

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK İLE YAPI BİLEŞENLERİNE
YÖNELİK YAPI BİLGİ MODELLEME DESTEKLİ BİR
UYGULAMA ÖNERİSİ

Sevcan VATANSEVER KURTULUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Togan TONG

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK İLE YAPI BİLEŞENLERİNE
YÖNELİK YAPI BİLGİ MODELLEME DESTEKLİ BİR
UYGULAMA ÖNERİSİ**

Sevcan VATANSEVER KURTULUŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 23.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Togan TONG

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Togan TONG, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Zafer AKDEMİR, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Belinda TORUS, Üye

Bahçeşehir Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Togan TONG, sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Artırılmış Gerçeklik ile Yapı Bileşenlerine Yönelik Yapı Bilgi Modelleme Destekli Bir Uygulama Önerisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Sevcan VATANSEVER KURTULUŞ

İmza

Aileme

ve

Eşime

Günümüzde hızla gelişen teknoloji eski çağlardan beri süregelen mimariyi ve dolayısıyla mimarinin temsil biçimini değiştirmiştir. Elle çizilen 2B çizimlere, perspektiflere ve fiziksel modellere, sayısal ortamlarda oluşturulan dijital modeller eklenmiştir. Artırılmış Gerçeklik teknolojilerinin gelişmesiyle fiziksel ortamlar ile dijital modeller birleştirilerek yeni bir temsil şekli oluşturulmuştur. Bu çalışmada ortaya çıkan bu yeni temsil biçimi, mimari yapı bileşenlerinin algılanması ve kavranması hususunda bir destek sistemi oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Artırılmış Gerçeklik'in yanı sıra Yapı Bilgi Modelleme sistemlerinden destek alınarak çalışma kapsamında geliştirilen uygulamanın teknolojinin mimarlık eğitimine entegrasyonunda küçük bir kapı açacağını umarım.

Bu çalışma süresince bana yol gösteren, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Togan Tong'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans öğrenimimi güzel anılarla hatırlamamı sağlayacak olan Kübra Gülbahar, Gizem Efendioğlu ve Gökhan Bunsuz'a minnetlerimi sunarım.

Son olarak bu yoğun ve yorucu çalışma dönemimde her zaman her konuda olduğu gibi beni destekleyen eşim Ertan Kurtuluş'a ve sevgi, ilgi ve desteklerini esirgemeyerek bugünlere erişmemi sağlayan Sevgili Aileme teşekkür ederim.

Temmuz, 2019

Sevcan VATANSEVER KURTULUŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiv
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Tezin Hipotezi.....	3
1.4 Tezin Kapsamı.....	4
2 Artırılmış Gerçeklik Sistemleri	5
2.1 Artırılmış Gerçeklik Kavramı.....	5
2.2 Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi	8
2.3 Artırılmış Gerçeklik Uygulama Alanları	14
2.3.1 Farklı Alanlarda Artırılmış Gerçeklik.....	14
2.3.2 Mimarlıkta Artırılmış Gerçeklik.....	15
2.3.3 Eğitimde Artırılmış Gerçeklik	17
3 Mimarlıkta Yapı Bileşenleri	31
3.1 Mimari Yapı Bileşeni Kavramı.....	31
3.2 Mimari Yapı Bileşenlerinin Temsili	32
3.2.1 Geleneksel ve Sayısal Ortamlarda Yapı Bileşenlerinin Temsili...	33
3.2.2 Sanal Gerçeklik Ortamında Yapı Bileşenlerinin Temsili.....	41
3.2.3 Artırılmış Gerçeklik Ortamında Yapı Bileşenlerinin Temsili.....	43
4 Artırılmış Gerçeklik ile Mimari Yapı Bileşenleri İçin Bir Uygulama Önerisi	52

4.1 Modelin Hedefi ve Kapsamı	52
4.2 Modelin Yazılımsal ve Donanımsal Altyapısı.....	54
4.3 Modelin Algoritması ve Akış Şeması	58
4.4 Modelin Kullanıcı Deneyimleri	63
4.5 Teknolojik Sınırlılıklar ve Gelecek Senaryoları	72
5 Sonuç ve Öneriler	76
A Bilgilendirme Metni	79
B 1. Sınıflar Anket Çalışması	80
C 2. Sınıflar Anket Çalışması	81
Kaynakça	82
Tezden Üretilmiş Yayınlar	95

KISALTMA LİSTESİ

2B	2 Boyutlu
3B	3 Boyutlu
AG	Artırılmış Gerçeklik
BDT	Bilgisayar Destekli Tasarım “Computer Aided Design (CAD)”
SG	Sanal Gerçeklik “Virtual Reality (VR)”
YBM	Yapı Bilgi Modelleme “Building Information Modeling (BIM)”

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Milgram ve Kishino'nun sanallık sürekliliği "Virtual Continuum" şeması [4]	6
Şekil 2. 2 Artırılmış Gerçeklik'in tarihçesi.....	7
Şekil 2. 3 Artırılmış Gerçeklik'in tarihçesi (devamı)	8
Şekil 2. 4 AG görüntüleme sistemleri ve pozisyonları [40]	9
Şekil 2. 5 Geleneksel yöntem ve dokunulabilir AG uygulamasının maket üzerinde görünümü [91]	20
Şekil 2. 6 Dijital model ile gerçek ortamın karşılaştırılması [92]	21
Şekil 2. 7 Dış mekânda U-AR uygulamasından görüntüler [93]	21
Şekil 2. 8 Sketchar yazılımından bir sahne [42]	22
Şekil 2. 9 GPS ile araziye hizalanmış bir yapı [96]	23
Şekil 2. 10 Uygulamadaki 3 modülden şematik gösterimler [97].....	24
Şekil 2. 11 ARscope uygulamasında bir yapının katmanlarının gösterimi [99]	25
Şekil 2. 12 Önerilen sistemin konsept gösterimi [101].....	25
Şekil 2. 13 Tarihi yapının özelliklerini gösteren bir arayüz [102]	26
Şekil 3. 1 El çiziminde ölçeğe göre bileşenlerin detaylanması örneği [111] ...	34
Şekil 3. 2 AutoCAD ortamında dinamik blok olarak mimari yapı bileşenleri ..	35
Şekil 3. 3 3Ds Max ortamında mimari yapı bileşen modelleri.....	36
Şekil 3. 4 Revit'te bileşenlerin kaba detay seviyesinde görünümü	38
Şekil 3. 5 Revit'te bileşenlerin orta detay seviyesinde görünümü	39
Şekil 3. 6 Revit'te bileşenlerin ince detay seviyesinde görünümü	39
Şekil 3. 7 Archicad'te bileşenlerinin farklı detay seviyelerinde gösterimi	40
Şekil 3. 8 Archicad'de yapı bileşenlerinin plan üzerinde farklı detay seviyelerinde gösterimi.....	41
Şekil 3. 9 Pencere alternatiflerinin denenmesi [119]	42
Şekil 3.10 Uygulama içinde pencere boyutlarının ve lokasyonlarının ayarlanması [120]	42
Şekil 3. 11 YBM tabanlı SG uygulamasından bir arayüz [121].....	43
Şekil 3. 12 Tasarımcının yapı bileşenlerinin mekansal ilişkilerini deneyimlemesi [122].....	44
Şekil 3. 13 Uygulamada pencerenin ölçülmesi [123]	44
Şekil 3. 14 HD4AR uygulamasının pencere ve kapıları tanınması [124]	45
Şekil 3. 15 YBM destekli AG uygulamasında yapı bileşenlerinin görünümü [125]	46
Şekil 3. 16 Pencere ve duvar birleşimini gösteren bir detayın AG sunumu [126]	46
Şekil 3. 17 Kapı uygulamasından bir arayüz [127]	47
Şekil 3. 18 Kapı kolu uygulamasından bir görsel [128].....	48
Şekil 4. 1 Modül 1 sistemin oluşturulma şeması.....	55
Şekil 4. 2 Modül 2 sistemin oluşturulma şeması.....	56
Şekil 4. 3 Modül 1 Bileşen tipleri arayüzleri.....	60
Şekil 4. 4 Modül 1 bileşen tipleri akış şeması	61

Şekil 4. 5	Modül 2 Bileşen çeşitleri arayüzleri	62
Şekil 4. 6	Modül 2 bileşen çeşitleri akış şeması	63
Şekil 4. 7	Kullanıcı deneyimi süreçleri.....	65
Şekil 4. 8	Soru 1'e verilen cevapların yüzdelik oranları	66
Şekil 4. 9	Soru 2'ye verilen cevapların yüzdelik oranları	66
Şekil 4. 10	Soru 3'e verilen cevapların yüzdelik oranları.....	66
Şekil 4. 11	Soru 4'e verilen cevapların yüzdelik oranları.....	67
Şekil 4. 12	Soru 5'e verilen cevapların yüzdelik oranları.....	67
Şekil 4. 13	Soru 6'ya verilen cevapların yüzdelik oranları.....	68
Şekil 4. 14	Soru 7'ye verilen cevapların yüzdelik oranları	68
Şekil 4. 15	Soru 8'e verilen cevapların yüzdelik oranları.....	68
Şekil 4. 16	Soru 9'a verilen cevapların yüzdelik oranları.....	69
Şekil 4. 17	Soru 10'a verilen cevapların yüzdelik oranları.....	69
Şekil 4. 18	Soru 13'e verilen cevapların yüzdelik oranları.....	69

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1	AG yazılım geliştirme araçları temel özellikleri	12
Tablo 2. 2	Mimarlık eğitiminde yapılmış AG çalışmalarının kıyaslanması	27
Tablo 3. 1	AG ve SG ortamlarında yapı bileşenleri çalışmalarının kıyaslanması	51

Artırılmış Gerçeklik ile Yapı Bileşenlerine Yönelik Yapı Bilgi Modelleme Destekli Bir Uygulama Önerisi

Sevcan VATANSEVER KURTULUŞ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Togan TONG

Artırılmış Gerçeklik (AG), sanal ortamlarla fiziksel ortamları kesiştirerek, görüntü, grafik, ses gibi dijital nesneleri, gerçek mekân içinde deneyimlemeye olanak sağlar. Yazılım ve donanımlardaki teknolojik gelişmelerle sadece bir kavram olmaktan çıkarak gündelik hayatta sıkça kullanılan bir sistem haline dönüşmüştür.

Çalışmanın ilk bölümünde tezin temel konularını oluşturan AG teknolojisinin, mimari yapı bileşenlerinin ve Yapı Bilgi Modelleme sistemlerinin geçmişten günümüze literatürdeki yeri ve üzerinde çalışılan tezin amacı, hipotezi ve kapsamı sunulmuştur.

Sunduğu geniş olanaklar ile askeriyeden tıpa kadar birçok alanda kullanılmakta olan AG, gerçek dünyayı sanal öğelerle zenginleştirdiği için eğitim alanında kullanımı artan bir sistemdir. Teorik bilgiyi pratiğe dönüştürerek, teknolojiyle iç içe olan yeni neslin konuya olan ilgi ve motivasyonunu artırması mümkündür. AG'nin 3 boyutlu(3B) modellerle olan etkileşimi nedeniyle mimarlık alanında da sıklıkla kullanılan bir teknoloji olduğu görülmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, tasarım, görselleştirme, koruma, uygulama ve yönetim

süreçlerinin yanı sıra mimarlık eğitiminde de tercih edildiği gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın ikinci kısmında AG kavramı, teknolojisi ve kullanım alanları incelenmiş, mimarlık eğitimi hususunda yapılmış AG çalışmaları araştırılmıştır.

Tezin üçüncü kısmında ise mimari yapı bileşeni kavramı ve temsili üzerinde çalışılmıştır. Bileşenlerin eskiz gibi geleneksel ortamlarda ve Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) gibi sayısal ortamlarda temsil biçimleri ortaya koyulmuştur. Bu ortamlara ek olarak, mimari alanda kullanımı her geçen gün yaygınlaşan, 3B modeller ile bilgi sistemlerini birleştiren Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sistemlerinde bileşenlerin temsili incelenmiştir. Obje bazlı modelleme mantığıyla kapı ve pencere gibi mimari yapı bileşenlerinin geometrik olarak tanımlanmasına ve haklarında bilgi depolanmasına imkân sağladığı için YBM sistemleri çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Ayrıca tezin temel dayanak noktalarından birini oluşturan AG ve AG'nin ilişkili olduğu Sanal Gerçeklik (SG) ortamında mimari yapı bileşenlerini içeren çalışmalar araştırılmıştır. Böylelikle bileşenlerin Karma Gerçeklik ortamlarında temsil edilme biçimleri sunulmuştur.

Çalışmanın dördüncü kısmında ise önceki bölümlerden elde edilen veriler ışığında AG tabanlı YBM sistemlerinden destek alan bir uygulama önerisi yapılmıştır. İki sistemin sağladığı olanaklardan faydalanılarak, mimarlık öğrencileri için, kapı ve pencere mimari bileşenlerinin YBM modellerini barındıran mobil cihazlarda kullanılmak üzere modüller oluşturulmuştur. İlk modül kullanıcı tarafından plan çizimi yapılan bileşenin AG ortamı içinde 3B sanal modelini sunmaktadır. Farklı mimari bileşen modellerini barındıran ikinci modül ise gerçek ortamdaki bileşenleri tanıyarak, yerlerine gelebilecek sanal model seçenekleri önermektedir. Çalışmada bileşenlerin AG modellerinin yanı sıra, menteşe kanat gibi mimari karmaşık alt elemanları, açılıp kapanma animasyonları, çeşitli ölçeklerde 2B çizimleri, YBM modelleri ve bileşenler hakkında bilgiler sunulmaktadır.

Modüller yardımıyla mimarlık öğrencilerinin mimari yapı bileşenlerini tanıması, algılaması ve kavraması, gerek duyduğunda bileşenlerin çeşitli ölçeklerdeki temsil biçimlerine kolayca ulaşması amaçlanmaktadır. Bu amaçla üretilen prototipler,

mimarlık öğrencilerinden oluşan gruplar üzerinde test edilerek, kullanıcı deneyimleri elde edilmiş, çalışmanın istenilen amaca hizmet edip etmediği araştırılmıştır.

Çalışmanın son kısmında ise uygulamanın oluşturulması ve test edilmesi süreçlerinden elde bulgular ve sonuçlar değerlendirilmiş, teknolojik gelişmelerle gelecekte uygulamanın gidebileceği yönler hakkında fikirler beyan edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış Gerçeklik, mimari yapı bileşeni, Yapı Bilgi Modelleme

An Application Proposal Supported by Building Information Modeling for Building Components with Augmented Reality

Sevcan VATANSEVER KURTULUŞ

Department of Architecture

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Togan TONG

Augmented Reality (AR) allows to experience digital objects such as images, graphics, sounds, etc. in a real space by intersecting virtual environments and physical environments. With the developments in technological software and hardware, it has become a system that is frequently used in everyday life rather than just a notion.

The first part of the study presents the state of art for AR technology, architectural building components and Building Information Modeling (BIM) systems and the aim, the hypothesis and the scope of the thesis.

Being used in many areas from military to medicine with its wide range of possibilities, AR becomes widespread in education since it enhances the real world with virtual contents. By transforming theoretical knowledge into practice, it is possible for the new generation that is intertwined with technology to increase their interest and motivation. Also, it is seen that AR is a frequently used

technology in the field of architecture due to its interaction with 3D models. When the studies on its use in the area are examined, it is observed that in addition to design, visualization, conservation, implementation and management processes, it is also preferred in architectural education. Therefore, in the second part of the study, the notion, technology and usage areas of AR are investigated and the applications of AR in architectural education are presented.

In the third part of the thesis, the notion and representation of architectural building component has been studied. The representation of components in traditional environments such as sketches and in digital environments such as Computer Aided Design (CAD) has been demonstrated. In addition to these environments, the representation of the components in the BIM systems which combine the three-dimensional models(3D) and information systems and become more and more common in the field of architecture, has been examined. Due to the object-oriented modeling logic, BIM systems are included in the scope of the study because they allow the geometric identification of architectural building components such as doors and windows and the storage of information about them. In addition, the applications which contain architectural components are investigated in AR environments which constitutes one of the main premises of the thesis and Virtual Reality (VR) environments which is closely related to AR. Thus, the ways in which the components are represented in Mixed Reality environments are presented.

In the fourth part of the study, in the light of the data obtained from the previous chapters, an AR based application supported by BIM systems is suggested. By using the facilities provided by the two systems, modules have been created for architecture students to be used in mobile devices that host BIM models of architectural components such as doors and windows. The first module presents the 3D virtual model within the AR environment of the component which is drawn by the user. The second module, which hosts different architectural component models, recognizes the components in the real environment and proposes virtual model options that can be replaced. In addition to the AR models of the components, the architectural sub-elements such as hinges, wings, the animations

of the opening and closing, information about the components, two-dimensional (2D) drawings in various scales and BIM models are presented.

With the help of modules, architecture students are expected to recognize, perceive and understand the architectural components, and to easily reach the representation forms of the components in various scales. The prototypes produced for this purpose are used by a group of architecture students, user experiences are obtained, and it is investigated whether the study served the required purpose.

In the last part of the study, the findings and results obtained from the creation and testing of the application are evaluated and ideas are expressed about the possible directions in the future through technological developments.

Keywords: Augmented Reality, architectural building component, Building Information Modeling

1.1 Literatür Özeti

Artırılmış Gerçeklik (AG), gerçek dünyayı sanal öğelerle zenginleştiren bir iletişim teknolojisidir. Gerçek ortamdan tamamen kopuk, kişiye yapay bir ortam deneyimi sağlayan Sanal Gerçeklik'in aksine AG, kişinin mevcudu olduğu gerçek ortam içerisinde dijital teknolojiler ile üretilmiş sentetik öğeleri deneyimlemesine imkân tanır.

Caudell ve Mizell, başa monte görüntüleme cihazlarının kullanıcının görsel alanını gerekli bilgiyle arttırmasına referans vererek AG terimini ortaya atmışlardır [1]. Kipper ve Rampolla, AG'yi dijital ya da bilgisayar tarafından oluşturulan bilgiyi gerçek ortamla üst üste bindiren bir sistem olarak tanımlarlar [2]. Azuma ise, AG'nin kullanıcının gerçek dünya algısını ve gerçek dünyayla olan etkileşimini zenginleştireceğini savunur [3]. Kishino ve Milgram ise gerçeklik ve sanallık kavramlarına farklı bir açıdan yaklaşarak Karma Gerçeklik kavramını ortaya atmışlardır. Karma Gerçeklik ortamını sanal ve gerçek objenin tek bir görüntü olarak sunulduğu çevre olarak tanımlamışlardır [4].

AG kavramının ortaya çıktığı yıllarda teknolojik yetersizlikler, kavramın pratik kısmının sınırlı kalmasına yol açmıştır. Ancak akıllı telefonlar, gözlükler gibi donanımların gelişmesi ve yazılımsal birçok aracın ortaya çıkması hem elde edilen deneyimin zenginleşmesini hem de sistemlerin yaygınlaşmasını sağlamıştır. Günümüzde tıp, askerlik, imalat, eğlence, spor, pazarlama, navigasyon ve turizm alanlarında AG kullanımının olduğu bilinmektedir [5]. Bunlara ek olarak sistemin oldukça yaygın olduğu bir diğer alanın mimari olduğu söylenebilir. AG teknolojisinin mimari görselleştirme, tasarım süreci, bina yapım süreçleri ve mühendislik yönetimi aşamalarında mevcut pratikleri geliştirebileceği öngörülmektedir [6]. Mimarlığın yanı sıra eğitim alanında da birçok AG çalışması

yapılmıştır. On yılı aşkın süredir farklı uygulamalar test edilmiş, AG'nin öğrencilere daha efektif öğrenmede ve bilgilerini arttırmada yardımcı olduğu gözlenmiştir [7].

Tez çalışmasının ilk aşamasını AG sistemleri oluştururken sonraki aşamasını mimari yapı bileşenleri ve bileşenlerin temsilleri oluşturmaktadır. Yapı bileşenleri, kendi içlerinde belli bir düzende birleşerek yapıyı oluşturan alt elemanlardır. Mimarlıkta yapının tasarımı kadar, onu oluşturan alt bileşenlerin tasarım kararlarının da doğru verilmesi önemlidir. Bu doğrultuda mimarlık eğitiminde bileşenlerin analizi, tasarımı ve bütünlenmesi öğrencilere kazandırılması gereken becerilerdir. Bu da bileşenler hakkında bilgilendirme yapılarak, 2B ve 3B farklı temsil biçimlerini öğreterek mümkün olabilir.

Geçmişten günümüze bileşenlerin temsili mimari temsille paralel değişmiştir. Aydın, tarihteki ilk mimari temsil biçimlerinden birinin çizgi olduğu belirtir ve çiziyi “yapının görsel özelliklerine benzediği için ikonik; bu görsel özellik üzerinde görülmesi mümkün olmayan soyut kavramları temsil ettiği için analitik; mimarlar arasında bir dil oluşturması nedeniyle de sembolik temsil” olarak betimler [8]. Geleneksel ortamlarda bileşenler bu çizgisel temsile ek olarak, perspektifler ve maketler ile sunulurken, bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler ile BDT ortamlarında bileşenler modeller ile temsil edilmeye başlanmıştır. Geleneksel sunum biçimleriyle BDT sistemlerdeki yaklaşım, kullanılan araçlar farklı olsa da çizgisel olması yönüyle benzer özellikler taşımaktadır. Ancak YBM sistemlerinin ortaya çıkmasıyla yeni bir döneme geçilmiştir. Yapıyı kendileri hakkında detaylı bilgi içeren ve yapı modelindeki diğer objelerle ilişkilerini anlayan akıllı objelerle sunan YBM, yapının çizim ve görselleştirme şeklini değiştirmiştir [9]. Diğer yandan SG ve AG kavramlarının pratiğe dökülmesi ve yaygınlaşması, bileşenlerin temsiline yeni bir boyut ekleyerek bireysel deneyimi işin içine katmıştır. SG sistemleri, bileşenlerin özelliklerinin görüntülenmesi ve tasarım alternatiflerinin deneyimlenmesi için kullanılırken, AG bir sunum ve iletişim ortamı oluşturmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Tez çalışması, Artırılmış Gerçeklik sistemlerinin mimarlık ve eğitim alanında etkilerini araştırmak, mimarlık eğitimi yapılan AG çalışmalarını inceleyerek alandaki yaklaşımları tespit etmek, mimari yapı bileşenlerinin farklı ortamlarda temsil biçimlerini sunarak bir kaynak oluşturmak ve YBM destekli bir AG uygulaması geliştirilerek bu sistemlerin mimarlık eğitimine katkılarını araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, mimari yapı bileşenlerinin plan, kesit ve görünüş çizimlerine, 3B modellerine, AG ortamında temsiline ve metinsel verilerine ulaşmaya imkân tanıyan bir araçlar bütünü tasarlanmıştır. Bu uygulama öğrenciler için bileşenleri geleneksel ve modern yöntemlerle sunan iki modülden oluşmaktadır. İlk modülde kullanıcının oluşturduğu 2B çizimlerden AG modelleri elde etmesini sağlayarak, 3B algısını arttırmak ve bileşenin daha iyi kavranmasını sağlamak hedeflenmiştir. Aynı zamanda öğrencinin herhangi bir yer yerde gördüğü bileşen çizimini okutarak, bileşen hakkında genel bilgi edinmesi sağlanmıştır. İkinci modülde ise gerçek bileşenler yerine sanal alternatifler sunularak, kullanıcının modelleri deneyimleyerek tanınması ve seçmesi hedeflenmiştir. Böylelikle öğrencinin gerek tasarım gerekse uygulama yaparken kaynak olarak kullanabileceği bir uygulama geliştirilmiştir.

1.3 Tezin Hipotezi

Mimarlık eğitiminde kullanılmak üzere geliştirilen YBM destekli kapı ve pencere bileşenlerini içeren bir mobil AG uygulaması aracılığıyla, öğrencilerin mimarlık eğitimi başlangıç yıllarında öğretilen bu mimari bileşenleri daha iyi anlamasına, algılanmasına ve kavranmasına yardımcı olmak mümkündür. Bu sistem, 2B çizimlerle kavrayamadıkları bileşenleri 3B şekilde AG ortamında sunarak ya da gerçek öğeler yerine sanal alternatifleri önererek kullanıcının deneyimleyerek bilgi edinmesini olanaklı kılar. Böylelikle karar aşamasında bileşen çeşitleri arasından tercih yaparken kolaylık sağlanmış olur. Çalışmada kullanılan modellerin YBM tabanlı çevrimiçi kaynaklardan elde edilmesi ve kullanıcıya bu kaynaklara ve daha fazla bilgiye erişim imkânı sunulması yoluyla YBM sistemleri hakkında öğrencinin fikir edinmesi sağlanabilir. Çeşitli ölçeklerde plan, kesit ve

görünüş çizimleri, ögeler hakkında boyut, malzeme benzeri bilgileri, YBM modelleri, bileşen alt elemanları, açılıp kapanma sistemleri ve bileşen modelleriyle ilgili çevrimiçi kaynaklar modüller kapsamında sunulmaktadır. Böylelikle öğrencinin gerektiğinde referans alabileceği, mimari yapı bileşenleri hakkında 2B, 3B ve AG ortamında görsel verileri ve bilgileri içiren bir kaynak oluşturulması sağlanabilir.

1.4 Tezin Kapsamı

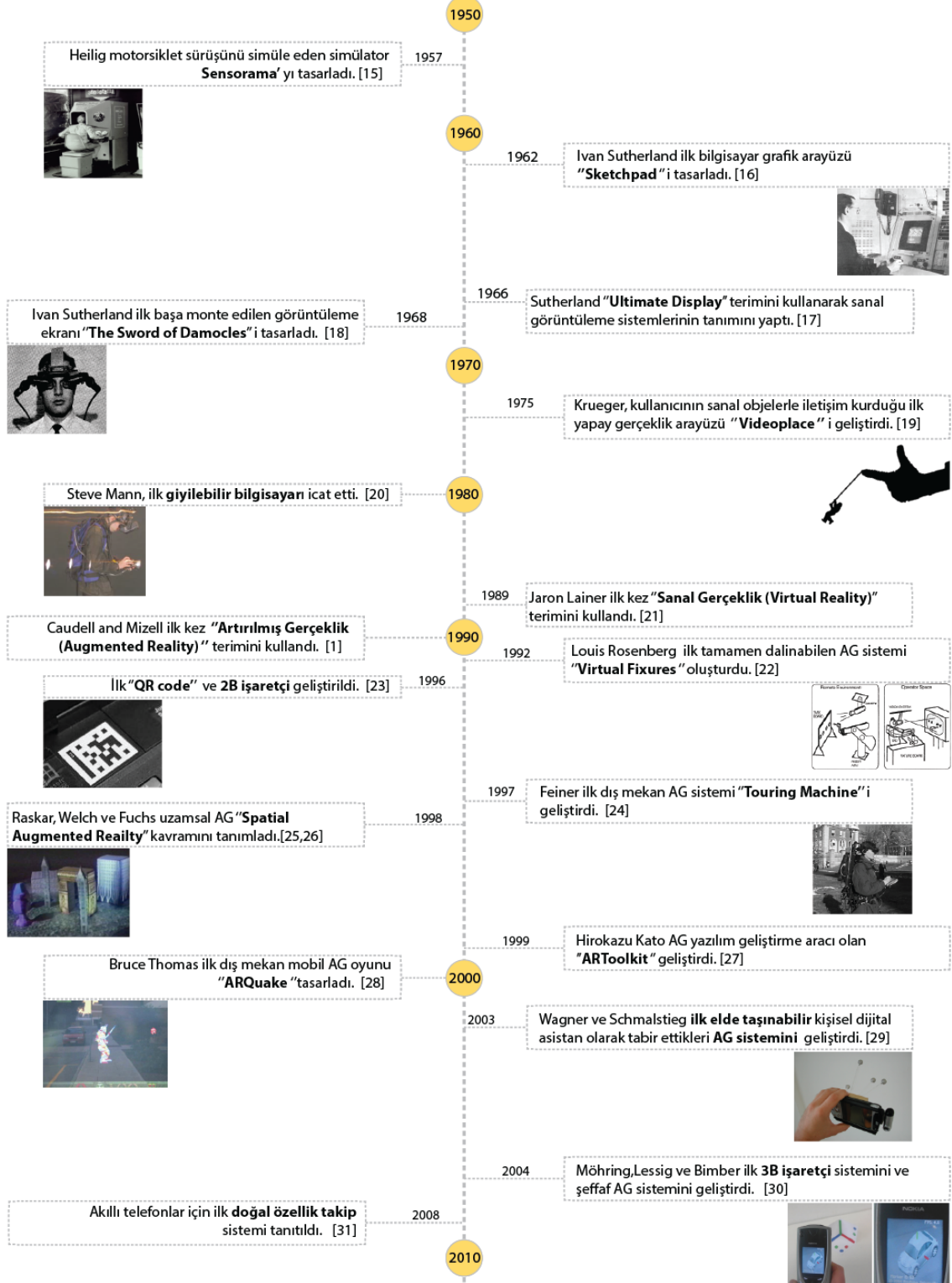
Çalışma kapsamında Sanal ve Artırılmış Gerçeklik sistemleri incelenmiş, kullanıcı kitlesi göz önünde bulundurularak, düşük maliyetli ve kolay ulaşılabilir telefon ve tablet gibi araçlarda görüntülenebilmesi sebebiyle AG'nin avantajlı olduğu tespit edilmiştir. SG ise uzun süre maruz kalındığında baş dönmesi ve benzeri sağlık problemi yarattığı için dezavantajlı bulunmuştur [10]. Mimari yapı bileşenleri bir bütün olarak araştırılmış, uygulama oluşturulurken hem işaretçi hem de 3B içerik oluşturma açısından kolaylık sağlayacağı düşünülen kapı ve pencere bileşenleri seçilmiştir. Bilindiği üzere AG uygulamaları için içerik üretilmesi zorlu bir süreçtir [11]. Bu çalışma kapsamında bu sınırlama çevrimiçi açık kaynaklardan YBM modelleri elde edilerek giderilmiştir. YBM sistemlerinde kapı, pencere gibi yapı bileşenleri bağımsız objeler olarak tanımlanırken, duvar, döşeme gibi elemanlar mevcut projeye özgü olarak oluşturulmaktadır. Bu da bu tarz elemanların AG içeriği olarak kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda kapı ve pencere bileşenlerinin tanımlı geometrileri ve boyutları, mobil cihazların sınırlı ekran büyüklüklerinde bile etkili şekilde görüntülenmelerini mümkün kılmıştır. Kapı ve pencere bileşenleri içinden de mimari duvar boşluğuna eklemlenen elemanlar kapsama dahil edilirken, giydirme cephe ve cam iç bölme duvarlarında açılan kapı ve pencereler kapsam dışında bırakılmıştır.

2.1 Artırılmış Gerçeklik Kavramı

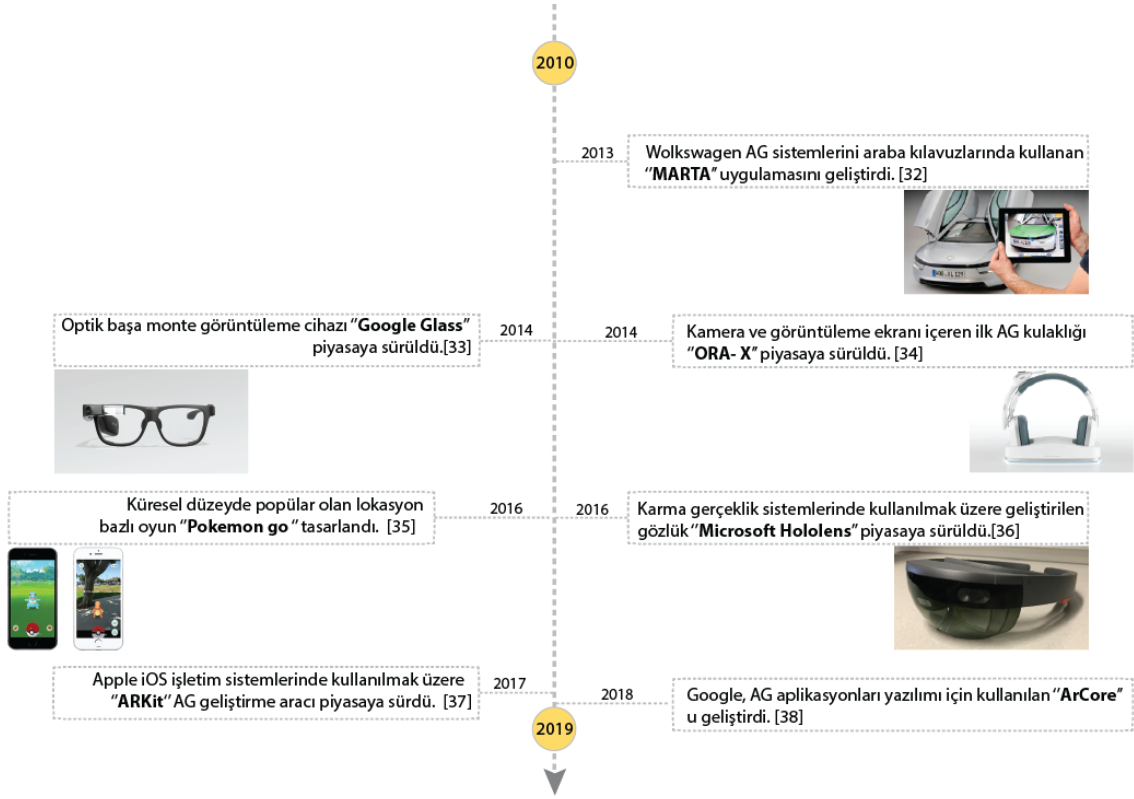
Dijital teknolojilerdeki gelişmeler sanal ortamların yaratılmasına olanak tanıyarak tarihi eskilere dayanan SG kavramının uygulamaya dökülmesini sağlamıştır. SG, bilgisayar tarafından üretilen yapay bir ortam içinde gerçekleşen ve insanın bu sistemin bir parçası olarak dahil olduğu bir iletişim bileşeni olarak tanımlanmaktadır [12]. Aynı zamanda interaktif bilgisayar simülasyonlarının kullanıcının pozisyonunu ve hareketlerini algılayıp bir ya da daha fazla duyuyu geri bildirimle değiştirdiği ya da çoğalttığı, zihinsel olarak sanal dünyaya dalmış ya da sanal dünyanın içinde bulunmuş hissi veren bir medyum olarak görülür [13]. Sherman and Judkins sanal gerçekliğin yoğun, etkileşimli, dalınan, açıklayıcı ve sezgisel olması gerektiğini savunur [14]. Onu deneyimleyen kişinin gerçek dünyadan bağlantısı tamamen kopuktur ve gerçek dünyaya dair hiçbir iz mevcut değildir. Böyle bir ortamın yaratılması için özel görüntüleme cihazları gerekmektedir. SG sistemleri içinde verici cihazları da denilen bu teknolojilerin en yaygınları, başa takılan cihazlar “Head Mounted Display (HMD)”, dijital ekranlar ve “CAVE (Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment)” denilen SG odalarıdır. Kullanıcı ortamı deneyimlemekle kalmayıp, alıcı cihazlar yardımıyla, ortamlarla etkileşimde bulunabilir, onu manipüle edebilir. Bu cihazların en bilenenleri, oyun kolları, bilgisayar fareleri ve veri eldivenleridir. Çeşitli cihazlar yardımıyla deneyimlenen SG, sanal dünyalara dalınmasına olanak sağlayarak insan deneyimini genişletir.

Artırılmış Gerçeklik (AG) ise, sıklıkla SG ile karıştırılır ancak AG’yi SG’nin bir türü olarak nitelendirmek mümkündür. İkisi de deneyimlenen gerçekliği manipüle ederler ancak gerçek ortamlarla ilişkileri farklıdır. SG’de olduğu gibi AG’de de kullanıcı ortamı bir cihaz aracılığıyla görüntüler ancak SG tamamen sentetik bir

kullanabilir uygulamalarının oluşturulmasına fırsat tanımıştır. Günümüzde ise yazılım ve donanımlar ay gibi kısa zaman dilimlerinde güncellenmekte, her geçen gün yeni bir uygulama üretilmektedir. Bu süreci detaylı bir şekilde AG tarihçesinden takip etmek mümkündür (Şekil 2.2, Sekil 2.3).



Şekil 2. 2 Artırılmış Gerçeklik'in tarihçesi

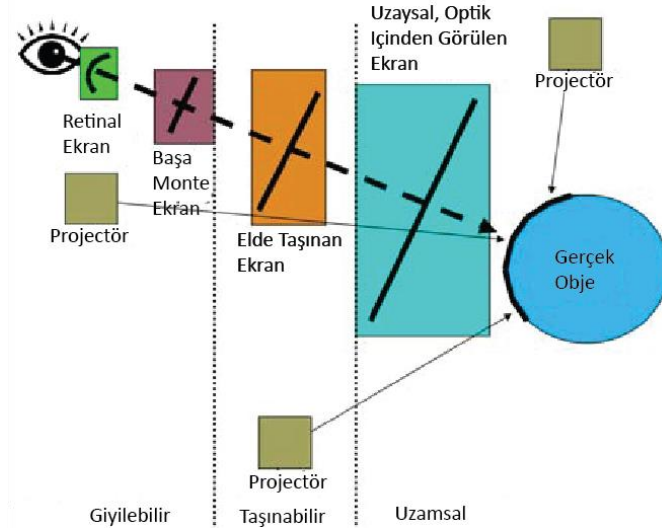


Şekil 2. 3 Artırılmış Gerçeklik'in tarihçesi (devamı)

2.2 Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi

Temelde AG gerçek ortamdaki veriyi algılayan bir sistemle başlar, algılanan veri bir işlemci üzerinde analiz edilir, veri tabanındaki bilgiyle eşleştirilir ve uygun sanal içerik bir görüntü cihazıyla ortama sunulur. Bu doğrultuda AG kavramını daha iyi açıklayabilmek için bu sistemin çalışmasını sağlayan yazılım ve donanımlara değinmek gerekir. AG donanımları bir monitör ya da görüntüleme ekranı, bir kamera, takip ve algılama sistemleri (GPS, pusula, ivmeölçer), bir network altyapısı, bir bilgisayar ya da mobil cihaz ve bir işaretçidir [39]. AG'de sanal öğeler bir görüntüleme cihazı aracılığıyla kullanıcı tarafından deneyimlenir. Görüntünün yer aldığı cihazın kullanıcı ile etkileşimine göre AG teknolojileri giyilebilir, taşınabilir ve uzamsal sistemler olarak üçe ayrılabilir. Giyilebilir sistemler, başa takılan cihazlar, gözlükler ve lenslerdir. Taşınabilir sistemler ise mobil telefonlar ve tabletler aracılığıyla AG'yi deneyimleme imkânı sunan teknolojilerdir. Bu iki sistemde de görüntüleme ekranı ve takibi yapan kamera aynı cihaz üzerinde bulunur. Uzamsal sistemlerde ise sanal görüntüler fiziksel obje ya

da ortamlar üzerine projektör yardımıyla yansıtılır ya da kullanıcı optik ekran üzerinde sanal içerikleri görüntüler. Bimber ve Raskar AG görüntüleme sistemleri ve pozisyonlarını açıklamak için aşağıdaki grafiği oluşturmuşlardır (Şekil 2.4) [40].



Şekil 2. 4 AG görüntüleme sistemleri ve pozisyonları [40]

Kullanılan cihaz tiplerine göre kullanıcının ortamlarla etkileşimini sağlayan alıcı sistemler değişmektedir. Taşınabilir cihazlar genellikle dokunmatik ekranlar içerdiği için iletişim dokunsal olarak sağlanmaktadır. Diğer sistemlerde alıcılar data eldivenleri, bilgisayar klavye ve fareleri, mimik ve jestleri algılayan sistemler ve görüntüleme cihazları üzerinde yer alan çeşitli tuşlardır.

AG sisteminin çalışmasını sağlayan ögeler bir bilgisayar ya da mobil cihaz üzerindeki işlemcilerdir. AG'ye ilginin artması ve kullanım alanlarının genişlemesi ile bu işlemciler için birçok yazılımsal bileşen ortaya çıkmıştır. Bunlar temel olarak, tanıma, izleme ve içerik sunma işlevlerini yerine getirirler. Tanıma ile gerçek ortamdaki referans olacak veri belirlenir, izleme ile belirlenen veriye uygun içerik sunularak gerçek veriyle hizalanır. AG sistemleri izleme özelliklerine göre işaretçi bazlı “marker-based” ve işaretsiz “markerless” olmak üzere ikiye ayrılabilir. İşaret tabanlı sistemler gerçek ortamdaki görsel sembolleri algılayıp, bunlara uygun olarak dijital bilgiyi çağırırlar. Bu sembol önceden tasarlanmış bir doku, resim, barkod ya da model olabilir. İşaretçisiz sistemler ise kullanıcının gerçek çevresindeki doğal özellik noktalarını ya da anahtar noktalarını takip

ederler [41]. Bu sistemlerde sanal ögeler, algılanan düz bir yüzeye, GPS'yle belirlenen bir noktaya ya da görsel sınırları daha önce algoritmalarla belirlenmiş bir insan yüzüne eklemlenebilir. İki sistem arasındaki temel fark, işaretçi tabanlıda işaretçinin daha önceden veri tabanına tanıtılmasıdır.

AG yazılımsal bileşenleri, Köymen'in çalışmasında AG yazılımları, AG içerik yönetim sistemleri ve AG yazılım geliştirme araçları olarak gruplandırılmışlardır. Bunlar arasında hazır içerik sağlayan yazılımlar ve belli bir amaç için üretilmiş olan yönetim sistemleri olduğu gibi geliştiriciye kendi sistemini oluşturmaya yardım eden geliştirme araçları da mevcuttur [42]. Güncel durumda kullanılan AG yazılımlarına Argon, ArUco, Goblin XNA, DroidAR ve Mixare platformlarını örnek olarak vermek mümkünken, içerik yöneticilerinden en yaygınları Augment, Blippbuilder, buildAR.com, Layar Creator, Webcam Social Shopper ve Hoppala Augmentation'dur [43].

AG yazılımları ve içerik yöneticilerinden farklı olarak AG yazılım geliştirme araçları ile kullanıcının tercih ettiği özelliklere ve arayüzlere sahip uygulamalar geliştirmek mümkündür. Araçları, sahip oldukları izleme sistemlerine, kullanıldıkları donanımlara ve destekledikleri platformlara göre sıralamak mümkündür. İzleme sistemlerindeki farklılaşma çeşitli avantajlar ve dezavantajlar sağlamaktadır. İşaretçi bazlı sistemlerde işaretçiler bir imaj, BDT modeli ya da gerçek bir objenin 3B olarak taratılmış modeli olabilir. Bu oldukça geniş bir spektrumda fiziksel ögelerin işaretçi olarak tanınmasını sağladığı için olumlu bir özelliktir. Ancak bu sistemlerde uygulama geliştirilmeden önce işaretçinin oluşturulması, sisteme yüklenmesi ve işaretçiye uygun AG bilgisinin işaretçiyle eşlenmesi gerekmektedir. Bu da eş zamanlı elde edilen AG modellerinin kullanılmasının önünde engel oluşturmaktadır. Doğal özellik izleme (Natural Feature Tracking) sağlayan işaretçisiz sistemlerde ise fiziksel ortamdaki ögeler daha önceden tanımlanmadan, kullanılan cihazın konumlanmasına göre AG içeriğini ortama sunmak mümkündür. İçerik, kullanıcı tarafından manuel olarak hizalanabilir. Aynı zamanda kullanılan cihaz yardımıyla düşey ya da yatay yüzeyler tanınabilir ve içerik bu yüzeylere eklenebilir. Bu sistemler kullanıcılara AG uygulamasının sağladığı içeriklere ek olarak kendi içeriklerini teknik bilgiye

ihtiyaç duymadan AG sistemlerinde kullanma imkânı sağlar. Konum tabanlı yani GPS (Global Positioning System) tabanlı sistemler ise oldukça yaygın kullanılan, kullanıcının pozisyonuna göre içerik sunan izleme sistemleridir. GPS bazlı teknolojide konum bilgisi gibi kolay ulaşılabilen bir veri işaretçi olarak kullanılmaktadır. Bu yaygın kullanılmasının önünü açan bir özellik iken, sistemin sadece mobil cihazlarda başarılı bir şekilde kullanılabilmesine sebep olmuştur. Bilgisayar gibi stabil cihaza geliştirilen uygulamalarda bu sistem tercih edilmemektedir.

AG yazılım geliştirme araçlarının farklı birçok donanımı desteklemeleri kullanım spektrumlarını arttırmaktadır. Bir cihaz için geliştirilen uygulamanın farklı bir cihazda kullanılmak üzere hızlı bir şekilde yeniden oluşturulması bu sayede mümkün olmaktadır. Günümüzde birçok uygulama, çoğu insanın kolayca erişim imkânı bulduğu mobil cihazlara geliştirilmektedir. Bu nedenle araçlar arasından seçim yapılırken desteklediği donanımlara dikkat edilmektedir. Donanımın yanı sıra AG yazılım geliştirme araçlarının farklı platformları desteklemesi, tercih edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Birçok uygulama mobil cihazların modelleri dikkate alınmadan geliştirilmekte, her cihaza uygun olabilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle yazılım araçlarının Android ve iOS gibi en yaygın mobil işletim sistemlerini desteklemesi faydalıdır.

Birçok AG aracını kullanarak bağımsız uygulama geliştirilmesi mümkün olduğu gibi, oyun motorlarına bu araçların eklenmesiyle de uygulamalar oluşturulabilir. Mobil platformlara ek olarak bazı geliştirme araçları, Unity ve Unreal Engine gibi oyun motorlarını desteklemektedir. Oyun motorları, bilgisayar, akıllı telefon, oyun konsolları gibi cihazlarda kullanılmak üzere oyun üretmek amaçlı geliştirilmiş platformlardır. Java Script, C ++, C# vb. yazılım dilleriyle kodlar oluşturularak oyunlar geliştirilir. Piyasada birçok oyun motoru mevcut olduğu gibi en yaygın kullanılanları Unity ve Unreal Engine'dir. Papuççiyan'a göre Unreal Engine kaliteli grafikler sunması, yüksek donanım ve işlem gücüne sahip platform ve cihazları desteklemesiyle daha profesyonel derecede tercih edilen bir oyun motorudur. Unity ise nispeten daha az işlem gücü gerektiren oyun konsolları ve akıllı telefonlar gibi cihazlarda daha kullanışlıdır [44]. Platform temelde C# yazılım

dilini desteklese de C++ yazılım diliyle oluşturulmuş kodları da sisteme dahil etmek mümkündür. Böylelikle uygulama oluşturulurken başka kullanıcılar tarafından geliştirilmiş ve açık kaynak olarak sunulmuş birçok hazır kodu kullanma imkânı mevcuttur. Aynı şekilde Unity kolay anlaşılır arayüze sahip olduğu ve hızlı çıktılar verdiği için yeni başlayanlar için uygun bir platformdur. Ayrıca piyasada mevcut birçok platformu desteklediği için, geliştiriciye bir kere bir sistemi üretip diğer platformlara yayma olanağı sunmaktadır [45]. Bu doğrultuda bu tez çalışması kapsamında geliştirilen uygulama için, yukarıda belirtilen olumlu yanları nedeniyle Unity oyun motoru tercih edilmiştir.

Tablo 2. 1 AG yazılım geliştirme araçları temel özellikleri

ARAÇ	İZLEME SİSTEMİ	DONANIM	PLATFORM
ARCore	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme, GPS	Mobil, Gözlük	Android, iOS, Unity, Unreal
ARkit	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme	Bilgisayar, Mobil, Gözlük	iOS, Unity and Unreal Engine.
AR-media	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme, GPS	Mobil	Android, iOS, Unity
ARToolkit	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme, GPS	Bilgisayar, Mobil, Gözlük	Android, iOS, Unity
D'Fusion	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme	Mobil	Android, iOS
EasyAR	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme	Bilgisayar, Mobil	Android, iOS, Unity
Kudan	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme, GPS	Mobil	Android, iOS, Unity
MAXST	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme	Bilgisayar, Mobil, Gözlük	Android, iOS
Metaio	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme, GPS	Bilgisayar, Mobil	Android, iOS
VisionLib	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme	Bilgisayar, Mobil, Gözlük	Android, iOS, Unity
Vuforia	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme, GPS	Bilgisayar, Mobil, Gözlük	Android, iOS, Unity
Wikitude	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme, GPS	Bilgisayar, Mobil, Gözlük	Android, iOS, Unity
XZIMG	İşaretçi Tabanlı, Doğal Özellik İzleme	Bilgisayar, Mobil	Android, İos

Teknolojik gelişmeler sayesinde sayıları oldukça artan AG yazılım geliştirme araçlarından en yaygın olanları yukarıda listelenmiştir (Tablo 2.1) [46,47,48]. Tez kapsamında geliştirilen uygulamada kullanılmak üzere araştırılan bu platformlardan, izleme sistemleri nedeniyle ARCore ve Vuforia üzerinde durulmuştur.

ARCore, Google tarafından 2017 yılında lanse edilen bir AG yazılım geliştirme aracıdır. Araç, telefonun çevrenin mevcut aydınlatma koşullarını tahmin etmesini sağlayan ışık hesaplama, dünyaya göre konumunu anlama ve izlemesini sağlayan hareket takibi ve her tür yüzeyin boyutunu ve yerini tespit etmesini sağlayan çevreyi tanıma özellikleri barındırmaktadır [49]. Bu özellikleriyle diğer platformlara üstünlük sağlayan araç, açı ayırt etmeksizin gerçek çevre içinde yüzeyleri kolayca tanımaktadır. Yüzey tanıma yöntemiyle AG içeriği hızlı bir şekilde gerçek çevre içine yerleştirilebilir. Ancak araç, kimi zaman tanınacak yüzeyin tamamını kapsamamakta, bazı alanları açıkta bırakmaktadır. Bu da gerçek ortamla sanal verinin tam olarak hizalanamamasına yol açmaktadır. Yakın zamanda geliştirilen bu aracın ilerleyen versiyonlarında sorunun çözülmesi mümkün olabilir.

Vuforia izleme sistemlerindeki çeşitlilik, iOS ve Android cihazları desteklemesi ve çevrimiçi kaynaklarda birçok eğitim videolarının ve açık kaynaklı yazılım kodlarının mevcut olması nedeniyle AG uygulama geliştiricileri tarafından oldukça tercih edilen bir sistemdir. Vuforia, işaretçi tabanlı ve işaretçisiz olmak üzere birçok farklı izleme sistemi sunmaktadır. En temel olarak kullanıcının kendisinin belirlediği imajları ve desenleri işaretçi olarak kullanmasına imkân sağlamaktadır. Bunun yanı sıra gerçek ortamdaki yatay yüzeyleri tanıyıp sanal obje yerleştirilmesini mümkün kılar. Vuforia'nın sağladığı diğer bir izleme yöntemi ise fiziksel objenin taranmasıyla obje işaretçisi oluşturulmasıdır. Bu yöntemle gerçek ortamdaki objelerin tanınması ve izlenmesi sağlanır. Aracın sunduğu diğer bir izleme yöntemi ise model işaretçi sistemleridir. Tanınması istenilen objenin sanal modeli, sayısal ortamlarda oluşturulur ve işaretçi olarak atanır. Objeleri fiziksel şekillerinden tanıyan sistem, küçük oyuncaklardan büyük araçlara kadar birçok

objenin işaretçi olarak kullanılmasına imkân tanıyarak AG deneyimini genişletmektedir.

2.3 Artırılmış Gerçeklik Uygulama Alanları

AG sistemleri ilkel şekliyle 1960'lı yıllarda ortaya çıkmış olsa da yaygın olarak uygulamaya dökülmesi teknolojideki gelişmeler sayesinde son yıllarda gerçekleşmiştir. İhtiyaç duyulan donanımların maliyetinin düşmesi ve yaygınlaşması, yazılımsal dillerin gelişmesi ve bunlara ait bilgi kaynaklarına erişimin kolaylaşması her alanda sistemlerin kullanımını arttırmıştır. Tıptan askeriye kadar çeşitlenen bu alanlar içinde en yaygın kullanım alanlarından bir tanesi eğitim iken, bir diğeri ise mimarlıktır. Bu alanlarda tablet ve telefonlarda kullanılmak üzere piyasa sürülen çalışır durumdaki uygulamalara ek olarak akademik çalışmalarda kullanılmak üzere üretilmiş prototipler de mevcuttur. Tezin bu bölümünde AG teknolojilerinin kullanım alanlarına genel olarak değinilmiş, eğitim ve mimarlık alanında AG yaklaşımları incelenmiş, çalışmanın da ana unsurlarını oluşturan mimarlık eğitimi alanında yapılmış çalışmalar detaylı olarak sunulmuştur.

2.3.1 Farklı Alanlarda Artırılmış Gerçeklik

AG teknolojisi insan odaklı doğası nedeniyle farklı alanlarda kullanım potansiyelleri vaat eder. Sistemin birçok uygulama alanı mevcuttur, bunlar eğitim, bilim, iş ve üretim, tıp, halk güvenliği ve askeriye, sanat, reklam ve eğlencedir [50].

AG, oyun ortamlarını gerçek çevrede deneyimlemeye imkân sunarak eğlence sektöründe yerini oluşturmuştur. Ekran bazlı uygulamalardan farklı olarak AG kullanıcıya farklı bir eğlence deneyimi sunduğu, kullanıcının gerçek dünyayla etkileşimini arttırdığı ve sanal objelere dokunma imkânı sağladığı için oyun ve eğlence sektöründe potansiyelleri araştırılmaya başlanmış bir sistemdir [51]. Ayrıca gerçek görüntü üzerine sanal grafikleri ve veriyi yansıttığı için spor müsabakalarında da kullanımı yaygınlaşmıştır [52].

Tıp alanında ise AG kullanımının en yaygın olduğu alanlar, hasta tedavisi, ameliyat etme ve eğitim uygulamalarıdır [53]. Peters medikal alandaki AG'yi, müdahale etme ve simülasyonla deneyimleme olarak ikiye ayırır. İlkinde sabit bir hasta üzerine medikal görseller yansıtılır. İkinci sistemde ise karmaşık modeller için oluşturulmuş bilgisayar simülasyonları deneyimlenir [54]. Ayrıca AG bir navigasyon sistemi sunarak, ameliyat yapılmasına yardımcı olduğu ve yüzeyde görünmeyen dokuların sanal olarak görüntülenmesine imkân tanıdığı için tıpta kullanılan bir sistemdir [55]. Diğer yandan AG'nin ilk kullanılmaya başlandığı alan savunma ve askeriyedir. Gerek kullanılan araçların yüksek maliyette olması gerekse uygulamaların insan güvenliği açısından riskli olması, gerçeği simüle etmeye yarayan AG sistemlerinin kullanılmasına imkân tanımıştır [56,57].

AG'nin diğer bir kullanım alanı da arkeolojidir. Arkeolojik eserlerde kayıp ya da eksik parçaların sanal olarak tamamlanması ve belli dönemsel çevrelerin yaratılması için AG sistemlerine başvurmak mümkündür [58,59]. Aynı şekilde sanat alanında da AG sıklıkla müzelerde tercih edilen bir iletişim biçimidir. Sanal objeler müze içine yerleştirilerek sergileme olanağı oluşturulabilir ya da mobil uygulamalar tasarlanarak kullanıcıların gerçek eserler hakkında daha fazla bilgi edinmesi sağlanabilir [60,61].

AG, üretim sektöründe işçilerin eğitilmesine yardımcı olduğu ve parçaları tarayıp hataları bularak işleri kolaylaştırdığı için daha hızlı, kaliteli ve güvenilir bir üretim sürecine imkân tanır [62]. Ayrıca, AG'nin onarım ve montaj yapımında çalışana sanal komutlar sağlayarak kâğıt kullanımından farklı bir deneyim sunduğu görülmüştür [63]. İnteraktif doğası nedeniyle AG reklamcılık sektöründe de tercih edilmektedir. Yaygın olarak mobil cihazlar üzerinde kullanılırken, interaktif ekranlarla, interaktif mağazaların ve 4 boyutlu projeksiyonların daha az sıklıkla tercih edildiği görülmüştür [64].

2.3.2 Mimarlıkta Artırılmış Gerçeklik

AG bir görsel temsil biçimi olmasından dolayı mimarlıkta sıklıkla başvurulanan bir medyumdur. Örtülü olanı açığa çıkarmaya, kayıp olan parçaları göstermeye, inşa edilmeden önce yapıyı gerçek çevresinde görüntülemeye ve soyut olanı

somutlaştırmaya imkân sağlar. AG'nin mimarlıkta kullanım alanları incelendiğinde, tasarım, görselleştirme, mimari koruma, uygulama ve yönetim süreçlerinde çeşitli çalışmaların mevcut olduğu gözlenmiştir. Ayrıca mimarlığın yanı sıra şehircilik, iç mimari ve inşaat alanlarında da AG sistemlerini içeren çalışmalar yapılmaktadır.

Mimari tasarım teori ve pratiği birleştirdiği için her zaman üzerinde çalışılması zor bir süreç olmuştur. AG bu süreçte ortak bir tasarım zemini oluşturarak mimarların iş birliği yapmasına imkân tanır [65]. 2B verilerin 3B modeller aracılığıyla sunulmasını sağlayarak tasarım kritiklerini anlaşılabilir kılmaya yardımcı olur [66]. İnteraktif yapısı tasarım alternatiflerini gerçek ortamda deneyimlemeye olanak sağlar [67]. Gün ışığı, rüzgâr gibi çevresel etmenleri simüle ederek, tasarımın erken aşamalarında alternatifleri keşfetmeye izin verir [68,69]. Ayrıca mimarların oluşturdukları tasarımları birebir ölçekte deneyimleyip, revize etmeleri AG sistemlerinde mümkündür [70].

Görselleştirme mimari alanda, fikirlerin somutlaştırılması ve tasarım ortakları arasında iletişimin sağlanması açısından oldukça önemlidir. AG sistemleri bu bağlamda genellikle yapının 3B modelinin inşa edilecek alan üzerine hizalanması ve daha küçük boyutta modellerin inceleme vb. amaçlarla gerçek ortamlarda görüntülenmesine olanak tanır. İnşa edilecek alanda modelin görüntülenmesi kullanıcıya yapıyı gerçek çevresi içinde deneyimleme olanağı sunar [71,72].

Küçük boyutta yapı modellerinin gerçek ortam içinde görüntülenmesi ise yeni bir sunum şeklidir. AG sistemleriyle güçlendirilmiş modeller çeşitli arka planlara ve teknik yeteneklere sahip tasarım ortaklarının anlayıp, üzerinde tartışabildiği iş birlikçi bir ortam sağlar [73]. Bu da birçok disiplinin ortak olarak çalıştığı mimarlıkta önemli bir husustur.

AG sistemleri kullanılarak tarihi çevrelerde geçmiş ile güncel ortamın üst üste çakıştırılması mümkündür [74]. Tarihi yapılar hakkında dijital veriler sunabilen AG teknolojileri yapıların araştırılmasına kolaylık sağlayabilir [75]. Ayrıca dijital modellerin sahaya taşınmasına olanak tanıyarak tarihi yapıların hasar tespit ve onarımları için mimari koruma alanında kullanım potansiyeli barındırır [76].

AG sistemlerinin hem yapının mimari uygulama aşamasında hem de tamamlanmasından sonra yaşam döngüsü içinde çeşitli şekillerde kullanıma potansiyelleri vardır. Shin ve Dunston'un araştırmasına göre inşaat aşamasında AG'nin potansiyel uygulama alanları, inşa etme ve denetleme, yorumlama ve iletişim ve koordinasyondur [77]. AG sistemleri mimari bitişlerin arkasında kalan bileşenlerin sanal olarak gösterilmesine olanak sağladığı için yapının inşaat sonrası kullanım ve yönetim aşamasında da avantaj sağlayabilirler [78].

Tekil bir 3B modelin düz bir yüzey üzerine yansıtılması AG'nin en temel uygulamalarından biridir. Bu yöntem iç mimaride mobilya gibi elemanların tasarım kararlarının verilmesinden önce denenmesini sağlamak amacıyla oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [79]. Şehircilikte tasarım ölçeği ve detay seviyesi ise mimari ve iç mimariden oldukça farklıdır. Genellikle bir şehrin keşfedilmesi için bilgi sağlanmasında ve tasarım öncesinde kentsel analizlerde AG sistemlerine başvurulmaktadır [80,81].

Mimari alanda AG içeren çalışmaların her geçen gün arttığı gözlemlenmiştir. Geçmişte teorik olarak sunulan öneriler pratiğe dökülmeye başlanmıştır. Ancak sistemin teknik kısıtlılıkları, ilgili alanda altyapısı olan teknik insanlarla çalışılması gerekliliği ve donanımsal bileşenlerin maliyetlerinin yüksek olması yapılan çalışmaların tutarlı olmasını engellemektedir. Wang'a göre mimarlık ve tasarım alanlarında, AG sistemlerinin tasarım ve uygulaması yapılırken araştırmacılar ve sistem geliştiriciler, üç büyük zorlukla karşılaşmışlardır; ilgili yapıya ait 3B yerel bilginin elde edilmesi, gerçek çevrenin kesin modeli ve teknolojik sınırlılıklar [6]. Teknolojinin de gelişmesiyle bu problemlere çözümler aranmaya devam edilmekte, yeni yaklaşımlar üzerinde çalışılmaktadır. Mimarlık alanında yapılmış AG çalışmaları incelendiğinde ulaşılabilirliği yüksek olduğu için daha çok mobil cihazların tercih edildiği tespit edilmiştir. Ancak kafaya takılan başlıklar (HMD) ve gözlüklerin az miktarda da olsa kullanıldığı görülmektedir.

2.3.3 Eğitimde Artırılmış Gerçeklik

AG sistemlerinin en yaygın kullanıldığı alanlardan biri eğitimidir. İnteraktif ve işbirlikçi doğası, kolay ulaşılabilir teknolojik cihazlarla deneyimlenebilmesi ve

zengin içerik sunması eğitim ve öğretim ortamlarında yüksek kullanım potansiyeli oluşturmaktadır. Billinghamst'e göre AG'nin sunduğu eğitim deneyimi üç nedenden dolayı farklıdır; gerçek ve sanal ortam arasında kesintisiz etkileşim sağlar, obje manipölasyonu için bir dokunmatik arayüz metaforu kullanır ve sanallık ve gerçeklik arasında pürüzsüzce geçiş yeteneği vardır [82]. Çalışmanın bu kısmında AG'nin eğitimde uygulama alanlarından, kullanım şekillerinden, olası faydaları ve zararlarından bahsedilecektir.

Yuen, Yaoyuneyong ve Johnson AG teknolojilerinin eğitim ve öğretim alanında uygulamalarını beş grupta sıralamışlardır; AG kitapları, AG oyunları, keşif tabanlı öğrenme, obje modelleme ve yetenek eğitimi [83]. AR kitapları, fiziksel kitap sayfaları içine işaretçiler yerleştirilerek, kullanıcının bu işaretçileri görüntüleme cihazlarıyla deneyimlemesine olanak sağlayan sistemlerdir. Bu tarz sistemler fiziksel bir obje, sanal bir obje ve dalınabilen bir sanal ortam sağladıkları için iş birliğini desteklerler [84]. AG oyunları ise, çocuk ve gençlerin oyun alışkanlıkları göz önünde bulundurularak, eğitim amaçlı oluşturulmuş dijital uygulamalardır. Bu tarz oyunların kullanıcıların motivasyonunu arttırmada, öğrenme ortamına adapte olmalarını sağlamada ve bilgi edinmesinde olumlu etkileri olduğu gözlenmiştir [85].

AG, doğası itibariyle keşif tabanlı öğrenmeye olanak sağlayan bir teknolojidir. 2B objeleri 3B sunmaya, izleme sistemleri sayesinde gerçek öğeleri sanal öğelerle zenginleştirmeye uygun bir yapısı vardır. Kullanıcılar öğrenim süreçlerinde gerçek ortamların izin vermediği bilgi ve deneyimleri sanal çevrelerde edinebilirler. Ayrıca AG obje modelleme için de kullanılabilir ve öğrenenlere bir ögenin farklı seçeneklerde nasıl gözükebileceğinin bilgisini sunar. Modelin hızlıca modifiye edilmesi, döndürülmesi ve yeniden oluşturulması, öğrencilere kendi tasarım ve fikirleriyle ilgili anlık geri bildirimler sağlayarak tutarsızlıkların ve problemlerin tespit edilmesine izin verir [86]. AG'nin eğitim alanında diğer bir kullanım alanı yetenek eğitimidir. Özellikle ürünlerin montajı, makine ve cihazların çalıştırılması, araçların kullanılması ve donanımların onarımı gibi konularda avantaj sağlayabilir. AG her adımı ayrı ayrı görüntüleyerek, kullanılacak araçları

tanımlayarak ve metinsel talimatlar göstererek, çalışanların özellikle belirli görevlerde bireysel olarak kullanımına uygundur [83].

Eğitim alanında AG sistemlerini barındıran birçok uygulama yapılmıştır. AG tabanlı eğitim uygulamalarının geleneksel yöntemlere göre birtakım olumsuz ve olumlu yönleri mevcuttur. Fadu yaptığı araştırmada, AG 'nin içeriğin anlaşılmasına, uzun süreli hafızada saklanmasına, gelişmiş iş birliğine, fiziksel görev performansı artışına ve öğrenci motivasyonunun yükselmesine katkı sağladığı sonucuna ulaşmıştır [87]. Ayrıca bazı AG uygulamalarının öğrencinin motivasyonuna ek olarak dikkatini, memnuniyetini ve konsantrasyonunu da yükselttiği düşünülmektedir [88]. Sadece dayanışma ve iletişim tabanlı iş birliği öğrenmeye değil, aynı zamanda öğrencinin aktif olarak ve kendi temposunda öğrendiği öğrenci odaklı bir öğrenme şekline de imkân tanıdığı gözlenmiştir [88].

Eğitim alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde, AG'nin birçok pozitif yönüne ek olarak bazı negatif yönlerinin de olduğu tespit edilmiştir. Dikkat tüneli oluşturarak, bazı alanlara diğerlerinden daha fazla ilgi gösterilmesine yol açtığı, fiziksel alternatiflerine göre daha fazla kullanım zorluğu içerdiği, efektif olmayan bir sınıf entegrasyonu sağladığı ve kullanıcı farklılıkları sebebiyle bazı öğrenciler üzerinde etkili olurken bazıları üzerinde başarısız olduğu ortaya çıkmıştır [89]. Shelton'a göre AG bazlı eğitimde, geleneksel yöntemlere kıyasla maliyet etkisi ve verimliliği konusunda hala belirsizlikler mevcuttur [90].

Uygulama esnasında karşılaşılan birtakım problemlere rağmen, AG eğitim alanında yüksel potansiyeller barındırmaktadır. Bu özelliğiyle gelecekte de eğitim alandaki uygulamaları kullanılmaya ve geliştirilmeye devam edilecektir.

2.3.3.1 Mimarlık Eğitiminde Gerçekleştirilmiş Artırılmış Gerçeklik Çalışmaları

AG mimarlık eğitiminde sıkça başvurulanan bir sistemdir. 2B çizimlere, 3B modellere ve maketlere ek olarak yeni bir sunum şekli olarak alan içinde potansiyelleri keşfedilmektedir. Görsel sunumun yanı sıra bilgi edinme konusunda da AG sistemleri kullanılmaktadır. Eğitimi verilen konunun ihtiyacına göre bağımsız uygulamalar üretilebildiği gibi, genel amaçla üretilmiş uygulamaların bir

probleme çözüm sunmak amacıyla kullanıldığı da görülmektedir. Bu doğrultuda mimarlık ve mühendislik eğitimi çerçevesinde AG sistemlerinin kullanıldığı örnekler incelenmiş, eğitimde AG yaklaşımı araştırılmıştır.

Chen ve Wang tarafından dokunulabilir arayüzlerle AG sistemleri birleştirilerek, şehir tasarımı eğitimi için bir uygulama oluşturulmuştur. Tasarım aşamasında geleneksel yöntemlere kıyasla kullanıcının daha fazla görsel data içiren modeller kullanmasını ve eş zamanlı manipülasyon yapmasını olanaklı kılan bir sistem geliştirilmiştir [91]. Çoklu tasarımcıların aynı düzlem üzerinde çalışmasına imkân sağlayan uygulamada, işaretçiler yardımıyla fiziksel makete yansıtılan 3B modeller modifiye edilir (Şekil 2.5). Çalışma, uygulama ile tasarım yapan ve geleneksel ahşap bloklarla tasarım yapan iki grup üzerinde yapılmış olup, dijital sistemin tasarımın görsel olarak algılanmasına yardım ettiği ve ağır bloklara oranla daha fazla hareketlilik sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.5 Geleneksel yöntem ve dokunulabilir AG uygulamasının maket üzerinde görünümü [91]

2012 yılında Redondo, Navarro, Sánchez ve Fonseca tarafından iki ayrı bölüm olarak gerçekleştirilen bir çalışmada AG'nin mimarlık eğitiminde kullanımı sorgulanmıştır. İlk bölümde, sahada sanal modellerle çalışmaya imkân veren AG sistemleri aracılığıyla mimarlık öğrencilerinin bilgisayar grafikleri üretiminde yeterliliklerini arttırmak amaçlanmıştır. Bu sistemlerin geleneksel fotomontaj yöntemleri yerine kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir [92]. İkinci bölümde ise mevcut bir yapıyla, yapının termal davranışı, statik yükleri gibi bilgilerini içeren dijital modelini karşılaştırarak yapıyı daha iyi anlama ve inşaat, onarım süreçlerinde verimliliği artırma amacı güdülmüştür (Şekil 2.6). AG sistemlerinin

öğrencilerin mekansal yeteneklerinin arttırılmasını ve yaratıcılığının desteklenmesini sağladığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. 6 Dijital model ile gerçek ortamın çakıştırılması [92]

U-AR mimari eğitim ortamında kullanılmak üzere tasarlanmış, gerçek ortam içindeki imajları işaretçi olarak tanıyıp 3B mimari modelleri çağıran bir uygulamadır. Eş zamanlı olarak modelleri görüntülemeye, büyütüp küçülmeye ve hizalamaya imkân tanır [93]. Öğrenciler tasarımlarını gerçek ortam içinde görüntüleyerek geliştirirler (Şekil 2.7). Çalışma 20 öğrencinin katıldığı üç ayrı grup oluşturularak yapılmış olup, ilk gruptaki öğrenciler U-AR uygulamasıyla, ikinci gruptaki öğrenciler piyasada mevcut benzer bir AG uygulamasıyla, üçüncü gruptakiler ise geleneksel slayt bazlı yöntemle çalışmışlardır. Modelleri hareket ettirmeye ve farklı işaretçi kullanmadan birçok model görüntülemeye izin vermesi nedeniyle uygulamanın ticari benzerlerine oranla dış mekânda daha stabil olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca geleneksel yöntemlere oranla AG tabanlı sistemlerin öğrencileri daha fazla motive ettiği gözlemlenmiştir.

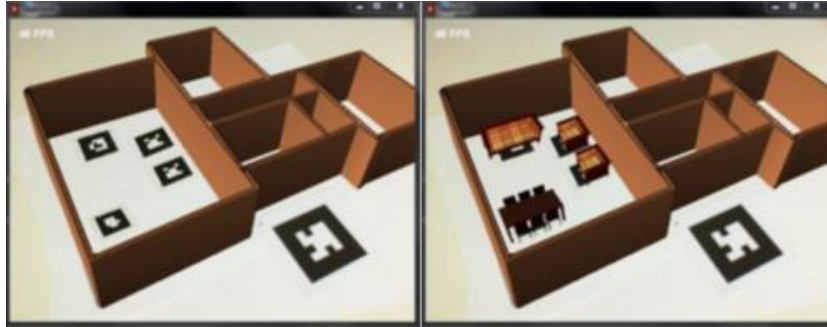


Şekil 2. 7 Dış mekânda U-AR uygulamasından görüntüler [93]

Chandrasekera gerçekleştirdiği çalışmada, mimarlık ve iç mimarlık öğrencilerinin alternatif formları deneyimlemeye ve mimari soyutlamanın

prensiplerini anlamalarına yardımcı olmada AG teknolojilerinin etkisini ölçmüştür [94]. Öğrencilerin fiziksel modeller yerine AG modelleri kullanarak tasarımın erken aşamalarında tasarım kararlarını vermeleri beklenmiştir. 15 öğrencinin yer aldığı anket aracılığıyla, AG sistemlerini kullanmanın kolay olduğu ve AG modellerinin fiziksel modellerle karşılaştırılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Mimarlık eğitiminde belirlenen probleme yönelik geliştirilen uygulamalara örnek olarak SketchAR verilebilir. SketchAR, mimarlık eğitiminin ilk yıllarında, öğrencilerin 2B planları, 3B şekilde okumalarına yardımcı olan bir AG yazılımıdır [42]. Öğrencinin çizdiği 2B eskiz plan çizimindeki çizgileri eş zamanlı olarak algılayarak 3B duvarlara dönüştüren, daha sonra kapı, pencere ve mobilya bileşeni eklemesine olanak tanıyan bir sistemdir (Şekil 2.8). Çizimler kamera yardımıyla algılanıp bilgisayara aktarılırken, bileşenlerin tanınması için işaretçiler kullanılmıştır. AG teknolojisinin mimari tasarım aşamasında bir araç olarak kullanılması çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Yazılım aracılığıyla öğrencilerin 3B düşünme ve algılama becerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen yazılım 50 öğrenci tarafından kullanılmış, öğrencilerin yazılım hakkındaki fikirlerini almak için anket çalışması yapılmıştır. Kullanıcıların büyük çoğunluğu programın asıl hedefi olan 2B planı 3B olarak algılatma amacını yerine getirdiği düşünmektedir.



Şekil 2. 8 Sketchar yazılımından bir sahne [42]

Özenen ve Şener tarafından yapılan çalışmada, mimarlık eğitiminde fiziksel maket yerine AG sistemlerinin kullanılması sağlanarak, öğrencilerin eğitimde teknolojik araçlara adaptasyonunu araştırılmıştır [95]. Öğrencilerden ilk aşamada 3B ortamda bir yapının konsept modelini oluşturmaları daha sonra ise bu modeli

ve varsa alternatiflerini AG ortamlarında sunulmak üzerine hazırlamaları istenmiştir. Oluşturulan modeller bulut sistemlerine yüklenmiş, AG gözlükleri ve mobil cihazlar ile görüntülenmiştir. Çalışma sonucunda AG ortamında sunulan modellerin fiziksel modellere göre birtakım avantajları olduğu tespit edilmiştir. Geleneksel yöntemle kıyasla AG modellerin yapımının daha az zaman aldığı ve daha detaylı ve interaktif bir proje sunumu oluşturdukları sonucuna varılmıştır. Çalışmayı olumlu bulanların yanı sıra az sayıda öğrenci, AG modellerinin dokunulabilirlik özellikleri olmadığı için tasarım sürecini olumsuz etkiledikleri yorumunda bulunmuştur.

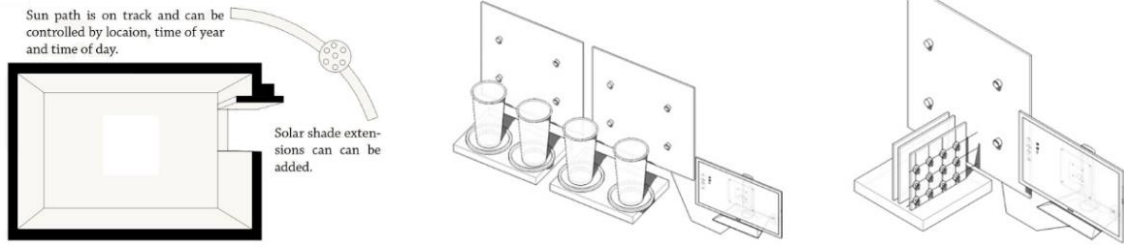
Riera, Redondo ve Fonseca AG sistemi barındıran mobil cihazlar yardımıyla öğrencilerin motivasyonunu ve niteliklerini geliştirmeyi amaçlamışlardır [96]. 11 katılımcının olduğu bu çalışmada, öğrencilerden bir kampüs için tasarım önerisi yapmaları beklenmiştir. Önerilen tasarım GPS sistemlerinin yardımıyla gerçek arazi üzerinde görüntülenmiştir (Şekil 2.9). GPS sistemlerindeki kesinlik problemlerine karşın, öğrencilerin tasarımlarının kentsel etkilerini gerçek arazide görerek değerlendirmeleri mümkün olmuştur. Çalışmanın değerlendirilmesi, öğrencilerin doldurduğu anketler yardımıyla yapılmıştır.



Şekil 2. 9 GPS ile araziye hizalanmış bir yapı [96]

Fernando, Dupre ve Skates tarafından mimarlık öğrencilerine yapı fiziğini öğretmek amaçlı, dokunulabilir kullanıcı arayüzleriyle “Tangible User Interface” AG sistemlerini harmanlayan bir uygulama geliştirilmiştir [97]. Güneş analizi, ortamdaki hava-su ilişkisi analizi ve sıcaklık analizi yapmaya yarayan üç modülden oluşan sistemde amaç, öğrenciler için interaktif bir ekosistem oluşturulmuştur (Şekil 2.10). İlk modülde güneş rotası anime edilmekte iken,

ikincisinde akışkan dinamikleri simülasyonları fiziksel objelerin üzerine yansıtılmaktadır. Üçüncü modülde ise sıcaklık dağılımı ve kayıtları dijital veri olarak gösterilmektedir. Çalışmada AG'nin karmaşık fikirleri sunmaya olanak tanıyarak sezgisel anlamaya yardımcı olacağı, interaktif öğrenme ve deneyimlemeye bir basamak oluşturacağı sonucuna varılmıştır.

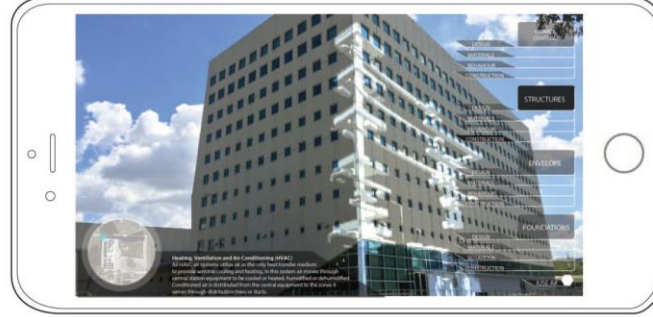


Şekil 2. 10 Uygulamadaki 3 modülden şematik gösterimler [97]

Abdullah, Kassim ve Sanusi iş birlikçi bir çalışma ortamı oluşturarak, mimarlık öğrencilerinin çelik detaylarının yeniden inşa edilmiş 3B sanal modellerinin oluşturulmasını ve AG modelleri şeklinde sunulmasını amaçlayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [98]. Öğrenciler çalışmalarını 3B olarak modelleyip, çevrimiçi sistemlere yüklemiştir. Kare kod yardımıyla kendilerinin ya da sunum yapılan kişilerin modelleri AG ortamında görüntülemelerine olanak sağlanmıştır. Çalışmanın üç temel hedefi mevcuttur; AG sistemleri kullanarak çelik detay strüktürlerinin yeniden inşa edilmesi, keşif bazlı öğrenme konusunda öğrencilerden gelen geri bildirimlerin analizi ve öğrencilerin bu yeni öğrenme biçimi hakkında memnuniyetlerinin ölçülmesi. Yapılan gözlemler ve geri bildirimler sonucunda bu sistemin geleneksel ders anlatma yöntemlerine göre konunun anlaşılmasında daha başarılı olduğu ve öğrencilerin AG deneyiminden memnun kaldıkları sonucuna ulaşılmıştır.

ARscope, mimarlık ve mühendislik öğrencilerine derste öğretilen yapıyı ziyaret ettiklerinde, yapı hakkında bilgi veren bir mobil uygulamadır [99]. Uygulama YBS modellerini kullanarak AG ile YBM sistemlerini birleştirmektedir. Sistem öğrencinin konumunu GPS üzerinden tespit ederek, yapı hakkında dijital veriler sunar. Öğrenci uygulamanın menüsünü kullanarak yapının cephesi, strüktürü, mekaniği ve inşaatı hakkında 3B ve metin bilgisi alır (Şekil 2.11). Uygulamanın sonraki prototiplerine, yapı içinde yürüme imkânı sağlayan SG

sistemleri de eklenmiştir [100]. İki sistem, 200 öğrencilik deney ve kontrol grupları oluşturularak test edilmiştir. Uygulamanın öğrenciler arasında bilgi paylaşımını arttırdığı ve iş birliği öğrenmeyi desteklediği gözlenmiştir.



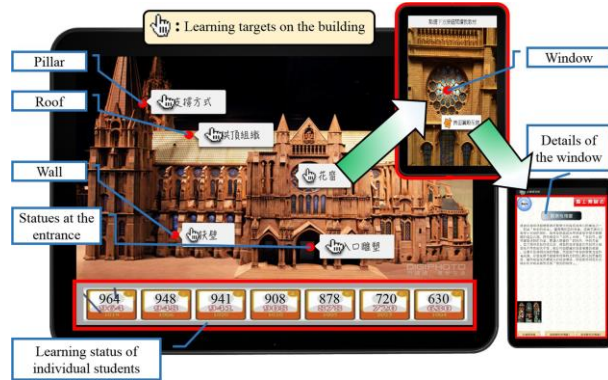
Şekil 2. 11 ARscope uygulamasında bir yapının katmanlarının gösterimi [99]

Hosny ve diğerleri tarafından yapı uygulama detaylarını öğretmek amaçlı, mobil AG sistemleri ile desteklenmiş, öğrenciyi merkeze alan bir öğrenme şekli sunan bir konsept önerisi yapılmıştır. Çalışmada örnek bir uygulama olarak ahşap parke döşeme seçilmiş, AG aracılığıyla öğrencinin bu detayı tanınması, katmanlarını analiz etmesi ve uygulama aşamalarını keşfetmesi amaçlanmıştır [101]. Sunum, 3B döşeme modeline ek olarak video, ses, metin ve görsellerle desteklenmiş, öğrencilerin katmanlar arasında gezinerek, kesitler oluşturarak, çizimleri görüntüleyerek deneyimlemesine imkân tanınmıştır (Şekil 2.12). Geliştirilen öneri öncelikle öğrenime uygunluğu test edilmesi için eğitimciler tarafından denenmiş, daha sonra öğrencilerin kullanımına sunulmuştur. AG tabanlı bir eğitim materyali sunarken, problemin ve gerekliliklerin analizinin yapılması, içeriğin kalitesine dikkat edilmesi ve içerik oluştururken doğru teknik araçların seçilmesine özen gösterilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. 12 Önerilen sistemin konsept gösterimi [101]

Chu ve diğerleri tarafından 2019 yılında bir mimarlık dersi olan Batı Mimarlığı Tarihi dersinde kullanılmak üzere, öğrencilere ipuçları vererek cevapları bulmaya yönlendiren AG bazlı bir öğrenme sistemi önerilmiştir (Şekil 2.13) [102]. Geliştirilen sistem 39 ve 20 kişilik kontrol ve deney grupları üzerinde uygulanmıştır. İki grup da AG bazlı öğrenmeyi deneyimlerken, kontrol grubu AG deneyiminin ardından konuyla ilgili materyalleri okumuş, konuyu öğrenip öğrenmedikleri sorgulanmadan yeni konuya geçilmiştir. Deney grubundaki öğrencilere ise verilen bilgiyi hemen ardından soru sorulması, eğer cevap doğru ise o sorunun öğrenme içeriğinden çıkarılarak sürecin tekrar etmesi döngüsü uygulanmıştır. Çalışmanın değerlendirmesi öğrencilerin ilgili konu hakkında bilgileri ölçen ön test, uygulamayı deneyimledikten sonra bilgilerini ölçen test, motivasyon anketi ve bilişsel yükü ölçen araştırma yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma AG destekli eğitimin öğrencileri motive ettiğini gösterirken, deney grubundaki öğrenciler üzerinde denenen sistemin öğrencilerin öğrenmelerini ve bilişsel yüklerini arttırdığını göstermiştir.



Şekil 2. 13 Tarihi yapının özelliklerini gösteren bir arayüz [102]

Mimarlık eğitimi kapsamında AG teknolojisinin kullanımı incelendiğinde, özellikle son on yıl içinde birçok uygulamanın geliştirildiği, son birkaç yıl içinde ise çalışmaların ivme kazandığı görülmektedir. Genel olarak çalışma süreçleri, problem tespiti, probleme çözüm oluşturacak sistemler hakkında teknik bilgilerin elde edilmesi, sistemin belirlenip oluşturulması, kullanıcılara sistemin denetlenmesi ve anket ve gözlem yardımıyla sonucun değerlendirilmesi şeklinde olmaktadır. Bu doğrultuda ilgili çalışmalar, bu süreçlerdeki yaklaşımlar takip edilerek değerlendirilmiş, bir takım ana başlıklar altında toplanmıştır (Tablo 2.2).

Tablo 2. 2 Mimarlık eğitiminde yapılmış AG çalışmalarının kıyaslanması

TANIM	TİP	BULUT SİSTEMİ	YAZILIM	DONANIM	İZLEME SİSTEMİ	YBM
AG Uygulaması Chen ve Wang (2008)	Özel Tasarım	Yok	ARToolkit	Bilgisayar	İşaretçi Tabanlı	Yok
AG Çalışması Redondo ve diğerleri (2012)	Mevcut Sistem: AR-Media, ArPlayer ArExporter	-	-	Telefon Bilgisayar	İşaretçi Tabanlı	Yok
U-AR Riera ve diğerleri (2012)	Özel Tasarım	Yok	OpenGL , QCAR	Telefon Bilgisayar	İşaretçi Tabanlı	Yok
AG Çalışması Chandrasekera (2014)	Mevcut Sistem: BuildAR	-	-	Telefon Projeksiyon	İşaretçi Tabanlı	Yok
SketchAR Köymen (2014)	Özel Tasarım	Yok	ARToolkit	Bilgisayar	İşaretçi Tabanlı	Yok
AG Çalışması Özenen ve Şener (2015)	Mevcut Sistem: AR-Media	Var	-	Gözlük Telefon Tablet	İşaretçi Tabanlı	Yok
AG Sistemleri Riera ve diğerleri (2015)	Mevcut Sistem: Layar Viewer	Var	-	Telefon Tablet	GPS	Yok
AG Çalışması Fernando ve diğerleri (2016)	-	-	-	Projeksiyon	-	Yok
AG Çalışması Abdullah ve diğerleri (2017)	Mevcut Sistem	Var	-	Telefon Tablet Bilgisayar	İşaretçi Tabanlı	Yok
ARScope Vassigh ve diğerleri (2018)	Özel Tasarım	Yok	Unity	Telefon	GPS	Var
AG Çalışması Chu ve diğerleri (2019)	-	-	-	Tablet	-	Yok
AG Çalışması Hosny ve diğerleri (2019)	Mevcut Sistem: AR-Media	Yok	-	Telefon	İşaretçi Tabanlı	Yok

Çalışmalarda spesifik bir probleme çözüm oluşturmak amaçlı özel olarak geliştirilmiş AG uygulamalarının yanı sıra piyasada mevcut AG içerik yöneticilerinin, kütüphanelerin ve yazılımların eğitim amacıyla kullanıldığı tespit edilmiştir. Özel üretilen uygulamalar için teknik bir araştırma ve geliştirme süreci mevcut olduğu için daha az tercih edilmektedirler. Ancak ortaya koyulan probleme bire bir çözüm üretmek bu şekilde mümkündür. Piyasada mevcut uygulamaların kullanılması ise hızlı aksiyon almaya olanak sağlar. Bu da AG'nin eğitimde sıkça kullanılmasının önünü açmıştır. Ancak bu tip çalışmalarda uygulamanın doğru seçilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda teknik kısıtlar nedeniyle tasarlanan her şey uygulanamamaktadır.

Yapılan birçok çalışmada bulut sistemlerinin tercih edilmediği görülmektedir. Bulut sistemleri, her türlü verinin çevrimiçi ulaşılabilirliğine veri tabanlarında, sunucularda toplanmasını sağlayan sistemlerdir. AG sistemlerinde bulut sistemlerinin olması, öğrencilerin geliştirdikleri AG modellerini kalıcı olarak depolamalarını ve yer zaman gözetmeksizin hem eğitimcilerin hem de kendilerinin modelleri görüntülemelerini sağlar. AG'nin işbirlikçi yapısından bu şekilde faydalanılmış olur. Gerçekleştirilen AG çalışmalarında, kullanılan yazılım türleri hakkında yeterli bilgi bulunmamakla birlikte AG yazılım geliştirme araçlarını ve içerik kütüphanelerini içeren uygulamalar mevcuttur. Kütüphaneler aracılığıyla hazır içeriği kolayca AG modeline dönüştürmek mümkün iken, geliştirme araçları yardımıyla hızlıca yeni bir sistem üretmek mümkündür.

AG çalışmalarında sıklıkla tablet, akıllı telefon, taşınabilir bilgisayar gibi mobil cihazların kullanıldığı görülmektedir. Bu cihazlar sayesinde zaman mekân gözetmeksizin düşük maliyetlerle bir AG deneyimi elde etmek mümkündür. Özellikle öğrencinin kendisine ait akıllı telefonla deneyim elde etmesi, kendi hızında, öğrenci merkezli bir çalışmaya imkân vermektedir. Telefonların aksine projeksiyon tabanlı AG çalışmaları birçok kullanıcının aynı anda katılım sağlayacağı işbirlikçi bir ortam sunmaktadır. Aynı zamanda hizalanma manuel olarak sağlandığı için izleme sistemi gerekmemektedir. AG çalışmalarının tamamına yakınında işaretçi tabanlı sistemler tercih edilmiştir. AG işaretçi tabanlı

uygulamaların üretimi ve işaretçilerin kullanımı daha pratik olduğu için bu sistemler tercih edilmektedir. Günümüzde on dakika gibi kısa bir sürede, teknik altyapı gereksinimi olmadan bu tarz uygulamalar geliştirmek mümkündür. AG çalışmalarının üretilmesi önündeki zorluk ise etkili ve kaliteli içerik oluşturmaktır [11]. YBM sistemlerinin 3B modellerle ve objelerle çalıştıkları için içerik sorununa bir çözüm sağlaması mümkün olabilir. Çevrimiçi açık kaynaklarda birçok 3B model mevcuttur. Aynı zamanda çalışma mantığına bakıldığında herhangi bir projenin tasarımı ya da uygulaması yapılırken projenin 3B modeli oluşturulur. Böylece özel bir AG içeriği oluşturulmasına gerek duyulmadan, hazırlanmış içerik AG modeline dönüştürülebilir. Mimari eğitim alanında yapılan AG çalışmalarında YBM'nin bu özelliğinden yararlanılmadığı görülmektedir. Sadece tek örnekte YBM modelleri kullanılmıştır.

Sonuç olarak AG fiziksel çevreyi, dolayısıyla insan deneyimini sanal içeriklerle zenginleştiren bir sistemdir. AG deneyim ortamının yaratılmasında teorik bilgiye ek olarak teknik bilgi de gerekmektedir. Geçmişten günümüze donanımsal ve yazılımsal AG bileşenleri değişmiş ve gelişmiştir. Yazılımsal bileşenlerdeki hızlı geliştirilebilirlik ve donanımsal elamanlardaki kolay erişilebilirlik AG'nin yaygın olarak kullanılmasının önünü açmıştır. Bilim, tıp, askeriye, ticaret, eğlence, eğitim mimarlık gibi birçok alanda çalışabilir durumda AG uygulamaları tasarlanmış, AG sistemleri içeren çalışmalar yapılmıştır. Özellikle mimarlık disiplininin 3B modellerle olan sıkı ilişkisi nedeniyle son yıllarda birçok AG deneyiminin bu alanda tasarlandığı görülmektedir. Sadece mimari tasarım alanında değil, görselleştirme alanında yeni bir sunum şekli olarak, proje uygulaması ve yönetiminde bilgi edinme amaçlı AG sistemleri kullanılmaktadır.

AG'nin yaygın olarak uygulandığı diğer bir alan ise eğitimidir. Sistem, teorik eğitimi pratiğe dökmekte, ders içeriğini sentetik verilerle desteklemekte, öğrencinin konuya ilgisini ve motivasyonunu arttırmakta ve öğrenci merkezli bir öğrenme sağlamaktadır. Mimarlık eğitiminde uygulanmış AG örneklerine bakıldığında, sistemin sıklıkla bir görselleştirme aracı olarak değerlendirildiği gözlenmiştir. Öğrencilerin tasarımlarını ve alternatiflerini gerçek ortamda

deneyimleyip tasarım kararlarını vermelerini kolaylaştıran bir sistem olarak düşünülmüştür. İnteraktif modellerle çalışma imkânı sağlayan AG, fiziksel maketlerin yerine geçerek 3B etkisi oluşturmak için kullanılan bir araç olarak da tercih edilmektedir. Ayrıca gerek mimarlık öğrencilerinin kendi aralarında gerekse mühendislik, iç mimarlık gibi farklı disiplinlerin öğrencileriyle iletişim kurması için AG sistemlerinin bir iş birlikçi düzlem olarak görüldüğü tespit edilmiştir. Çalışmaların çoğunda AG tasarımın erken aşamalarında kullanılmakla birlikte, proje sonunda bir sunum şekli olarak da değerlendirilmiştir. Maliyet ve erişilebilirlik açısından daha verimli olduğu için kullanılan AG sistemleri daha çok mobil cihazlar ve bilgisayarlar üzerinde denenmiştir. Sadece bir çalışmada giyilebilir cihazların tercih edildiği gözlemlenmiştir. AG sistemlerinin belirlenen amaçları gerçekleştirmede olumlu etkisi olduğu tespit edilse de yapılan çalışmalar genellikle az öğrencinin katılımıyla gerçekleşmiştir. Sonuçlar daha çok, katılımcılara yapılan anketler aracılığıyla değerlendirilmekle birlikte, eğitimcilerin gözlemlerine de çalışmalarda yer verilmiştir. Bazı çalışmalarda kullanılan bulut sistemleri modellerin proje bittikten sonra kalıcı şekilde arşivlenmesine imkân tanımıştır. Özel bir amaç için geliştirilen uygulamalarda, genellikle piyasada mevcut olan AG yazılım geliştirme araçları kullanılmıştır.

3.1 Mimari Yapı Bileşeni Kavramı

Yapı, görsel ve mekansal olarak yapıyla entegre, kendi içlerinde bütünleşik ve koordineli sistemlerin ve bunları oluşturan alt sistemlerin bir birleşimidir [103]. Bu nedenle yapı birçok alt bileşen içerir. Yapı bileşenleri, daha karmaşık bir parçayı oluşturmak için diğer elementlerle birleşebilen bağımsız birimler ya da alt sistemler olarak üretilmiş, bir yapıyı oluşturan öğelerdir [104]. Kolon, kiriş, temel gibi strüktürel yapı bileşenleri olduğu gibi, duvar, döşeme, merdiven gibi mimari yapı bileşenleri de mevcuttur.

Kapı ve pencereler mimari bileşen grubuna dahil olup, duvar boşluğu üzerinde yer alırlar. Kapı ve pencere kelimeleri günlük hayatta insanların aşına olduğu, dile getirilmesiyle kullananın zihninde belirli bir imge oluşmasını sağlayan kavramlardır. Türk Dil Kurumu kapıyı “Bir yere girip çıkarken geçilen ve açılıp kapanma düzeni olan duvar veya bölme açıklığı” olarak tanımlamıştır [105]. Yine aynı şekilde pencere ise “Yapıları veya tren, vapur vb. ulaşım araçlarını aydınlatmak, havalandırmak amacıyla yapılan, çerçeve, cam, panjur, perde gibi eklentilerle daha kullanışlı bir duruma getirilen açıklık” şeklinde ifade edilmiştir [106]. Mimari bileşen olarak kapı ve pencerenin tanımı, sözcüklerin herkes tarafından bilinen kelime anlamından biraz farklılaşmaktadır. Ching ‘e göre kapı ve kapı boşlukları bina dışından bina içine ulaşım sağlayıp, aynı zamanda da iç mekanlar arasında geçiş oluştururlar. Pencereler ise iç mekânın doğal ışığına, havalandırmasına, görüş açıklığına ve mekansal kalitesine etki ederler [107].

Pencere ve kapılar birçok alt elemanın belli bir düzende bir araya gelmesiyle oluşur. Her mimari bileşende ufak tefek farklılıklar olmakla birlikte, bu alt elemanlar genel olarak ana kategorilere ayrılır. Kapı, kanat, kasa, eşik, menteşe

ve kilit bileşenlerinden oluşur. Pencere ise telaro, denizlik, kanat, pervaz, kasa, menteşe, söve ve lento elamanlarının birleşiminden oluşur.

Kapı ve pencereler çeşitli yapısal özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Malzemesine, işlevine, bölme sayısına göre sınıflandırmak mümkün iken en genel sınıflandırma görsel ve fonksiyonel olarak farklılaştıkları için kanat açılışlarına göredir. Temelde kapılar açılış şekillerine göre dönel kapı, katlanır kapı, kayar kapı, menteşeli kapı ve sarmal kapı olmak üzere beş alt başlıkta toplanabilirler. Pencereler ise sabit pencere, düşey kenar eksenli pencere, yatay kenar eksenli pencere, orta eksenli pencere, sürme pencere ve katlanır pencere şeklinde gruplara ayrılabilirler.

Mimari yapı bileşenleri, Türkiye'deki mimarlık eğitiminde yapı elemanlarına özel düzenlenmiş dersler yardımıyla öğretilmektedir. Dört yıllık eğitimin genellikle birinci ve ikinci yılında bileşenlere yer verildiği gözlenmiştir. Her okul farklı yöntemler kullansa da genel olarak yapısal tanımlar, kavramlar ve yapı bileşenlerinin çalışma prensiplerinin, detaylarının ve anlatım biçimlerinin anlatımı yapılmaktadır. Bileşenler bireysel olarak hem de yapı ile bütünleşik olarak sunulmaktadır. Teorik anlatıma ek olarak konular çizimlerle desteklenmektedir. Ayrıca öğretilen bilgilerin tasarım ve çizim uygulamalarıyla pekiştirildiği görülmektedir.

3.2 Mimari Yapı Bileşenlerinin Temsili

Temsil, bir şeyin aslı yerine, o şeyi betimlemek için kullanılan bir suretidir. Temsilin oluşabilmesi için öncelikle bir şeyin aslı ve o şeyin zihinde uyandırılabilmesini sağlayacak farklı bir ifadesi olmalıdır. Mimarlıkta temsil ise bir düşünceyi ya da bir mekânı daha iyi aktarmak için kullanılan iletişim aracıdır. Temsil edilen bir mekân veya bir fikir iken temsil ise temsil, çizim, maket, model veya diyagram olabilir. Mimarının, tasarım ve uygulama aşamalarında sıklıkla kullanılan temsil araçları mimari çizimlerdir. Mimarlığın sözel olmayan ortamında önemli rol oynayan çizimler, mimarin fikirlerine görsel bir biçim vermesine olanak sağlarlar [108]. Çizimler işlevlerine bağlı olarak serbest, ölçekli detaylı veya detaysız oluşturulan 2B grafiklerdir. Farklı ortografik düzlemlerde yer alan plan, kesit ve görünüş ve yapının 3B görünümünü 2B düzlemine yansıtan perspektif

izimleri yapıyı ve alt bileşenlerinin farklı yönlerini betimleyebilirler. Düzlemlerin farklı olmasının yanı sıra bileşenlerin temsil edildiğı ortamlar da farklılık gösterebilir. En geleneksel temsil yöntemi kalem ve kâğıt kullanarak yapılan eskiz çizimleridir. Bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemelerle bilgisayar destekli çizim programları geliştirilmiş, eskiz ortamlarına benzer de olsa yeni bir temsil medyumunu oluşmuştur. 2B grafiksel çizimlere, 3B dijital modeller eklenmiştir. Daha sonraları Yapı Bilgi Modelleme (YBM) kavramının mimarlık dünyasına girmesiyle 3B modellerin sadece geometrik bilgi taşıyan sistemleri, metinsel bilgi taşıyacak şekilde evrilmiştir. Bu aşamaya kadar mimari yapı bileşenlerinin temsili 2B ve 3B ortamlarla sınırlı kalmıştır. SG, sistemlerinin gelişimiyle, bileşenlerin insanlar tarafından bire bir deneyimlenebileceğı ortamlar yaratılmıştır. AG ise bunu bir adım öteye taşıyarak gerçek çevre içinde yapı bileşenlerinin görüntülenmesinin önünü açmıştır. Çalışmanın bu kısmında bileşenlerin temsil edildiğı yukarda bahsedilen farklı ortamlara değinilecektir.

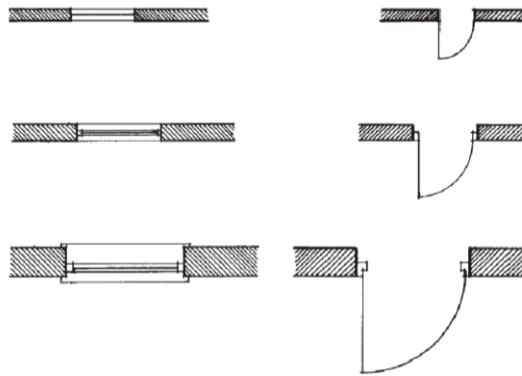
3.2.1 Geleneksel ve Sayısal Ortamlarda Yapı Bileşenlerinin Temsili

3.2.1.1 Eskiz Ortamında Bileşenler

Sayısal ortamların mimari çizim üretimi için kullanılmaya başlandığı 1960'lı yıllara kadar, yapıyı temsil eden çizimler elle üretilmekte ve 3B algı fiziksel maketler ve perspektifler yardımıyla sağlanmaktaydı. Antik çağlardan günümüze ulaşan Vitruvius'un mimarlık hakkında derlediğı bilimsel çalışmada mimari yapının ifade biçimlerini plan, cephe ve perspektif olarak üçe ayrılmaktadır [109]. Bu kitaptaki mimari çizimler incelendiğinde planlar üzerinde kapı ve pencere bileşenlerinin boşluk olarak gösterildiğı görülmektedir. Bu daha çok planların şematik temsil yaklaşımına daha yakın olmasından kaynaklıdır. Ancak özellikle yapıyı görsel olarak temsil ettikleri için görünüş ve perspektiflerde oldukça detaylı gösterimler mevcuttur. Tan'a göre Rönesans döneminde de antik dönemlerdeki gibi mimari öğelerin gerçeğe uygun perspektif ve plan çizimleri yapılmakta, simgeselleştirilmiş betimlemeler kullanılmamaktadır. Bugünkü mimarlık anlayışında olduğu gibi yapının ve yapıyı oluşturan alt elemanların ayrı çizim paketleri şeklinde çizilip sunulması, 1805 yılında Durand'ın çalışmasında

görülmektedir [110]. Ayrıca günümüzde plan, kesit ve görünüş çizimlerine ek olarak geçmişteki perspektif çizimlerinin yerini 3B modeller almış, çizimlerdeki detaylandırma ise ölçek seviyesine göre yapılmıştır. Planlarda mimari bileşenler çeşitli betimlemelerle gösterilmeye başlanmıştır. Bu betimlemeler gerçeğin sembolize edilmiş hali olup, ölçeğin büyüklüğüne göre detaylandırma ve gerçek görünüme yaklaşma artmıştır.

Kapı ve pencere mimari bileşenleri için farklı kaynaklarda farklı çizimsel temsiller mevcut olmakla birlikte, bazı temsiller evrensel biçimler almıştır. Mesela plan üzerinde tek kanatlı bir kapının gösterimi ufak farklılıklar içerse de genellikle kapının açılışını temsil eden bir doğrusal çizgi ve yaydır. Aynı şekilde bir pencere duvarın kesildiğini anlatan boşluk içinde doğrusal ve paralel bir dizi çizgi ile temsil edilir. Bu evrensel semboller ve temsil şekli, mimari çevre içinde gruplar altında toplanan bileşenler için herkes tarafından kullanılabilir ve anlaşılır bir ortak dil oluşturur (Şekil 3.1).



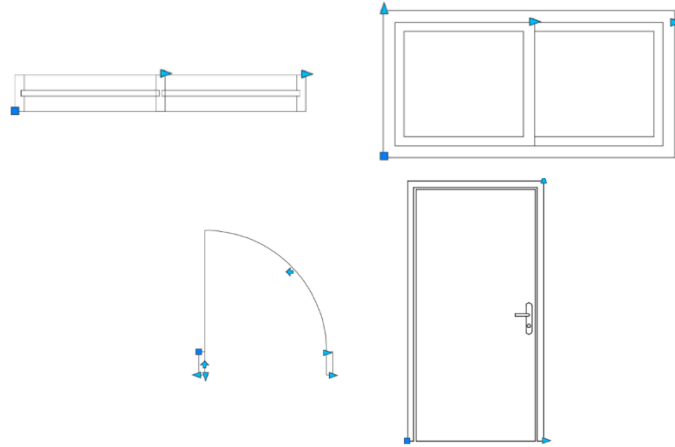
Şekil 3. 1 El çiziminde ölçeğe göre bileşenlerin detaylanması örneği [111]

3.2.1.2 Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) Ortamında Bileşenler

Bilgisayar Destekli Tasarım, tasarımda yaratmaya, modifiye etmeye, analiz etmeye ya da optimize etmeye yardım etmek için bilgisayar sistemlerinin kullanılması olarak tanımlanmaktadır [112]. BDT ortamlarının ilk örneği 1960'lı yıllara dayanmakla birlikte, günümüzde birçok farklı araç geliştirilmiştir.

2B ve 3B çizimler oluşturmak için mimarlar, mühendisler ve yapı profesyonelleri için tasarlanmış olan AutoCAD, bilgisayar destekli tasarım

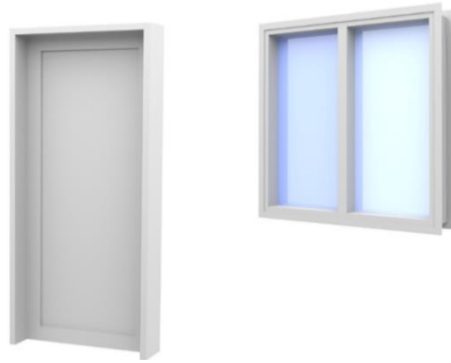
platformlarının en yaygın kullanılanlarından biridir. Mimari alanda daha çok 2B plan, kesit, görünüş ve detay çizimleri oluşturmak için kullanılır. Araç elle oluşturulan çizimlere yakın bir mantıkla çalışır. Çizimleri oluşturmak için temel olarak çizgilerden yararlanır. Kapı ve pencere bileşenleri de bu şekilde çizilebilir ve bileşenleri oluşturan çizgilerin belirli bir düzen içinde toplu şekilde durması için blok “block” denilen küçük gruplar oluşturulabilir. Ayrıca bunlara ek olarak “Dynamic Block” denilen belli parametreleri değerlerle ayarlanabilen sistemler geliştirilmiştir. Böylece bir çizimde kapının genişliği, açılış yönü, kasasının boyutları gibi parametreleri yeniden çizim yapmadan model üzerindeki oklar yardımıyla ayarlanabilir (Şekil 3.2). Bu bloklar manuel olarak program içinde oluşturulabileceği gibi, AutoLISP denilen araca ait programlama dili kullanılarak da oluşturulabilir. AutoLISP programın işlevselliğini genişletme ve özelleştirme amacıyla tasarlanmış bir programlama dilidir [113]. Belli bir fonksiyonu yerine getirmek için yazı olarak oluşturulan kodlar araç içine yüklenerek çalıştırılır.



Şekil 3. 2 AutoCAD ortamında dinamik blok olarak mimari yapı bileşenleri

3Ds Max, mimari ile birlikte birçok alanda yaygın kullanılan diğer bir 3B modelleme, görselleştirme ve animasyon programıdır. Geometrik şekillerin bileşenlerini kontrol edip, düzenlemeye imkân sağlayan Poligon modelleme ve akıcı yüzeyleri ve eğrileri kullanan “Non-uniform rational basis spline(NURBS)” modelleme tekniklerini destekler. Araç üzerinde mimari yapı bileşenleri bu tekniklerle oluşturulabileceği gibi, bileşenlere özel hazırlanmış obje yaratma komutlarıyla da oluşturulabilirler. Platformda bileşenler açılış şekillerine göre gruplandırılmış olup, bileşenin en, boy ve genişliğinin, çift veya tek kanat

oluşunun, kasa boyutlarının, panel tipleri ve boyutlarının parametreler aracılığıyla ayarlanabilmesi sağlanmıştır (Şekil 3.3). Program mimari görselleştirme amaçlı olarak kullanıldığı için, mimari çizimden ziyade 3B perspektifler oluşturmak konusunda başarılıdır. Bileşen modelleri temel seviyede detay içerir ve daha fazla detaylandırma gereken durumlarda kullanıcı aracın geleneksel modelleme yönteminden yararlanmalıdır. Ayrıca program AG sistemlerinde kullanılan “fbx” formatlı modeller üretebilmektedir.



Şekil 3. 3 3Ds Max ortamında mimari yapı bileşen modelleri

3.2.1.3 Yapı Bilgi Modelleme (YBM) Ortamında Bileşenler

Yapı ürün modelleme ya da ürün veri modelleme de denilen yapı bilgi modelleme temel yapı tasarımı ve proje verisini dijital formatta yapının yaşam ömrü boyunca yönetmek için kullanılan bir metottur [114]. Yapının tasarım aşamasından yaşam ömrünün sonuna kadar bütün süreçlerde, mimar, mühendis, yüklenici gibi tüm proje müellifleri arasında bilgi akışının kesintisiz ve düzgün şekilde sağlanması amacıyla YBM sistemlerinin kullanılması mümkündür. Bu akış YBM araçları kullanılarak üretilen 3B modeller yardımıyla gerçekleşmektedir. Pratikteki ifadesiyle, YBM yapı bileşenlerinin dijital temsilini oluşturarak ilgili veriyi geometrik objeye bağlayan bir konsepttir [115].

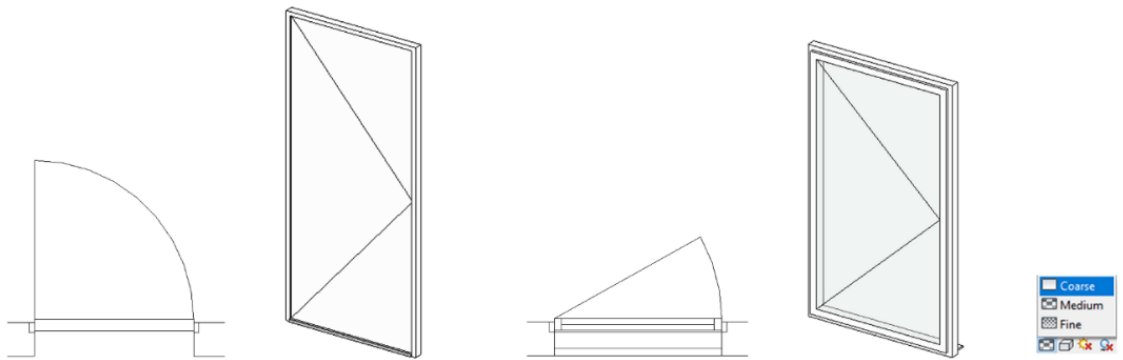
YBM, 3B modeller üzerinden yapıya ait her türlü çizimin oluşturulmasını sağlayan bir sistemdir. Bu modeller geometrik bilgiye ek olarak metinsel bilgiler de barındırırlar. Yapı modelinin kendisinin sahip olduğu bilgilerin yanı sıra yapıyı oluşturan her bir yapı bileşenin kendisine ve yapı içindeki yerine dair veriler mevcuttur. Bu çalışmada geliştirilen AG uygulamasına içerik sağlamak için YBM

modelleri kullanılmıştır. Uygulamada yer alan kapı ve pencere modelleri YBM sistemlerinde kullanılmak üzere üretici firmalar vb. tarafından oluşturulmuş ve açık kaynaklı olarak çevrimiçi paylaşılmış 3B modellerdir. Aynı zamanda bu modellerden çeşitli YBM programları yardımıyla farklı ölçeklerde plan, kesit ve görünüş çizimleri elde edilmiştir. Bu çizimler elde edilirken farklı ölçek seçenekleri için YBM aracının sunduğu farklı detay seviyelerindeki gösterimlerden yararlanılmıştır. Ayrıca her bir bileşen için metin içeren bilgiler yine bu çevrimiçi kaynaklardan toplanmıştır. Bu süreci daha iyi açıklayabilmek adına YBM modellerini oluştururken kullanılan araçlar araştırılmış, mimarlık ortamında ulusal düzeyde en yaygın olan programlarda kapı ve pencere bileşenlerine dair yaklaşımlar incelenmiştir. YBM sistemlerinde mimari yapı bileşenleri en temel halleriyle bilgi içeren bireysel modeller olarak yer almaktadır. Bu doğrultuda bu bölümde modellerin YBM araçlarında tanımları, oluşturulma biçimleri, dosya formatları ve detay seviyeleri incelenmiştir.

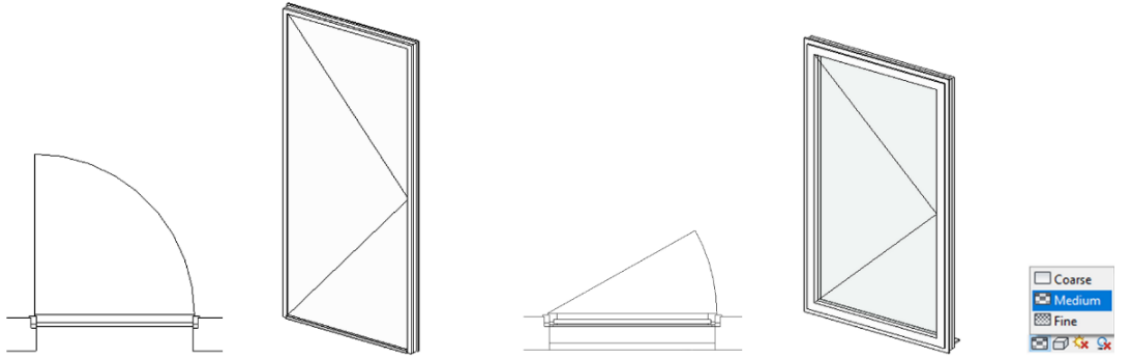
Autodesk Revit Architecture mimarlar için tasarlanmış bir 3B tasarım ve dokümantasyon yazılımıdır. Parametrik model yapımına, 2B çizim oluşturulmasına ve modellerin veri tabanlarından bilgi edinilmesine imkân sağlar. Program, mimarlık alanında oldukça yaygın kullanılan bir YBM araçtır. Temel olarak program yardımıyla mimari yapıların 3B modelleri üretilir ve plan, kesit gibi çizimler bu modellerden türetilir. Bu nedenle programdaki bütün çizimler birbirleriyle senkron olarak çalışırlar. Araçta merdiven, mobilya gibi mimari öğeler “Family” olarak tabir edilen familyalar olarak sunulur. Temel olarak sistem, yüklenebilir ve içerde modellenenebilir olmak üzere familya tipleri üçe ayrılır. Sistem familyaları duvar, döşeme gibi programın içine dahil olmuş elemanlar, yüklenebilir olanlar bir dijital kütüphaneden herhangi bir projenin içine aktarılabilecek “rfa” dosya formatlı bireysel elemanlardır. İçerde modellenenebilir olanlara yüklenebilir olanlarla aynı araçlarla ancak projenin içinde üretilmektedir. Kapı ve pencere mimari bileşenleri yüklenebilir familyalar kategorisinde yer almaktadır. Kullanıcı bu bileşenleri kendi oluşturarak bir kütüphane hazırlayabilir ya da hali hazırda başka kullanıcılar ya da ürün sağlayıcılar tarafından oluşturulmuş elemanları projesine ekleyebilir. Kapı ve

pencere bileşenlerini oluşturabilmek için “Revit Family Editor” kullanılır. Her bileşene özel hazırlanmış şablonlar mevcuttur. Elemanları oluşturmak için altlık olarak kullanılan bu şablonlar açıldığında, diğer BDT programlarında da sıkça görülen modelleme araçları ile karşılaşılır. Çıkarma, kaynaştırma, döndürme gibi komutlar kullanılarak model oluşturulur. BDT programlarından farklı olarak bileşenlere parametreler eklenebilir. Bir kapının ölçüleri bu parametreler sayesinde proje içerisinde ihtiyaca göre ayarlanabilir şekilde oluşturulabilir. Kullanıcı gereksinime göre kasa genişliğini, bölme sayısını, malzemesini ayarlanabilir kılabilir. Ayrıca nicel parametrelere ek olarak, modelin fiziksel özelliklerini etkilemeyen, bileşen hakkında yazılı bilgi veren parametreler de eklenebilir. Bir kapının hangi firma tarafından üretildiği, yangın dayanımı, poz numarası gibi bilgiler modelin içinde yer alabilir.

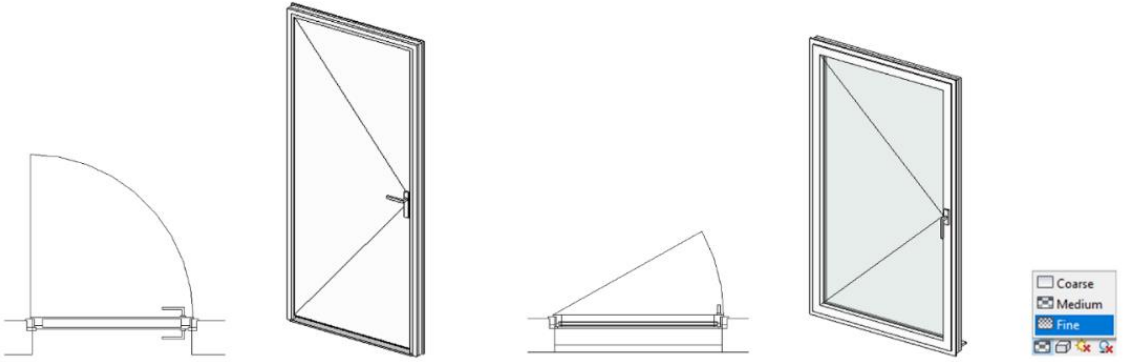
Revit programında kapı ve pencere bileşenlerinin temsilinde farklı proje aşamalarda kullanılmak üzere temel olarak kaba, orta ve ince olmak üzere üç detay seviyesi mevcuttur. Bileşenlerin familyası oluşturulurken hangi detay seviyesinde hangi miktarda bilgi gösterileceği belirlenir. Daha sonra proje içine alınan bileşen daha öncesinde yapılan ayarlara göre farklı seçeneklerde farklı detayda temsil edilir. Eğer modellenen familyada detay ayarları yapılmadı ise, proje içinde detay seviyeleri değişse de görsel aynı kalır. Bu nedenle detay seviyelerinde gösterilecek bilgi miktarı, detay seviyesine ek olarak bireysel modellerde işlenen bilgi miktarına da bağlıdır. Aşağıda kapı ve pencere bileşenlerinin örnek birer familya üzerinden farklı detay seviyelerinde nasıl gösterildiği görülebilir (Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.4).



Şekil 3. 4 Revit’te bileşenlerin kaba detay seviyesinde görünümü



Şekil 3. 5 Revit'te bileşenlerin orta detay seviyesinde görünümü



Şekil 3. 6 Revit'te bileşenlerin ince detay seviyesinde görünümü

Mimarlık alanında en yaygın kullanılan diğer bir YBM aracı, mimarlar tarafından tasarlanmış Graphisoft Archicad'dir. Araç, 1980 yılların başlarında piyasaya sürülmüş, YBS bazlı ilk mimari tasarım platformudur [9]. Mimarlar ve yapı profesyonelleri tarafından 3B modelleme ve çizim yapmak için kullanılır. Yazılım, BDT araçlarının 3B modellemesine ek olarak YBM'ye destek vererek yapısal dataları içerisinde barındırır. Araçta kapı ve pencere bileşenleri kendi parametreleri olan birer obje olarak yer alır ve herhangi bir projenin içine dışarıdan yüklenebilen GSM formatında dosyalar kütüphanesi oluşturulabilir. Bu bileşenleri üretmenin farklı yolları mevcuttur. Örneğin bir pencere üretilirken, program içerisinde yer alan duvar döşeme çatı araçları kullanarak model oluşturulup, GSM formatında ayrı bir obje olarak kaydedilebilir [116]. Bu özellikle araç içinde modellenen yapının tüm parçalarının obje kütüphanesine eklenmesi mümkündür. Obje oluşturma'nın diğer bir yolu ise bir programlama dili olan Geometric Description Language (GDL) kullanmaktır. GDL, kapı, pencere, mobilya, merdiven gibi 3B katı objeleri tanımlayan ve kat planında 2B

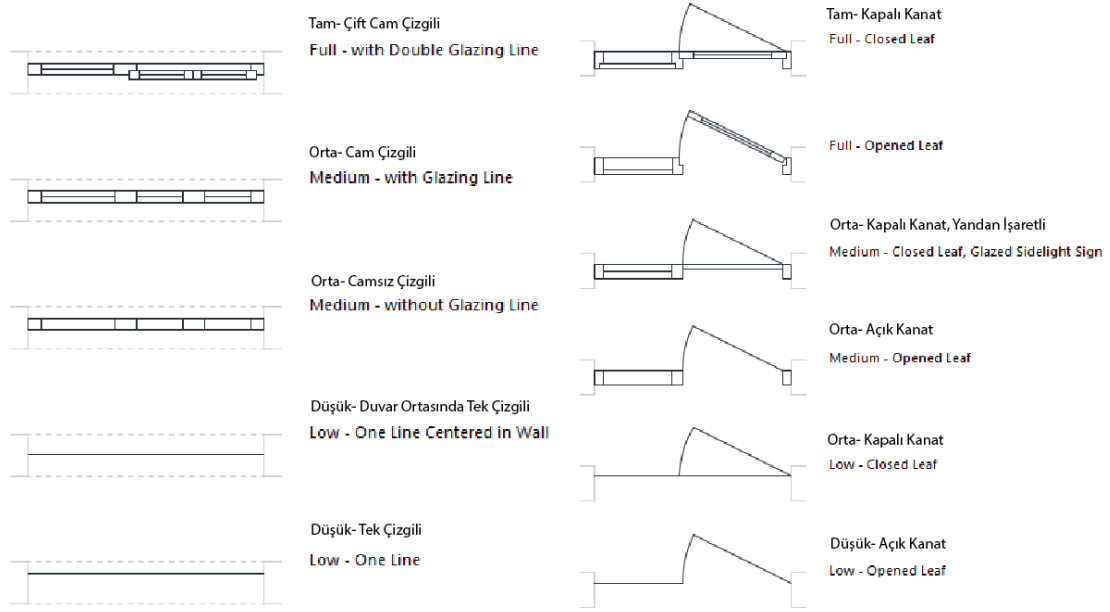
sembollerini sunan bir parametrik sistemdir [117]. GDL’de bütün 2B ve 3B model elementleri bir koordinat sistemine bağlıdır. Bir elementi istenilen pozisyona getirmek için, koordinat sistemini hareket ettirmek, ondan sonra elementin kendisini oluşturmak gereklidir. Koordinat sisteminin her hareket ettirilmesi, döndürülmesi ya da esnetilmesi bir transformasyondur. Transformasyonlar, daha fazla transformasyon eklemek, silmek ya da genişletmek için yığın olarak depolanırlar [118].

Archicad içinde mimari modelleri farklı temsillerde gösteren detay seviyeleri mevcuttur. Ölçekten bağımsız olan bu temsiller düşük, orta ve tam olmak üzere temel olarak üç seviyeye ayrılabilir. Projenin aşamalarına göre farklı detay seviyelerinde çalışmak, böylelikle ihtiyaç duyulmayan bilgiyi gizlemek mümkün olur. Bu yöntem proje geneline uygulanabilmekte oluşturulan her model için kullanılabilir. Aşağıdaki detay seviyeler gözetilerek yapılmış bir kapı ve pencere modeli görülmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3. 7 Archicad’te bileşenlerinin farklı detay seviyelerinde gösterimi

Mimari yapı bileşenlerinden kapı ve pencereler için detay seviyesine ek olarak ayrı bir sistem geliştirilmiştir. Plan düzleminde bu seviyelere ek olarak, kapılarda kapının kapalı ya da açık gösterim şekli, camlı bir kapı ise camın gösterim biçimi sunulan seçenekler arasındadır (Şekil 3.8). Pencerelerde ise bileşenin duvar üzerindeki yerleşimi yani duvarın ortasında ya kenarında olma durumu, cam kısmının tek çizgi ya da çift çizgi gösterimi tercih edilebilir. Aynı zamanda detay seviyelerinin ideal şekilde kullanılabilmesi için, oluşturulan bileşen modelinin proje içine alınmadan önce detay seviyelerine uygun bir şekilde modellenmesi gerekmektedir.



Şekil 3. 8 Archicad’de yapı bileşenlerinin plan üzerinde farklı detay seviyelerinde gösterimi

Mimarlık ortamında Revit ve Archicad’e ek olarak birçok YBM aracı mevcuttur. Bunların en çok bilinenleri Nemetschek Allplan Architecture, Nemetschek Vectorworks Architect ve Bentley Architecture’dır. Her platform yapı bileşenleri ve proje dosyaları için kendi formatını ve modellerini oluşturmuştur. Ancak birçok YBM platformunda mimari yapı bileşenleri için ortak bir format olan “IFC (Industry Foundation Classes)” dosya formatı geliştirilmiştir. Böylece spesifik bir platform için üretilmiş bir YBM modeli, farklı platformlarda da kullanılmaktadır.

3.2.2 Sanal Gerçeklik Ortamında Yapı Bileşenlerinin Temsili

SG sistemleri, AG’nin sağladığı gerçekliği zenginleştirme işlevinden farklı olarak kullanıcıya alternatif bir gerçeklik deneyimleme imkânı sunarlar. Bu nedenle mekansal deneyimleme ve algılamanın geleneksel yöntemlerle zor olduğu yapı tasarımı alanında yeni bir bakış açısı oluştururlar.

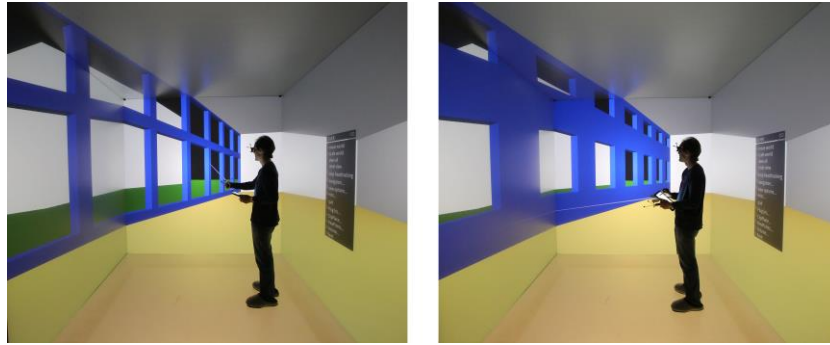
Sanal ortamlar yapı tasarım sürecinde bir görselleştirme şekli olarak kullanılabilir [119]. Bu doğrultuda Johansson, Mattias Roupé ve Tallgren, 2014 yılında YBM programı tabanlı bir SG sistemi geliştirmişlerdir. Başa takılan cihaz ve kumanda kollarıyla çalışan uygulamada kullanıcı pencere alternatiflerini eş zamanlı olarak oluşturup deneyimlemektedir (Şekil 3.9). Yapılan değişiklikler çift

tarafli olarak ana modele yansimaktadir. Sistem tasınabilir olduğu için, yapı paydaşları mekân fark etmeksizin görsellere ulaşabilmektedir.



Şekil 3. 9 Pencere alternatiflerinin denenmesi [119]

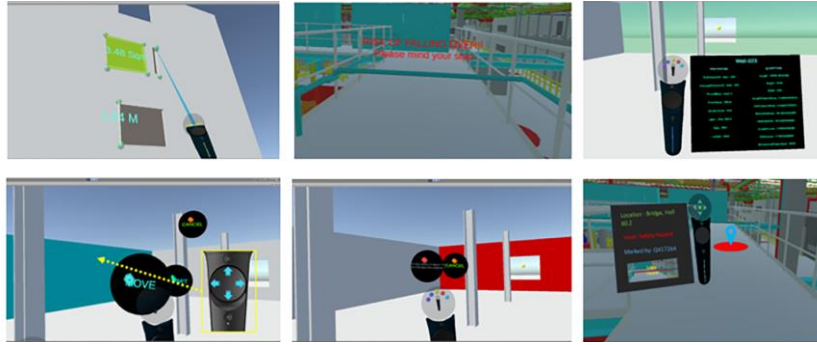
Kieferle ve Woessner, 2015 yılında sanal ortamları YBM sistemleriyle destekleyerek mimari yapı ile etkileşime geçmeye imkânı sağlayan bir sistem geliştirmişlerdir. 1:1 ölçekte içine daldığı sanal ortamda kullanıcı, kapı ve pencere gibi yapı bileşenlerini hareket ettirip değiştirebilir, mobil cihazlar yardımıyla boyutlarını ayarlayabilir, bileşenlerin açılıp kapanmalarını anime edebilir ve haklarında bilgi alabilir (Şekil 3.10) [120]. YBS programıyla eklenti aracılığıyla yapılan bağlantıda, sanal ortamda yapılan değişiklikler ana modele kaydedilebilir. Böylece kullanıcıya gerçek ölçekte tasarım yapma imkânı sağlanmış olur. Sistem bir 3B modelin içine dalma imkânı verirken aynı zamanda çoklu kullanıcıların bu deneyimi aynı anda yaşayarak iletişim kurmalarına olanak tanır.



Şekil 3. 10 Uygulama içinde pencere boyutlarının ve lokasyonlarının ayarlanması [120]

YBM sistemleri, yapısı gereği 3B modelleri içerdği için SG platformlarında araştırma konusu olarak potansiyel barındıran bir konumdur. Nandavar ve diğerleri tarafından 2018 yılında bu iki sistemin iş birliğini destekleyen yapısından faydalanılarak, yapı paydaşları arasında iletişimi arttıran bir konsept

geliştirilmiştir. Sistem sanal ortam içinde yapının modelinin deneyimlenip manipüle edilmesine olanak sağlamaktadır. Kullanıcı kumanda kolları yardımıyla seçtiği mimari yapı bileşenin görsel verisine ve özellik bilgisine ulaşabilir, yerini değiştirebilir ya da bileşeni silebilir [121]. Sistem üzerinde yapılan değişiklikler ana modelle senkron edildiği için, tasarımcıya modeli direk sanal ortam içinde modifiye etme şansı verilmiş olur (Şekil 3.11).

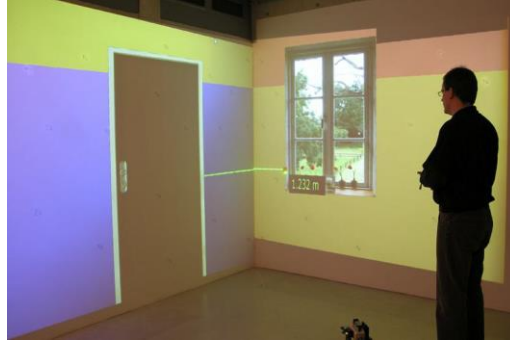


Şekil 3. 11 YBM tabanlı SG uygulamasından bir arayüz [121]

3.2.3 Artırılmış Gerçeklik Ortamında Yapı Bileşenlerinin Temsili

AG sistemleri, izleme sistemleri sayesinde bilgiyi dönüştürmekte ve 2B bilgiyi 3B olarak görselleştirmekte oldukça etkin sistemlerdir. Bu yönüyle mimari yapı bileşenlerinin geleneksel 2B ve 3B temsillerine yeni bir yaklaşım getirerek gerçek ortam içinde bileşenleri deneyimleme imkânı sağlar.

Tonn ve diğerleri tarafından 2009 yılında yapıların tasarımı ve araştırılması için bir dizi araç sunan bilgisayar destekli bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde öneriler, sahada mevcut yapı içinde 1:1 ölçeğe sunularak, tasarım kararlarının gerçek ortamda verilmesine imkân sağlamak amaçlanmıştır [122]. Lazer tabanlı bir işaretçi ve kamera, mevcut yapıdaki odaların ölçülerini ve mekansal ilişkilerini takip etmektedir. Ayrıca projektör yardımıyla sanal data, gerçek ortam üzerine yansıtılmaktadır. Kullanıcı lazer işaretçiyi kullanarak, geleneksel fotomontaj yöntemlerine benzer olarak imajları hareket ettirerek tasarım yapar (Şekil 3.12). Kapı ve pencere mimari bileşenlerini duvarlar üzerine yerleştirebilir, boyutlarını değiştirebilir ve mekân içinde bileşenlerin birbirlerine ve duvarlara olan mesafelerini ölçülerek pozisyonlarını ayarlayabilir. Böylelikle kullanıcı oluşturduğu mekânı deneyimleyerek tasarımını oluşturmuş olur.



Şekil 3. 12 Tasarımcının yapı bileşenlerinin mekansal ilişkilerini deneyimlemesi [122]

Landrieu ve diğerleri tarafından 2013 yılında dijital modellerin tarihi yapılarda yenileme işleri için kullanılmasını araştıran bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma doğrultusunda sanal ortamlar aracılığıyla YBM sistemleri sahaya taşınarak projeyi anlamak, proje bilgisine ulaşmak, basit görevlerin gerçekleştirilmesinde zaman kazanmak, verimlilik sağlamak ve problemlerin ve uyuşmazlıkların hızlı tespiti amaçlanmıştır [123]. Çalışmada bir pencerenin yenilenmesi üzerinde çalışılmış, geleneksel kâğıt kalemle, masaüstü bilgisayarla ve mobil cihazla olmak üzere üç farklı yöntem denenmiştir (Şekil 3.13). AG sistemlerini içeren son yöntem, kullanıcıya dijital model vasıtasıyla yapı bileşenin mevcut ve planlanmış konfigürasyonlarına ulaşma, bileşenin IFC modelinin özelliklerini görüntüleme, ölçüm yapma, termal simülasyon analizi ve zaman çizelgesini anime etme görevlerini gerçekleştirme imkânı sağlamaktadır. Çalışma sonucunda dokunmatik cihazların sahada kullanılmasının ergonomik açıdan iyi olduğu kanaatine varılırken, cihazın ağırlığından kaynaklı kısıtlamaların olduğu da gözlenmiştir.



Şekil 3. 13 Uygulamada pencerenin ölçülmesi [123]

Bae, Fard ve White tarafından 2013 yılında HD4AR isimli, sanal bilgiye sahada erişme ve sorgulama imkânı tanıyan görsel temelli mobil AG sistemi geliştirilmiştir. Yapının 3B nokta bulutu modeli ile mobil cihazlardan alınmış görüntülerin yerine tespit eden uygulama, kullanıcının fotoğraflara dokunarak fiziksel objeleri seçmesini ve objeler hakkında bilgi almasını sağlamaktadır. İki yönlü çalışan sistem hem kullanıcının mevcut dijital bilgiye ulaşmasına hem de yeni YBM bileşenleri oluşturup kaydetmesine fırsat verir. Sistem üzerinde gerçek yapı bileşenleriyle, dijital bileşenin 2B imaj olarak temsili çakıştırılır (Şekil 3.14). Uygulama, görsel bilgiye ulaşmaktan çok bileşenlerin kalitesi ve lokasyonu, proje zaman çizelgesi ve maliyet bilgisi gibi bilgileri kullanıcıya sunmayı amaçladığı için gerçekçi 3B bir görünüş tercih edilmemiştir [124].



Şekil 3. 14 HD4AR uygulamasının pencere ve kapıları tanınması [124]

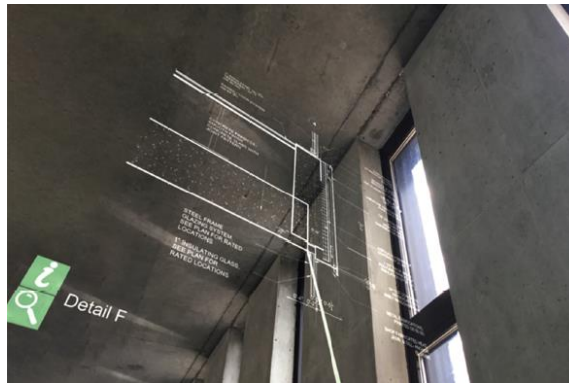
Chu, Matthews ve Love, 2018 yılında yaptıkları çalışmada AG ile YBM sistemlerini birleştirerek, inşaat aşamasında işçinin görevlerinde verimliliğini ve etkinliğini arttırmaya amaçlamışlardır [125]. Bu doğrultuda bulut sistemleri tabanlı bir AG uygulaması geliştirerek geleneksel 2B planlar yerine YBM modellerinden bilgi elde edilmesini sağlamışlardır. Bu uygulamada, 3B kapı ve pencere modelleri işaretçi olarak kare kotları kullanılarak mobil cihazlar üzerinde görüntülenmektedir (Şekil 3.15). Ayrıca sistem üzerinde mevcut tuşlar ve linkler aracılığıyla obje odaklı ve bulut tabanlı yapı bilgisine erişilmektedir. Çalışma bir kontrol ve bir deney grubu olmak üzere 20 kişilik iki grup üzerinde denenmiştir. Yapı bileşeni bilgilerine ulaşmak için ilk gruptakiler planları kullanırken ikinci gruptakiler AG uygulamasını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarda, teknoloji odaklı bilgi edinme sistemlerinin daha hızlı sonuca ulaştırdığı, daha az hataya

sebepe olduğu ve kullanıcının zihinsel yükünü hafiflettiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada AG sistemleri mimari yapı bileşenlerinin 2B ve 3B bilgilerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3. 15 YBM destekli AG uygulamasında yapı bileşenlerinin görünümü [125]

Messadi ve diğerleri tarafından 2019 yılında yapılan AG çalışmasında gerçek yapı ile dijital detay çizimlerini karşılaştırarak, mimarlık ve mühendislik öğrencilerinin Sürdürülebilirlik dersi kapsamında konunun daha iyi anlaşılması için bir sistem geliştirilmiştir [126]. Bu çalışmada belirlenen bir yapının plan, kesit, görünüş ve detay çizimlerini içeren YBM projesi kullanılmıştır. Çalışmada yapının cephe, mekanik ve statik özelliklerinin incelenmesini sağlayan ayrı üç görüntüleme seçeneği mevcuttur. Öğrenciler, AG gözlükleri yardımıyla mekân içinde ilerleyerek ilgili bölümün çeşitli çizim, tablo ve grafiklerini ait oldukları yerde görüntülemektedirler (Şekil 3.16). Çalışmada datanın gerçek ortama hizalanmasında problem çıksa da birçok öğrenci çizimlerin gerçek hayata uygulanmış versiyonuna ilk defa tanık oldukları için sistemi olumlu bulmuşlardır.



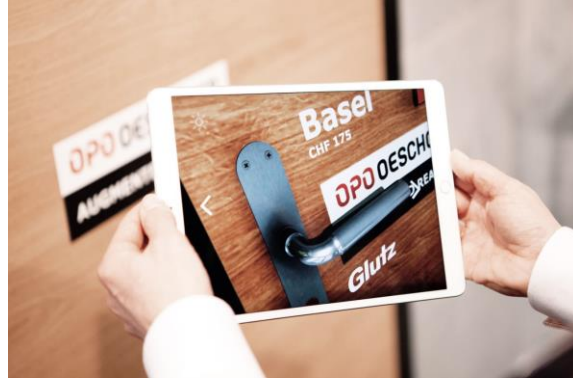
Şekil 3. 16 Pencere ve duvar birleşimini gösteren bir detayın AG sunumu [126]

Ringo Door, kapı üretici bir firma için Android ve iOS mobil cihazlar için geliştirilmiş bir uygulamadır. Sistemin amacı, müşterinin ürünü satın almadan önce kendi evinde denemesine olanak sağlamaktır [127]. Böylece gerçek görünüme uygun bir veri elde edileceği için, uygun ürün seçilerek satın alınmadan sonra talep edilecek iadelerin önüne geçmek amaçlanmıştır. Üreticinin geliştirdiği işaretçinin cihaza tanıtılmasıyla 3B kapı görsellerini çağıran sistem, gerçek ortamda görüntüleme sağlamanın yanı sıra, sadece modellerin incelenmesine imkân vermektedir (Şekil 3.17). Dokunmatik ekran yardımıyla kapı bileşenini döndürülebilir, küçültüp büyültülebilir ve pozisyonu değiştirilebilir. Ürün tanımı amacı güttüğü için çalışma, yapı bileşenlerinin gerçekçi görsellerine, çeşitli tip ve malzemelerdeki modellerine ulaşım sağlar. Ancak sistem işaretçi tabanlı olduğu için kullanıcının sistemi çalıştırabilmesi için görselin çıktısını alması gerekmektedir.



Şekil 3. 17 Kapı uygulamasından bir arayüz [127]

Ergon İnformatik tarafından 2018 yılında 3B kapı kolları modellerini gerçek ortamlarında görüntüleme imkânı sunan bir uygulama geliştirilmiştir. Üretici firma için geliştirilen bu uygulama, müşterilerin sipariş vermeden önce kapı kollarının gerçek kapılar üzerinde denemesini sağlayarak, yanlış siparişlerin azaltmasını amaçlamaktadır [128]. İşaretçi aracılığıyla çalışan uygulamada, modellerin olabildiğince gerçekçi şekilde modellenmesine ve görsel olarak sunulmasına çaba gösterilmiştir (Şekil 3.18). Böylelikle kullanıcılar mobil cihazlar üzerinden gerçek ürüne yakın bir deneyim elde etmektedir. Bir önceki örnekte olduğu gibi bu örnekte de işaretçinin elde edilmesi sıkıntısı mevcuttur. Sistemin çalışması için işaretçiyi içeren çıktı alınmalıdır.



Şekil 3. 18 Kapı kolu uygulamasından bir görsel [128]

Mimari yapı bileşenlerini içeren SG çalışmalarında, SG'nin 1:1 ölçekte deneyim sağlama özelliğinden faydalanılarak, sanal modellerin görüntülendiği görülmektedir. Kullanılan içerikler, 3B tabanlı yapısı, obje odaklı modelleri ve dijital veri depolaması konularındaki avantajları nedeniyle YBM sistemlerinden elde edilmiştir. YBM sistemlerinin iş birlikçi yapısı SG ortamına aktarılmıştır. Farklı kullanıcılara başa takılan cihazlar yardımıyla ortak bir zemin üzerinde çalışma imkânı sunulmuştur. Uygulamalar daha çok son kullanıcıdan ziyade yapı profesyonelleri için oluşturulmuştur. Bu da bileşenlerin malzeme ve detay açısından gerçeğe yakın olarak temsil edilme gereği duyulmamasına yol açmıştır. SG sistemlerinin bu alanda kullanılmasının amacının bileşenlerin özelliklerinin görüntülenmesi ve tasarım alternatiflerinin deneyimlenmesi olduğu gözlemlenmiştir. Bileşenlerin görüntülenmesinin yanı sıra parametrelerinin değiştirilmesi uygulamaların sunduğu seçenek arasındadır. Bu doğrultuda yapılan değişikliklerin ana modele iletilmesi ve ana modeldeki revizelerin sanal ortama aktarılması ilişkisi birçok uygulamada sağlanmıştır. Böylece gerçek ölçekte deneyimleyerek tasarlama imkânı SG sistemleri tarafından sunulmuştur.

Mimari yapı bileşenleri içeren AG çalışmaları incelendiğinde çoğunluğun temel olarak bileşenler hakkında görsel veri sunma ve bilgi edinme amacı taşıdıkları gözlenmiştir. Ayrıca sanal modellerin deneyimlenmesi ve alternatif tasarımların görüntülenmesi çalışmaların sunduğu özelliklerdir. Alternatifler oluşturulurken sadece görsel veriye ulaşılmamış, aynı zamanda bileşenin duvar üzerinde konumunu belirlemek için çeşitli ölçme araçları da kullanılmıştır. Bilgi içeren veriler ise metinler ve 2B çizimlerdir. Tasarımcı bu veriler ışığında ürününü

oluşturarak, çizim ve modelleri gözlemleyerek farkına varamayacağı hataları tespit edebilir, daha doğru tasarım kararları alabilir.

Uygulamalarda bileşenlerin, amaçlarına uygun bir şekilde görselleştirildiği gözlemlenmiştir. Bir ürün tanıtımı vb. amaçlarla kullanıldığında bileşenler daha çok gerçek boyutlarda ve gerçekçi görünüştedir. Bu uygulamalarda amaç müşteriye ürünü birebir şekilde deneyimletmek olduğu için bu görselleştirme yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem yüksek işlemci gücü ve kaliteli görüntü işleme gerektirdiği için zaman alır. Ancak mimari içerikli bazı çalışmalarda bileşenlerin farklı boyutlarda ve görünümünde tasarlandığı görülmektedir. Kaba 3B model görünüşü ve orijinal boyutlarda bileşenleri sunan çalışmalar, hem görsel üretimi için zaman kaybının önüne geçerek hızlı şekilde alternatifleri deneyimle imkânı sağlarken, hem de 1:1 ölçekte deneyimleme kısmını atlamamış olur. Kimi zaman amaç elde edilmek istenen sanal modelin deneyimlenmesi yerine bileşenin içerdiği bilginin saha koşullarında görüntülenmesidir. Bu tarz örneklerde 2B grafiksel temsillerle istenen amaca ulaşılmaktadır. Bazı çalışmalarda bileşenler küçük boyutlarda ve kaba 3B model görünüşünde AG sistemleri içinde yer almaktadır. Bu da şantiye gibi kısıtlı alanın mevcut olduğu ya da cihaz ekranının yetersiz olduğu durumlarda avantaj sağlamaktadır.

Çalışmaların kullanıcı kitlesi proje müellifleri ve ürün müşterileri olarak iki temel gruba ayrılabilir. Çalışmalar daha çok profesyonel alanda gerçekleştirildiği için, işaretçi tabanlı sistemlerin yanı sıra iç mekân GPS, projeksiyon ve 3B nokta bulutu gibi yüksek maliyetli sistemler de tercih edilmiştir. İlgili mekâna ait GPS sistemi kurarak sanal modelleri birebir gerçek ortamla eşleştirmek mümkündür. Projeksiyon sisteminde ise görüntüler kamera üzerinden değil de insan gözünden direk görüldüğü için SG'ye yakın bir deneyim elde edilir. 3B nokta bulutu sistemlerde ise gerçek yapı daha önceden taranarak bir sanal model oluşturulur. AG deneyimi elde edilirken eşleştirme bu model üzerinden yapılır ve bu doğrultuda sanal veri sunulur. Bu sistem aracılığıyla kesin sonuçlar elde edilmesi mümkün olsa da sistem maliyetli ve zaman gerektiren bir yöntemdir. AG çalışmalarında genellikle mobil cihazlar tercih edilmekle birlikte, projeksiyon ve bilgisayarların mimari bileşenleri deneyimlemede kullanıldığı görülmektedir.

Mobil cihazlar taşınabilirlik açısından avantaj sağlasa da kimi zaman bileşenler için yeteri kadar geniş ekran boyutlarına sahip değildirler. Bu dezavantaj, bilgisayar ve projeksiyonlar yardımıyla giderilebilir. Özellikle projeksiyonlu çalışmalarda hem işaretçiye ihtiyaç duyulmaz hem de 1:1 ölçekte deneyim mümkündür.

Ticari amaçla üretilmiş uygulamalar dışında, tüm çalışmalar YBM ve bulut sistemlerini içermektedir. AG sistemlerinin içerik ihtiyacı YBM modellerinden sağlanmıştır. Genelde modeller proje üretim süreci kapsamında oluşturulmuş, ihtiyaç duyulduğunda AG modeline dönüştürülerek deneyim imkânı sağlanmıştır. YBM modelleri AG modellerine dönüştürülürken bulut sistemlerinden faydalanılmıştır. Bulut sistemleri her türlü veriyi dijital olarak depolayan sistemlerdir. Sunucular yardımıyla istenilen zamanda verilere ulaşmak mümkündür.

Sonuç olarak, mimari yapı bileşenlerini içeren ortamlar incelendiğinde geleneksel ve sayısal ortamlarda benzer temsil biçimlerinin yer aldığı görülmektedir. Ancak YBM sistemleri projeyi tamamen dijitalleştirilmesi ve yapısal bilgi içeren modelleriyle bu ortamlardan ayrılmaktadır. Bileşenleri içeren örnekler incelendiğinde, tasarım anlamında SG'nin daha çok tercih edildiği, AG'nin ise daha çok bilgi alma amacıyla kullanıldığını görülmektedir. SG modelleri üzerinden yapılan geri bildirimlerin kolayca ana modele iletilindiğini ancak AG'de böyle bir ihtimalin olmadığı görülmektedir. AG sistemleri yardımıyla yapıya ve yapı bileşenlerine ait her türlü bilgi ofis ortamından inşaat sahasına taşınabilmektedir. Bu da tasarım ve uygulama arasındaki kopukluğu azaltmak için bir adım olabilir. SG sistemleri ise tasarlanan ortama tamamen dalınma imkânı sağlandığı için gerçek olmasa da gerçeğe yakın bir deneyim imkânı sunar. İki sistemde de YBM modelleriyle yakın etkileşim kurulduğu, mimari yapı bileşenlerini, Karma Gerçeklik'i ve YBM sistemlerini bir araya getirerek başarılı çalışmalar yapılabileceği görülmektedir. Bu bölümde incelenen tüm bu çalışmaların özelliklerini Tablo 3.1'de görmek mümkündür.

Tablo 3. 1 AG ve SG ortamlarında yapı bileşenleri çalışmalarının kıyaslanması

TANIM	AMAC	GÖRSELLEŞTİRME TİPİ	BOYUT	KULLANICI	İZLEME SİSTEMİ	CİHAZ	ETKİLEŞİM	YBM	BULUT SİSTEMİ	VERİ
SG Çalışması Johansson ve diğerleri (2014)	Tasarım aşamasında alternatifleri oluşturup, deneyimlemek	3B Gerçekçi Model	Gerçek Boyut	Proje Müellifleri	Yok	Başa monte cihaz	Kumanda kolları	Var	-	Tasarım Seçenekleri, Etkileşim
SG Çalışması Kieferle ve Woessner (2015)	Yapı modelinin deneyimlenmesi ve değiştirilmesi	3B Kaba Model	Gerçek Boyut	Proje Müellifleri	Yok	Başa monte cihaz	Dokunsal	Var	-	Tasarım Seçenekleri, Animasyon, Etkileşim
SG Çalışması Nandavar ve diğerleri (2018)	Tasarım alternatiflerinin deneyimlenmesi	3B Kaba Model	Gerçek Boyut	Proje Müellifleri	Yok	Başa monte cihaz	Kumanda kolları	Var	Var	Etkileşim Ölçülendirme
AG Çalışması Tonn ve diğerleri (2009)	Mevcut yapı içinde tasarım kararlarına yardımcı olmak	2B Yüzeysel Model	Gerçek Boyut	Mimar	Lazer Algılama	Projeksiyon	Lazer işaretçi	Yok	Yok	Etkileşim Ölçülendirme Tasarım Seçenekleri
AG Çalışması Landrieu ve diğerleri (2013)	Tarihi çevrede projeyi anlamak ve proje bilgisine ulaşmak	3B Kaba Model	Gerçek Boyut	Sosyal Bilimler ve Mühendislik Öğrencileri ve Profesyonelleri	İç mekan GPS, WIFI ve cayro	Bilgisayar Tablet Telefon	Dokunsal, klavye ve fare	Var	Var	Bileşen özellikleri Ölçülendirme
HD4AR Bae ve diğerleri (2013)	Tarihi çevrede bilgiye erişmek	2B Geometrik Şekiller	Gerçek Boyut	Saha Mühendisi	3B Nokta Bulutlu Sistemi	Mobil	Dokunsal	Var	Var	Bileşen özellikleri
AG Çalışması Chu ve diğerleri (2018)	Mimari uygulamada verimliliği ve etkinliği arttırmak	3B Kaba Model	Küçük Boyut	İnşaat işçisi	İşaretçi Tabanlı (QR Kod)	Mobil	Dokunsal	Var	Var	Bileşen özellikleri
Ringo Door Ringo Erleben (2018)	Kapı tanıtımı ve satışı	3B Gerçekçi Model	Gerçek Boyut	Genel	İşaretçi Tabanlı	Mobil	Dokunsal	Yok	Yok	Ürün Seçenekleri
AG Aplikasyonu Ergon Informatik (2018)	Kapı kolu tanıtımı ve satışı	3B Gerçekçi Model	Gerçek Boyut	Genel	İşaretçi Tabanlı	Mobil	Dokunsal	Yok	Yok	Ürün Seçenekleri

Artırılmış Gerçeklik ile Mimari Yapı Bileşenleri İçin Bir Uygulama Önerisi

4.1 Modelin Hedefi ve Kapsamı

Mimarlıkta bir yapının tasarımı kadar onu oluşturan alt bileşenlerin tasarımı ve yapıyla bütünleştirilmesi de önemlidir. Temelden çatıya kadar bir yapıyı oluşturan birçok bileşen mevcuttur. Özellikle mimarlık eğitiminin ilk yıllarında öğrenciler, bu bileşenlerle doğal çevrelerinde karşılaştıkları için bileşenlere aşina olsalar da bileşenlerin çizimleri, parametreleri, çalışma prensipleri gibi konulara yabancıdırlar. Eğitim müfredatında bileşenlere ayrılan süre, her zaman tüm tiplerin ve alt elemanların detaylıca anlatılacağı kadar uzun değildir. Kimi zaman bir katlanır kapının nasıl çizileceğini ya da bir plan çiziminde rastlanan bir pencerenin 3B nasıl görüldüğünü öğrenmek detaylı araştırmaları gerektirebilir. Gerek kendi projelerini tasarladıkları derslerde gerekse yapısal sistemleri bütünlendikleri uygulama derslerinde öğrenciler, mimari yapı bileşenleri arasından tercih yaparken bu tarz teknik bilgilere ihtiyaç duyabilirler. Teknik bilgileri elde etmenin yanı sıra, bileşenleri gerçek ortamda görüntülemeleri, aralarından seçim yapmalarını kolaylaştırabilir. Bu doğrultuda bileşenler hakkında bilgiler içeren bir sistem geliştirilerek, öğrencilerin bu tür ihtiyaçlarına cevap verileceği düşünülmektedir. Mimari yapı bileşenlerinin mimarlık eğitimi içindeki yeri incelendiğinde, birinci ve ikinci sınıflardaki dersler kapsamında anlatıldıkları gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda modüllerin kullanıcıları birinci ve ikinci sınıftaki mimarlık öğrencileri olarak belirlenmiştir.

Global düzeyde bakıldığında gerek akademik ortamlarda gerekse profesyonel hayatta YBM sistemlerinin kullanımı oldukça yaygındır. Yerel düzeyinde bakıldığında ise sisteme olan ilginin son yıllarda arttığı gözlemlenmektedir. Ancak

mimarlık eğitiminde YBM sistemlerinin yeri kısıtlıdır. Çoğunluğu yüksek eğitim seviyesinde olmak üzere lisans ve lisansüstü aşamasında bazı derslerin ve eğitim çalışmalarının yapıldığı bilinmektedir. Bu doğrultuda oluşturulan modüllerin, mimarlık eğitiminin ilk yıllarında mimari yapı bileşenlerinin kavranmasına ek olarak YBM sistemleri hakkında öğrenciyi bilgilendirmesi de amaçlanmıştır. Bir YBM sistemi modelinin ne düzeyde bilgi içerdiği ne detayda modellendiği, hangi ölçekte nasıl gösterim sunduğu gibi bilgiler modüller üzerinden elde edilebilmektedir. YBM modellerinin kullanımıyla hem sistemler hakkında öğrenciler bilgilendirilmekte hem de AG sistemleri için sanal içerik tedarik edilmiş bulunmaktadır. Ayrıca açık kaynaklarda YBM sistemlerinde kullanılmak üzere üretilmiş birçok yapı bileşeni modeli mevcut olduğu için, öğrencinin tercih seçenekleri çoğaltılmış olur.

Çalışma doğrultusunda birçok yapı bileşeninin AG sistemlerine uyarlanabilirliği araştırılmış, bu tez kapsamında bir başlangıç oluşturması açısından, yapı içine yerleştirilmesi kolay, obje mantığıyla çalışan, YBM açık kaynaklarında binlerce modeli bulunan kapı ve pencere mimari bileşenleri seçilmiştir. Böylelikle kapı ve pencere bileşenlerini içeren mimarlık öğrencileri tarafından akıllı telefonlarda kullanılmak üzere iki AG modülü geliştirilmiştir. Uygulama, bileşenlerin 2B plan, kesit ve görünüş çizimlerine, 3B sanal modeline ve bu modelin gerçek ortamda sunumuna erişim imkânı sağlamaktadır. Çalışmada amaç, öğrencinin bileşenlerin yapısını ve özelliklerini tanımasına, anlamasına ve kavramasına yardımcı olmaktır. İnteraktif oluşu ve öğrencilerin iç içe olduğu teknolojileri kullanmasıyla, öğrencinin konuya ilgisini arttırmak amaçlanmıştır. Mobil cihazlara yüklenebilir olması sebebiyle, kullanıcının tercih ettiği her ortamda uygulamaya ulaşması mümkündür. Böylelikle çalışma gerektiğinde, bilgi almak için başvurulacak bir kaynak olarak da kullanılır. Çalışma iki ayrı modülden oluşmaktadır. Modül 1 yapı bileşenleri hakkında genel bilgiler verirken, Modül 2 alternatifler sunarak farklı bileşen modellerini keşfetmeye olarak sağlar.

Modül 1, yapı bileşeninin 3B modelinin oluşturulan eskize uygun olarak AG ortamına getirildiği yazılımdır. Bu modülün amacı öğrencinin 2B eskiz çizimleri ile 3B modeli ilişkilendirmesi ve açılış şekillerine göre sınıflandırılmış yapı

bileşenlerini genel olarak tanımasını sağlamaktır. Öğrenci eskiz çizerek oluşturduğu yapı bileşeni çiziminin 3B olarak temsilini gerçek ortam içinde deneyimleyebilir. Bileşenin nasıl açılıp kapandığını dair animasyonu izleyerek bilgi alabilir. Yapı bileşeni üzerinde bulunan etiketler yardımıyla kasa, kanat vb. alt elemanları gözlemleyebilir. İhtiyaç duyulan hallerde bir bileşenin farklı mimari ölçeklerde ne detayda temsil edileceğine dair çizimlere modül aracılığıyla ulaşabilir. Modülde açılışlarına göre sınıflandırılmış bileşenler sunulduğu için, o bileşeni en basit şekilde temsil eden 3B model, YBM modelleri sunan çevrimiçi açık kaynaklı ortamlardan elde edilerek kullanılmıştır. Aynı bileşeni 2B temsil edecek eskiz çizimi, birçok çizim incelendikten sonra en sık rastlanan çizim şekli belirlenerek, o bileşenin temsil biçimi olarak seçilmiştir. Ayrıca belirlenen çizim biçimi AG işaretçisi olarak kolay şekilde tanınması için soyutlaştırılmış ve basite indirgenmiştir. Böylelikle basit çizimleri tanıyarak AG sisteminde eşleniği modeli çağırarak bir modül oluşturulması mümkün olmuştur.

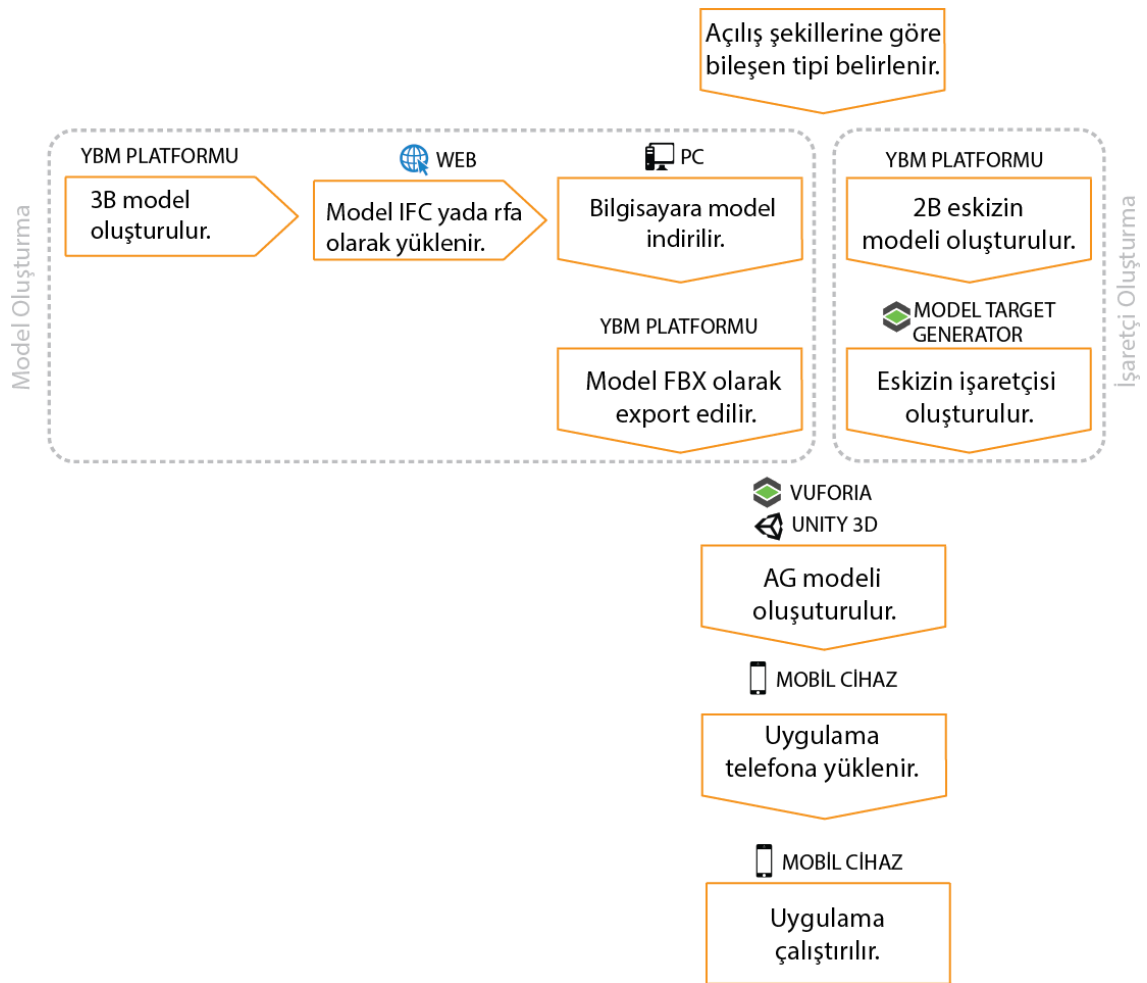
Modül 2 mevcutta var olan yapı bileşenlerini tanıyarak, onların yerine önerilebilecek farklı alternatifleri görüntülemeyi sağlar. Modülün amacı, öğrencinin farklı kapı ve pencere tiplerini tanımasıdır. Öğrenci, mevcut bir yapı bileşeni üzerine farklı 3B modeller çağırarak, bu alanda ne gibi alternatifler kullanabileceğini gözlemleyebilir, çağırdığı 3B modelin YBS sistemlerinde içerdiği bilgileri elde edebilir ve modelin plan, kesit ve görünüş çizimlerine ulaşabilir. İhtiyaç duyarsa çevrimiçi açık kaynaklardan modelin kendisine ulaşabilir. Örneğin bir tekli kapı için boyut bilgisi, malzemesi, yangın dayanımı gibi üreticinin o kapı için oluşturduğu veriyi görüntüleyebilir. Böylece kapı değiştikçe, sadece görsel olarak farklılaşan bir bileşeni deneyimlemek yerine, farklı çizimlere ve bilgilere ulaşabilir. Bu öğrenciye YBM sistemlerinde mimari yapı bileşenlerinin temsili hakkında fikir sunarken, bileşen seçiminde kolaylık sağlar.

4.2 Modelin Yazılımsal ve Donanımsal Altyapısı

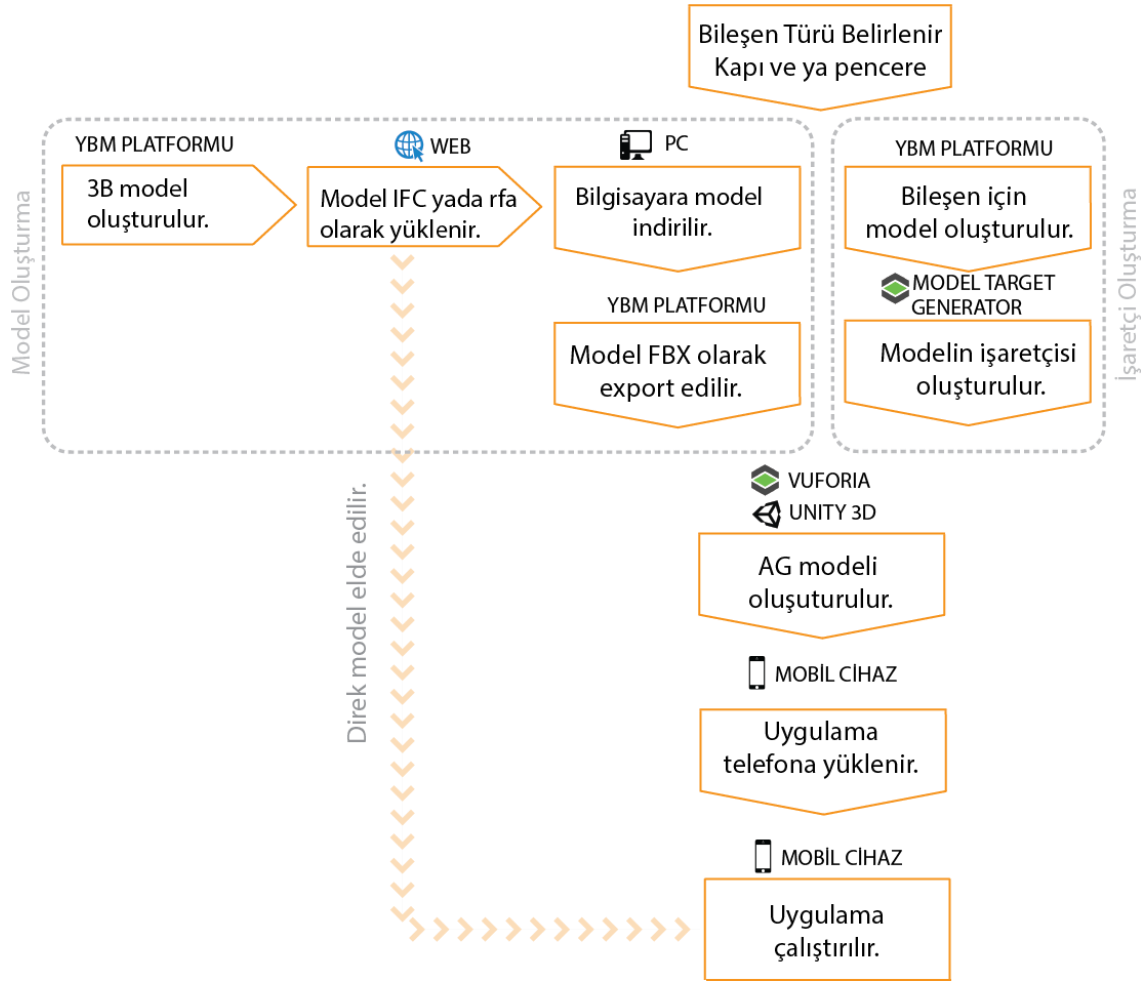
Mobil akıllı telefonlara önerilen modüller, bir oyun motoru olan Unity 3D ve Vuforia eklentisi kullanılarak oluşturulmuştur. Modüllerin oluşturulmasında temel olarak dört aşama mevcuttur. Bu dört aşama ayrı ayrı iki modül için

aşağıdaki akış şemalarında görülebilir (Şekil 4.1, Şekil 4.2).

Bunların ilki, YBM tabanlı 3B modellerin elde edilmesidir. YBM'nin yaygınlaşması, YBM tabanlı mimari yapı bileşen modellerinin çevrimiçi ortamlarda kolay ulaşılabilmesini sağlamıştır. Üretici firmalar kendi ürünlerinin modellerini kullanıcılara sunarak hem kendi ürünlerinin tanınmasını sağlamış hem kullanıcıların model ihtiyacını karşılamışlardır. En yaygın çevrimiçi kaynaklardan biri model sağlayan internet siteleridir. Bunun dışında bu sitelerin YBM araçları için oluşturduğu eklentiler mevcuttur. Bu eklentiler aracılığıyla araç içinden modellere ulaşmak mümkündür. Bu doğrultuda, modüllerde kullanılan 3B mimari yapı bileşenleri modelleri çevrimiçi kaynaklardan indirilmiştir. Bu işlem yapılırken modellerin detay seviyeleri, haklarında girilen veriler ve bileşenleri ne kadar iyi temsil ettikleri göz önüne alınmıştır.



Şekil 4. 1 Modül 1 sistemin oluşturulma şeması



Şekil 4. 2 Modül 2 sistemin oluşturulma şeması

YBM modelleri, temel olarak YBM programlarında kullanılmak üzere tasarlandıkları için birçok BDT programının da tanıdığı “IFC”, Revit’in tanıdığı “rfa” ya da Archicad’in tanıdığı “gsm” formatındadır. Ancak bu formatlar modülün yazılımsal gelişimini sağlayan Unity 3D aracı tarafından tanınmamaktadır. Bu nedenle ikinci işlem olarak internetten yüklenen modeller programın algıladığı bir format olan “fbx” dosyasına dönüştürülür. Bu işlem, indirilen modelin formatına uygun YBM araçlarıyla gerçekleştirilir. Bu çalışmada dönüştürme aracı olarak Revit kullanılmıştır. Uygulamalar oluşturulurken YBM platformlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş, 3B modellerden faydalanılmıştır. Bu doğrultuda NBS National BIM Library ve BIM Object çevrimiçi veri tabanlarından kapı modelleri seçilerek, Modül 1’in içine gömülmüştür [129, 130, 131, 132, 133, 134] Modellerin plan, kesit ve görünüş çizimleri farklı ölçeklerde elde edilerek program içine eklenmiştir. Modül 2’de ise, tek kanatlı kapı seçenekleri oluşturması

amacıyla aynı veri tabanlarından 3B modeller indirilmiş, modellerin çizimleri, YBM özellikleri ve indirme linkleri program içinde kullanılmıştır [135, 136, 137]

Çalışmanın üçüncü aşaması Unity kullanarak yazılımsal alt yapısının oluşturulmasıdır. Araç, 2B ve 3B içerikli oyunlar yaratmaya imkân tanıyan bir oyun motorudur. Mobil cihazlar, bilgisayar ve oyun konsolları için araç yardımıyla oyunlar oluşturmak mümkündür. Platform C# programlama dili kullanmaktadır. Modüllerin arayüz tasarımları oluşturulurken C# dilinde üretilmiş açık kaynaklı kodlardan yararlanılmıştır. Bu programlama dili sayesinde uygulamanın arayüzü için tuşlar ve bunlara ait fonksiyonlar geliştirilmiştir. Araç, mobil cihazlarda kullanılan Android ve iOS platformlarını desteklediği için farklı cihazlara uygun uygulamalar oluşturmayı mümkün kılar.

Sistemin AG altyapısı Unity motorunun Vuforia eklentisi ile oluşturulmuştur. Modüller oluşturulurken birçok AG yazılım geliştirme aracı incelenmiş, izleme sistemleri ve destek sağladıkları platformlar araştırılmıştır. Yapılan incelemeler doğrultusunda yaygın olarak kullanılan bir AG yazılım geliştirme aracı olan Vuforia tercih edilmiştir. Vuforia, gerçek dünya üzerine sanal veriler eklenmesine olanak sağlayan bir portaldir. Temel olarak araçta, kamera üzerinden mevcut ortamdaki işaretçi tespit edilir, daha sonra analiz edilir ve önceden tanımlı veri tabanı içinde araştırılır. Eğer işaretçi karşılığı veri tabanında tespit edilirse, ilgili işaretçinin eşleştiği dijital data gerçek ortam üzerine yerleştirilir. Araçta işaretçi olarak, imajları, gerçek objelerin taratılmış modellerini ve BDT modelleri kullanmak mümkündür. Bu çalışma kapsamında geliştirilen uygulama için BDT model işaretçileri tercih edilmiştir. Ancak efektif bir sistem oluşturmak için bazı standartların sağlanması gerekmektedir. Objeler geometrik olarak katı formda olmalı, sabit ve mat yüzeyler içermeli ve bulundukları çevre içinde düzgün bir şekilde yer almalıdırlar [138]. Bu nedenle izleme sistemlerinde her zaman stabil bir sonuç almak zordur. Bu çalışmada gerek çizim modelleri oluşturulurken gerekse gerçek bileşenler için işaretçi atanırken bu standartlara uyulmaya çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında AG sistemlerinin, gerçek ortamda eskizi yapılmış mimari yapı bileşenlerini ve mevcut kapı ve pencere bileşenlerini tanıması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda birinci modül için öncelikle imaj işaretçiler üzerinde çalışılmıştır. Çizimi yapılan bileşenlerin fotoğrafları çekilmiş Vuforia imaj işaretçi sistemine yüklenmiştir. Yapılan her farklı çizim için aynı modelin çağrılması amaçlanmıştır. Ancak imaj işaretçi sistemi desenleri eşleştirdiği için sadece fotoğrafı çekilen çizimi tanımıştır. Bu nedenle imaj işaretçi yerine şekillerine göre objeleri tanıyan model işaretçi sistemi tercih edilmiştir. Model işaretçiler oluşturulan objenin şeklini izledikleri için farklı şekillerde oluşturulan çizimlere karşı toleransları yüksektir. Bu da sistemin yapılan çizimleri tanımasına olanak tanımaktadır. Bu doğrultuda her yapı bileşeni tipi için ayrı ayrı 2B model işaretleri oluşturulmuş, bunlara uygun 3B modeller atanmıştır. İkinci modül için öncelikle ArCore AG platformu üzerinde çalışılmıştır. Sistem duvar ya da kapı yüzeyini tanıyarak sanal obje eklenmesine olanak tanımaktadır. Ancak sistemin tüm yüzeyi bütün olarak tanımada sıkıntılar mevcut olduğu için sanal objenin duvar üzerine yerleştirilmesi sorunludur. Bu neden bu modülde de Vuforia model işaretçisi kullanılmıştır. Bileşenlerinin basit modelleri oluşturulmuş ve işaretçi olarak atanmıştır. Bu model genellikle bir bileşenin dış kontörlerini oluşturan basit bir kare veya dikdörtgen modelidir.

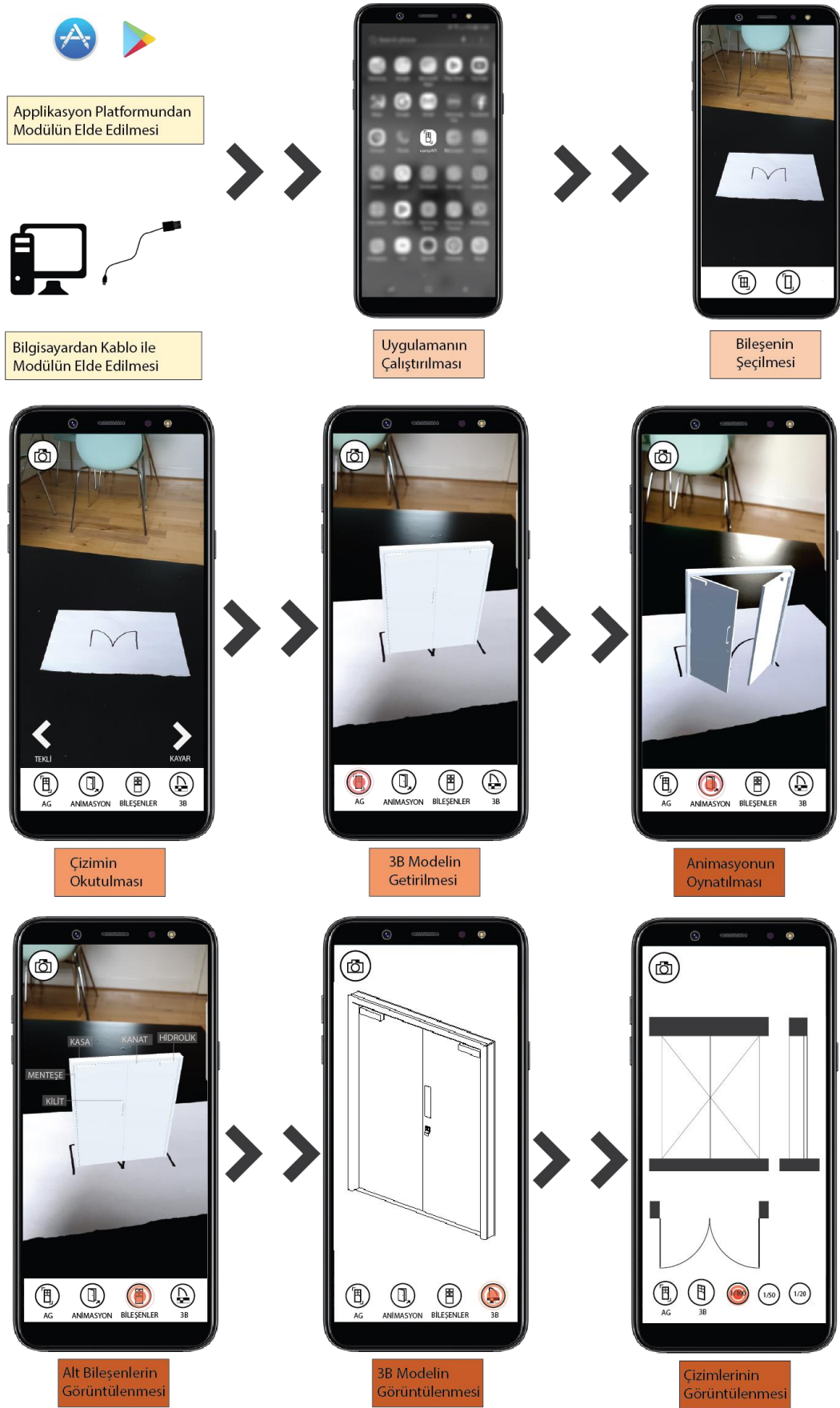
Çalışmanın son aşaması, Unity 3D'nin oluşturduğu uygulama dosyasının mobil cihaza yüklenmesidir. Güncel durumda deneme aşamasında olan prototipler bilgisayar aracılığıyla yüklenirken, öğrencilerin kullanımına açık olacak ana uygulama oluşturulduğu durumda ise mobil cihazların sunduğu uygulama mağazaları kullanılarak yükleme sağlanacaktır.

4.3 Modelin Algoritması ve Akış Şeması

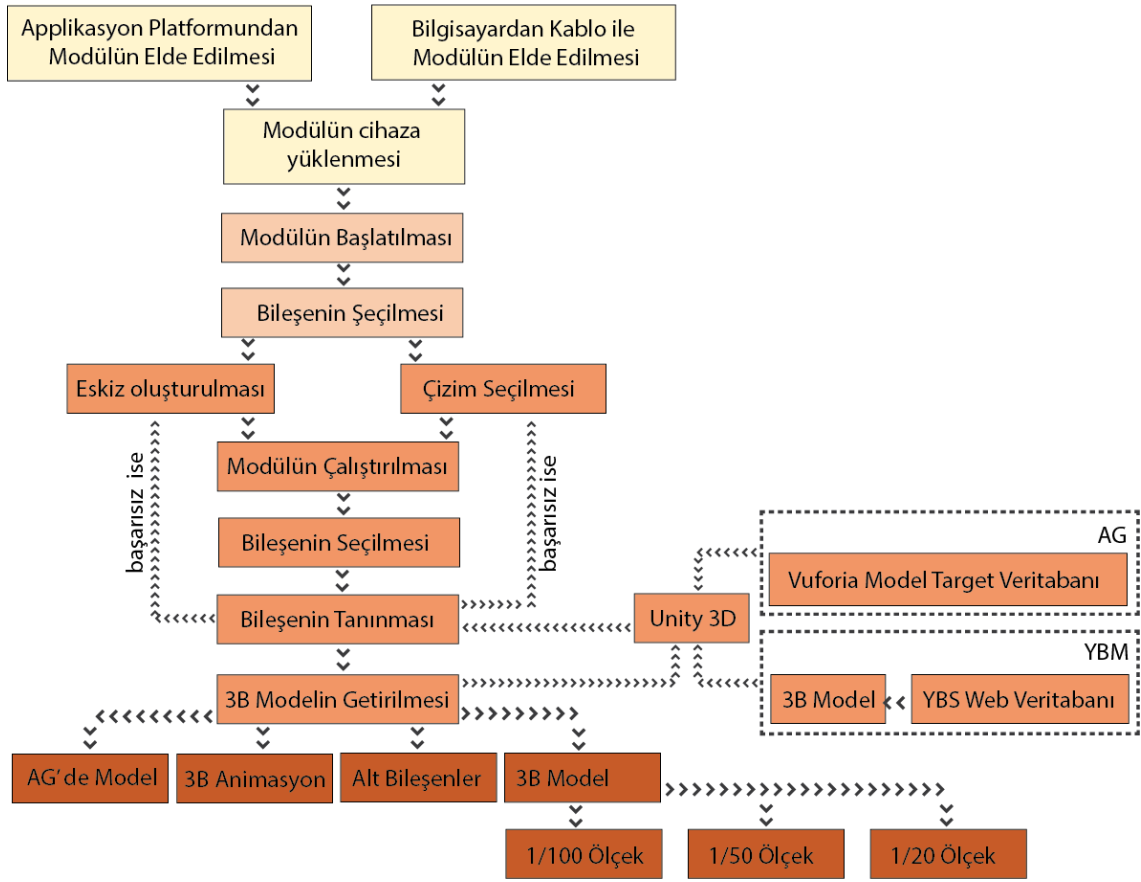
Modül 1 ve Modül 2 akıllı telefonlarda kullanılmak üzere oluşturulmuş AG uygulamasıdır. Mobil cihazlara modülleri yüklemek için iki yöntem kullanılır. İlk yöntemde Unity platformu aracılığıyla oluşturulan, uygulamayı içeren dosyalar bilgisayar üzerinden USB kablo vasıtasıyla telefona yüklenir. Bu aşama uygulamanın test amaçlı kullanılması için, belirli sayıda kullanıcıya hitap eden

yüklemeleri içerir. Cihazın dosyalama sistemi içinde ilgili dosya bulunur ve üzerine çift tıklayarak uygulamanın kurulması sağlanır. Modüllerin testleri yapıldıktan sonra tüm kullanıcıların ulaşımı için ikinci yöntem kullanılır. Bu yöntemde modüllere Android ya da iOS işletim sisteminde uygulamaları barındıran mağaza uygulamayı üzerinden ulaşılır. Yükleme seçeneği seçilerek uygulama cihaza kurulur. Bu doğrultuda iki yöntemle de cihaz üzerinde modüllere ait ikonlar oluşur. Kullanıcı yükleme işleminden sonra modüller için oluşturulmuş ikonlara çift tıklayarak uygulamayı çalıştırır. İki sistemin de arayüzü kapı ve pencere bileşenlerinden birinin seçilmesi ekranıyla açılır. Kullanıcı ister çizim taratacak olsun ister de mevcut bileşeni tanıtacak olsun, öncelikle bileşen tipini seçmelidir. Bileşen seçiminden sonra ekranda ilgili bileşene ait işaretçi modelleri belirir. Modül 1’de kullanıcının açılıp kapanma biçimlerine göre sınıflanan bileşenlerden birini plan olarak çizmesi beklenir. Gerçek ortamdaki çizimler ile işaretçi model çakıştığında, ilgili bileşene ait 3B model gerçek ortama çağrılmış olur. Modül 2’de ise gerçek ortamdaki yapı bileşenleri, sistem tarafından tanınır ve uygun 3B bileşen modeli ortamdaki gerçek bileşenle hizalanır.

Modül 1 mimari yapı bileşenlerinin açılış kapanış biçimlerine göre sıralandığı modelleri içermektedir. İlk aşamada hangi tip bileşenin özelliklerine ulaşılacağı seçilerek, ilgili bileşenin çizimi gerçekleştirilir. Yapılan çizim aracılığıyla sanal öğeler gerçek ortama çağrıldıktan sonra Modül 1 mimari bileşenlerin farklı özelliklerini deneyimlemek üzere seçenekler sunar. Gerçek ortam üzerinde bileşenin modeli, açılıp kapanma animasyonu ve alt bileşenleri butonlara tıklanarak görüntülenir. Bileşen sabit şekilde izlenebileceği gibi bileşenin etrafında dönerek ön ve arkası ayrı ayrı görüntülenebilir. Modül 1, AG ortamına ek olarak sadece 3B model görüntüleme seçeneği de sunar. Son ikona tıklayarak girilen bu ortamda bileşenin farklı ölçeklerdeki çizimlerine ulaşmak mümkündür. 1:100, 1:50 ve 1:20 ölçeklerinde sunulan çizimlerde bileşenin plan, kesit ve görünüşleri yer almakta, farklı miktarlarda detay sunulmakta ve yakınlaştırma yaparak çizimler incelenebilmektedir. Kullanıcının görüntülemeye ek olarak ileriki zamanlarda referans olarak kullanmak üzere ekran alıntısı yapması mümkündür (Şekil 4.3, Şekil 4.4).



Şekil 4. 3 Modül 1 Bileşen tipleri arayüzleri

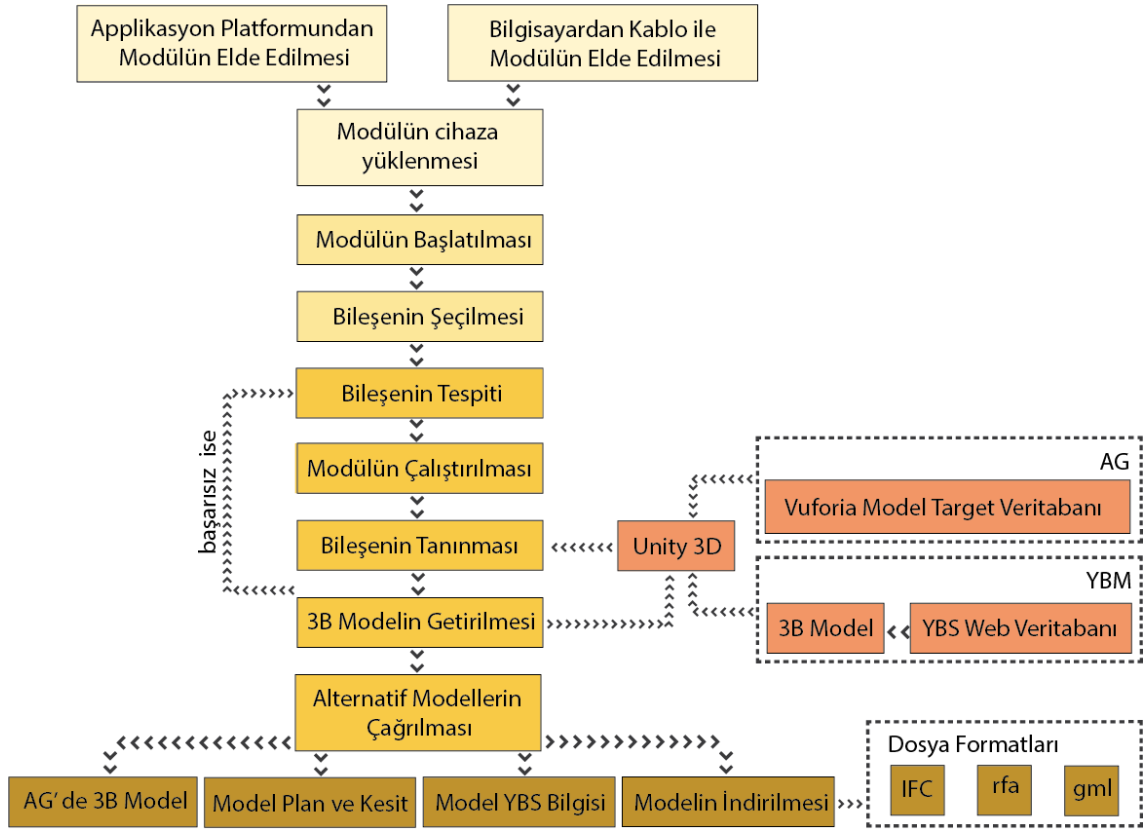


Şekil 4. 4 Modül 1 bileşen tipleri akış şeması

Modül 2’de gerçek mimari yapı bileşenleri tanıtılarak, sanal bileşenlerin gerçek ortam üzerine eklenmesi sağlanır. Kamera aracılığıyla görüntülenen bu ortamda kullanıcı alternatif bileşen modelleri üzerinden uygun gördüğünü seçer. Seçilen bileşenin gerçek ortam üzerindeki görüntüsüne ulaşmanın yanı sıra, bileşenin plan, kesit ve görünüş çizimlerine, boyut, yangın dayanımı gibi YBM model bilgilerine, incelenmek üzere 3B çizimine ve modelin elde edildiği internet sitesine ulaşılabilir. Kullanıcı modeli gerçek ortamda ve sayısal ortamda incelemenin yanı sıra kendi projesinde kullanmak üzere 3B modeline de ulaşabilir. Her model hakkında üretici firma ya da çevrimiçi platform tarafından farklı bilgiler girildiği için, daha detaylı bilgiler çevrimiçi olarak elde edilebilir. 3B modelleri görüntülemeye ve indirmeye ek olarak Modül 2, kullanıcının gerekli gördüğü çizim ve görsellerin ekran alıntısı yapılmasına da olanak tanımaktadır. Modül 2’nin içerdiği arayüzler Şekil 4.5’de, işleyişini anlatan akış şeması ise Şekil 4.6’de görülebilir.



Şekil 4. 5 Modül 2 Bileşen çeşitleri arayüzleri



Şekil 4. 6 Modül 2 bileşen çeşitleri akış şeması

4.4 Modelin Kullanıcı Deneyimleri

Çalışmada kullanıcı deneyimi değerlendirmesinin yapılması adına kapı bileşenlerini içeren prototipler oluşturulmuştur. Modül 1 için oluşturulan prototipte, 6 farklı tip kapı modeli ve çizimi mevcuttur. Çizgisiz kâğıt üzerine siyah renkli boya kalemi ya da tükenmez kalem ile işaretçi olarak belirlenen tipe uygun çizim yapıldığında program AG modellerini çağırılmaktadır. Ortamdaki ışık miktarına, yapılan çizimin benzinliğine ve kalem tipiye göre işaretçinin tanınma süresi değişmektedir. Modül 2 içerisine, alternatif olarak kullanılmak 3 farklı tek kanatlı kapı modeli eklenmiştir. Çalışmanın bu aşamasında alternatif modelleri elde edip, uygulama içine gömmek manuel olarak yapılmaktadır. Ancak ilerleyen zamanlarda, teknolojik gelişmelerle modelin çevrimiçi olarak elde edilip uygulamada açılması kullanıcı tarafından gerçekleştirilebilir. Modül 2’de işaretçi olarak tek kanatlı kapı tipinin dış ölçülerine benzer bir dikdörtgen oluşturulmuştur. Aynı şekilde ortamdaki ışık miktarı, gerçek bileşenin yer aldığı duvarlarla olan renk kontrastı ve gerçek kapının boyutlarının işaretçiye benzerliği

AG sisteminin algılama süresini etkilemektedir. Bu teknik bilgiler göz önünde bulundurularak, uygulama tamamlandıktan sonra mimarlık öğrencilerinin kullanımına sunulmuştur. Mimari yapı bileşenlerinin eğitiminin verildiği dönemler birinci ve ikinci yıllar olduğu için, kullanıcılar bu dönemler içinde yer alan öğrencilerden seçilmiştir.

Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü öğrencilerinden oluşan iki grup üzerinde uygulama çalışması yapılmıştır. Okulun eğitim yaklaşımı kapsamında mimari bileşenler ilk ve ikinci sınıflardaki Yapı Elemanları 1 ve 2 derslerinde öğretilmektedir. Yapı Elemanları 1 dersinde temel, döşeme, merdiven gibi bileşenler anlatılırken, kapı ve pencere mimari bileşenleri ikinci sınıftaki Yapı Elemanları 2 dersi kapsamında işlenmektedir. Dolayısıyla mimarlık eğitimlerinin birinci yılında yer alan öğrencilerden oluşan 10 kişilik ilk grup, kapı ve pencere bileşenlerini içeren mimari eğitimi almamışlardır. 10 kişi içeren ikinci grup ise ikinci sınıf öğrencilerinden oluşmaktadır. Bu grupta ise 10 kişiden 8'i dersi almış iken 2'si almadıklarını belirtmişlerdir. Bu doğrultuda 20 kişiden oluşan mimarlık öğrencileri grubu üzerinde kullanıcı deneyimi ve anket çalışması yapılmıştır. Modüller bir telefona yüklenmiş ve kullanıcıların bu telefon aracılığıyla modülleri denemesi sağlanmıştır.

İlk olarak kullanıcıya yapılacak olan çalışma ve araştırma konuları hakkında bilgi içeren yazı dağıtılmış ve okunması için zaman tanınmıştır [EK-A]. Bu ön bilgilendirme kağıdında AG sistemlerinin tanımını ve YBM kavramını içeren görsellerle desteklenmiş metinler yer almaktadır. Ayrıca modüllerin nasıl çalıştığı, neler sunduğu ve amaçlarının ne olduğu da belirtilmiştir.

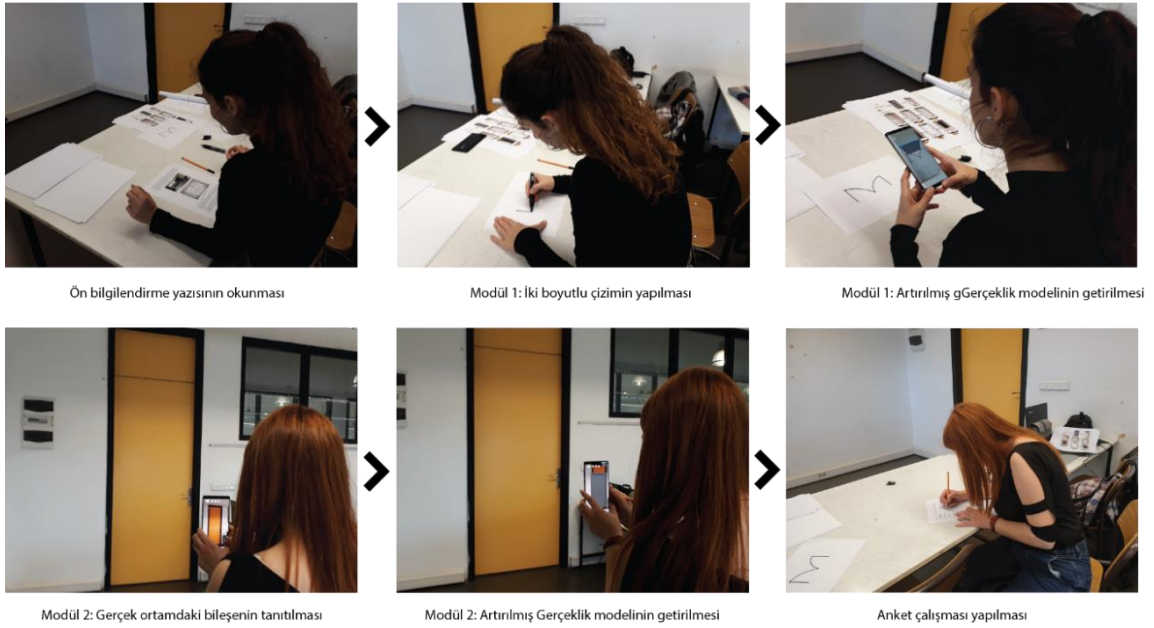
Modül 1'in kullanıcı deneyiminde, öğrenciye mimari yapı bileşeni planı çizimi için boş kâğıt ve kalem verilmiştir. Oluşturulan plan, mobil uygulama kullanılarak okutulmuş ve AG modelinin cihaz ekranına gelmesi sağlanmıştır. Kullanıcının modeli ve diğer özellikleri deneyimlemesi için zaman tanınmıştır.

Kullanıcıdan ilk modülün ardından Modül 2'yi denemesi istenmiştir. Bu doğrultuda içinde yer alınan sınıfın kapısı üzerinde modül çalıştırılmıştır. Kullanıcı kapıyı tanıttıktan sonra yerine gelebilecek alternatifleri ve diğer özellikleri

deneyimlemiştir. Ayrıca kullanıcıya gerekli görülen yerlerde modüldeki özellikler hakkında bilgi verilmiştir.

Modüller ardı ardına denetildikten sonra kullanıcının deneyimini değerlendirmesi için bir anket çalışması yapılmıştır. Birinci sınıf öğrencilerinden oluşan ilk grupta yapılan anket çalışmasında genel çalışmayı değerlendiren 2, Modül 1'i kapsayan 4 ve Modül 2'yi kapsayan 4 adet çoktan seçmeli soru sorulmuştur [EK-B]. Ayrıca şıklardan bağımsız olarak modülleri değerlendirebilecekleri iki açık uçlu soru da ankette yer almıştır. İkinci sınıflardan oluşan ikinci grupta ise bu sorulara ek olarak Yapı Elemanları 2 dersini alıp almadıkları ve modülleri yapı bileşeni dersleri için kaynak olarak kullanıp kullanmayacakları sorgulanmıştır [EK-C].

Yapılan anket çalışmasına ek olarak, kullanıcıların modüller ile etkileşimi, modüllere verilen tepkiler ve sözlü yorumlar yazar tarafından değerlendirilmek üzere not edilmiştir.

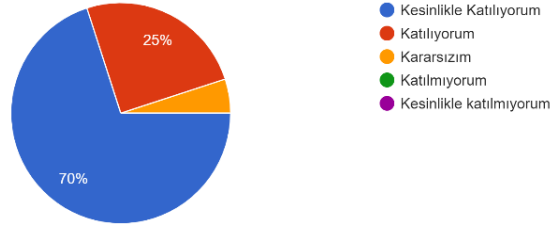


Şekil 4. 7 Kullanıcı deneyimi süreçleri

Anket Soruları ve Değerlendirmeler

Anket çalışmasında yer alan sorular, bu soruların amaçları ve sorulara verilen cevaplar her soru için ayrı ayrı olmak üzere aşağıda değerlendirilmiştir:

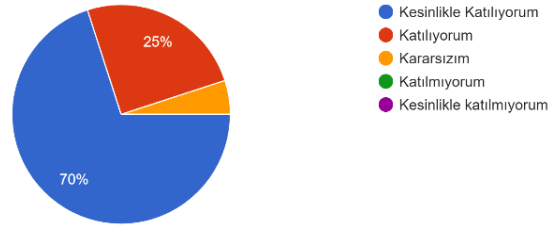
Soru 1: “Bileşenleri Artırılmış Gerçeklik sistemlerinde görüntülemek ve çizimlerine ulaşmak yararlıdır.”



Şekil 4. 8 Soru 1’e verilen cevapların yüzdelik oranları

Bu soru ile öğrencinin mimari yapı bileşenlerinin AG sistemlerinde görüntülenmesi ve mimari çizimlere ulaşılması hakkında düşünceleri alınmıştır. Kullanıcıların %95’inin önermeye katıldığı, %5’inin ise çekimser kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

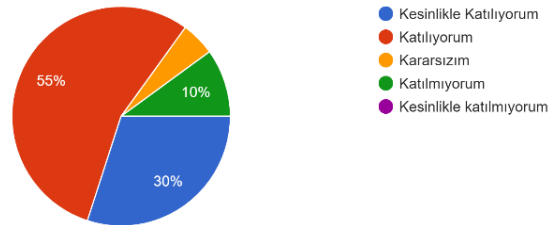
Soru 2: “Modüllerin yapı bileşeni eğitimine katkısı vardır.”



Şekil 4. 9 Soru 2’ye verilen cevapların yüzdelik oranları

Soru 2’de modülleri yapı bileşeni eğitimine katkılarının olup olmayacağı araştırılmıştır. Verilen cevaplara göre, %95’lik kısım katkısı olacağını düşünürken, %5’lik kısım kararsız kalmıştır.

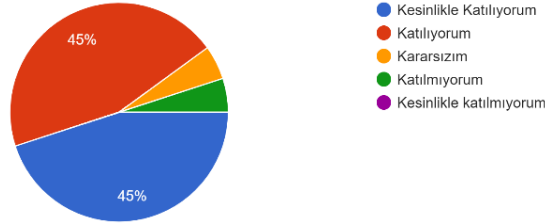
Soru 3: “Modül 1, 2 boyutlu çizimi 3 boyutlu olarak sunmakta başarılıdır.”



Şekil 4. 10 Soru 3’e verilen cevapların yüzdelik oranları

Modül 1'in grafiksel temsilden model oluşturma başarısı soru 3'te sorgulanmaktadır. Öğrencilerin %10'u bu konuda olumsuz düşünürken %5'i ise kararsızdır. %85'lik kısım ise modülü başarılı bulmuştur.

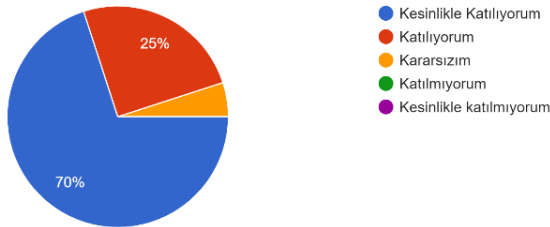
Soru 4: “Modül 1, yapı bileşenlerinin alt elemanlarını öğrenmeme yardımcı oldu.”



Şekil 4. 11 Soru 4'e verilen cevapların yüzdelik oranları

Soru 4'te Modül 1'de sunulan mimari bileşenlerin alt elemanlarının öğrenci tarafından anlaşılıp anlaşılmadığı araştırılmıştır. Kullanıcıların %90'ı bu özelliği olumlu bulurken %5'i olumsuz bulmuştur. Diğer %5 ise bu konuda kararsız kalmıştır.

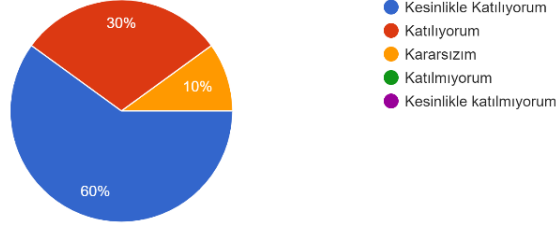
Soru 5: “Modül 1, yapı bileşenlerinin nasıl açılıp kapandığını anlamama katkı sağladı.”



Şekil 4. 12 Soru 5'e verilen cevapların yüzdelik oranları

Bu soruda Modül 1'de bileşenlerin çalışma mantığını gösteren animasyonun amacına ulaşp ulaşmadığı sorgulanmıştır. Verilen cevaplara göre, %95'lik kısım modülün bu konuda başarılı olduğunu düşünürken, %5'lik kısım çekimser kalmıştır.

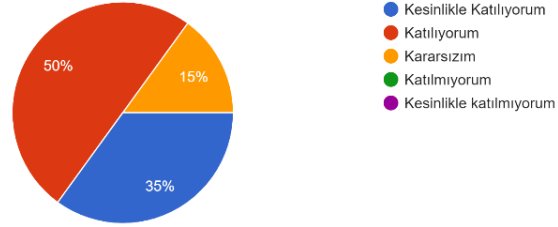
Soru 6: “Modül 1 farklı ölçeklerde bileşenlerin çizimini algılamaya yardımcı oldu.”



Şekil 4. 13 Soru 6'ya verilen cevapların yüzdelik oranları

Soru 6'da Modül 1 içerisine yerleştirilen çizimlerin bileşenleri farklı ölçekteki çizimlerini kavramaya yardımcı olup olmadığı araştırılmıştır. Katılımcıların %90'ı yardımcı olduğunu düşünürken, %10'u kararsız olduğunu söylemiştir.

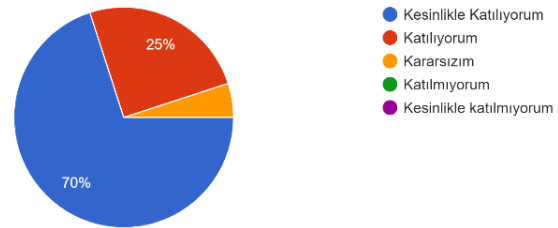
Soru 7: “Modül 2, yapı bileşenleri yerine gelebilecek alternatifleri görmeme katkı sağladı.”



Şekil 4. 14 Soru 7'ye verilen cevapların yüzdelik oranları

Bu soruda Modül 2'nin alternatif bileşen modellerini sunma başarısı sorgulanmıştır. Öğrencilerin %85'i modülü başarılı bulurken, %15'i bu konuda çekimser kalmıştır.

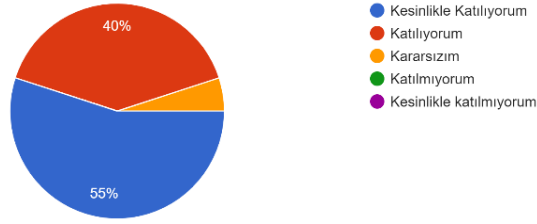
Soru 8: “Modül 2'de yapı bileşenlerinin Yapı Bilgi Modelleme bilgilerine ulaşmak yararlıdır.”



Şekil 4. 15 Soru 8'e verilen cevapların yüzdelik oranları

Soru 8 ile bileşenlerin YBM bilgilerini öğrencilere sunmanın gerekli olup olmadığı konusu araştırılmıştır. Katılımcıların %95'i bilgilerin yararlı olduğunu düşünürken, %5'i yararlı olup olmadığı konusunda emin değildir.

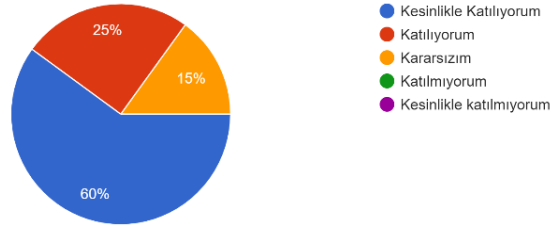
Soru 9: “Modül 2’de farklı bileşenlerin plan ve kesitlerini görmek bileşenleri anlamama katkı sağladı.”



Şekil 4. 16 Soru 9’a verilen cevapların yüzdelik oranları

Bu soruda bileşenlerin kesit ve plan çizimlerinin bileşenleri anlama konusunda faydalı olduğu önermesi sorgulanmıştır. Kullanıcıların %95’i bu önermeye katılırken %5’i kararsız kalmıştır.

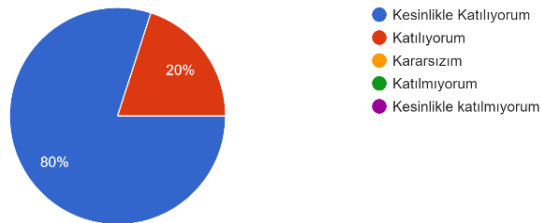
Soru 10: “Modül 2’de incelenen yapı bileşenlerinin 3 boyutlu model dosyalarına ulaşmak faydalıdır.”



Şekil 4. 17 Soru 10’a verilen cevapların yüzdelik oranları

Soru 10 ile öğrencilerin deneyimledikleri mimari bileşenlerin model dosyalarına kullanmak amacıyla ulaşmalarının gerekliliği konusunda ne düşündükleri öğrenmek amaçlanmıştır. %85’i dosyaları indirmenin faydalı olacağına katılırken, %15’i çekimser kalmıştır.

Soru 13: “Modüller yapı bileşeni dersleri için kaynak olarak kullanılabilir.”



Şekil 4. 18 Soru 13’e verilen cevapların yüzdelik oranları

Soru 13 ile yapı bileşeni eğitimi verilen dersleri alan öğrencilerin modülleri başvuru kaynağı olarak kullanıp kullanmayacakları araştırılmıştır. Sadece ikinci sınıf öğrencilerine sorulan bu sorunun yanıtları, dersi alan öğrenciler kapsamında değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda öğrencilerin tamamı modülleri kaynak olarak kullanabileceklerini belirtmişlerdir.

Anketin çoktan seçmeli on sorudan oluşan kısmında kullanıcı deneyimleri test edilmiş, sunulan özelliklerin istenilen amaca hizmet edip etmedikleri araştırılmıştır. Soru 1 ve 2'den alınan cevaplar doğrultusunda modellerin gerçek ortam içinde deneyimlenmesi, çizim ve modellerine ulaşılması öğrenciler tarafından olumlu bulunmuş, bileşen eğitimine katkıları olacağı düşünülmüştür. Ancak katılımcıların %5 kadarlık kısmı bu konuda çekimser kalmıştır.

Çalışmanın mimari yapı bileşenlerini 2B ve 3B olarak algılamaya ve kavramaya yardımcı olduğu 3., 6. ve 9. sorulara verilen olumlu cevaplardan anlaşılmıştır. Ancak 3 numaralı soruya verilen yanıtlardan, iki boyutu üç boyuta dönüştürerek algıyı artırma fikrini olumsuz bulanların ve bu konuda çekimser olanların da olduğu görülmektedir. Modüllerin sunduğu çizimlerin bileşenleri anlama konusunda yardımcı olacağı konusunda kararsız kalanların da mevcut olduğu 6 ve 9 numaralı soruların cevaplarından anlaşılmaktadır.

Modüllerin bileşenler hakkında detaylı bilgi edinmeyi sağlama amacını gerçekleştirdiği, öğrencilerin 4, 5 ve 8 numaralı sorulara verdikleri yanıtlardan tespit edilmiştir. Ancak 4 numaralı soruda bu konuda hem fikir olmayanların da olduğu görülmüştür. Bu sorularda kararsız şıkkının işaretlendiği %5 oranındaki cevaptan, tüm öğrencilerin bu konuda hem fikir olmadığı anlaşılmıştır.

7 ve 10 numaralı sorulara verilen yanıtlardan bileşenlerin alternatif sanal modellerini gerçek ortam içinde deneyimleme ve YBM sistemleri modellerine daha sonra kullanma amacıyla indirme fikrinin katılımcılar tarafından olumlu bulunduğu görülmüştür. Ancak kullanıcıların %15'lik kısmı fikirlerini çekimser olarak beyan etmiştir.

Anket çalışmasında çoktan seçmeli sorulara ek olarak iki açık uçlu soru sorulmuştur. İlk soruda kullanıcılardan modüller hakkında olumlu buldukları

yönleri yazmaları beklenirken, ikinci soruda modüllerin olumsuz yönlerini belirtmeleri istenmiştir. Bu sorular aracılığıyla çalışmanın pozitif ve negatif yönleri sorgulanmıştır. Bu doğrultuda kullanıcıların yorumları beş grup altında toplanmıştır:

- Kullanıcıların büyük çoğunluğu bileşenleri 3B olarak test etmenin, alternatiflere toplu olarak ulaşabilmenin, bileşenleri yerinde görüp hareketlerini algılamamanın kendilerine zaman kazandırdığını ve işlerini kolaylaştırdığını düşünmektedir.
- Modüllerin bileşenleri 3B olarak algılamayı ve zihinde canlandırmayı sağladığı belirtilmiştir.
- Modüllerin toplu halde bileşenlerle ilgili birçok bilgiyi barındırması ve oldukça detaylı olması olumlu bir özellik olarak görülmüştür.
- 2B çizimleri 3B model olarak ve farklı alternatifler şeklinde görmenin seçim yapmada pozitif etkisi olduğu belirtilmiştir.
- Çalışmanın içerdiği görsel bilgiler ve teknolojiyi kullanımı başarılı bulunmuştur.

Kullanıcıların açık uçlu sorulara verdiği cevaplar doğrultusunda modüllerin olumsuz bulunan yönleri üç madde altında toplanmıştır:

- Kullanıcıların büyük bir çoğunluğu 2B çizimlerin ve gerçek bileşenlerin AG sistemleri tarafından algılanmasında sorunlar olduğunu düşünmektedir. Bu nedenle uygulama sürecinin uzun sürdüğü ve kaliteli bir AG deneyimi sunmadığı dile getirilmiştir.
- Modüllerin sunduğu alternatif bileşen seçeneklerinin ve bileşen tiplerinin yetersiz olduğu belirtilmiştir.
- Çizimlerde ölçülendirmelere yer verilmesi ve ölçek seçeneklerinin artırılması gerektiği yorumunda bulunulmuştur.

Kullanıcıların modülleri deneyimlemeleri esnasında yapılan gözlemler ve sordukları sorular doğrultusunda birtakım sonuçlara ulaşılmıştır. Sistemin gerçek

veriyi algılama süreci ortam içindeki ışık miktarının azlığı ve doğal ışık-yapay ışık dağılımından dolayı uzun sürmüştür. Bu da kullanıcının dikkatini dağıtmış, uygulamaya olan ilgiyi azaltmıştır. AG sistemlerinin sanal veriyi gerçek ortama çağırması birinci sınıf öğrencilerinin oldukça ilgisini çekmiş, daha öncesinde konu hakkında bilgilendirme yapılmasına rağmen şaşırtıcı bulunmuştur. İkinci sınıf öğrencileri ise diğerlerine oranla AG'yi daha az şaşırtıcı bulmuşlardır. Kullanıcıların birçoğu modülleri nasıl elde edebilecekleri konusunu sorgulamış, ulaşılabilir olmaları halinde kullanacaklarını belirtmişlerdir. Modül 1'de bileşenlerin AG modellerine ulaşmak için farklı plan çizimlerinin yapıp yapılamayacağı öğrenciler açısından merak konusu olmuştur. Sadece mevcut bileşenlere ulaşmak yerine, bileşen tasarımının modüllerde sağlanıp sağlanamayacağı sorulmuştur. Yapılan gözlemler doğrultusunda modüllerin, içerdiği bilgilerle öğrencilere bir kılavuz oluşturarak fayda sağlamamanın yanı sıra AG içeren sunuş şekli ile ilgilerini çekerek öğrencilerin modülleri kullanmasının sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

4.5 Teknolojik Sınırlılıklar ve Gelecek Senaryoları

Çalışma kapsamında geliştirilen YBM destekli AG uygulamasının gerek geliştirme aşamasında gerekse uygulama aşamasında birtakım problemlerle karşılaşılmıştır. Bu problemler uygulama geliştirilmeden önce, geliştirme aşamasında ve test etme aşamasında olmak üzere üçe ayrılabilir.

AG tabanlı eğitim uygulaması geliştirirken içeriğin oluşturulması konusunda zorluklar mevcuttur [102]. Tez çalışmasında kapı mimari bileşenlerini içeren iki AG modülü geliştirilmiştir. İçerik olarak birinci modülde YBM modellerinden seçilen açılış şekillerine göre sınıflandırılmış 6 tip kapı modeli ve çizimi yer alırken, ikinci modülde 3 adet alternatif tek kanatlı kapı modeli ve çizimi bulunmaktadır. Akıllı telefonların kapasiteleri nedeniyle yüklenen model sayısının artması programın efektif çalışmasını engelleyeceği için model sayısı sınırlı kalmıştır. Çevrimiçi kaynaklarda yer alan modeller farklı ürün firmaları, YBM kullanıcıları ya da kaynağın kendisi tarafından üretildiği için standart bir model tipi mevcut değildir. Her modelde gerek detay seviyelerine gerekse alt bileşenlerin tüm

modelini içerip içermediğine dikkat edilmediği görülmektedir. Bu da her bileşene ait ideal modeli bulmayı güçleştirmiştir. Çevrimiçi modellerin dosya formatı AG sistemlerinde desteklenmemekte, modelleri kullanabilmek için YBM programı aracılığıyla formatı dönüştürmek gerekmektedir. Bu nedenle modüllerin içine direk çevrimiçi kaynaklardan model yüklenip kullanılması konusunda problem mevcuttur. Modüller için çizim üretme işlemi, aynı şekilde bu programlar aracılığıyla manuel olarak yapılmaktadır.

AG sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulamaya dökülmesinin önündeki diğer bir engel izleme sistemleridir [6]. Çalışma kapsamında geliştirilen uygulamada model işaretçileri kullanılmıştır. Modül 1’de her bir bileşen için ayrı ayrı işaretçi geliştirilmiştir. İşaretçi geliştirilirken hem bileşenin planına sadık kalınmaya çalışılmış hem de uygulamanın okuyabileceği bir şekil aranmıştır. Deneme yanılma yöntemiyle birçok alternatif denenmiş, tanınma süresi kısa olan işaretçiler seçilmiştir. Tanınma hızı aynı zamanda oluşturulan çizime ve kullanılan kaleme göre değiştiği için hem yaygın kullanılan kalem tiplerine uygun hem de deforme olmuş planları bile okuyabilecek bir sistem geliştirilmeye çalışılmıştır. Modül 2’de ise işaretçi olarak, klasik bir tekli kapının temel hatlarını oluşturan dikdörtgen şekil kullanılmıştır. Bu yöntemle gerçek ortamdaki her bir kapının tanınabilmesi amaçlanmıştır. Ancak işaretçi çok genel olduğu için tanıma ve takip konusunda gecikmeler oluşmakta, farklı kapı boyutlarında tanıma zorlaşmaktadır. Aynı zamanda bileşenin içinde bulunduğu duvar ile renk kontrastı yok ise uygulama bileşeni tanımamaktadır. İzleme sistemlerindeki bu sıkıntılar kaliteli bir AG deneyimini sekteye uğratmaktadır.

Geliştirilen sistemin test edilmesi mimarlık öğrencileri tarafından yapılmıştır. Deneme esnasında ortamdaki ışığın azlığı ve homojen olmaması uygulamanın işaretçileri tanımasını zorlaştırmıştır. Aynı zamanda kimi öğrencilerin el çizimlerinin uygulamanın sağladığı işaretçiden çok farklı olması tanıma süresini arttırmış, izleme kalitesini düşürmüştür. Bu da öğrencilerin uygulama hakkındaki görüşlerini olumsuz etkilemiştir. Teknik sınırlılık nedeniyle uygulamada yer alan kapı modellerinin az olması, öğrencilerin bileşenleri anlama deneyimini zayıflatmış, uygulamanın eksik yönlerinden biri olarak değerlendirilmiştir.

Geliştirilen bu uygulamanın mimarlık eğitiminin teknolojiyle zenginleştirilmesi için bir başlangıç adımı olacağı düşünülmüş, çalışma izin verilen teknik sınırlar içinde gerçekleştirilmiştir. Teknolojideki gelişmelerle bu sınırların ortadan kalkacağı düşünülmekte, bu yeni koşullarda uygulamanın gidebileceği yön için bazı öneriler yapılmaktadır. SG desteğiyle oluşturulacak uygulamanın bu ileriki versiyonu aracılığıyla aşağıdaki eylemlerin gerçekleştirilmesi mümkün olabilir:

- Öğrencinin bileşenlerin tipine, malzemesine, boyutlarına ve metal aksamına karar vererek AG sistemleri içinde bileşeni deneyimleyerek tasarlaması.
- Uygulamanın içerisine görüntü işleme aracı eklenerek sunulan AG içeriğinin eş zamanlı olarak gerçeğe yakın biçimde görüntülenmesi.
- Bileşenlerin alt elemanlarının ayrı ayrı seçilerek öğrencinin tanımasının sağlanması.
- Sadece uygulama geliştiricinin belirlediği model ve çizimlerin değil çevrimiçi açık kaynaklarda sayıları binleri bulan birçok modelin uygulama üzerinden doğrudan AG sistemlerine aktararak modellerin ve farklı ölçeklerde çizimlerin elde edilmesi.
- Kapı ve pencereye ek olarak döşeme, duvar, tavan, çatı, temel, merdiven vb. diğer elemanlarının uygulamaya eklenerek tüm yapı elemanları dersini kapsayan bir kaynağın oluşturulması.
- Çizimleri okuma ve anlamının zor olduğu öğrenciliğin ilk yıllarında, öğrencinin herhangi bir yerde karşılaştığı bileşen çizimini tanıyıp bilgilendirme yapan sistemin kurulması.
- Tasarım ve uygulama çizimlerine ek olarak şantiye ortamında bileşenin monte edilmesini anlatan videoların eklenmesi ya da öğrencinin kendi montajını kendisinin yapabileceği oyun bazlı bir eklentinin oluşturulması.
- Bileşenin bireysel olarak ele alınmasının yanı sıra yapı içerisindeki yerinde yapıyla ve diğer elemanlarla bütünleştirilmesine ele alan SG sistemlerinin önerilmesi.

- SG sistemleri yardımıyla öğrencilerin kendi tasarladıkları proje içerisinde bileşeni görüntüleyerek tasarım kararlarının verilmesi.
- Ölçülendirme aracının eklenmesiyle, öğrencinin hem gerçek ortamda hem sanal ortamda boyut bilgilerine ulaşarak bileşenleri görüntülemesi.
- Şu anda mevcut olan 3 adet ölçek seviyesinde çizimin yanı sıra 1:10, 1:5, 1:1 ve 1:500 gibi ölçeklerde çizimlerin eklenmesi, özellikle zor olan doğrama detay çizimlerinin videolarla desteklenmesi.

Artırılmış Gerçeklik, çalışma kapsamında kavramsal ve teknolojik açıdan araştırılmış, genel uygulama alanlarına kısaca değinilerek özellikle mimarlık ve eğitim alanında yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bu doğrultuda AG teknolojilerini kullanarak mimari yapı bileşenlerini içeren iki modül geliştirilmiştir. Uygulama oluşturulmadan önce bileşenlerin geleneksel, sayısal, AG ve SG ortamlarında temsilleri değerlendirilip sistem içinde yer alacak temsil şekillerine karar verilmiştir. Uygulamaların altyapısı AG yazılım geliştirme araçlarıyla sağlanırken, kullanılan modeller YBM sistemleri için üretilmiş yapı bileşeni öğeleri içinden seçilmiştir. Çalışma, yapılan araştırmalar doğrultusunda elde edilen verilerin değerlendirildiği uygulamalar ile sonuçlanmıştır.

Mobil cihazların kullanımının yaygınlaşması ve maliyetinin düşmesi, AG teknolojisinin hayatın her alanında kullanılmaya başlamasını sağlamıştır. Eğitim de bu alanlardan biridir. Geleneksel materyallere alternatif ya da ek olarak kullanılan mobil teknolojiler yeni çağın bir öğretim tekniği olmaya adaydır. Mobil cihazlarda yaygınlaşan AG sistemleri cihazların bu misyonuna katkıda bulunmaktadır. Teorik öğretiyi deneyimleme imkânı sağlaması, soyut kavramları somutlaştırması ve gerçekliği sanal öğelerle zenginleştirilmesi AG'nin eğitime sağladığı olumlu yanlardır. Özellikle fikirlerin ifade edilmesinin, tasarım kararlarının verilmesinin ve sonuç ürünün üretilmeden önce canlandırılmasının zor olduğu mimarlık eğitiminde de AG yeni bir yaklaşım biçimi sunmaktadır. AG sistemlerindeki teknolojik gelişmeler, alanın uzmanı olmadan da uygulama geliştirmeyi olanaklı kılmaktadır. Böylelikle mimari eğitim alanında AG'nin sunduğu imkanları değerlendiren hali hazırda birçok çalışma yapılmış olmakla birlikte, uygulamaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Geçmişten günümüze yapılan çalışmalar incelendiğinde görülmüştür ki gelecekte AG sistemlerinin hem teknolojik gelişimi hem de kullanımı artmaya devam edecektir.

Günümüz nesillerin teknolojiyle iç içe büyümesi ve teknolojiye yatkınlıkları AG'yi kabullenmelerini kolaylaştırarak sistemin yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Ancak teknolojiye bazı kısıtlamalar sistemlerin istenilen düzeyde çalışmasına engel olmakta, beklenen verimin alınmasını engellemektedir. Özellikle AG sistemlerinde gerçek verinin tanınması aşamasındaki sıkıntılar, bilgiye ulaşım süresini uzatmakta, kullanıcının uygulamaya olan ilgisini azaltmaktadır. AG uygulamaları üretiminde kullanılan bilginin yaygınlaşması ve ulaşılabilir olması, farklı disiplinlerden insanların çalışmalar yapmasına olanak tanısa da uygulamaları belli düzeyin üzerinde geliştirebilmek için uzman yardımı gerekmektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulan modüller AG sistemlerini içermenin yanı sıra YBM sistemlerinden destek almaktadır. Mimarlık alanında kullanımı her geçen gün yaygınlaşan YBM konusunda, modüller yardımıyla eğitim aşamasında bilgilendirme yapılması mümkündür. YBM sistemlerini eğitimin erken aşamasında tanımak, öğrencilerin 3B modellerle bu modellere ait metinsel bilgileri ilişkilendirmesine yardımcı olabilir. Kullanılan materyallerin 3B olması, özellikle mimarlık eğitiminin ilk yıllarında mimari verileri algılama konusunda sıkıntılar yaşayan öğrencilere daha kolay kavrayabileceği modeller sunar. Böylelikle mimari yapı bileşenlerinin verilerini içeren 3B modeller aracılığıyla projelerde detay kararlarının verilmesinde bir destek sistemi oluşturulması sağlanabilir.

Modüller mimari yapı bileşenlerinin geleneksel 2B çizimlerine ve 3B modellerine ek olarak AG ortamında bileşenlerin temsilini sunmaktadır. Bileşenlerin farklı temsil biçimlerini toplu halde barındıran ve gerek duyulan zamanlarda başvurabilecek bir kaynak oluşturularak, öğrencilerin yapı bileşeni eğitime destek olunması hedeflenmiştir. Öğrencilerin hali hazırda sahip olduğu mobil cihazları kullanması, mali yükümlülük altına girmeden ve yüksek efor sarf etmeden uygulamaları edinmesi yer ve zaman sıkıntısı olmadan bilgiye ulaşmasını sağlamaktadır. Ayrıca öğrencinin yapılan 2B çizimden, 3B model bilgisine ulaşması, bileşenleri daha iyi kavramasını ve algılamasını sağlamaktadır. Tasarlanan modüller mimarlık birinci ve ikinci sınıf öğrencilerinden oluşan 10'ar kişilik iki grup tarafından test edilmiş, bileşenler hakkında bilgi edinme, gerçek ortam içinde bileşenleri deneyimleme, mimari bileşenleri algılama ve kavrama

konusunda modüllerin %90 oranında başarılı olduğu deneyimler sonucunda görülmüştür.

Tez çalışması kapsamında mimari yapı bileşenlerinden sadece kapı bileşenlerini içeren modüller oluşturulmuş, uygulamalar belirli bir aşamaya kadar geliştirilmiştir. Modül 1'e tüm pencere bileşenlerinin eklenmesi şüphesiz ki öğrencilerin deneyimlerini zenginleştirecek, oldukça kapsamlı bir kaynak çalışması sunacaktır. Modül 2'de ise güncel durum itibarıyla, uygulamanın kapasitesine bağlı olarak sadece geliştirici tarafından yüklenen 3 alternatif bileşen modeli mevcuttur. Teknolojide gelişmelerle bu sınırlamaların aşılabacağı, YBM veri tabanlarındaki modellere kullanıcının uygulama yardımıyla direkt ulaşacağı umulmaktadır. Bu yöntemle kapı ve pencere bileşenlerinin yanı sıra, temel, döşeme, duvar, tavan, merdiven, çatı gibi bileşen model ve çizimlerini uygulamaya dahil etmek mümkün olacaktır. Böylelikle öğrencilerin mimari tasarım, uygulama ve yapı elemanı derslerinde yer ve zaman fark etmeksizin ihtiyaç duyduklarında kullanabilecekleri interaktif ve kapsamlı bir kaynak oluşturulacaktır. Aynı şekilde güncel teknolojik olanaklar AG izleme sistemlerinde hız problemlerine ve stabil olmayan eşleşmelere yol açmaktadır. Geçmişten günümüze olan süreçte bakıldığında yazılımsal ve donanımsal ilerlemeler ile, uygulamalardaki bu sorunların aşılabacağı ve kullanıcının daha hızlı şekilde ve daha tutarlı veriye ulaşacağı ön görülmektedir.

Bu çalışma mimarlık eğitime YBM ve AG sistemlerini dahil etmenin olumlu yanlarının olabileceğini göstermiştir. YBM sistemlerinin eğitimdeki yeri güncel durumda sınırlı kalsa da profesyonel mimarlık ortamında duyulan ihtiyacın artmasıyla sistemin eğitimdeki yeri genişleyecektir. Aynı şekilde birçok alanda uygulamaları mevcut olan AG sistemlerinin oldukça yaygın olduğu iki alan olan eğitim ve mimarlıkta kullanımının artarak süreceği düşünülmektedir.

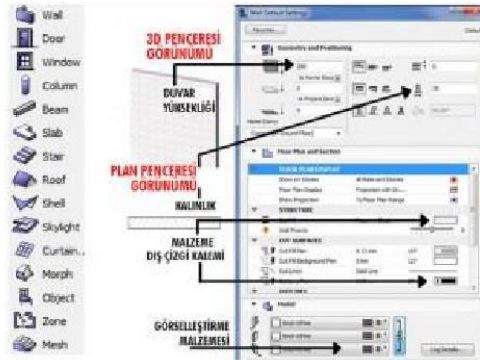
A

Bilgilendirme Metni

Bu çalışmada Artırılmış Gerçeklik sistemleri kullanılarak kapı ve pencere mimari yapı bileşenlerinin eğitimine katkı sağlamak amaçlanmıştır. Artırılmış Gerçeklik (AG), gerçek ortam üzerine sanal öğeler ekleyen bir sistemdir. Oluşturulan görüntüler kameralar aracılığıyla görüntülenir. Bu uygulamada sanal öğe olarak Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sistemlerinin kapı modelleri kullanılmıştır. YBM modelleri geometrik şekil bilgisine ek olarak bileşenin boyutları, malzemesi, üreticisi gibi verileri içeren modellerdir.



Artırılmış Gerçeklik Örneği ¹



Yapı Bilgi Modelleme Örneği²

Çalışma 2 modülden oluşmaktadır:

Birinci modülde plân çizimi yapılan kapının okutularak AG modeli oluşturulması sağlanmıştır. Kullanıcı bu modülde AG modele ek olarak, bileşenin animasyonuna, alt elemanlarına ve çeşitli ölçeklerde çizimlerine ulaşır. Bu modüldeki amaç açılış türlerine göre farklılaşan yapı bileşenlerini tanımlaktır.

İkinci modülde gerçek mimari yapı bileşenleri okutularak AG model çağrılır. Kullanıcı farklı kapı tiplerini gerçek ortam içinde deneyimler. Belirlediği kapının çizimlerine, hakkındaki bilgilere ve indirildiği internet sitesine ulaşabilir. Bu modülde amaç kapı yerine gelecek alternatifleri gözlemlemek ve YBM modellerinin nasıl bilgi içerdiklerini konusunda bilgi sahibi olmaktır.

¹ <https://www.packaging-gateway.com/wp-content/uploads/sites/2/2017/09/3-ikea-ar-app.jpg>

² <https://image.slidesharecdn.com/sayisalgrafik-bpav5-son-150116011010-conversion-gate01/95/bim-ve-bina-performans-analizi-6-638.jpg?cb=1421374831>

1. Sınıflar Anket Çalışması

	SORULAR	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Kararsızım	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum
1	Bileşenleri Artırılmış Gerçeklik sistemlerinde görüntülemek ve çizimlerine ulaşmak yararlıdır.	☐	☐	☐	☐	☐
2	Modüllerin yapı bileşenlerini algılamaya ve kavramaya katkısı vardır.	☐	☐	☐	☐	☐
3	Modül 1, 2 boyutlu çizimi 3 boyutlu olarak sunmakta başarılıdır.	☐	☐	☐	☐	☐
4	Modül 1, yapı bileşenlerinin alt elemanlarını görmeme yardımcı oldu.	☐	☐	☐	☐	☐
5	Modül 1, yapı bileşenlerinin nasıl açılıp kapandığını anlamama katkı sağladı.	☐	☐	☐	☐	☐
6	Modül 1, farklı ölçeklerde bileşenlerin çizimini algılamama yardımcı oldu.	☐	☐	☐	☐	☐
7	Modül 2, yapı bileşenleri yerine gelebilecek alternatifleri görmeme katkı sağladı.	☐	☐	☐	☐	☐
8	Modül 2'de yapı bileşenlerinin Yapı Bilgi Modelleme bilgilerine ulaşmak yararlıdır .	☐	☐	☐	☐	☐
9	Modül 2'de farklı bileşenlerin plan ve kesit çizimlerini görmek bileşenleri anlamama katkı sağladı.	☐	☐	☐	☐	☐
10	Modül 2'de incelenen yapı bileşenlerinin 3 boyutlu model dosyalarına ulaşmak faydalıdır.	☐	☐	☐	☐	☐

11. Modüller hakkında olumlu düşüncelerinizi yazınız.

.....

12. Modüller hakkında olumsuz düşüncelerinizi yazınız.

.....

2. Sınıflar Anket Çalışması

	SORULAR	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Kararsızım	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum
1	Bileşenleri Artırılmış Gerçeklik sistemlerinde görüntülemek ve çizimlerine ulaşmak yararlıdır.	☐	☐	☐	☐	☐
2	Modüllerin yapı bileşenlerini algılamaya ve kavramaya katkısı vardır.	☐	☐	☐	☐	☐
3	Modül 1, 2 boyutlu çizimi 3 boyutlu olarak sunmakta başarılıdır.	☐	☐	☐	☐	☐
4	Modül 1, yapı bileşenlerinin alt elemanlarını görmeme yardımcı oldu.	☐	☐	☐	☐	☐
5	Modül 1, yapı bileşenlerinin nasıl açılıp kapandığını anlamama katkı sağladı.	☐	☐	☐	☐	☐
6	Modül 1, farklı ölçeklerde bileşenlerin çizimini algılamama yardımcı oldu.	☐	☐	☐	☐	☐
7	Modül 2, yapı bileşenleri yerine gelebilecek alternatifleri görmeme katkı sağladı.	☐	☐	☐	☐	☐
8	Modül 2'de yapı bileşenlerinin Yapı Bilgi Modelleme bilgilerine ulaşmak yararlıdır .	☐	☐	☐	☐	☐
9	Modül 2'de farklı bileşenlerin plan ve kesit çizimlerini görmek bileşenleri anlamama katkı sağladı.	☐	☐	☐	☐	☐
10	Modül 2'de incelenen yapı bileşenlerinin 3 boyutlu model dosyalarına ulaşmak faydalıdır.	☐	☐	☐	☐	☐
13	Modüller yapı bileşeni dersleri için kaynak olarak kullanılabilir.	☐	☐	☐	☐	☐

11. Modüller hakkında olumlu düşüncelerinizi yazınız.

.....

12. Modüller hakkında olumsuz düşüncelerinizi yazınız.

.....

Aldığınız dersleri işaretleyiniz.

☐ Yapı Elemanları 1

☐ Yapı Elemanları 2

- [1] T. P. Caudel ve D. W. Mizell, "Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes," Proceedings of the 25th Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, 1992.
- [2] G. Kipper ve J. Rampolla, Augmented Reality: an emerging technologies guide to AR, Waltham: Elsevier Science, 2012.
- [3] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," In Presence: Teleoperators and Virtual Environments, cilt 6, no. 4, pp. 355-385, 1997.
- [4] P. Milgram ve F. Kishino, "A Taxonomy of Mixed Reality Virtual Displays," IEICE Transactions on Information and Systems, Cilt E77-D, no. 12, pp. 1321-1329, 1994.
- [5] M. Mekni ve A. Lemieux, "Augmented Reality: Applications, Challenges and Future Trends," 13th Applied computer and applied computational science, Kuala Lumpur, 2014.
- [6] X. Wang, "Augmented Reality in Architecture and Design: Potentials and Challenges for Application," International journal of architectural computing, cilt 07, no. 02, pp. 309-326, 2009.
- [7] M. Billinghurst, A. Clark ve G. Lee, "A Survey of Augmented Reality," Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, cilt 8, no. 2-3, p. 73-272, 2014.
- [8] E. D. Aydın, "Üç Boyutlu Sanal Gerçeklik Ortamında Mimari Mekan Temsilinin Geliştirilmesi: Temel Anlam Ve Yan Anlam Yaratma," Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 2012.
- [9] C. M. Eastman, C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks ve K. Liston, BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors, New Jersey: John Wiley & Sons , 2011.
- [10] T. Kiryu ve R. H. So, "Sensation of presence and cybersickness in applications of virtual reality for advanced rehabilitation," Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, cilt 4:34, 2007.

- [11] P.-H. Diao ve N.-J. Shih, "Trends and Research Issues of Augmented Reality Studies in Architectural and Civil Engineering Education—A Review of Academic Journal Publications," *Applied Sciences*, cilt 9, no. 9, p. 1840, 2019.
- [12] H. Regenbrecht ve D. Donath, "Architectural education and virtual reality aided design (VRAD)," *Designing Digital Space-An Architect's Guide to Virtual Reality*, Canada, John Wiley & Sons, 1997, pp. 155-177.
- [13] W. R. Sherman ve A. B. Craig, *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*, USA: Elsevier Science, 2003, p. 16.
- [14] B. Sherman ve P. Judkins, *Glimpses of heaven, visions of hell: Virtual reality and its implications*, Londra: Hodder & Stoughton, 1992.
- [15] M. E. Heilig, "Sensorama Simulator". USA Patent: 3050870, 28 Ağustos 1962.
- [16] I. E. Sutherland, "Sketchpad: A man-machine graphical communication system," University of Cambridge Computer Laboratory, Cambridge, 2003.
- [17] D. Schmalstieg ve T. Höllerer, *Augmented Reality Principles and Practice*, Boston: Pearson Education, 2016.
- [18] I. E. Sutherland, "A head-mounted three dimensional display," Fall Joint Computer Conference, San Francisco, 1968.
- [19] M. W. Krueger, "An Easy Entry Artificial Reality," *Virtual Reality Applications and Explorations*, Cambridge, Academic Press, 1998, pp. 147-161.
- [20] S. Mann, "Wearable computing: A first step toward personal imaging," *Computer*, cilt 30, no. 2, pp. 25 - 32, 1997.
- [21] J. Lanier, "Virtual Reality: The Promise of the Future," *Interactive Learning International*, cilt 8, no. 4, pp. 275-79, 1992.
- [22] L. B. Rosenberg, "Virtual fixtures as tools to enhance operator performance in telepresence environments," *Proceedings Volume 2057, Telemanipulator Technology and Space Telerobotics*, Boston, 1993.
- [23] J. Rekimoto ve Y. Ayatsuka, "CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags," *DARE '00 Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments*, Elsinore, 2000.

- [24] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höllerer ve A. Webster, "A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment," *Wearable Computers*, Cambridge, 1997.
- [25] R. Raskar, G. Welch ve H. Fuchs, "Spatially Augmented Reality," *First International Workshop on Augmented Reality*, San Francisco, 1998.
- [26] R. Raskar, G. Welch ve W.-C. Chen, "Table Top Spatially Augmented Reality: Bringing Physical Models to Life with Projected Imagery," *2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality*, Washington, 1999.
- [27] M. Billinghurst ve H. Kato, "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System," *2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality*, San Francisco, 1999.
- [28] W. Piekarski ve B. Thomas, "Arquake:The Outdoor Augmented Reality Gaming System," *Communications Of The Acm*, cilt 45, no. 1, pp. 36-38, 2002.
- [29] D. Wagner ve D. Schmalstieg, "First Steps Towards Handheld Augmented Reality," *Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers*, New York, 2003.
- [30] M. Möhring, C. Lessig ve O. Bimber, "Optical Tracking and Video See-Through AR," *3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Washington, 2004.
- [31] D. Wagner, G. Reitmayr, A. Mulloni, T. Drummond ve D. Schmalstieg, "Pose tracking from natural features on mobile phones," *7th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Cambridge, 2008.
- [32] Mobile Augmented Reality, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.volkswagenag.com/en/group/research/virtualtechnologies.html>. [Erişildi: 03 03 2019].
- [33] Glass, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com/glass/start/>. [Erişildi: 28 07 2019].
- [34] ORA-X: World's First Augmented Reality Headphones, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.indiegogo.com/projects/ora-x-world-s-first-augmented-reality-headphones#/>. [Erişildi: 03 03 2019].

- [35] Pokemon Go, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.pokemon.com/us/app/pokemon-go/>. [Erişildi: 28 07 2019].
- [36] G. Evans, J. Miller, M. I. Pena, A. MacAllister ve E. Winer, “Evaluating the Microsoft HoloLens through an augmented reality assembly application,” Mechanical Engineering Conference Presentations, Papers, and Proceedings, California, 2015.
- [37] ARKit, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://xinreality.com/wiki/ARKit>. [Erişildi: 03 03 2019].
- [38] ARCore, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://en.wikipedia.org/wiki/ARCore>. [Erişildi: 03 03 2019].
- [39] G. Kipper ve J. Rampolla, Augmented Reality An Emerging Technologies Guide to AR, Waltham: Elsevier, 2013.
- [40] O. Bimber ve R. Raskar, “Modern Approaches to Augmented Reality,” SIGGRAPH, Los Angeles, 2005.
- [41] J. Herling ve W. Broll, “Markerless Tracking for Augmented Reality,” Handbook of Augmented Reality, Londra, Springer Science+Business Media, 2011, pp. 255-273.
- [42] E. Köymen, “Mimari Ön Tasarım Sürecinde Eskizleri Gerçek Zamanlı 3b Modelleyen, Arttırılmış Gerçeklik Destekli Bir Yazılım Denemesi: “Sketchar, ” Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 2014.
- [43] List of augmented reality software, [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.wikipedia.com/en/List_of_augmented_reality_software. [Erişildi: 16 04 2019].
- [44] A. Papuççuyan, “Unity vs Unreal Engine! Hangisi doğru tercih?,” 05 02 2019. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://webrazzi.com/2019/02/05/unity-vs-unreal-engine-hangisi-dogru-tercih/>. [Erişildi: 28 07 2019].
- [45] Mobile Games, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://unity.com/solutions/mobile>. [Erişildi: 28 07 2019].
- [46] D. Amin ve S. Govilkar, “Comparative Study of Augmented Reality Sdk's,” International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA), cilt 5, no. 1, pp. 10-26, Şubat 2015.

- [47] Augmented Reality SDK Comparison, [Çevrimiçi]. Erişim: <http://socialcompare.com/en/comparison/augmented-reality-sdks>. [Erişildi: 20 02 2019].
- [48] S. Prabhu, “Augmented Reality SDKs in 2018: Which are the best for Development,” [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.arreverie.com/blogs/best-augmented-reality-sdk-in-2018/>. [Erişildi: 20 02 2019].
- [49] ARCore overview, [Çevrimiçi]. Erişim: https://developers.google.com/ar/discover/#learn_more. [Erişildi: 28 07 2018].
- [50] A. B. Craig, Understanding Augmented Reality, Waltham: Elsevier, 2013.
- [51] G. S. V. Itzstein, M. Billingham, R. T. Smith ve B. H. Thomas, “Augmented Reality Entertainment: Taking Gaming Out of the Box,” Encyclopedia of Computer Graphics and Games, New York, Springer International Publishing AG, 2017, pp. 1-9.
- [52] Z. Mahmood, T. Ali, N. Muhammad, N. Bibi, I. Shahzad ve S. Azmat, “EAR: Enhanced Augmented Reality System for Sports Entertainment Applications,” KSII Transactions on Internet and Information Systems, cilt 11, no. 12, pp. 6069-6091, 2017.
- [53] L. Chen, T. W. Day, W. Tang ve N. W. John, “Recent Developments and Future Challenges in Medical Mixed Reality,” IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Nantes, 2017.
- [54] T. M. Peters, “Overview of Mixed and Augmented Reality in Medicine,” Mixed and Augmented Reality in Medicine, Boca Raton, Tylor & Francis Group, 2019, pp. 1-13.
- [55] H.-G. Ha ve J. Hong, “Augmented Reality in Medicine,” Hanyang Med Rev, p. 242–247, 2016; 36(4) .
- [56] J. Brookshire, T. Oskiper, V. Branzoi, S. Samarasekera, R. Kumar, S. Cullen ve R. Schaffer, “Military Vehicle Training with Augmented Reality,” Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference, Orlando, 2015.
- [57] F. Amaguaña, B. Collaguazo, J. Tituaña ve W. G. Aguilar, “Simulation System Based on Augmented Reality for Optimization of Training Tactics on Military Operations,” International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics, Otranto, 2018.

- [58] R. Pierdicca, E. Frontoni, P. Zingaretti, E. S. Malinverni, F. Colosi ve a. R. Orazi, "Making Visible the Invisible Augmented Reality Visualization for 3D Reconstructions of Archaeological Sites," *Proceedings of the Second International Conference on Augmented and Virtual Reality*, Lecce, 2015.
- [59] C. Castagnettia, M. Gianninia ve R. Rivolab, "Image-Based Virtual Tours And 3d Modeling Of Past And Current Ages For The Enhancement Of Archaeological Parks: The Visualversilia 3d Project," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Florence, 2017.
- [60] M. White, N. Mourkoussis, J. Darcy, P. Petridis, F. Liarokapis, K. W. P. Lister, W. C. R Wojciechowski, J. Chmielewski, M. Stawniak, W. Wiza, M. Patel, J. Stevenson, J. Manley, F. Giorgini, P. Sayd ve F. Gaspard, "ARCO—An Architecture for Digitization, Management and Presentation of Virtual Exhibitions," *Proceedings of the Computer Graphics International*, Crete, 2004.
- [61] M. Ding, "Augmented Reality in Museums," *Arts Management & Technology Laboratory Heinz Collage* pp. 3–8, 2017.
- [62] G. F. Barbosa, M. A. Frigo ve E. C. C. d. Silva, "Augmented Reality in Aerospace Manufacturing: A Review," *Journal of Industrial and Intelligent Information*, cilt 2, no. 4, pp. 125-130, March 2016.
- [63] M. Funk, T. Kosch, S. W. Greenwald ve A. Schmidt, "A benchmark for interactive augmented reality instructions for assembly tasks," *MUM '15*, Linz, 2015.
- [64] A. Javornik, "Classifications of Augmented Reality Uses in Marketing," *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Munich, 2014.
- [65] S. M. Halıcı, "A Study Of Collaborative Design In Mobile Augmented Reality," *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2016.
- [66] F. Costa, S. Eloy, M. S. Dias ve M. Lopes, "ARch4models: A tool to augment physical scale models," *ShoCK! : Sharing of computable knowledge*, Roma, 2017.
- [67] Y. Sato, T. Fukuda, N. Yabuki, T. Michikawa ve A. Motamedi, "A Marker-Less Augmented Reality System Using Image Processing Techniques For Architecture And Urban Environment," *Living Systems andMicro-Utopias: Towards Continuous Designing*, Hong Kong, 2016.

- [68] G. Schubert, B. Strobel ve F. Petzold, "Tangible Mixed Reality," Living Systems and Micro-Utopias: Towards Continuous Designing, Hong Kong, 2016.
- [69] Y. Sheng, T. C. Yapo, C. Young ve B. Cutler, "A Spatially Augmented Reality Sketching Interface for Architectural Daylighting Design," Ieee Transactions On Visualization And Computer Graphics, cilt 17, no. 1, pp. 38-50, 2011.
- [70] C.-T. Chen ve T.-W. Chang, "1:1 Spatially Augmented Reality Design Environment," Innovations in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Netherlands, Springer, 2006, pp. 487-499.
- [71] J. Wang, X. Wang, W. Shou ve B. Xu, "Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation," Construction Innovation, cilt 14, no. 4, pp. 453-476, 2014.
- [72] C. Woodward, M. Hakkarainen, O. Korkalo, T. Kantonen, M. Aittala, K. Rainio ve K. Kähkönen, "Mobile Mixed Reality System for Architectural and Construction Site Visualization," 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, Sendai, 2010.
- [73] D. Belcher ve B. Johnson, "MxR A Physical Model-Based Mixed Reality Interface for Design Collaboration, Simulation, Visualization and Form Generation," ACADIA 08 Silicon+Skin:Biological Processes and Computation, Minneapolis, 2008.
- [74] D. Binan, T. Töre ve S. Kut, "Mimari Koruma Alanında Arttırılmış Gerçekliğin Kullanımı Ve Değerlendirmesi Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Örneği," ResearchGate, İstanbul, 2015.
- [75] F. Chionna, F. Argese, V. Palmieri, I. Spada ve L. Colizzi, "Integrating Building Information Modeling And Augmented Reality To Improve Investigation Of Historical Buildings," Conservation Science in Cultural Heritage, cilt 15, no. 1, pp. 133-163, 2015.
- [76] A. Fonnet, N. Alves, N. Sousa, M. Guevara ve L. Magalhães, "Heritage BIM integration with mixed reality for building preventive maintenance," Encontro Português de Computação Gráfica e Interação (EPCGI), Guimaraes, 2017.
- [77] D. H. Shin ve P. S. Dunston, "Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability," Automation in Construction, cilt 17, no. 7, pp. 882-894, 2008.

- [78] S. Kahn, M. Olbrich, T. Engelke, J. Keil, P. Riess, S. Webel, H. Graf ve U. Bockholt, "Beyond 3D "as-Built" Information using Mobile AR enhancing the Building Lifecycle Management," International Conference on Cyberworlds, Darmstadt, 2012.
- [79] V. T. Phan ve S. Y. Choo, "Interior Design in Augmented Reality Environment," International Journal of Computer Applications, cilt 5, no. 5, pp. 16-21, 2010.
- [80] C. Qureshi, M. A. Schnabel ve T. Moleta, "CityAR: Wellington Exploring Cities through Mixed Realities," eCAADe 36 SMART CITIES, Lodz, 2018.
- [81] L. Treyer, A. Koltsova ve S. Georgakopoulou, "Visualizing Urban Analysis in Mixed Reality," 9th International Conference on Intelligent Environments, Athens, 2013.
- [82] M. Billinghurst, "Augmented Reality in Education," Aralık 2003. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.526.1919&rep=rep1&type=pdf>. [Erişildi: 02 02 2019].
- [83] S. C. Y. Yuen, G. Yaoyuneyong ve E. Johnson, "Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education," Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE), cilt 4, no. 1, pp. 119-140, 2011.
- [84] M. Billinghurst, "The MagicBook Moving Seamlessly between Reality and Virtuality," IEEE Computer Graphics and Applications, cilt 21, no. 3, pp. 2-4, 2001.
- [85] B. Schmitz, R. Klemke ve M. Specht, "An Analysis of the Educational Potential of Augmented Reality Games for Learning," 11th World Conference on Mobile and Contextual Learning (mLearn), Helsinki, 2012.
- [86] L. Johnson, A. Levine, R. Smith ve S. Stone, "The 2010 Horizon Report," The New Media Consortium, Austin, 2010.
- [87] I. Radu, "Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis," Personal and Ubiquitous Computing, cilt 18, no. 6, p. 1533–1543, 2014.
- [88] P. Diegmann, M. Schmidt-Kraepelin, S. Eynden ve D. Basten, "Benefits of Augmented Reality in Educational Environments - A Systematic Literature Review," 12th International Conference on Wirtschaftsinformatik, Osnabrück, 2015.

- [89] I. Radu, "Why Should My Students Use AR? A Comparative Review of the Educational Impacts of Augmented-Reality," IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Atlanta, 2012.
- [90] B. E. Shelton, *Augmented Reality and Education: Current Projects and the Potential for Classroom Learning*, ITLS Faculty Publications, 2002.
- [91] R. Chen ve X. Wang, "An Empirical Study on Tangible Augmented Reality Learning Space for Design Skill Transfer," *Tsinghua Science and Technology*, cilt 13, no. 1, pp. 13-18, 2008.
- [92] E. Redondo, I. Navarro, A. Sánchez ve D. Fonseca, "Augmented Reality On Architectural And Building Engineering Learning Processes. Two Study Cases," *UbiCC Journal*, no. Special Issue on Visual Interfaces and User Experience: new approaches, pp. 1269-1279, 2012.
- [93] A. S. Riera, E. R. Dominguez ve D. F. Escudero, "Developing an Augmented Reality Application in the Framework of Architecture Degree," *UXeLATE'12*, Nara, 2012.
- [94] T. Chandrasekera, "Using Augmented Reality Prototypes in Design Education," *Design and Technology Education: An International Journal* , cilt 19, no. 3, pp. 33-42, 2014.
- [95] G. Özenen ve S. M. Şener, "Evaluating the impact of augmented reality of augmented reality systems for model-making in architectural education and design studios," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 19, no. 2, pp. 197-201, 2015.
- [96] A. S. Riera, E. Redondo ve D. Fonseca, "Geo-located teaching using handheld augmented reality: good practices to improve the motivation and qualifications of architecture students," *Universal Access in the Information Society archive*, cilt 14, no. 3, pp. 363-374, 2015.
- [97] R. Fernando, K. Dupre ve H. Skates, "Tangible User Interfaces For Teaching Building Physics," *CAADRIA: Living Systems and Micro-Utopias: Towards Continuous Designing*, Melbourne, 2016.
- [98] F. Abdullah, M. H. B. Kassim ve A. N. Z. Sanusi, "Go Virtual: Exploring Augmented Reality Application in Representation of Steel Architectural Construction for the Enhancement of Architecture Education," *Advanced Science Letters*, cilt 23, no. 2, p. 804–808, 2017.
- [99] S. Vassigh, A. Elias, F. R. Ortega, D. Davis, G. Gallardo, H. Alhaffar, L. Borges, J. Bernal ve N. D. Rishe, "Integrating Building Information

Modeling with Augmented Reality for Interdisciplinary Learning,” IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct Proceedings, Merida, 2016.

- [100] D. L. Davis, S. Vassigh, H. Alhaffar, A. J. Elias ve G. Gallardo, “Learning Building Sciences in Virtual Environments,” ASEE Annual Conference and Exposition, Salt Lake City, 2018.
- [101] S. S. Hosny, S. A. Mohsen ve S. A. Mansour, “A Conceptual Framework For Enriching Architectural Classroom With Mobile Augmented Reality,” Journal Of Al-Azhar University Engineering Sector, cilt 14, no. 50, pp. 158-175, 2019.
- [102] H. Chu, J. Chen, G. Hwang ve T. Chen, “Effects of formative assessment in an augmented reality approach to conducting ubiquitous learning activities for architecture courses,” Universal Access in the Information Society, cilt 18, no. 2, p. 221–230, 2019 .
- [103] F. D. K. Ching ve C. Adams, Çizimlerle Bina Yapım Rehberi, İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, 2015.
- [104] Building component, 05 02 2018. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Building_component. [Erişildi: 06 02 2019].
- [105] Güncel Türkçe Sözlük, [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5ca874a2e52170.59098503. [Erişildi: 29 11 2018].
- [106] G. T. Sözlük, 29 11 2018. [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5ca874f2a63db8.74166917.
- [107] F. D. K. Ching, building construction illustrated, Hoboken,: John Wiley & Sons, 2014.
- [108] T. K. Gürer, “Bir Paradigma Olarak Mimari Temsilin İncelenmesi,” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 2004.
- [109] Vitruvius, Mimarlık Üzerine On Kitap, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, 2005.
- [110] F. Tan, “Çizim Mimarlığı:Mimari Bir Motivasyon Olarak Çizim,” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2013.

- [111] K. Styles ve A. Bichard, Working Drawings Handbook, Oxford: Elsevier, 2004.
- [112] M. Groover ve E. Zimmers, CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing, New Jersey: P T R Prentice, 1984.
- [113] Ocak 2012. [Çevrimiçi]. Erişim: http://docs.autodesk.com/ACDMAC/2013/ENU/PDFs/acdmac_2013_autolisp_developers_guide.pdf. [Erişildi: 03 03 2019].
- [114] H. Penttilä, “Describing The Changes In Architectural Information Technology To Understand Design Complexity And Free-Form Architectural Expression,” Journal of Information Technology in Construction, cilt 11, pp. 395-408, 2006.
- [115] D. Holzer, “BIM and Parametric Design in Academia and Practice: The Changing Context of Knowledge Acquisition and Application in the Digital Age,” International Journal of Architectural Computing, cilt 13, no. 1, p. 67, 2015.
- [116] D. Nicholson-Cole, Object Making with ArchiCAD GDL for Beginners, Budapest: Graphisoft R&D, 2000, pp. s.15-17.
- [117] GDL Reference Guide, 2004. [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.math.u-szeged.hu/~nagy/Oktatas/PDF/gdl_ref_guide.pdf. [Erişildi: 07 01 2019].
- [118] Geometric Description Language, [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.wikipedia.com/en/Geometric_Description_Language. [Erişildi: 25 02 2019].
- [119] M. Johansson, M. Roupé ve M. V. Tallgren, “From BIM to VR,” ECAADE, Newcastle, 2014.
- [120] J. Kieferle ve U. Woessner, “BIM Interactive - About Combining BIM and Virtual Reality,” ECAADE, Vienna, 2015.
- [121] A. Nandavar, F. Petzold, J. Nassif ve G. Schubert, “Interactive Virtual Reality Tool For Bim Based On Ifc,” CAADRIA, Hong Kong, 2018.
- [122] C. Tonn, F. Petzold ve D. Donath, “Put on your glasses and press right mouse button AR-based user interaction using laser pointer tracking,” AMIT, cilt 1, no. 6, 2009.

- [123] J. Landrieu, Y. Nugraha, C. Pere, F. Merienne, S. Garbaya ve C. Nicolle, "Bringing Building Data on Construction Site for Virtual Renovation Works," *International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems*, cilt 14, no. 1, pp. 737-747, 28 Jan 2013.
- [124] H. Bae, M. Golparvar-Fard ve J. White, "High-precision vision-based mobile augmented reality system for context-aware architectural, engineering, construction and facility management (AEC/FM) applications," *Visualization in Engineering*, cilt 1, no. 3, 2013.
- [125] M. Chu, J. Matthews ve P. E. D. Love, "Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study," *Automation in Construction*, cilt 85, p. 305–316, 2018.
- [126] T. Messadi, W. E. Newman, D. Fredrick, C. Costello ve K. Cole, "Augmented Reality as Cyber-Innovation in STEM Education," *Journal of Advances in Education Research*, cilt 4, no. 2, pp. 40-51, 2019.
- [127] Ringo Doors, [Çevrimiçi]. Erişim: https://play.google.com/store/apps/details?id=de.schwering.ringo&hl=en_US. [Erişildi: 07 02 2019].
- [128] OPO Oeschger: Visualising door handles th Augmented Reality, [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.ergon.ch/dam/jcr:ebb6e8f2-fe6f-472a-8cc1-7832252874af/2018_Referenz_OPO-Oeschger_EN.pdf. [Erişildi: 07 02 2019].
- [129] NBS National BIM Library, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.nationalbimlibrary.com/en/assa-abloy/double-metal-riser-door/?lo=en>. [Erişildi: 15 02 2019].
- [130] NBS National BIM Library, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.nationalbimlibrary.com/en/assa-abloy/single-metal-riser-door/?lo=en>. [Erişildi: 15 02 2019].
- [131] Speedcord Roller Door, [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.bimobject.com/tr/recorduk/product/speedcord_rollerdoor. [Erişildi: 05 01 2019].
- [132] ESA - Single-acting space-saving folding door, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.bimobject.com/en/ellipse/product/esa>. [Erişildi: 05 02 2019].
- [133] ECLISSE Luce Unico, [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.bimobject.com/en/eclisse/product/luce_unico. [Erişildi: 05 02 2019].

- [134] 1500 Three-Wing Manual Revolving Door, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.bimobject.com/en/stanleyaccesstechnologies/product/stanley-access-1500series>. [Erişildi: 05 02 2019].
- [135] Bim Object, [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.bimobject.com/tr/jeld-wen-northern-europe/product/jw_ext_door_classic_c1881_single. [Erişildi: 15 02 2019].
- [136] Bim Object, [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.bimobject.com/tr/jeld-wen-northerneurope/product/jw_ext_door_function_f2090_w22_veneered_single. [Erişildi: 15 02 2015].
- [137] Single Metal Riser Door, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.nationalbimlibrary.com/en/assa-abloy/single-metal-riser-door>. [Erişildi: 15 02 2019].
- [138] Model Targets, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://library.vuforia.com/features/objects/model-targets.html>. [Erişildi: 05 05 2019].

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: vtr.svcn@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. S. Vatansever Kurtuluş ve T. Tong, “Mimarlıkta Kapı ve Pencere Bileşenlerinin Yapı Bilgi Sistemleri Destekli Artırılmış Gerçeklik Uygulaması,” International 4th European Conference on Science, Art & Culture ECSAC, Antalya, 2019

Kitap Bölümleri

1. S. Vatansever Kurtuluş ve T. Tong, “Mimarlıkta Kapı ve Pencere Bileşenlerinin Yapı Bilgi Sistemleri Destekli Artırılmış Gerçeklik Uygulaması,” Mimarlık Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler, L. G. KAYA, Ed, Ankara: Gece Akademi, 2019.