önemi, özellikle eğitim teknolojilerinde zaman boyutunun değerlendirmeye katılmasını gerekli kılmaktadır. Bir teknolojinin ilk kullanımındaki olumlu tutum, öğrenciler arayüze alıştıkça azalabilir ya da tersine, başlangıçtaki kullanım güçlükleri ortadan kalktıkça öğrenme performansı zaman içinde artabilir. Bu iki olasılığın hangisinin gerçekleştiği tek oturumlu ya da kısa süreli deneylerle belirlenemez. Bu nedenle aynı öğrenci grubunun bir dönem veya daha uzun süre boyunca izlendiği boylamsal çalışmalar, teknolojinin kalıcı öğrenme üzerindeki etkisini değerlendirmek açısından daha güçlü kanıt sağlayabilir. Böyle bir tasarım, yalnızca ilk karşılaşmadaki memnuniyet düzeyini değil, teknolojinin düzenli kullanıma dönüştüğünde öğrencinin performansı, motivasyonu, mekânsal kavrayışı ve tasarım kararları üzerindeki etkisini de görünür hâle getirebilir.

Bu noktada değerlendirilmesi gereken bir başka konu da öğrenme kazanımlarının teknoloji kullanımı sona erdikten sonra ne ölçüde sürdürülebildiğidir. Öğrencinin bir sanal ortam içinde başarılı biçimde gerçekleştirdiği görevin, daha sonra gerçek bir şantiye, tasarım stüdyosu veya geleneksel temsil ortamına aktarılıp aktarılamadığı ayrıca sorgulanmalıdır. Başka bir ifadeyle, öğrenme ortamı içindeki performans ile öğrenilen bilginin başka bağlamlara aktarılması aynı şey değildir. Mimarlık ve yapıli çevre eğitimi açısından asıl amaç, öğrencinin yalnızca belirli bir XR uygulamasını başarıyla kullanması değil, bu ortamda edindiği mekânsal, teknik ve tasarımsal bilgiyi farklı mesleki problemlerde kullanabilmesidir. Bu

nedenle gelecekteki araştırmaların kısa süreli kullanıcı memnuniyetinin yanı sıra bilgi kalıcılığı ve öğrenme transferini de değerlendirmesi önem taşımaktadır.

Üçüncü bir husus, bütünleşik ortamlarda bilişsel yükün nasıl değiştiğidir. Bu bölümün başında, YBM ve XR bütünleşmesinin iki boyutlu temsil ile üç boyutlu mekân arasındaki zihinsel dönüşüm gereksinimini azaltarak konu dışı bilişsel yükü düşürebileceği belirtilmişti. Bu açıdan teknoloji, öğrencinin çizimi çözmeye ayırdığı zihinsel kaynakların bir bölümünü doğrudan mekânsal ilişkileri anlamaya yönlendirebilmesine olanak sağlayabilir. Ancak dördüncü ve beşinci bölümlerde Dunleavy ve Dede'nin (2014) işaret ettiği ters yönlü bir etki de bulunmaktadır. Fiziksel çevrenin ve sanal bilgi katmanının eşzamanlı olarak algılanması ve işlenmesi, kendi başına yeni bir bilişsel yük oluşturabilmektedir.

Bu sorun, YBM, XR ve oyunlaştırmanın birlikte kullanıldığı ortamlarda daha da önemli hâle gelmektedir. Kullanıcıdan aynı anda üç boyutlu mekânı algılaması, YBM'den gelen yoğun bilgi katmanlarını yorumlaması, sanal göstergeleri takip etmesi, fiziksel çevreye dikkat etmesi, oyunlaştırılmış görevleri yerine getirmesi, puan veya geri bildirim mekanizmalarını izlemesi ve belirli bir öğrenme hedefini gerçekteştirmesi beklenebilir. Bu bileşenlerin her biri tek başına anlamlı olsa da aynı arayüz içinde eşzamanlı olarak sunulduklarında öğrencinin çalışma belleği üzerinde önemli bir yük oluşturabilirler. Böyle bir durumda temsil dönüşümünün azaltılmasıyla kazanılan bilişsel kaynak, bu kez arayüzün ve etkileşim mekaniklerinin işlenmesine harcanabilir. Dolayısıyla daha fazla bilgi, daha fazla etkileşim veya daha yüksek immersiflik her zaman daha iyi öğrenme anlamına gelmemektedir.

Bu durum, bütünleşik ortamların tasarımında bilgi seçiciliği ve aşamalı sunum ilkelerinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Kullanıcıya YBM modelindeki bütün verilerin aynı anda

gösterilmesi yerine, yalnızca mevcut görevin gerektirdiği bilgi katmanlarının görünür hâle getirilmesi daha işlevsel olabilir. Benzer biçimde oyunlaştırma mekaniklerinin öğrenme hedefinin önüne geçmeyecek biçimde sınırlandırılması, görsel ve işitsel uyarıcıların dikkat dağıtmayacak düzeyde tutulması ve kullanıcıya gerektiğinde bilgi katmanlarını açıp kapatma kontrolünün verilmesi bilişsel yükün yönetilmesine katkı sağlayabilir. Burada tasarımın amacı, mümkün olan en fazla teknolojik özelliği tek bir ortamda toplamak değil, öğrencinin öğrenme görevini destekleyecek en uygun bileşenleri seçerek bunlar arasında dengeli bir ilişki kurmaktır.

Bu nokta, çalışmada daha önce tartışılan oyunlaştırma kuramlarıyla da ilişkilidir. Akış Kuramının öngördüğü zorluk-beceri dengesi, yalnızca görevin içerik düzeyindeki zorluğu için değil, kullanılan arayüzün karmaşıklığı açısından da düşünülebilir. Öğrenci hem öğrenilecek problemle hem de teknolojinin kendisiyle mücadele etmek zorunda kaldığında, toplam görev zorluğu bireyin beceri düzeyini aşabilir ve beklenen akış deneyiminin yerini kaygı veya bilişsel aşırı yüklenme alabilir. Benzer şekilde Öz-Belirleme Kuramı açısından kullanıcının bilgi katmanlarını, hareket biçimini veya görev sırasını belirli ölçüde kontrol edebilmesi, yalnızca kullanım kolaylığı değil, özerklik deneyimini destekleyen bir tasarım kararı olarak da değerlendirilebilir. Böylece teknik arayüz tasarımı ile pedagojik kuram arasında doğrudan bir ilişki kurulmaktadır.

Bu üç eleştirel notun yanında, çalışmaların örneklem yapısı ve bağlamsal özellikleri de sonuçların genellenebilirliği açısından dikkate alınmalıdır. Mimarlık öğrencilerinin sınıf düzeyi, daha önceki sayısal modelleme deneyimleri, uzamsal yetenekleri ve kullanılan yazılımlara aşinalıkları, aynı teknolojiden farklı düzeylerde yararlanmalarına neden olabilir. Birinci sınıf öğrencisi için önemli bir bilişsel destek oluşturan üç boyutlu ve immersif temsil, ileri düzey bir öğrencide aynı ölçüde fark yaratmayabilir.

Benzer biçimde yüksek uzamsal yeteneğe sahip kullanıcılarla bu konuda güçlük yaşayan kullanıcıların aynı ortamdan elde ettikleri kazanımlar farklılaşabilir. Bu nedenle teknolojinin ortalama etkisini belirlemek kadar, hangi öğrenci gruplarının teknolojiden daha fazla veya daha az yararlandığını ortaya koymak da önemlidir.

Bu durum, bütünleşik öğrenme ortamlarının tek tip bir pedagojik çözüm olarak ele alınmaması gerektiğini göstermektedir. Öğrencinin deneyim düzeyine, dersin içeriğine ve hedeflenen yetkinliğe göre değişen esnek sistemler daha uygun olabilir. Başlangıç düzeyindeki bir öğrenci için daha fazla yönlendirme, sınırlı veri katmanı ve açık görevler gerekli olurken, ileri düzeydeki öğrenciler daha karmaşık modelleri, serbest keşfi ve çoklu karar senaryolarını kullanabilir. Böyle bir kademelendirme, oyunlaştırmada tartışılan zorluk düzeyinin kullanıcı becerisine uyarlanması düşüncesiyle de örtüşmektedir. Dolayısıyla kişiselleştirme ve uyarlanabilirlik, YBM-XR-oyunlaştırma bütünleşmesinin gelecekteki araştırma alanlarından biri olarak değerlendirilebilir.

Son olarak, ampirik bulgular değerlendirilirken ölçülen sonuç değişkenlerinin niteliği de önem taşımaktadır. Kullanıcıların bir teknolojiyi yararlı veya ilgi çekici bulması, doğrudan öğrenme kazanımının arttığı anlamına gelmez. Benzer biçimde bir görev sırasında daha yüksek motivasyon bildirilmesi, edinilen bilginin uzun süreli olarak korunacağını veya mesleki pratiğe aktarılacağını tek başına göstermemektedir. Bu nedenle kullanıcı tutumu, motivasyon, mekânsal performans, tasarım kalitesi, bilgi kalıcılığı ve öğrenme transferi birbirinden ayrıştırılarak değerlendirilmelidir. Bütünleşik ortamların eğitimsel değerine ilişkin güçlü bir kanıt tabanı, yalnızca öznel değerlendirmelere değil, davranışsal ve performansa dayalı ölçütlerin birlikte kullanılmasına dayanmalıdır.

Bu üç temel eleştirel not ve bunlara eşlik eden yöntemsel sorunlar, buraya kadar aktarılan olumlu bulguları geçersiz kılmamaktadır. Aksine, mevcut araştırmalar YBM, oyunlaştırma ve genişletilmiş gerçeklik bütünleşmesinin mimarlık ve yapıli çevre eğitiminde önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Ancak bu potansiyelin pedagojik değere dönüşmesi, teknolojinin yalnızca varlığına değil, hangi amaçla, hangi kullanıcı grubuyla, hangi süre boyunca ve hangi tasarım ilkeleri doğrultusunda kullanıldığına bağılıdır. Bu nedenle alanın bundan sonraki aşamasında temel soru, söz konusu teknolojilerin eğitimde yararlı olup olmadığı sorusundan daha ayrıntılı bir düzeye taşınmalıdır. Asıl araştırılması gereken, hangi bütünleşme biçiminin hangi öğrenme hedefi için, hangi koşullar altında ve hangi öğrenci profili açısından daha etkili olduğudur. Böyle bir yönelim, teknolojik yeniliğin kendisini merkeze alan yaklaşımdan pedagojik etkililiğı merkeze alan daha olgun bir araştırma çerçevesine geçiş anlamına gelmektedir. Bu değerlendirme, aynı zamanda bir sonraki alt başlığın gündemini ve gelecekteki araştırmalara yönelik temel gereksinimleri belirlemektedir.

6.3. Gelecek Araştırma Yönelimleri

Bu çalışmada incelenen literatür, olgunlaşmış bir uygulama alanından çok, hızla şekillenmekte olan bir araştırma gündemine işaret etmektedir. Bu gündemin ana hatları, farklı yazarlar tarafından bağımsız biçimde dile getirilen boşlukların bir araya getirilmesiyle belirlenebilir. Aşağıda bu boşluklar altı başlıkta toplanmaktadır.

Birinci boşluk, ölçme araçlarının standartlaşmamasıdır. Sidani ve arkadaşlarının (2021) sistematik derlemesi, incelenen çalışmalarda bütüncül bir değerlendirme yöntemine rastlanmadığını, uygulamaya göre değişen özel anketlerin ve vaka çalışmalarının kullanıldığını belirtmektedir. Bu durum, çalışmalar arasında karşılaştırma yapılmasını güçleştirmektedir. Obeid ve Demirkan'ın

(2023) yerleşik ölçekleri bir arada kullanması bu yönde atılmış nadir adımlardandır. Alanın olgunlaşması, benzer ölçüm araçlarının daha yaygın biçimde benimsenmesini gerektirmektedir.

İkinci boşluk, boylamsal verinin yokluğudur. Mevcut çalışmaların neredeyse tamamı tek oturumluk ya da kısa süreli müdahalelere dayanmaktadır. Uzamsal yeteneğin bir dönem ya da bir akademik yıl boyunca nasıl geliştiğini, kazanımların kalıcı olup olmadığını ve yenilik etkisinin zamanla nasıl azaldığını gösteren araştırmalar bulunmamaktadır. Bu boşluk, 6.1'de değinilen yenilik etkisi sorununun çözülmesi için de zorunludur.

Üçüncü boşluk, müfredat içindeki doğru konumun belirlenmemiş olmasıdır. Bustos Lopez ve arkadaşları (2024), geliştirdikleri ortamı ikinci sınıf öğrencileriyle sınımış ancak uzamsal becerilerin geliştirilmesi açısından bu tür deneyimlerin ilk yarıyıllara yerleştirilmesini önermiştir. Çekmiş ve Karakaya'nın (2024) birinci sınıf temel tasarım dersinde yürüttüğü çalışma da aynı yönü işaret etmektedir. Buna karşılık Elgewely ve arkadaşlarının (2021) yapı detayı eğitime yönelik uygulaması ileri sınıflara aittir. Hangi bilişsel zorluğun hangi öğretim yılında hangi teknolojiyle karşılanmasının en verimli olduğu sorusu henüz yanıtlanmamıştır.

Dördüncü boşluk, öğretim üyesi boyutudur. Üçüncü bölümde Sacks ve arkadaşlarının (2018) YBM eğitimi bağlamında belirttiği gibi, teknolojinin müfredata girmesinin önündeki en belirleyici engellerden biri, mevcut öğretim kadrosunun bu araçları önce kendisinin öğrenmesi gerekliliğidir. Elgewely ve arkadaşlarının (2021) öğretim üyesi görüşmelerinde yeni içerik hazırlama süresinin bir sınırlılık olarak belirtilmesi bu durumu doğrulamaktadır. Buna karşılık literatürdeki çalışmaların neredeyse tamamı öğrenci kazanımlarına odaklanmakta, öğretim üyelerinin benimseme süreci araştırma nesnesi olarak ele alınmamaktadır.

Beşinci boşluk, bütünleşik ortamlarda bilişsel yükün ölçülmemiş olmasıdır. 6.1'in sonunda belirtildiği gibi, üç bileşenin bir arada kullanıldığı ortamlarda kazanılan ve harcanan bilişsel kaynak arasındaki denge bilinmemektedir. Bu dengenin ölçülmesi, bütünleşik sistemlerin hangi karmaşıklık düzeyinde en verimli çalıştığını belirlemek açısından kritiktir.

Altıncı boşluk, yerel bağlamla ilgilidir. Bu çalışmada incelenen kaynaklar arasında Türkiye kökenli olanlar (Çekmiş & Karakaya, 2024; Karadallı, 2022; Ozener ve ark., 2020; Süvari, 2021) sayıca sınırlıdır. Beşinci bölümde aktarıldığı gibi, Türk yapı sektöründeki YBM benimseme koşulları, kamu ihale mevzuatı ve firma ölçekleri gibi kendine özgü etkenler taşımaktadır. Mimarlık eğitiminin de benzer biçimde yerel koşullara bağlı olduğu düşünüldüğünde, uluslararası literatürden aktarılan bulguların Türkiye bağlamında yeniden sınanması gerekmektedir.

Bu altı boşluk bir arada değerlendirildiğinde, alanın yönünün belirginleştiği ancak olgunlaşma sürecinin tamamlanmadığı görülmektedir. Bu durum, yeni yürütülecek bir araştırma için elverişli bir konum sunmaktadır. Nitekim bu bölümde aktarılan çalışmaların örneklem büyüklüklerinin sınırlı olması, kırk iki, elli iki ya da otuz üç katılımcı gibi ölçeklerde kalması, alanın henüz büyük ölçekli ve çok merkezli araştırmalara geçmediğini göstermektedir. Tek bir kuruma ya da tek bir stüdyoya odaklanan, sınırları net biçimde çizilmiş bir çalışma, bu koşullarda literatüre anlamlı bir katkı sağlayabilir.

Bu çalışmanın kurduğu kavramsal çerçeve, böyle bir araştırmanın hangi noktadan başlayabileceğine ilişkin bir harita sunmaktadır. Özellikle 6.1'de ayrıştırılan üç bilişsel zorluk, birbirinden bağımsız olarak sınanabilir üç ayrı araştırma sorusu doğurmaktadır. Bir çalışma temsil dönüşümü yükünün azaltılmasına, bir diğeri algılanamayan olguların

görselleştirilmesine, bir üçüncüsü ise yerinde erişim sınırlılığına odaklanabilir. Her üç durumda da bu bölümde tanımlanan kuramsal çerçeve, ölçülecek değişkenin ve beklenen etkinin önceden belirlenmesine olanak tanımaktadır. Böylece gelecekteki ampirik çalışmalar, teknolojilerin genel etkisini sorgulamak yerine, belirli bir bilişsel soruna hangi mekanizma üzerinden yanıt verdiklerini daha açık biçimde sınavabilir. Bu yaklaşım, farklı uygulamaların ortak ölçütler üzerinden karşılaştırılmasını ve bulguların daha sistematik biçimde biriktirilmesini de sağlayabilir.

Bu çalışmada izlenen inceleme, ilk bakışta birbirinden bağımsız görünen üç alanı ortak bir sorunsal etrafında bir araya getirmiştir. Söz konusu sorunsal, mimarlık eğitiminin merkezinde yer alan, öğrencinin kodlanmış ve iki boyutlu temsillerden mekânsal bir kavrayışa nasıl geçtiği sorusudur. İzleyen bölümde, çalışmanın bölümler boyunca ulaştığı sonuçlar bir arada değerlendirilmektedir.

SONUÇ

Bu çalışma, oyunlaştırma, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve genişletilmiş gerçeklik teknolojileri arasındaki ilişkiyi mimarlık ve yapılı çevre eğitimi bağlamında bütüncül bir kavramsal çerçeve içinde ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışmanın çıkış noktası, uygulamada giderek daha fazla iç içe geçen bu üç alanın, mevcut alan yazınında büyük ölçüde birbirinden bağımsız biçimde incelenmesidir.

İkinci bölümde, oyunlaştırmanın oyun kuramının klasik yaklaşımlarından beslenen ancak onlardan ayrıışan bir tasarım stratejisi olduğu ortaya konmuştur. Kavramın ciddi oyunlar ve oyun tabanlı öğrenmeden ayrımı netleştirilmiş, motivasyonel etkisinin Öz-Belirleme Kuramı ve Akış Kuramı üzerinden açıklanabildiği gösterilmiştir. Bu bölümün önemli bir bulgusu, oyunlaştırmanın etkisinin kullanılan unsurlardan çok, bu unsurların hangi motivasyonel düzeye hitap ettiğine bağlı olmasıdır. Yalnızca puan ve rozet gibi yüzeysel bileşenlere dayanan uygulamalar kısa vadeli bir ilgi artışı üretirken, özerklik ve yeterlik algısını destekleyen tasarımlar daha kalıcı kazanımlarla ilişkilendirilmektedir.

Üçüncü bölümde, YBM'in bir modelleme tekniği değil, nesne tabanlı ve parametrik bir veri yapısına dayanan bir süreç yaklaşımı olduğu incelenmiştir. Bu veri yapısının, modele eklenen zaman, maliyet, performans ve işletme katmanlarıyla giderek genişlediği gösterilmiştir. Bölümün son alt başlığında ele alınan oyun motoru bütünleşmesi, çalışmanın bütününde tekrar eden

bir sorunu ortaya çıkarmıştır. YBM verisinin başka bir ortama aktarılması sırasında yaşanan üstveri kaybı, yalnızca teknik bir kayıp değildir. Aktarılan ortamın kullanıcıya sunabileceği etkileşim ve sorgulama olanağının da daralması anlamına gelmektedir.

Dördüncü bölümde, sanal, artırılmış ve genişletilmiş gerçeklik kavramlarının sınırları Milgram ve Kishino'nun (1994) taksonomisi üzerinden netleştirilmiştir. Bu taksonominin dünya bilgisinin kapsamı eksenini, üçüncü bölümde tartışılan üstveri sorununun neden eğitsel bir sonuç doğurduğunu açıklamaktadır. Aynı bölümde, sanal ortamların öğrenmeyi destekleme mekanizmasının yapılandırmacı ve deneyimsel öğrenme kuramlarına dayandığı gösterilmiştir. Winn'in (1993) dönüştürme ve nesnelleştirme kavramları ile Dalgarno ve Lee'nin (2010) uzamsal bilgi temsili vurgusu, çalışmanın altıncı bölümündeki değerlendirmenin kuramsal dayanağını oluşturmuştur.

Beşinci bölümde, üç bileşenin kesişimi bütünselik bir bakışla ele alınmıştır. Bu kesişimin rastlantısal olmadığı, aksine bileşenler arasında tamamlayıcı bir iş bölümüne dayandığı ortaya konmuştur. YBM karar almaya temel oluşturan yapılandırılmış veriyi sağlamakta, genişletilmiş gerçeklik bu veriyi deneyimlenebilir bir ortama dönüştürmekte, oyunlaştırma ise bu deneyime motivasyon ve etkileşim katmanı eklemektedir. Aynı bölümde, bu bütünseliğin bileşen düzeyinde kalması ile dinamik düzeyde kurulması arasındaki fark vurgulanmıştır. Bir YBM modelini sanal ortama aktararak üzerine birkaç ödül unsuru eklemek yüzeysel bir bütünsel değildir. Buna karşılık geliştirme düzeyleriyle oyun zorluk seviyelerinin eşleştirilmesi ya da kullanıcı grubuna göre farklılaşan görev kurguları, veriyi oyunlaştırma mantığının kendisini şekillendiren bir unsura dönüştürmektedir.

Beşinci bölümün ikinci katkısı, bütünselik yaklaşımın karşılaştığı zorlukların üç ayrı düzeyde bulunduğunu göstermesidir.

Teknik düzeyde birlikte çalışabilirlik ve maliyet sorunları sürmektedir. Kurumsal düzeyde, teknolojiyi öğreten kurumlar ile onu talep eden sektör arasında bir uyum sorunu bulunmaktadır. Türkiye bağlamında bu uyum sorunu, kamu ihale mevzuatına bağlı sözleşme yapıları ve firmalar arasındaki bilgi uçurumuyla daha da belirginleşmektedir. Etik düzeyde ise oyunlaştırma unsurlarının hangi davranışı ödüllendirdiği, kimin hangi veriye eriştiği ve tarihî çevre gibi hassas alanlarda mesleki sorumluluğun nasıl korunacağı soruları henüz yeterince tartışılmamıştır.

Altıncı bölümde, kurulan çerçeve mimarlık eğitimi bağlamına taşınmıştır. Bu bölümün temel iddiası, alan yazınında farklı terimlerle anılan sorunların aslında tek bir temel boşluğa işaret ettiğidir. Mimari tasarım bilgisi üç boyutlu, malzemesel ve mekânsal deneyime dayalı bir bilgiyken, bu bilginin öğretiminde kullanılan araçlar büyük ölçüde iki boyutlu ve statik kalmaktadır. Bu temsil boşluğu, öğrencinin üzerine ek bir bilişsel yük bindirmektedir. Aynı bölümde söz konusu boşluk üç ayrı bilişsel zorluk olarak ayrıştırılmıştır. Bunlar, iki boyutlu temsil ile üç boyutlu mekân arasındaki sürekli çeviri gerekliliğinden doğan temsil dönüşümü yükü, duyularla doğrudan erişilemeyen olguların temsili sorunu ve yerinde deneyime erişimin sınırlı olmasıdır. Üç bileşenin bütünleşik kullanımı, bu zorlukların her birine karşılık gelen ve birbirini tamamlayan üç ayrı mekanizma sunmaktadır.

Aynı bölümde yürütülen eleştirel değerlendirme, mevcut ampirik bulguların koşulsuz biçimde okunmaması gerektiğini göstermiştir. Sanal ortamların olumlu etkisini raporlayan çalışmaların bir kısmı, immersif teknolojiyi geleneksel yöntemlerle karşılaştırmaktadır. Bu tür bir karşılaştırmada ölçülen fark, immersifliğin kendisinden değil, sayısal bir aracın varlığından da kaynaklanıyor olabilir. Buna ek olarak, katılımcıların çoğunluğunun teknolojiyle ilk kez karşılaştığı çalışmalarda yenilik etkisinin bulguları ne ölçüde etkilendiği belirsizdir. Son olarak, bütünleşik

ortamlarda bilişsel yükün nasıl davrandığı henüz sistematik olarak ölçülmemiştir. Teknolojinin bir yandan temsil dönüşümü yükünü azaltırken, diğer yandan eşzamanlı işlenmesi gereken yeni katmanlar eklediği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmanın kavramsal katkısı üç temel noktada özetlenebilir. *Birincisi*, oyunlaştırma, Yapı Bilgi Modellemesi ve genişletilmiş gerçeklik alanlarına ait ayrı literatürlerin ortak bir problem çerçevesinde ilişkilendirilmesidir. *İkincisi*, bu üç bileşenin yalnızca aynı uygulama içinde bir araya gelen bağımsız unsurlar olmadığı, aksine birbirini işlevsel olarak tamamlayan bir yapı oluşturduğunun ortaya konmasıdır. *Üçüncüsü* ise bu bütünleşmenin mimarlık eğitimi açısından genel bir teknoloji üstünlüğü söylemiyle değil, belirli bilişsel zorluklara karşı geliştirilen somut ve açığlanabilir çözümler üzerinden değerlendirilmesidir.

Çalışmanın sınırlılıkları da açıkça belirtilmelidir. Öncelikle bu çalışma kavramsal ve kuramsal niteliktedir. Görgül bir veri toplama süreci yürütülmemiş, sunulan değerlendirmeler mevcut literatürün okunmasına dayanmaktadır. İkinci olarak, incelenen kaynaklar arasında Türkiye kökenli çalışmalar sayıca sınırlıdır. Uluslararası literatürden aktarılan bulguların yerel eğitim koşullarında ne ölçüde geçerli olduğu ayrıca sınanmayı gerektirmektedir. Üçüncü olarak, alan hızla değişmektedir. Özellikle üretken yapay zekâ teknolojilerinin bu üçlü çerçeveye eklenmesi, bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuş ancak yakın gelecekte çerçevenin yeniden değerlendirilmesini gerektirebilecek bir gelişmedir.

Bu sınırlılıklara karşın, çalışmanın sunduğu çerçevenin iki işlevi yerine getirmesi beklenmektedir. *Birincisi*, hızla genişleyen ancak kavramsal olarak dağınık olan bir alanda yön bulmayı kolaylaştıran bir harita sunmaktır. *İkincisi*, ileride yürütülecek görgül araştırmalar için sınanabilir bir zemin oluşturmaktır. Altıncı bölümde ayrıştırılan

üç bilişsel zorluk ve bunların teknolojik karşılıkları, birbirinden bağımsız olarak ele alınabilecek üç ayrı araştırma sorusu doğurmaktadır. Bu soruların, sınırları net biçimde çizilmiş ve tek bir eğitim ortamına odaklanmış çalışmalarla ele alınması, alanın mevcut olgunluk düzeyi göz önünde bulundurulduğunda gerçekçi ve verimli bir yaklaşım olacaktır.

Son olarak vurgulanması gereken bir nokta bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenen çalışmaların önemli bir bölümü, teknolojinin geleneksel yöntemlerin yerini almadığı, onları tamamladığı sonucuna ulaşmıştır. En nitelikli sonuçlar, immersif teknolojilerin geleneksel stüdyo pratiğiyle birlikte yürütüldüğü süreçlerde elde edilmiştir. Bu bulgu, teknolojinin mimarlık eğitimindeki rolünü doğru konumlandırmak açısından belirleyicidir. Söz konusu araçların değeri, mimarlık eğitiminin köklü pedagojik geleneğini geçersiz kılmalarında değil, o geleneğin uzun süredir bilinen bir güçlüğüne yeni bir yanıt üretmelerinde aranmalıdır.

KAYNAKÇA

Abu Alatta, R. T., & Freewan, A. A. (2017). investigating the effect of employing immersive virtual environment on enhancing spatial perception within design process. *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR*, 11(2), 219. <https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v11i2.1258>

Agirachman, F. A., & Shinozaki, M. (2021). VRDR - An Attempt to Evaluate BIM-based Design Studio Outcome Through Virtual Reality. *PROJECTIONS, Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, 2, 223–232. <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2021.2.223>

Aguiar, B., Lima, M., Cardoso, D., Melo, R., Nascimento, E., & Sá, C. (2024). Extended Realities and New Digital Approaches in Architecture Education: Model for Integration in the Design Process. *Blucher Design Proceedings*, 218–229. <https://doi.org/10.5151/sigradi2023-398>

Anderson, A. K. (2015). *Visualization, communication, and copresence: Using building information models in virtual worlds*.

Anifowose, H., Yan, W., & Dixit, M. (2022). BIM LOD + Virtual Reality -- Using Game Engine for Visualization in Architectural & Construction Education. *Proceedings of the 41st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, 238–244. <http://arxiv.org/abs/2201.09954>

Argiolas, R., Bagnolo, V., Cera, S., & Cuccu, S. (2022). virtual environments to communicate built cultural heritage: A HBIM based virtual tour. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-5/W1-2022, 21–29. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-21-2022>

Arrighi, C. L. (2026). *The Role of Gamification in Enhancing Teaching and Learning in Higher Education - ProQuest*. <https://www.proquest.com/docview/3348409068/abstract/7F7A72372D524DAEPQ/1?accountid=201746&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>

Ashour, Z., Shaghaghian, Z., & Yan, W. (2022). BIMxAR: BIM-Empowered Augmented Reality for Learning Architectural Representations. *Proceedings of the 42nd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, 694–702. <http://arxiv.org/abs/2204.03207>

Ashour, Z., & Yan, W. (2020). BIM-Powered Augmented Reality for Advancing Human-Building Interaction. *Proceedings of the 38th ECAADe Conference*, 1, 169–178. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2020.1.169>

Boeykens, S. (2011). Using 3D design software, BIM and game engines for architectural historical reconstruction. In P. Leclercq, A. Heylighen, & G. Martin (Eds.), *CAAD Futures 2011: Designing Together* (pp. 493–509). Presses Universitaires de Liège. https://www.researchgate.net/publication/258241826_Using_3D_Design_software_BIM_and_game_engines_for_architectural_historical_reconstruction

Bustos Lopez, G., Aguirre, E., Alarfaj, A., Meingast, K. (Krissie), Topllari, B., & Mustafa, E. (2024). XR in Architecture Education: Enhancing the designer cognitive ecology. *Proceedings*

of the 27th Iberoamerican Congress of Digital Graphics (SIGraDi), 2055–2066. <https://doi.org/10.52842/conf.sigradi.2024.2055>

Çekmiş, A., & Karakaya, M. (2024). Digital game-based learning in architecture education: Consolidating visual design principles in freshmen. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 5(2), 202–228. <https://doi.org/10.47818/DRArch.2024.v5i2128>

Çelik, U. (2020). 4D and 5D BIM: A System for Automation of Planning and Integrated Cost Management. In S. Ofluoglu, O. O. Ozener, & U. Isikdag (Eds.), *Advances in Building Information Modeling* (pp. 57–69). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42852-5_5

Crogman, H. T., Cano, V. D., Pacheco, E., Sonawane, R. B., & Boroon, R. (2025). Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality in Experiential Learning: Transforming Educational Paradigms. *Education Sciences*, 15(3), 303. <https://doi.org/10.3390/educsci15030303>

Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety*. Jossey-Bass.

Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row.

Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10–32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>

Danker, F., & Jones, O. (2014). Combining Augmented Reality and Building Information Modelling - An industry perspective on applications and future directions. *Fusion – Proceedings of the 32nd ECAADe Conference*, 2, 525–536. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2014.2.525>

Davidson, J., Fowler, J., Pantazis, C., Sannino, M., Walker, J., Sheikhhkhoshkar, M., & Rahimian, F. P. (2020). Integration of VR with BIM to facilitate real-time creation of bill of quantities during the design phase: a proof of concept study. *Frontiers of Engineering Management*, 7(3), 396–403. <https://doi.org/10.1007/s42524-019-0039-y>

De Marco, G. (2022). *Gamification in construction: Principles, methods, and applications to construction simulation*. https://bimaplus.org/wp-content/uploads/2022/10/2022_GiancarlodeMarco_Dissertation.pdf

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The “What” and “Why” of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science*, 323(5910), 66–69. <https://doi.org/10.1126/science.1167311>

Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O’Hara, K., & Dixon, D. (2011). Gamification. using game-design elements in non-gaming contexts. *CHI ’11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2425–2428. <https://doi.org/10.1145/1979742.1979575>

Díaz González, E. M., Belaroussi, R., Soto-Martín, O., Acosta, M., & Martín-Gutierrez, J. (2025). Effect of Interactive Virtual Reality on the Teaching of Conceptual Design in Engineering and Architecture Fields. *Applied Sciences*, 15(8), 4205. <https://doi.org/10.3390/app15084205>

Dunleavy, M., & Dede, C. (2014). Augmented Reality Teaching and Learning. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational*

Communications and Technology (pp. 735–745). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_59

Ehab, A., Burnett, G., & Heath, T. (2023). Enhancing Public Engagement in Architectural Design: A Comparative Analysis of Advanced Virtual Reality Approaches in Building Information Modeling and Gamification Techniques. *Buildings*, 13(5), 1262. <https://doi.org/10.3390/buildings13051262>

Elgewely, M., Nadim, W., Talaat, M., Kassed, A., Yehia, M., & Abdennadher, S. (2021). Immersive VR environment for construction detailing education: BIM approach. *Proceedings of the ASCAAD International Conference*, 114–128. https://www.researchgate.net/publication/335589783_Immersive_Virtual_Reality_Environment_for_Construction_Detailing_Education_using_Building_Information_Modeling_BIM

Elsamahy, E. M. (2017). An Investigation into using Digital Games-Based Learning in Architecture Education. *Architecture and Planning Journal (APJ)*, 23(3). <https://doi.org/10.54729/2789-8547.1099>

Gębczyńska-Janowicz, A. (2020). Virtual reality technology in architectural education. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 18(1), 24–29.

Huang, H.-M., Rauch, U., & Liaw, S.-S. (2010). Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, 55(3), 1171–1182. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014>

Hunicke, R., LeBlanc, M., & Zubek, R. (2004). MDA: A formal approach to game design and game research. *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*, 4(1).

Kapogiannis, G., Yang, T., Jonathan, R., & Hancock, C. (2020). An innovative dynamic gamificative BIM environment. *FIG Working Week 2020*. https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2020/papers/ts02c/TS02C_georgios_craig_et_al_10627.pdf

Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*. Pfeiffer.

Karadallı, Ş. G. (2022). *Tarihsel çevrenin korunması alanında sanal gerçeklik kullanımı* [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. <https://abis-files.deu.edu.tr/avesis/96b77b0e-f78c-4bca-a51d-127da5439701?AWSAccessKeyId=SMJK9SXVPRL0PZ4G0T00&Expires=1786444108&Signature=kfZaRqbzoATuDSyCtR5FJ1Pm1T8%3D>

Liu, R., Du, J., & Issa, R. R. A. (2014). Human Library for Emergency Evacuation in BIM-Based Serious Game Environment. *Computing in Civil and Building Engineering (2014)*, 544–551. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.068>

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12), 1321–1329.

Milovanovic, J., Moreau, G., Siret, D., & Miguët, F. (2017). Virtual and augmented reality in architectural design and education: An immersive multimodal platform to support architectural pedagogy. *Future Trajectories of Computation in Design: 17th International Conference, CAAD Futures*, 513–532. https://papers.cumincad.org/data/works/att/cf2017_513.pdf

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27(4), 311–327. <https://doi.org/10.1108/02630800910985108>

Obeid, S., & Demirkan, H. (2023). The influence of virtual reality on design process creativity in basic design studios. *Interactive Learning Environments*, 31(4), 1841–1859. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1858116>

Ozener, O. O., Tezel, E., Kilic, Z. A., & Akdogan, M. (2020). Trends of Building Information Modeling Adoption in the Turkish AEC Industry. In S. Ofluoglu, O. O. Ozener, & U. Isikdag (Eds.), *Advances in Building Information Modeling* (pp. 3–14). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42852-5_1

Pybus, C., Graham, K., Doherty, J., Arellano, N., & Fai, S. (2019). New realities for canada’s parliament: a workflow for preparing heritage bim for game engines and virtual reality. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, 945–952. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-945-2019>

Rehman, S. U., Kim, I., & Hwang, K.-E. (2025). Advancing BIM and game engine integration in the AEC industry: Innovations, challenges, and future directions. *Journal of Computational Design and Engineering*, 12(4), 26–54. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaf030>

Rüppel, U., & Schatz, K. (2011). Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 600–611. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.08.001>

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook* (3rd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>

Safikhani, S., Keller, S., Schweiger, G., & Pirker, J. (2022). Immersive virtual reality for extending the potential of building information modeling in architecture, engineering, and construction sector: systematic review. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), 503–526. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2038291>

Seaborn, K., & Fels, D. I. (2015). Gamification in theory and action: A survey. *International Journal of Human-Computer Studies*, 74, 14–31. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006>

Sidani, A., Dinis, F. M., Sanhudo, L., Duarte, J., Santos Baptista, J., Poças Martins, J., & Soeiro, A. (2021). Recent Tools and Techniques of BIM-Based Virtual Reality: A Systematic Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(2), 449–462. <https://doi.org/10.1007/s11831-019-09386-0>

Süvari, A. (2021). *Oyunlaştırma çerçevesinde iç mimarlık stajının iyileştirilmesine yönelik bir model önerisi* [Sanatta yeterlik tezi]. Anadolu Üniversitesi.

Teizer, J., Golovina, O., Embers, S., & Wolf, M. (2020). A Serious Gaming Approach to Integrate BIM, IoT, and Lean Construction in Construction Education. *Construction Research Congress 2020*, 21–30. <https://doi.org/10.1061/9780784482889.003>

Werbach, K., & Hunter, D. (2012). *For the win: How game thinking can revolutionize your business*. Wharton Digital Press.

Winn, W. (1993). *A conceptual basis for educational applications of virtual reality*. Human Interface Technology Laboratory, University of Washington. https://www.hitl.washington.edu/projects/learning_center/winn/win_n-paper.html~

Yalçın, Z. Ö. (2024). Integrating Gamification with BIM for Enhancing Participatory Design. *Journal of Computational Design*, 5(2), 317–344. <https://doi.org/10.53710/jcode.1505309>

Yan, W., Culp, C., & Graf, R. (2011). Integrating BIM and gaming for real-time interactive architectural visualization. *Automation in Construction*, 20(4), 446–458. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.013>

Yönder, V. M. (2021). Case studies of incorporating BIM models in the digital game environment: Building game environment with BIM tools and game scripts. *Proceedings of the ASCAAD International Conference*, 507–519. <https://iconarch.ktun.edu.tr/index.php/iconarch/article/view/234/202>

Zarzycki, A. (2014). Teaching and designing for augmented reality. *Fusion – Proceedings of the 32nd ECAADe Conference*, 1, 357–363. https://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2014_162.content.pdf

Zorlutuna, E., Kaya, U., & Düz, S. (2020). Comparison of BIM Based Alternative Scheduling Workflows for Confined Wall Systems. In S. Ofluoglu, O. O. Ozener, & U. Isikdag (Eds.), *Advances in Building Information Modeling* (pp. 70–79). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42852-5_6

