

# ENDÜSTRİ 4.0. DÖNEMİNDE DİJİTAL TEKNOLOJİLERİN MİMARİ TASARIMA ETKİSİ



Yazar

**Eİlf ATICI TEKTAŞ**  
**FADİME DİKER**



## **BİDGE Yayınları**

# ENDÜSTRİ 4.0. DÖNEMİNDE DİJİTAL TEKNOLOJİLERİN MİMARİ TASARIMA ETKİSİ

**Yazar:** Elif ATICI TEKTAŞ & Fadime DİKER

**Editör:** Elif ATICI TEKTAŞ

**ISBN:** 978-625-372-663-8

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 02.06.2025

BİDGE Yayınları

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

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

[www.bidgeyayinlari.com.tr](http://www.bidgeyayinlari.com.tr) - [bidgeyayinlari@gmail.com](mailto:bidgeyayinlari@gmail.com)

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

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



## İçindekiler

Önsöz .....	4
Giriş.....	5
1.Endüstri 4.0 Dönemi .....	6
2.Mimarlıkta Dijital Teknolojiler .....	8
3.Sanal Gerçekliğin Mimari Tasarıma Etkisi .....	9
3.1.Twinmotion .....	14
3.2.Unreal Engine .....	16
4.Yapay Zekanın Mimari Tasarıma Etkisi.....	18
Sonuç.....	35
Kaynakça.....	37

## **Önsöz**

Yapılan bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde Bina Bilgisi programında görev yapmakta olan Doktor Öğretim Üyesi Elif Atıcı Tektaş ve Doktor Öğretim Üyesi Fadime Diker tarafından yazılmıştır. Yazarların doktora tez çalışmaları, dijital teknolojiler, sanal gerçeklik ve yapay zekâ üzerine olduğu için bu çalışma devamında gelecek kitabın birinci aşamasını oluşturmaktadır.

## **Giriş**

Dünyanın tamamını birçok yönden etkileyen sanayi devrimi ile birlikte tüm sektörlerde hızlı bir değişim ve dönüşüm yaşanmıştır. Sanayi devrimin ortaya çıkması ve gelişmesiyle birlikte ortaya çıkan Endüstri dönemi, teknolojinin de zaman içerisinde gelişmesiyle birlikte farklı açılımlar ortaya çıkarmıştır. Günümüzde dijital teknolojilerin gelişmesi birçok sektörde kendisini ortaya koymaktadır.

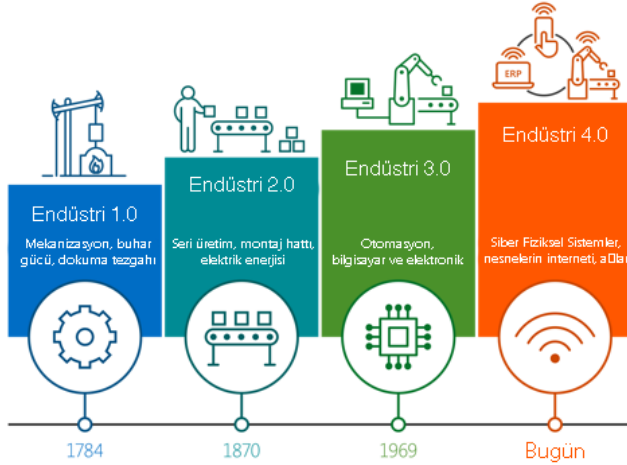
Etkin bir şekilde dijital teknolojinin etkilerinin görüldüğü alanlardan birisi de mimarlıktır. Mimarlığın çok farklı çalışma alanları bulunmaktadır. Tasarım aşamasından üretim aşamasına kadar farklı özelleşmiş dallara ve uzmanlık alanlara ayrılmaktadır. Dijital teknolojiler tüm bu alanlarda kendisinin kullanılmasına fırsat vermektedir. Sadece uzmanlık alanlarında değil, tüm dünyada mimarlık eğitim aşamasında dijital teknolojiler kullanılır bir hal almıştır. BIM (Building Information Modeling) bu teknolojilerin kullanılmasının ön ayağını oluşturmaktadır. Mimari eğitimde, temel olan mimari tasarım stüdyolarında dijital teknolojiler, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve yapay zekanın kullanılması farklı bakış açılarını ortaya koyarken öğrencilerin yaptıkları tasarımların hem ait olduğu doku içerisinde hem de kent içerisinde nasıl bir boyut kazandıklarını görmeleri açısından önem arz etmektedir. Ayrıca yapılan tasarımlardaki hataların daha hızlı çözümlenebilmesi ve daha sağlıklı bir hal alması için dijital teknolojiler bir gereklilik olarak varlığını sürdürmektedir.

## 1.Endüstri 4.0 Dönemi

Toplumsal yaşam için önemli bir devrim olan ve günümüzde de etkilerini gördüğümüz sanayi devrimi 18. yüzyılda başlamış halen daha gelişimini sürdürmektedir. 1780'lerde makineleşme ve otomasyonla birlikte Endüstri 1.0 dönemi başlamıştır. Tarımın geliştiği dönem olmuştur. Devamında gelen Endüstri 2.0'ın temel amacı ise seri üretim oluşturmak olmuştur. Çeliğin seri üretimiyle demir yolu gelişmiştir. Dijitalleşme süreci ile Endüstri 3.0 dönemi başlamıştır. Bu teknolojilerin hızla gelişmesi ve nesnelerin interneti olarak başlayan Endüstri 4.0 dönemi sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve bilişim gibi kavramların öne çıktığı bir dönem olarak hayatımıza girmiştir. (Tonga ve Tonga, 2022).

Endüstri 4.0 dönemine kadar sürecin genel özet diyagramı Şekil 1.'de ifade edilmiştir.

Şekil 1. Endüstri dönemleri



Kaynak, (Zeneks, 2023)

Genel olarak ifade edildiğinde sanayi devriminden günümüze kadar farklı değişim ve dönüşümlerle birlikte günümüze kadar bilgi aktarımı gelmiştir. Endüstri 4.0 döneminde yeni nesil

yazılım ve donanımlar dikkat çekmektedir. Bu dönemin sağladığı avantajlar bulunmaktadır. Bunlar (Zeneks, 2023):

- Hızlı üretim imkanının oluşması
- Hatalar için müdahalenin daha kolay bir hale gelmesi
- Üretim verimliliği ve niteliği yüksek ürünlere odaklanması
- Sistemin sağladığı esneklik ile teknik değişikliklere gidilebilecek olması
- Verilerin işlenmesinde maliyetin düşürülmesi

Endüstri dört 4.0 döneminin getirdiği teknolojiler mimari alanında; mikro ve makro ölçekte kendisini göstermekte ve sorunlara çözüm önerisi getirmektedir. Bu bağlamda enerjinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi, sürülebilir çevrelerini oluşturulması, yapım tekniklerinin hızlanması ve zaman kazanılması, yapıların taşıyıcı sistemlerinin getirdiği problemlerin teknolojilerle çözümü, nano teknolojinin getirdiği avantajlar ve çevreye duyarlı tasarımlarda endüstri 4.0 etkileri olumlu bir şekilde görülmektedir. Akıllı şehirlerin ve çevresinin oluşturulmasında ve kent tasarımının birçok gerekli ihtiyacında endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojiler kullanılmaktadır. Diğer taraftan bina bilgisi modelleme teknolojisinde önceden kullanılan çizim programlarına ek olarak görselleştirme ve simülasyon yapılabilmesi ile birlikte tasarımın oluşturduğu problemlerin çözülebilmesi daha kolay bir şekilde gerçekleşmektedir. Yapay zekâ sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklikle birlikte mimar tasarımın uygulamaya geçmeden önce oluşturulan sanal ortamda kentsel mekân içerisindeki bağlamın görülmesi ile tasarım problemlerini minimuma indirmek önemli olmuştur (Sarıcıoğlu, İlerisoy, & Soyluk, 2021). Dolayısıyla Endüstri 4.0 döneminin mimari alanda kullanılması ve bu kullanımda dijital teknolojilerin varlığı önem arz etmektedir.

## 2.Mimarlıkta Dijital Teknolojiler

Son yıllarda teknolojinin her alanda gelişmesiyle birlikte dijital teknolojiler hızlı bir ivme kazanmıştır. Dijital teknolojilerin hızla değişmesi ve gelişmesi birçok disiplini etkileyen bir durum haline gelmiştir. Bu disiplinlerden birisi de mimarlıktır. Mimarlığın birçok evresinde neredeyse hemen hemen dijital teknolojiler kullanılır hale gelmiştir. BIM (Building Information Modeling) teknolojileriyle birlikte diğer çeşitli teknolojiler mimarlığın da değişmesine ve gelişmesine katkı sağlamaktadır. Mimarlık eğitiminde, mimari projelerin üretildiği tasarım stüdyolarında, uygulama aşamasında dijital teknolojiler kendisini göstermektedir. Bu alanlarda; son yıllarda sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve yapay zekanın kullanımı öne çıkan rollerdir. BIM teknolojileriyle birlikte hız kazanan mimarlık bu teknolojilerin sanal ortama aktarılmasıyla farklı alanlarda yeni açılım göstermiştir. Sanal ve artırılmış gerçeklik özellikle tarihi alanların geleceğe aktarılmasında kullanılırken; yapay zekâ mimarının birçok aşamasında kendisini göstermektedir.

Dijitalleşme, verimi artırmak için dijital teknolojilerin kullanılmasıyla birlikte süreci etkin bir şekilde kullanmayı sağlamaktadır. Dijitalleşme süreci gelecek planlaması için önemli ve stratejik yönetim için kritiktir (Aktürk, 2021).

Mimarlıkta kullanılan dijital teknolojiler ve Endüstri 4.0 döneminin getirdiği teknolojilerin birbiriyle olan ilişkisi Tablo 1.'de ifade edilmiştir.

Tablo 1. Mimarlık teknolojileri ve Endüstri 4.0,

ENDÜSTRİ 4.0 PRENSİPLERİ	MİMARLIK TEKNOLOJİLERİ						
	Akıllı Şehir ve Çevreler	3D Yazıcı	Otonom Robot ve Drone Kullanımı	BIM Kullanımı	Yapay Zekâ ve Artırılmış Gerçeklik	Nano-Teknoloji Kullanımı	Diğer Teknolojilerin Kullanımı
Gerçek zamanlı veri yönetimi ve analitiği	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Birlikte çalışabilirlik	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Sanallaştırma				✓	✓		
Merkezi olmayan karar yapıları	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Çeviklik	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hizmet odaklılık	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
İş süreçlerinin entegrasyonu	✓	✓	✓	✓	✓		✓

Kaynak, (Sarıcıoğlu, İlerisoy, & Soyuluk, 2021)

Tablo 1.'e göre mimarlıkta kullanılan dijital teknolojilerin Endüstri 4.0 döneminin prensipleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bu ikili etkileşimin sağlıklı bir şekilde yürüyebilmesi için internet ve internet üzerindeki aktarımın güvenli olması için siber yazılımlar önem kazanmaktadır.

Son dönemlerde mimari alanda kültürel ve kolektif belleğin gelecek kuşaklara aktarılması bağlamında mimarlık alanında dijital teknolojiler oldukça yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü bu teknolojiler kültürel miras değeri olan belgelerin kayıt altına alarak kullanıcı erişimine sunma fırsatı sağlamaktadır (Atıcı Tektaş & Öztürk, 2024). Bu teknolojiler arasında sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik önemli bir role sahiptir.

### 3.Sanal Gerçekliğin Mimari Tasarıma Etkisi

Zaman içerisinde gelişen teknolojilerle birlikte sanal gerçeklik birçok disiplin içerisinde kendisini göstermektedir. Bilgisayar tarafından oluşturulmuş sanal ortamlara kullanıcıları

taşıyan bir sistemdir. Sanal bir dünyaya adım atarak, sadece ekrana bakmaktan ötesine taşıyan farklı bir yaşam deneyimi sunan bir teknolojik gelişmedir. Mimarlık alanında da kendisini gösteren sanal gerçeklik üç boyutlu modelin kendisini geliştirdiği yeni bir evrendir. Bu bağlamda, kavramsal görselleştirmeden Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) entegrasyonuna, inşaat planlaması ve güvenliğinden stres testi ve yapısal analize ve tarihi korumadan sürdürülebilir tasarım analizine kadar sanal gerçeklik mimarlık alanında kendisini göstermektedir. Bu alanlar şu şekilde ifade edilebilir (Çamuşoğlu, 2024):

**Kavramsal görselleştirme:** Tasarımların üç boyutlu modellenmesinden sonra, modelin içinde gezinme fırsatı sunmaktadır.

**İnşaat Planlaması ve Güvenliği:** bir binanın inşaat sürecinde oluşabilecek tehlikeleri ve çevresel faktörlerin buna bağlı olarak etkilenmesinin sanal gerçeklik boyutunda deneyimlenmesi birçok maddi zararın önüne geçilmesini sağlamaktadır.

**Sürdürülebilir Tasarım:** Sanal gerçeklik simülasyonları sayesinde binaların enerji tüketimi, gün ışığı, havalandırma, termal konfor gibi performanslarını gözlemlemek mümkün hale gelmiştir.

**Tarih ve Kültürel Mirasın Korunması:** malzemelerin ve yapıların zamanın koşullarına yenik düşmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bu sebeple sanal gerçeklik oldukça önem kazanan bir boyuttur. Bunun yanı sıra fiziksel olarak ulaşılamayan tarihi yerleri ve simge yapıları ziyaret edebilme fırsatı sunmaktadır.

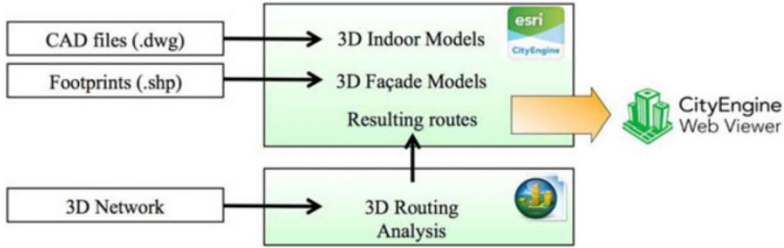
Sanal gerçeklik teknolojileri, gerçek dünyayı simüle eden ve deneyimleme fırsatı oluşturan teknoloji tabanlı bir sunum tekniğidir. Yapay zekâ, sanal gerçeklik uygulamalarının kullanılan birçok teknolojinin temelinde yer almaktadır (Ertürk & Değirmenci, 2023, s. 25).

Sanal ve gerçekliğe dair ilk yaklaşımlar 1950’li yıllarda, sinematografide kendini göstermiş olmasına rağmen, ilk tanım 1997’de Azuma tarafından ortaya çıkmıştır. 1957’de Sensorama simülatorünü Morton Heiling, görüntü, ses, titreşimler ve kokularla birlikte simüle etmiştir. Artırılmış gerçeklik tanımı ise uçak bakım işleri ile ilgilenen Tom Caudell tarafından 1990 yıllarda ortaya atılmıştır (Cirulis & Brigmanis, 2013, s. 73).

Dijital teknolojilerin hızla gelişmesiyle birlikte sana gerçeklik birçok disiplinde ortaya çıkarken eğitim alanında boy göstermeye başlamıştır. Mimari eğitimde de kullanılması bu alanlardan birisidir. Mimarlık eğitiminde farklı anabilim dallarında kullanılan sanal gerçeklik uygulamaları öğrencilerin derslere aktif katılımına ve öğrenmenin daha etkili olarak gerçekleştirilebilmelerine olanak tanımaktadır (Özdoğan & Korkmaz, 2022). Yapılan araştırmalar ülkemizde, son yıllarda mimari eğitimde sanal gerçeklik teknolojilerinin ve dijital oyunların kullanımında artış olduğunu ortaya koymaktadır (Dede, Yaşa, & Ersoy, 2024, s. 10). Barselona Mimarlık Okulu’nda yapılan bir araştırmada, iki boyutlu çalışmaya üçüncü boyutun da eklenmesiyle birlikte öğrencilerin daha verimli çalıştıkları ve mekânsal kavrayışın arttığını bir anket çalışmasıyla ortaya koymuşlardır (Fonseca, Villagrasa, Martí, Redondo, & Sánchez, 2013, s. 1342). Yapılan başka bir çalışmada kentsel ölçekte yapılan tasarımların sanal gerçekliğe aktarılması için öncelikle üç boyutlu modellemenin yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bunun için; 3DMax, Rhyno, Sketchup, Photoshop, vb. modelleme araçlarını kullanılarak yapıldığı belirtilmiştir. Öğrencilerin motive olması ve çalışmalarını kent içerisinde görebilmeleri için bu sanal gerçeklik teknolojilerinin etkili olduğunu savunmaktadırlar. (Fonseca, ve diğerleri, 2017, s. 3,6). Coğrafi bilgi sistemleri de bu alanda oldukça yaygın kullanılmaktadır. Konumsal verileri işleyerek iki boyutlu verileri üçüncü boyuta aktarmayı sağlamaktadır. City Engine bu bağlamda

öne çıkan bir programdır. Cephe çalışmaları, doku işleme, sekans vizyonuyla birlikte analiz ve nitelik veri tabanında istatistiksel işleme sağlamaktadır (Badwi, Ellaithy, & Youssef, 2022, s. 1). City Engine veri işleme ve model oluşturma şeması Şekil 2’de ifade edilmiştir.Şekil 2’de görüldüğü üzere, BIM teknolojisini kullanarak farklı bir veri işleme yöntemi ortaya koymaktadır (Kim & Wilson, 2015, s. 183).

Şekil 2. City Engine veri işleyiş şeması



Kaynak, (Kim & Wilson, 2015, s. 183)

Sanal gerçeklik, sanal mekân içerisinde kullanıcıların farklı deneyimler yaşamasını sağlamaktadır. Sanal mekân tasarımlarında mimarların etkin bir rolü bulunmaktadır. Mimari tasarımın sanal dünyalar olan ilişkisinde önceden ortaya çıkan “Scyberspace” kavramı çıkış noktasını oluşturmaktadır. Mimarlar, sanat, estetik ve kurgu ile birlikte mekân tasarımına yön verirken ortaya çıkan sanal mekanların mimarisi ile deneyim açısından zenginlik meydana gelmektedir (Dede, Yaşa, & Ersoy, 2024).

Mimari tasarımın ilgili aşamalarına destek sağlamak için prototip olarak geliştirilen bireysel araçlar şu şekillerde ifade edilebilir (Tonn, Petzold, Bimber, Grundhöfer, & Donath, s. 45):

- Mevcut planların gerçekle olan ilişkisinin incelenmesi için; gerçek mekâna karşı oluşturulan modelin doğrulanması ve görüntü detayı vermesi için oluşturulan model sistemi sağlar.

- Sanal gerçeklik deneyiminin gerçekleşeceği mekân için, tasarım çeşitliliğinin artması ve hızlanmasına yönelik teknolojik desteğin ortaya konulması sağlar. Oluşturulan modelde, yeni bilgilerin üst üste binmesini ve bu durumda eski planın iptal edilmesini sağlar. Mekânın tasarlanmasında işlevleri ve yerinde simülasyonları kategorize etme imkânı oluşturur.
- Tasarım amaçlarına göre ce farklı modellemelerle birlikte farklı sunum teknikleri ve sunumu için oda köşelerinde kurulan ekipmanlarla birlikte düşük maliyetli CAVETM benzeri sürükleyici stereoskopik projeksiyon desteği sunmaktadır.

Tasarım alanında oldukça etkin kullanılan sanal gerçeklik uygulamalarında tasarımda olduğu gibi görselleştirme başat bir rol üstlenmektedir. Görselleştirme ve sanal gerçeklik arasındaki kesişim görsel duyuyu ön plana çıkaran bir iletişim oluşturmaktadır. Görselleştirme olarak sanal gerçeklikte deneyim esastır ve deneyimin vurgulandığı bir simülasyon meydana gelmektedir (Portman, Natapov, & Fisher-Gewirtzman, 2015, s. 377).

Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik mimari alanda özellikle arkeolojik alanlarda kendisini göstermektedir. Arkeolojik alanlarda meydana gelen deneyim için üç esas benimsenmektedir (Prieto, Castaño-Perea, & Arroyo, 2017, s. 313):

- Harap olmuş ya da büyük ölçüde değişime uğramış yapılan sanal ortamda yeniden inşa edilmesi,
- Rekreasyonda arkeolojik parçaların eksik ve hasarlı parçalarının görülmesi,
- Arkeolojik alanın oluşturulduğu sanal mekânda deneyim alanının olduğu yapı ve çevresinin bağlamı ve simülasyonun oluşturulmasıdır.

Sanal gerçeklik deneyimi başa ve ellere takılan teknik donanımlar sayesinde gerçekleşmektedir. Bu donanımların bir rneği Şekil 3’de gösterilmiştir. Birçok markaya ait olan sanal gerçeklik gözlüklerinin çeşitli özellikleri, benzerlikleri ve farklılıkları bulunmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu gözlükler de zamanla gelişim göstermektedir.

*Şekil 3 Sanal gerçeklik gözlüğü donanımı rneği*



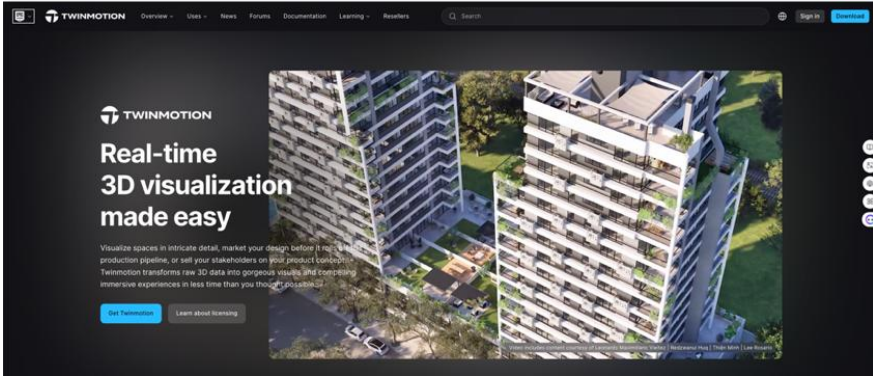
*Kaynak, (Bürümlü, 2023)*

### **3.1.Twinmotion**

Mimari projelerin dijital paylaşımını artırmak için sanal gerçeklik platformları kullanılmaktadır. Bu platformlardan Unity, Blender, Unreal Engine ve Twinmotion gibi farklı uygulamalar ön plana çıkmaktadır (Banfi, 2021). EpicGames platformu dijital ortamda dünya lğinde bilinen ve Twinmotion ile UnrealEngine programlarıyla sanal gerçeklik ortamı sağlayan iki yazılımı bulunmaktadır. Mekanları ayrıntılı bir Şekilde görselleştirerek, tasarım konseptinin oluşturulmasını sağlayan Twinmotion, üç boyutlu verileri sanal gerçeklik ortamında deneyimleme imkânı sağlamaktadır (EpicGames, 2025). Fransız Abvent Őirketi tarafından

geliştirilen Twinmotion, mimar ve tasarımcıların modellerle etkileşimini artırmayı amaçlamaktadır (Räinä, 2019). Twinmotion'ın Unreal Engine'e göre daha basit bir ara yüzü varken; Unreal Engine sanal gerçeklik ortamı için daha çok seçenek sunmaktadır (Sjölén, 2022). Twinmotion, Unreal Engine'in bir uzantısı olarak çalışmaktadır. %100 uyumlulukla Unreal Engine oyun motoruna, verileri aktarma olanağı sunmaktadır (Iglesias, 2021). BIM (Building Information Modeling) programlarıyla uyumlu çalışmaktadır. Hava şartları, zaman ayarı ve karakter eklenti seçenekleri sunmaktadır (Jehimof, 2019). Twinmotion, EpicGames'e bağlı internet sitesi üzerinden indirilmektedir. İnternet sitesinde görünümü Şekil 4'te ifade edilmiştir.

*Şekil 4 Twinmotion, internet görünümü*



Mimari tasarımı ya da herhangi bir üç boyutu oluşturulan tasarım Twinmotion programına aktarılabilir. Modelin detaylandırılması için geniş bir malzeme kütüphanesine sahiptir. Bu kütüphaneden modelin dokuları ve üzerindeki detayları işlerken, çevresinin tasarlanması için de birçok olanak sunan kütüphanesi bulunmaktadır. Ayrıca zaman, ışık ve mevsimsel şartlar eşliğinde sanal gerçeklik deneyimi sunmaktadır. Bu deneyim için sanal gerçeklik gözlüğü gerekmektedir.

Twinmotion'da yeni bir sahne açınca arayüz Şekil 5'teki gibi görünmektedir. Alt kısımdaki import kısmından üç boyutlu modelinizi içeri aktarabilmektesiniz. Dokular ve her türlü detay için verilerin bulunduğu kütüphane sol tarafta görünmektedir.

*Şekil 5 Twinmotion yeni sahne görünümü*



### 3.2.Unreal Engine

Unreal Engine de Twinotion gibi EpicGames'e bağlı daha gelişmiş ve bilgisayar oyunları tasarlamak için kullanılan bir oyun motorudur. Unreal 1998 ilk versiyonu olarak ortaya çıkmıştır (Yıldız & Kaya, 2021). Bu oyun motoru birçok platformu destekleyen ve C++ yazılım kodlama diliyle geliştirilebilir seçenekler sunmaktadır. Sadece bu kodlama diliyle değil aynı zamanda Unreal Engine kendi programının bünyesinde barındırdığı Blue Print ile kodlamaya imkân tanımaktadır. Sadece oyun tasarımında değil, üç boyutlu modeller, animasyonlar, doğrusal film ve televizyon, eğitim, simülasyon ve mimari görselleştirme için de kullanılmaktadır (Susi, 2022).

Sketchup'ta geliştirilen bir model Twinmotion'a oradan da Unreal Engine'da aktarılabilir. Unreal Engine birçok programdan veri alabilen geniş çaplı bir uygulamadır. Dijital oyun tasarımları için

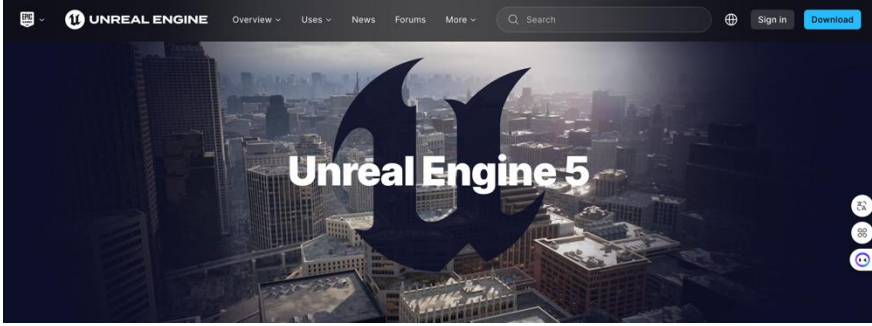
oluşturulan karakter tasarımları ve eklentileri ile birlikte Unreal Engine’de deneyim fırsatı sunarken sanal gerçeklik yanıyla da sürükleyici bir deneyim fırsatı oluşturmaktadır.

Günümüzde Twinmotion gibi Unreal Engine’de sunduğu geniş veri ve doku kütüphanesi sayesinde, mimarlık alanında üç boyut tasarım için etkileyici render alma imkânı sağlamaktadır.

Diğer taraftan mimarlık eğitminde, öğrencilerin tasarladıkları yapıların ait oldukları bağlam içerisinde nasıl ilişki kurduklarını görmeleri için bu tür programlar etkili olmaktadır.

Unreal Engine’de Twinmotion gibi EpicGames’e bağlı internet sitesi üzerinden indirilmektedir. İnternet sitesinde görünümü Şekil 6’te ifade edilmiştir. Kurulacak sürümle ilgili bilgisayar gereksinimleri sitede belirtilmektedir.

*Şekil 6 Unreal Engine, internet görünümü*



*Unreal Engine ara yüzü Twinmotion’a göre daha fonksiyonludur. Arayüz örneği*

Şekil 7’de ifade edilmiştir. Alt kısımda katmanların oluşturulacağı content bölümü bulunmaktadır. Sağ sütundaki bölümde özelleştirmeler yapılmaktadır. Soltaraftaki sütun ise tasarım aşamasında yardımcı olan kısımlardan birisidir. Ekranda görülen karaktere animasyon eklenerek, oyun modunda kullanılabilir.

Şekil 7 Unreal Engine arayüz görünümü<sup>1</sup>



#### 4.Yapay Zekânın Mimari Tasarıma Etkisi

Zekâ ve akıl birbirinden farklı kavramlar olmasına rağmen genellikle birbirleriyle karıştırılan kavramlardır. Akıl insanın yaşamı boyunca değişim gösterilebilen bir yetenek olduğu için bilgisayar veya yazılım yoluyla taklit edilmesi zor iken doğuştan gelen zekâ ise bilgiyi kavrama, öğrenme ve kullanma yeteneği olduğu için eğitim aracılığıyla elde edilen bilgi birikimi ve deneyim ile geliştirilebilen bir yetenektir (Elmas, 2003; Yılmaz, 2020). Zekâ, ilk bakışta oldukça geniş kapsamlı görünen bir problem alanında, arama alanını daraltarak gerekli bilgileri toplama ve analiz etme yoluyla hızlı ve etkili çözümler bulma gücüdür (Lenat & Feigenbaum, 1987). Dolayısıyla makinelerin bir problem karşısında problemi anlayabilme ve geçmiş deneyimlerinden öğrenerek problemi çözebilmesi için zekânın yeteneği modellenmiştir.

<sup>1</sup> <https://www.velodimaya.it/ue4-classe-oggetto-actor/>, Erişim tarihi:01.05.2025

Yapay zekâ bilgisayar sistemleri aracılığıyla insanların tecrübe ve deneyimlerinden faydalanarak “algılama, öğrenme, akıl yürütme, problem çözüme, karar verme gibi” insan zekasının çeşitli bileşenlerini makinelerde gerçekleştirmeye hedefleyen multidisipliner bir alandır. Yapay zekanın kapsamı ve temelleri “felsefe (milattan önce 428 tarihinden itibaren), matematik (8. Yüzyıldan itibaren), psikoloji (1879 tarihinden itibaren), bilgisayar mühendisliği (1940 tarihinden itibaren) ve dilbilim (1957 tarihinden itibaren)” gibi çeşitli disiplinlere dayanmaktadır (Russell & Norvig, 1995). Yapay zekanın genel alt dalları arasında “bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, uzman sistemler, doğal dil işleme, bilgisayarla görme ve robotik” gibi çeşitli yöntemler yer almaktadır.

Yapay zekanın ilk kavramsal çerçevesi 1950 yılında Alan Turing’in makinelerin düşünebilme potansiyelini araştırdığı çalışmaya dayanmaktadır (Turing, 1950). Ancak akademik olarak resmi çıkışı 1956 yılında John McCarthy'nin öncülüğünde gerçekleştirilen Dartmouth Konferansı ile olmuştur. O zamandan itibaren, yapay zeka çok çeşitli ve farklı disiplinlerde hem teorik hem de uygulamalı olarak araştırılmış ve bu süreçte teorik ve pratik açıdan kayda değer ve yenilikçi sonuçlar elde edilmiştir.

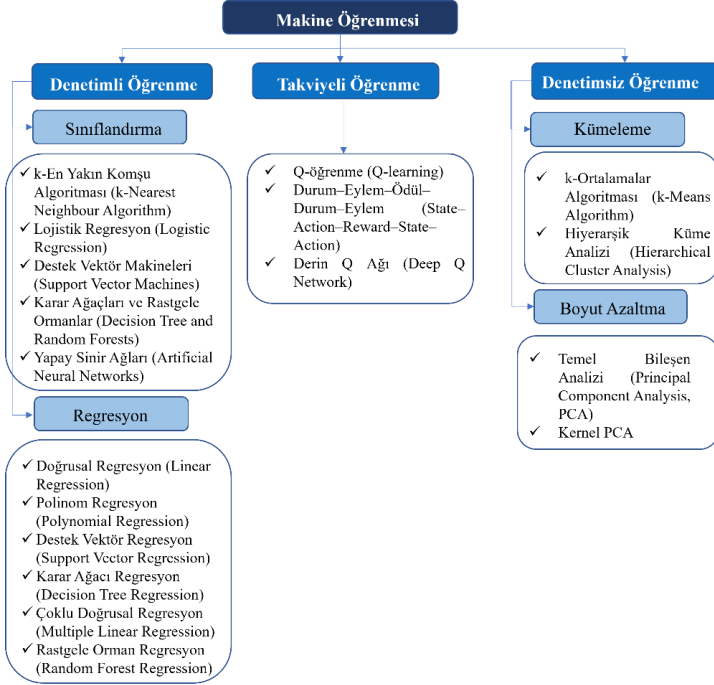
Makine öğrenmesi geleneksel programlama yöntemleri kullanmadan matematiksel ve istatistiksel işlemler kullanarak bilgisayarın çıkarımlar yapmasını ve çeşitli algoritmalar ile öğrenme yeteneğini kazanmasını sağlayan bir yapay zekâ yöntemidir. Makine öğrenmesi, deneyimle otomatik olarak gelişen bilgisayar programlarının nasıl oluşturulacağı sorusuyla ilgilenir (Mitchell, 1997). Makine öğrenmesi problemlerine çözüm üretmek amacıyla genel olarak üç öğrenme türünü temel almaktadır:

- ✓ Denetimli öğrenme (güdümlü öğrenme, supervised learning)

- ✓ Denetimsiz öğrenme (güdümsüz öğrenme, unsupervised learning)
- ✓ Takviyeli öğrenme (pekiştirmeli öğrenme, reinforcement learning)

Denetimli öğrenme, etiketli verileri kullanarak verilerin giriş özellikleri ve çıktıları arasındaki ilişkiyi öğrenmesine ve bu öğrendiği bilgiler doğrultusunda bir fonksiyon oluşturmasına dayanan bir öğrenme türüdür. Bu öğrenmede amaç gerçek dünya verilerinden doğru çıktıları tahmin edebilen modeller oluşturmaktır. Denetimsiz öğrenmede modellerde istenen ilişkiler veya çıktılar için önceden tanımlı hedefleri yoktur. Bu yüzden amaçları etiketsiz verileri keşfetmek, aralarındaki gizli ilişkiyi, eğilimleri ve kalıpları öğrenmektir. Denetimsiz öğrenme veriler hakkında daha az bilgiye sahip olduğu için denetimli öğrenmeye göre daha karmaşık algoritmalarla çalışır. Takviyeli öğrenmede ise çevresinden elde ettiği etkileşimler doğrultusunda en iyi sonuçları elde etmek için eğitilen bir öğrenme türüdür. Verileri işleyen bir ödül ve ceza paradigması bulunmaktadır. Bu sistemde her eylemin geri bildirimleri doğrultusunda hareket edilerek yapılan hatalardan çıkarımlar yapılır ve en iyi öğrenme yolunu kendi keşfeder. Çıkarımlardan en düşük hata oranı ile nihai sonuca ulaşmak hedeflenir. Genel olarak denetimli öğrenme “regresyon ve sınıflandırma” işlemleri için denetimsiz öğrenme ise “kümeleme ve boyut azaltma” işlemleri için kullanılmaktadır. Bu üç öğrenme türüne ait yöntemler ise Şekil 8.’de gösterilmektedir.

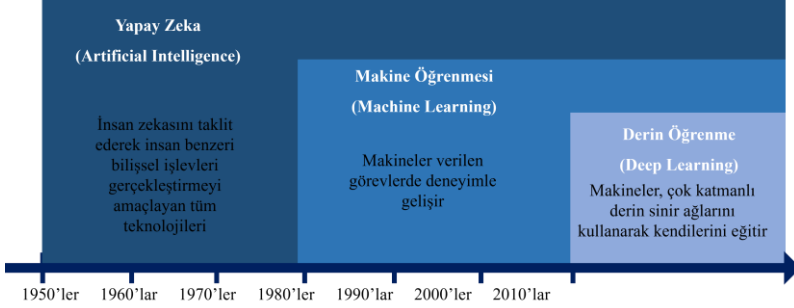
Şekil 8. Öğrenme türleri ve yöntemleri



Yapay zekâ, insan zekasını taklit ederek insan benzeri bilişsel işlevleri gerçekleştirmeyi amaçlayan tüm teknolojileri kapsar. Makine öğrenmesi yapay zekanın bir alt dalı olarak, bu kapsamda verilerden öğrenen bir yöntemdir. Derin öğrenme ise makine öğrenmesinin, yüksek boyutlu ve karmaşık verilerden çok katmanlı yapay sinir ağları aracılığıyla temsil öğrenimi (representation learning), gerçekleştiren bir alt dalıdır (Hinton & Salakhutdinov, 2006). Temsil öğrenme sayesinde makine öğrenme yöntemlerin aksine derin öğrenmede insan müdahalesine gerek duymadan veri temelli çıkarımlar yapabilmektedir. Ayrıca geleneksel makine öğrenme yöntemlerinden farklı olarak resim, video, ses ve metinlere ait verilerden öğrenebilmektedir. Kısaca özetlenirse yapay zekâ, makinelerin zeki davranmasını amaçlayan genel alan iken, makine

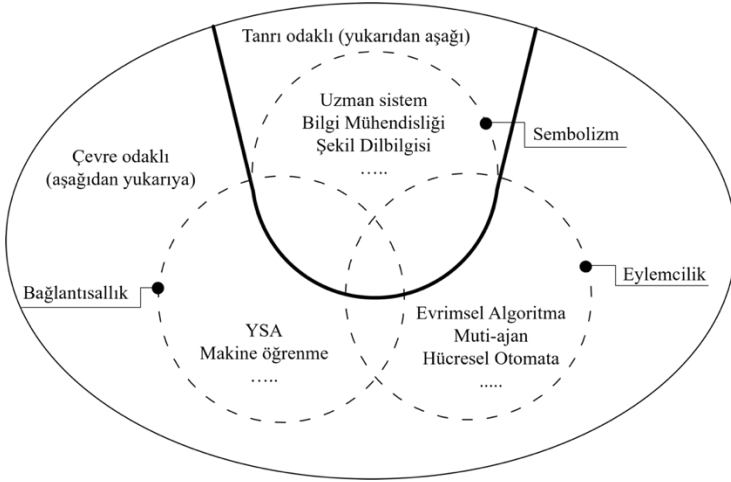
öğrenimi bu zekayı verilerle öğrenme yoluyla gerçekleştiren bir alt dal, derin öğrenme ise makine öğreniminin çok katmanlı yapay sinir ağlarıyla çalışan daha spesifik bir alt alanıdır (Şekil 9.)

*Şekil 9. Derin öğrenme, makine öğrenmesi ve yapay zekâ arasındaki ilişki*



Wei (Wei, 2018) Sembolizm, Bağlantıcılık, Davranışçılığa dayanan yapay zeka ile mimari tasarımın kesişmesini anlamak için bir düşünme sistemi kurmayı amaçlayan bir mimari akıllı tasarım “Yapay zeka tasarımı (Artificial Intelligence Design –AID)” modeli önermektedir ve bu modelde “Tanrı odaklı” yaklaşım tasarımı makro düzeyde yönlendirme sağlayarak tasarımı biçimlendirirken “Çevre odaklı” yaklaşım ise bağlamsal etkenlerle tasarımın esnek yapıların ortaya çıkmasını ve tasarım çeşitliliğinin oluşmasını sağlar (Şekil 10.)

Şekil 10. Yapay zekâ tasarım modeli



Kaynak: Wei, L., 2018, July. *AI Concepts in Architectural Design*. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 392, No. 6, p. 062016). IOP Publishing.

Mimari tasarımda yapay zeka, üstten kontrolle mühendislik güvenilirliğini sağlarken, alttan gelen etkileşimle yaratıcı çeşitliliği ortaya çıkararak sanatı ve mühendisliği birleştirir (Wei, 2018).

Yapay zeka ile tasarımcının tasarım problem uzayındaki tek bir problemle uğraşmasının yerine, büyük bir problem uzayında çok boyutlu problemlerle uğraşabileceği ve optimum sonuçları alabileceğini ve aynı zamanda tasarımların doğrudan hesaplama yoluyla hesaplanması zor veya imkansız olan yönlerini ölçmek için diğer modelleme türlerini, özellikle de makine öğrenimini entegre ederek geliştirilebileceği belirtilmiştir (Nagy, ve diğerleri, 2017). Bu bağlamda yapay zeka tasarımcılara sadece tasarım seçeneklerini sunmakla kalmaz aynı zamanda insan-makine tasarım etkileşimi ile tasarım problemlerini daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur.

Çeşitli alanlarda kullanılan makine öğrenimi iş yükünü azaltmak, sıradan görevleri otomatikleştirmek gibi katkıların yanı sıra karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır (Belém, Santos, & Leitão, 2019; Bingöl, Akan, Örmecioglu, & Er, 2020; Şapcı & Pektaş, 2021; Huang & Zheng, 2018). Tekrarlanabilir ve öngörülebilir faaliyetler, tasarlanan projeye bağlı olarak sisteme karar vermeyi öğretmek makine öğrenimi araçlarıyla kolayca uygulanabilir ve böylelikle makine öğreniminin mimari tasarım sürecindeki olası uygulaması, tüm tasarım sürecinde uygulanabilir. (Cudzik & Radziszewski, 2018).

Makine öğrenimi algoritmalarının ağ eğitimi ve bilgi işleme süreçlerine dair yapılan analizler, bu sistemlerin somut verilerden soyut kavramlar türetebilme ve belirsiz bilgi yapılarını net kriterlere dönüştürebilme yetisiyle insan öğrenme süreçlerine benzer bilişsel özellikler sergilediğini ortaya koymaktadır; ayrıca, sınırları belirsiz mekansal durumların yorumlanmasında hem insanlar hem de yapay zeka modelleri benzer ölçüde öznel ve değişken çıktılar üretebilmekte, bu da insan ve makine arasında dikkate değer bir bilişsel paralellığe işaret etmektedir (Huang & Zheng, 2018).

"Bir makine tasarlayabilir mi?"

Bu soru, yapay zekanın çıkış sorusu olan 'Bir makine düşünebilir mi?' ile benzer bir başlangıç sorusu olarak ele alınabilir ve bu soru sadece makinelerin tasarım yapma kapasitesini sorgulamaz aynı zamanda insan tasarım faaliyetinin bilişsel süreçlerini ve karar verme mekanizmasının işleyişi hakkında bilgi edinmek için bir araçtır (Cross, 2001). Dolayısıyla makinenin tasarım yapabilme kapasitesini araştırmak, tasarımcıların tasarım yapma aşmasında hangi bilişsel yeteneklerini kullandığını, tasarımın hangi yönlerin insana ait olduğunu öğrenme, ne tür problem çözme ve karar verme yöntemi geliştirdiğini anlama ve öğrenme açısından önemli bir yere sahiptir.

Tasarım bir amaca yönelmiş karmaşık ve çok değişkenli problemleri çözüme ve farklı özelliklere sahip bu problemlerinin çözüme ulaşana kadar devam eden karar verme işlemidir. Genellikle “yaratıcı, fonksiyonel ve estetik” unsurları arasında bir denge oluşturulmasına gereksinim duyulduğu için karmaşık bir süreçtir. Mimari tasarım sürecinde ise erken tasarım aşamasından sonuç ürün ortaya çıkana kadar oluşan birçok farklı problemlerin çözümünde etkin sonuçlara ulaşmak, sistematik ve stratejik karar alma sürecini gerektir ve tasarım kriterlerinin hepsine bir arada karar vermek ise tasarımın problemlerini daha da karmaşık hale getirir (Diker & Erkan, 2022).

Mimarlar sıklıkla büyük miktarlarda eksik, karmaşık ve belirsiz verilerle analiz, sentez ve değerlendirme yaparak araziye ve kullanıcı isteklerine uygun tasarım yapmaya çalışmaktadır. Makine öğreniminin temel özelliklerinden biri, verilerde gizlenen örüntüleri ve korelasyonları yakalama yeteneğidir ve bu özellik örneğin önceden tanımlanmış bir konsept fikrini mimarlar tarafından belirlenen tasarımın gereksinimlerine ve bağlam bilgilerine göre farklı konsept fikirlerini sunarak kavramsal tasarım sürecini genişletebilir (Belém, Santos, & Leitão, 2019).

Makine öğrenmesi ve tasarım odaklı problem çözüme yaklaşımında bazı önemli benzerlikler bulunmaktadır ve bu benzerlikler şu şekilde özetlenebilir (Steinfeld, 2017):

- ✓ Tasarımcılar da makineler de problemi çözüme süreçlerinde önceden hazırlanmış şablonlara, kalıplara veya haritalara dayanmak yerine, daha esnek ve yaratıcı bir yaklaşım benimser.
- ✓ Hem tasarımcı hem makine geçmiş deneyimlerinden yararlanır. Tasarımcılar için bu deneyimler edinilmiş bireysel tecrübeler olabilirken makine için ise eğitim sürecinde eğitilmiş veriler olabilir.

- ✓ Her ikisi de geçmişte karşılaştıkları benzer desenleri tanıma ve bu desenlere verdikleri tepkiler doğrultusunda çözüm üretme bakımından alegorik bir süreç izler.

Söz konusu benzerlikler çerçevesinde, yapay zekanın tasarım süreçlerine entegre edilmesiyle mevcut tasarım araçlarının performansının artırılması ve daha nitelikli sonuç ürünlerin elde edilmesi beklenilmektedir. Makine öğrenmesi uygulamalarının, mimari tasarıma olan katkıları aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Çeliker, Efendioğlu, & Balaban, 2020):

- ✓ “Yapma bilgisi (techne) ve gerçek/öz teorik bilgi (episteme)” sunması tasarımcıya katkı sağlamaktadır.
- ✓ Özgün tasarım yaklaşımlarının oluşturulmasına ve geliştirmesine yardımcı olmaktadır.
- ✓ Büyük veriyi işleme gibi imkanların sağlanmasıyla tasarımda optimizasyon süreçlerinin hızlandırılması, gömülü ilişkilerin açığa çıkarılmasıyla tasarımcıya geçmişe göre daha fazla yaratıcı ve özgün üretim yapabilmesini sağlamaktadır.

Mimarlık disiplini, tarihsel süreç boyunca mühendislik, malzeme bilimi ve dijital teknolojiler gibi gelişmeleri yakından takip ederek bu yenilikleri mimari tasarım ve inşaa sürecine entegre etmiştir. Son zamanlarda yapay zekâ destekli yöntemlerin tasarım sürecine dahil edilmesi birçok farklı açıdan önemli yenilikler sunmasına rağmen özellikle kat planı üretimi ve yerleşim organizasyonundaki gelişimler dikkat çekmektedir. Kat planı üretimi ve yerleşim organizasyonunda yapay zekanın kullanımı, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha “hızlı, esnek ve çok kriterli çözümler” üretme açısından öne çıkmaktadır. Özellikle “yapay sinir ağları, evrişimli sinir ağları (Convolutional Neural Network-CNN) ve üretici çekişmeli ağlar (Generative Adversarial Network-GAN)” gibi derin öğrenme yöntemleri sayesinde, kat planlarının işlevsel

bölgelere ayrılması, dolaşımın optimize edilmesi ve farklı kullanıcı senaryolarına göre uyarlanması süreçleri daha sistematik, veri temelli ve nesnel bir yaklaşımla gerçekleştirilebilmesini mümkün kılmaktadır.

Üretici çekişmeli ağlar eş zamanlı olarak eğitilmiş üretici (generator) ve ayırt edici (discriminator) olmak üzere iki modelden oluşan bir derin öğrenme yöntemidir. Üretici eğitim verilerden rastgele bilgiler alarak gerçek olmayan (sahte) görseller üretmeye çalışmaktadır. Ayırt edici ise sahte görselleri değerlendirerek bunların gerçek veya sahte olduğunun bilgisini üretmektedir. Bu işlem ayırt edici birimin gerçek ile sahteyi ayıramayacağı kadar kaliteli görseller üretilene kadar gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden mimari tasarım sürecinde üretici çekişmeli ağların veri temelli tasarımlar üretmeleri ile hem konsept geliştirme sürecini hızlandırır hem de yaratıcı ve yenilikçi formların keşfine imkân sunmaktadır. Üretici Çekişmeli ağlar bir derin üretken model olarak hem 2 boyutlu hem de 3 boyutlu mimari tasarım görevlerine uygulanmış; bu uygulamalar sonucunda üretici çekişmeli ağların mimari tasarım sürecinde aşağıdaki işlevleri üstlenebileceği belirtilmiştir: (Newton, 2019):

- ✓ Emsal olarak tanıtılan mimari çalışmadaki gizli örgütsel ilkeleri ortaya çıkarabilen analitik araçlar olarak değere sahiptirler.
- ✓ Tasarımcı tarafından daha fazla analiz ve düşünmeye temel oluşturabilecek diyagramatik, kavramsal ve dışavurumcu görüntüler oluşturmak için kullanılabilirler.
- ✓ Belirli tasarımlar üretmek için kullanılabilirler.

Derin Evrişimli Üretici Çekişmeli Ağlarla (Deep Convolutional Generative Adversarial Networks / DCGAN) geliştirilen modellerin sunduğu biçimsel çeşitlilik ve öğrenme kapasitesi, plan şemalarının otonom olarak üretilmesini mümkün

kılmaktadır. Ancak literatürde, bu tür üretimlerin genellikle yalnızca biçimsel düzeyde kaldığı, işlevsel açıdan yeterli olmadığı belirtilmiştir (Uzun, 2020). Buna rağmen, farklı kullanıcı senaryolarına ve mekansal gereksinimlere uygun, işlevsel olarak geçerli plan şemalarının da yapay zekâ yöntemleriyle üretilebileceği belirtilmiştir (Ruiz-Montiel vd., 2013). Bu durum, mimari tasarımın sadece estetik değil, aynı zamanda kullanım odaklı yönlerinin de yapay zekâ sistemleriyle modellenebileceğini göstermektedir. Mimari tasarım sürecine yapay zekâ tabanlı tekniklerin entegre edilmesi, algoritmalarla çözmek zor veya imkânsız olan bazı karmaşık veya insana özgü yönleri olan problemleri çözebilir ama tasarlanacak veya değerlendirilecek yapının bağlamsal ve iklimsel girdileri göz önünde tutulmalıdır (Mostafavi, Engelenburg, Khademi, & Vrachliotis, 2024).

Derin sinir ağları, Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling- BIM) modellerinden alınan kat planlarındaki mekansal ilişkileri alt grafikler şeklinde kodlamayı; bu kodlanmış tasarımları fonksiyonel performans kriterlerine göre değerlendirerek, önemli yapı taşlarını belirlemeyi ve bunları yeni tasarımlarda birleştirmeyi mümkün kılmıştır (As, Pal, & Basu, 2018). Mimari çizimlerin tanınması ve yeniden üretilmesi, mekanların renk kodlamasıyla sınıflandırılması ve kat planlarının oluşturulmasında geliştirilmiş GAN modeli olan Pix2pixHD’i kullanıldığı görülmektedir (Huang & Zheng, 2018). Pix2pixHD eşleşmiş görüntü çiftleri üzerinden öğrenme gerçekleştirerek verilen girdilere uygun yeni görseller üretebilme kapasitesine sahiptir. Bu bağlamda yapay zekâ tabanlı görüntü eşleme ve üretme yöntemlerinin mimari tasarım sürecinde sistematik ve işlevsel çözümler sunabileceğini görülmektedir.

Tasarım sürecini yönlendirmek amacıyla, tasarımcıya mevcut kat planının zaman içinde nasıl gelişebileceğine dair bilgi sağlayan ve “evrişimli sinir ağları ile vaka tabanlı akıl yürütme

(Case-Based Reasoning – CBR)” gibi yapay zekâ yöntemlerine dayanan bir yaklaşım önerilmiştir (Eisenstadt, Langenhan, & Althof, 2019). Benzer şekilde evrişimli sinir ağları ile geliştirilen vaziyet planı karar destek simülasyon modeli ile yapılı çevre geliştirme taslağında belirli parametrelerle hızlı bir şekilde oluşturulacak temel mimari yerleşim ve kütle planlamaları için projeyi geliştiren tasarımcıların yönlendirme ve değerlendirme süreçlerinde karar vermelerini kolaylaştırabileceği ve hesaplama kabiliyetlerini büyük oranda arttırabileceği vurgulanmıştır (Kayış, 2019). Bu model ile önemli kararların alınması önemli derecede zaman tasarrufunun yanı sıra sırasında tasarımın potansiyel sınırlarını ve etkilerini önceden görebilmeyi de sağlar.

Belirli kriterlere göre otomatik, kısmen yönlendirilmiş tasarım alternatifleri oluşturmanın hesaplamalı tasarım problemini ele almak için takviyeli öğrenme ile iki kişinin kullanabileceği temel bir konut tasarımı için “kendi kendine öğrenen bir algoritma” geliştirilmiştir ve geliştirilen bu algoritmada ağırlıklı ceza ve ödül puanları kullanımı ile hata değerini düşürerek yaşamaya daha uygun ve daha fonksiyonel plan şemalarının üretebileceği ifade edilmiştir (Ruiz-Montiel, ve diğerleri, 2013). Bu bağlamda yapay zekâyı mimari tasarım sürecine entegre etmek tasarım sürecini stratejik, kullanıcı odaklı ve verimli olarak ilerlemesini mümkün kılarak tasarımcıların veriye dayalı karar vermesini sağlar. Böylelikle kullanıcı ihtiyaçlarının değişimi doğrultusunda daha esnek, sürdürülebilir ve adaptif mekanların tasarımı sağlanır.

Yapay zekâ ve optimizasyon tekniklerini mimari tasarım süreci ile birleştirerek üst düzey gereksinimlerini görsel olarak karşılayan kat planların otomatik üretimi sağlanabilmektedir (Merrell, Schkufza, & Koltun, 2010). Ayrıca kullanıcılardan gelen verileri ve gereksinimleri anlayarak en uygun örnekleri bulmak ve bu doğrultuda yeni tasarım oluşturmak ve çizimlerini hazırlamak belirli bir zaman almaktadır ama yapay zekâ algoritmaların tasarım

sürecine entegre edilmesi bu süreci kısaltır (Babakhani, 2023). Ayrıca StyleGAN iki farklı mimari plan ya da kesit arasındaki biçimsel ilişkiyi öğrenip ara geçişleri simüle ederek, dönüştürülmüş görseller aracılığıyla özgün ve yaratıcı üç boyutlu tasarım olasılıkları sunmakta kullanılmıştır (Zhang, 2019). Bu durum, StyleGAN'ın görüntü öğrenme ve yeniden yapılandırma simülasyonu konusundaki güçlü yetkinliğini ortaya koymakta ve bu sayede mimari düşünceye yeni bir tasarım yaklaşımı kazandırmaktadır.

Makine öğrenimini dijital tasarım sürecine entegre edilmesiyle mimari tasarımı, üretim verilerinin oluşturulması ve üretim süreçlerini birbirine bağlayacak şekilde daha hızlı, daha tasarımcı ve daha uyarlanabilir yeni Endüstri 4.0 tabanlı yaklaşımların gelişmesine olanak sağlamaktadır (Thomsen, ve diğerleri, 2020). Koşullu Üretici Çekişmeli Ağlar (Conditional Generative Adversarial) ile geliştirilen otomatik tuğla örme işi için önerilen çerçevenin sınır dolgusunu yerine getirdiği, genel birleştirme yapısal kurallarına uyduğu belirtilmiştir ve böylece bu yöntem “kendi kendini kalibre eden” robotlarla ilişkilendirilmesiyle, karşılaşılan problemler çözülebilir ve sahada kolayca uygulanabilir (Zandavali & García, 2019). Yapay zekâ sadece mimari tasarım sürecinde değil aynı zamanda mimari tasarımların uygulanmasında bazı işlerin otomatikleşmesine yardımcı olmaktadır. Bu durumda uygulama aşamasında iş yükünün azalması ve zamandan tasarruf edilebilmesi beklenmektedir. Ayrıca şantiye kısmında kendi kendine öğrenen robotların kullanılması ile bazı görevlerin daha kolay uygulanabilmesine ve iş kazalarının azaltılmasına olanak sağlayabileceği öngörülebilir.

Mimari tasarımlar ve öğeleri görsel olarak bilgisayarla görme teknikleriyle sınıflandırmak için çeşitli yapay zekâ yöntemleri kullanılmaktadır. Yapay zekâ ile verilerin sınıflandırılması için ayırt edici özelliklerin öğrenilmesi tasarım farklılıklarını ve benzerliklerini de açıklar ve böylelikle tasarımlardaki gizli ilişkiler ortaya

çıkarmaktadır. Bu durum mimarlara ve tasarımcıya daha yaratıcı ve özgün tasarımlar yapmasına olanak sunmaktadır. Mimari stil sınıflandırması, tarihsel ve kültürel bağlamları anlamaya, mirası korumaya, tasarım ilkelerini analiz etmeye, yaratıcılığa ilham vermeye, mimari uygulamaları yönlendirmeye ve ortak bir mesleki dil geliştirmeye yardımcı olması bakımından önemlidir (Diker & Erkan, 2024). Kültürel mirasın korunması ve belgelenmesi aşamalarında, ham dijital verilerin matematiksel mantıklarla düzenlenip sınıflandırılması, farklı disiplinlerden uzmanların mevcut dijital bilgileri kaydetme, arşivleme ve düzenleme çalışmalarını daha etkili yürütebilmeleri için yapay zekâ tabanlı etiketleme sistemine gereksinim bulunmaktadır (Croce, 2023). Yapay zekâ tabanlı yöntemler sadece mimari tasarım sürecinde değil aynı zamanda restitüsyon sürecinde eksik mimari öğelerin değerlendirilmesini hızlandırmada, kültürel mirasın korunması amacıyla yürütülen projelerin daha sistematik ve verimli ilerlemesine önemli katkılar sağlayabilir (Karadag, 2023). Bunlara ek olarak sınıflandırma ile gittikçe artan verilerin (mimari eserler, binaların stilleri vb.) arşivlenmesi için kullanılabilir. Bu durum dijital dokümantasyonda iş yükünü azaltır ve otomatikleştirilmesine katkı sağlar. Sınıflandırma ile mimari tasarım sürecinde bazı monoton işlerin otomatikleşmesini sağlar ve bu durum mimarların ve tasarımcıların iş yükünü azaltabilir ve çalışma performansını iyileştirebilir. Örneğin mimarların taslak model geometrilerini anlamsal katmanlara ayırma işini otomatikleştirmek amacıyla çeşitli parametrik tasarım ortamlarında farklı makine öğrenme modellerini karşılaştırarak mimari unsurların etiketlenmesi sağlanmıştır (Yetiş, Yetkin, Moon, & Kılıç, 2018). Yapay zekâ yöntemi kullanılarak yapılan bazı sınıflandırma çalışmaları Tablo 2’de gösterilmektedir.

*Tablo 2. Mimarlık alanında, kullanılan yöntemler ve veriler açısından yapay zekâ ile yapılan sınıflandırma örnekleri*

Kaynak	Veri	Yöntem
(Xu, Tao, Zhang, Wu, & Tsoi, 2014)	Yirmi beş sınıf içeren mimari stil veri kümesi	Çok Sınıflı Gizli Lojistik Regresyon
(Llamas, Leronés, Medina, Zalama, & Gómez-García-Bermejo, 2017)	Mimari miras elemanları veri seti.	Evrışimli Sinir Ağı
(Obeso, Vázquez, Acosta, & Benois-Pineau, 2017)	Meksika kültürel mirasının dijital fotoğrafları	Evrışimli Sinir Ağı
(Yoshimura, Cai, Wang, & Ratti, 2019)	34 farklı mimara ait eserler	Derin Evrışimli Sinir Ağı
(Perez, Tah, & Mosavi, 2019)	Normal (kusur içermeyen görüntü), küf, leke ve boya bozulmasına (soyulma, kabarma, dökülme ve çatlama dahil) ait görüntüler	Evrışimli Sinir Ağı
(Bienvenido-Huertas, Nieto-Julián, Moyano, Macías-Bernal, & Castro, 2020)	Seville Real Alcazar'ına ait bir binadaki fayans panel	Karar Ağacı
(Croce, 2023)	Toskana'daki (İtalya) tarihi binalarından elde edilen üç nokta bulutları	Rastgele Orman Algoritması
(Siountri & Anagnostopoulos, 2023)	Modern Atina mimarisi	YOLO Algoritması

Binaların enerji tüketiminin tasarım aşamasında bilinmesi oldukça önemli olmasına rağmen böyle bir tahmin için tasarım sürecinde yapılan hesaplamalar, karmaşık sayısal uygulamalar nedeniyle sıkıcı ve yorucu olabilmektedir (Ekici & Aksoy, 2009). İç mekân görsel konfor koşullarını tahmin etmek için farklı makine öğrenme yöntemlerine dayalı yaklaşımların doğruluk ve hesaplama maliyeti arasında uygun bir denge sağlanmakta ve mimari kavramsal tasarım sırasında performans değerlendirmeleri için değerli bir alternatif sunmaktadır (Chatzikonstantinou & Sariyildiz, 2016). Benzer şekilde mimarların neredeyse bir projenin başlangıcından

itibaren kararlarını yönlendirmek için performans bilgisine ihtiyaç duydukları için erken aşama üretimsel tasarım keşfi ve optimizasyonu için yüksek binalardaki rüzgar basıncını tahmin etmek için bir simülasyon, optimizasyon ve makine öğreniminin entegrasyonunu önerilmiştir (Wilkinson, Hanna, Hesselgren, & Mueller, 2013) Gün ışığı, parlama, termal konfor ve su kullanımını analiz etmek maliyetlendirme modeline bağlanıp makine öğrenimi yaklaşımıyla aşamalı olarak yönetilebileceğini dolayısıyla tasarım sürecine çok önemli olan her veri noktasını dahil etmek ve bu verileri oluşturmak ve yönetmek için tüm zahmetli çalışmaları otomatik hale getirebileceği belirtilmiştir (Ahuja & Chopson, 2020). Yapay zekâ, mimari tasarımda performansa dayalı keşif süreçlerini geliştirerek tasarımcılara daha bilinçli ve kontrollü kararlar alma imkânı sunar (Brown & Mueller, 2019).

Çeşitli geliştirilen modellerin incelenmesinde görüldüğü gibi kullanılan veri setleri birbirinden farklıdır. Mimari veri kümelerinin türü (örneğin, iki boyutlu görüntüler, üç boyutlu modeller, metin tabanlı veriler vb.), boyutu (eğitim örneklerinin sayısı) ve içeriği (mimari planlar, perspektif görseller, mimari tarzlara ilişkin bilgiler vb.) doğrudan yapay zekâ tabanlı üretim sürecinin çıktısını etkilemektedir (Newton, 2019). Bu nedenle, kullanılan veri setleri, üretilecek mimari içeriklerin çeşitliliği, kalitesi ve gerçekçiliği açısından belirleyici bir rol oynamakta olup, bu bağlamda büyük önem taşımaktadır.

Yapay zekâ ile yerleşim tasarımında özellikle erken tasarım aşamasında karar vermeye yardımcı olabilir ve çeşitli seçeneklerde nasıl plan şemasına sahip olabileceği öngörülebilir. Yapay zekâ ile plan şeması üretimiyle olası tasarımlar arasında seçenekler sunabildiği gibi mevcut kat planının zaman içinde nasıl gelişebileceği hakkında bilgi sağlayabilir. Mimari tasarım aşamasında özellikle erken tasarım aşamasında verilen kararlar için yapıların enerji tüketimi ve bina performans verilerini analiz etmek ve tahmin etmek

oldukça önemli olmasına rağmen tasarım sürecinde bu karmaşık verileri değerlendirmek zordur. Yapay zekâ yöntemleri ile enerji tüketimi veya bina performansını tahmin etmede başarılı sonuçlar elde edildiği için mimari tasarım sürecinde karar vermeye yardımcı olabileceği ve daha verimli tasarımların elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca erken tasarım aşamasına dahil edilmesi ile ilerleyen zamanlarda ortaya çıkabilecek sorunların çözülmesini sağlayabilir. Böylelikle iş yükünü ve tasarım sürecini azaltabileceği öngörülmektedir. Yapay zekanın mimari tasarımların uygulanmasında bazı işlerin otomatikleşmesine yardımcı olduğu görülmektedir. Bu durumda uygulama aşamasında iş yükünün azalması ve zamandan tasarruf edilebilmesi beklenmektedir. Ayrıca şantiye kısmında kendi kendine öğrenen robotların kullanması ile bazı görevlerin daha kolay uygulanabilmesine ve iş kazalarının azaltılmasına olanak sağlayabileceği öngörülebilir. Aynı zamanda sınıflandırma ile mimari tasarım sürecinde bazı monoton işlerin otomatikleşmesini sağlar ve bu durum mimarların ve tasarımcıların iş yükünü azaltabilir ve çalışma performansını iyileştirebilir. Bunun yanı sıra sınıflandırma ile gittikçe artan verilerin (mimari eserler, binaların stilleri vb.) arşivlenmesi için kullanılabilir. Bu durum dijital dokümantasyonda iş yükünü azaltır ve otomatikleştirilmesine katkı sağlar.

Özetle kullanıcı gereksinimleri ve çevresel koşullarında göz önünde bulundurarak mimari tasarım sürecine yapay zekanın entegre edilmesi ile veri temelli kararların alınmasını sağlar. Bu durum ise rasyonel, sürdürülebilir ve optimize çözümlerin geliştirilmesine yardımcı olur. Mimari tasarım sürecinde yapay zekanın kullanılması verileri tanıma ve sınıflandırmada, tasarım problemlerini anlamada, bazı sıradan işleri otomatikleştirmede, karar vermede, enerji tüketimi ve bina performans analizi ve tahmininde kullanılabilir.

## Sonuç

Sanayi devriminden günümüze kadar teknoloji sürekli bir değişim ve dönüşümle gelişerek günümüze kadar ulaşmıştır. Bu süreç içerisindeki bilgi aktarımı çeşit yollarla gerçekleşmiştir. Sanayi devrinin gelişmesi ile birlikte her türlü bilginin aktarımı daha hızlı ve kolay bir hale gelmiştir. Sanayi devrimi ile birlikte başlayan endüstri dönemi ve devamında gelen gelişmeler günümüzdeki koşulların oluşmasını sağlamıştır. İçerisinde bulunduğumuz endüstri 4.0 dönemi diğer dönemlerden farklı olarak dijital teknolojilerin getirdiği çeşitli yazılım ve donanımları da beraberinde taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında endüstri 4.0 döneminde ortaya çıkan sanal gerçeklik ve yapay zekanın mimarlık ile olan ilişkisi ele alınmıştır.

BIM teknolojileri mimarinin birçok alanında kullanılmaktadır. Gelişen sanal gerçeklik ve yapay zekanın kullanılan BIM teknolojilerine uyumlu bir şekilde eşlik etmesi tasarım aşamasından üretim aşamasına kadar mimarlık alanının birçok dalında kolaylık sağlamaktadır. Mimari ifadenin dilinde görselleştirme ve sunum için; iki boyut, üç boyut modelleme ile birlikte sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve yapay zeka kullanılmaya başlamıştır.

Dijital tasarım araçları iki boyutlu ve üç boyutlu modeller üretebilmektedir. Tasarım disiplini olan kişiler bu programları kullanarak hem bireysel hem de grup çalışmalarıyla tasarım sürecini ilerletebilmektedirler. Coğrafi bilgi sistemlerinin de gelişmesiyle birlikte City Engine gibi programlar konumdan referans alarak modelleme imkânı sağlamaktadır.

Sanal gerçeklik kapsamında özellikle oyun sektöründe de oldukça yoğun kullanılan Epic Games'e bağlı Twimotion ve Unreal Engine mimarlık eğitiminden üretim aşamasına kadar aktif bir şekilde dünya çapında rol almaya başlamıştır.

Oluşturulan mimari tasarım üretim aşamasında; lazer keşim, robotik sistemler ile birlikte hata oranları minimuma indirilmektedir. Oluşturulan ürünlerin performanslarını, enerji verimini analiz etmek için yapay zekâ ve makine öğrenmesini öne çıkılmaktadır. Bu bağlamda sürdürülebilir tasarımlar için ısınma, rüzgâr etkisi gibi iklimsel verilerin analiz edilerek tasarıma dahil edilmesi sağlanmaktadır.

## Kaynakça

Ahuja, S., & Chopson, P. (2020). Automation and Machine Learning in Architecture: A New Agenda for Performance-Driven Design. *Architectural Design*, 90(2), s. 104-111. doi:<https://doi.org/10.1002/ad.2553>

Aktürk, B. (2021, Aralık 6). *Metaverse Geleceğinde Dijital Yapı Malzemesi*. Mayıs 2025 tarihinde <https://www.arkitera.com/gorus/metaverse-geleceginde-dijital-yapi-malzemesi/> adresinden alındı

Atıcı Tektaş, E., & Öztürk, A. (2024). Kent Belleğini Twinmotion İle Geleceğe Aktarma: Eskişehir Hamamyolu Çarşı Örneği. *Uluslararası Disiplinlerarası ve Kültürlerarası Sanat*, 9(19), 183-200.

Bürümlü, K. (2023, Ocak 31). *En İyi Sanal Gerçeklik Gözlüğü Tavsiyeleri*. Mayıs 2025 tarihinde [onedio.com: https://onedio.com/haber/sanal-gerceklik-gozlugu-tavsiye-ve-onerileri-1124443](https://onedio.com/haber/sanal-gerceklik-gozlugu-tavsiye-ve-onerileri-1124443) adresinden alındı

Babakhani, R. (2023). Automatic Generation of Architectural Plans with Machine Learning. *Technology| Architecture+ Design*, 7(2), s. 183-191. doi:<https://doi.org/10.1080/24751448.2023.2245712>

Badwi, I., Ellaithy, H., & Youssef, H. (2022). 3D-GIS Parametric Modelling for Virtual Urban Simulation Using CityEngine. *Annals of GIS*, 1-17.

Banfi, F. (2021). The Evolution of Interactivity, Immersion and Interoperability in HBIM: Digital Model Uses, VR and AR for Built Cultural Heritage. *International Journal of Geo-Information*, 10(685), 1-36, <https://doi.org/10.3390/ijgi10100685>.

Belém, C., Santos, L. F., & Leitão, A. (2019). On the Impact of Machine Learning: Architecture without Architects? J.-H. Lee (Dü.) içinde, *Proceedings of the 18th International Conference CAAD Futures 2019: Hello, Culture!* (s. 274-293).

Bienvenido-Huertas, D., Nieto-Julián, J. E., Moyano, J. J., Macías-Bernal, J. M., & Castro, J. (2020). Implementing Artificial Intelligence in H-BIM Using the J48 Algorithm to Manage Historic Buildings. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURAL HERITAGE*, 14(8), s. 1148–1160. doi:<https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1589602>

Bingöl, K., Akan, A. E., Örmecioğlu, H. T., & Er, A. (2020). Depreme dayanıklı mimari tasarımda yapay zeka uygulamaları: Derin öğrenme ve görüntü işleme yöntemi ile düzensiz taşıyıcı sistem tespiti. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), s. 2197 - 2210. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.647981>

Brown, N. C., & Mueller, C. T. (2019). Design variable analysis and generation for performance-based parametric modeling in architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 17(1), s. 36-52. doi:<https://doi.org/10.1177/1478077118799491>

Chatzikonstantinou, I., & Sariyildiz, S. (2016). Approximation of simulation-derived visual comfort indicators in office spaces: a comparative study in machine learning. *Architectural Science Review*, 59(4), s. 307-322. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2015.1072705>

Cirulis, A., & Brigmanis, K. B. (2013). 3D Outdoor Augmented Reality for Architecture and Urban Planning. *Procedia Computer Science*(25), 71-79.

Croce, V. (2023). Digital Heritage Classification via Machine Learning and H-BIM. *Nexus Network Journal*, 25(Suppl 1), s. 415-421. doi:<https://doi.org/10.1007/s00004-023-00725-0>

Cross, N. (2001). Can a Machine Design? *Design Issues*, 17(4), s. 44-50.

Cudzik, J., & Radziszewski, K. (2018). Artificial Intelligence Aided Architectural Design. *AI for Design and Built Environment. 1*, s. 77-84. Gdansk University of Technology: eCAADe.

Dede, İ., Yaşa, E., & Ersoy, S. (2024). Sanal Gerçeklik Teknolojileri ve Dijital Oyunların Mimarlık Eğitimine Katkısının Değerlendirilmesi Üzerine Bir Derleme Çalışması. *XVIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu* (s. 1-17). Balıkesir: Balıkesir Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü.

Diker, F., & Erkan, İ. (2022). Fuzzy logic method in the design of elementary school classrooms. *Architectural Engineering and Design Management*, 18(5), s. 739-758. doi:<https://doi.org/10.1080/17452007.2021.1910925>

Diker, F., & Erkan, İ. (2024). An approach with deep convolutional neural networks for accurate architectural style classification. *New Design Ideas*, 8(3), s. 615-640. doi:<https://doi.org/10.62476/ndi83615>

Eisenstadt, V., Langenhan, C., & Althof, K.-D. (2019). Generation of Floor Plan Variations with Convolutional Neural Networks and Case-based Reasoning. *eCAADe SIGraDi Conference, Porto*, (s. 1-6).

Ekici, B. B., & Aksoy, U. T. (2009). Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks. *Advances in Engineering Software*, 40(5), s. 356-362.

Elmas, Ç. (2003). *Bulanık mantık denetleyiciler*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

EpicGames. (2025). *Twinmotion*. Nisan 2025 tarihinde <https://www.twinmotion.com/en-US> adresinden alındı

Ertürk, N. B., & Değirmenci, F. N. (2023). Sanal Gerçeklik (VR) Teknolojilerinin Mimarlık Sektöründeki Yeri. *KARESI Journal of Architecture*, 2(2), 24-36.

Fonseca, D., Villagrasa, S., Martí, N., Redondo, E., & Sánchez, A. (2013). Visualization methods in architecture education using 3D virtual models and augmented reality in mobile and social networks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*(93), 1337-1343.

Fonseca, D., Villagrasa, S., Navarro, I., Redondo, E., Valls, F., Llorca, J., . . . Calvo, X. (2017). Student motivation assessment using and learning virtual and gamified urban environments. U. o. Salamanca (Dü.), *TEEM 2017* içinde (s. 1-7). New York NY United States: Association for Computing Machinery.

Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, 313(5786), s. 504-507. doi:DOI: 10.1126/science.1127647

Huang, W., & Zheng, H. (2018). Architectural drawings recognition and generation through machine learning. *Proceedings of the 38th annual conference of the association for computer aided design in architecture*, (s. 156-165). Mexico.

Iglesias, R. M. (2021). *De Revit A Realidad Virtual, Yüksek Lisans Tezi*. Lleida: Universitat de Lleida. Escola Politècnica Superior, : Grau en Arquitectura Tècnica i Edificació, Yayınlanmamış.

Jehimof, T. (2019). *Virtuaalitodellisuuslasien Käyttäminen Arkkitehtuurisessa Visualisoinnissa*. Oulun ammattikorkeakoulu Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma.

Karadag, İ. (2023). Machine learning for conservation of architectural heritage. *Open House International*, 48(1), s. 23-37. doi:10.1108/OHI-05-2022-0124

Kayış, M. K. (2019). *Mimari Tasarımda Yapay Zeka: Evrişimli Yapay Sinir Ağlarının Vaziyet Planı Tasarımında Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kim, K., & Wilson, J. P. (2015). Planning and visualising 3D routes for indoor and outdoor spaces using CityEngine. *Journal of Spatial Science*, 60(1), 179–193.

Lenat, D. B., & Feigenbaum, E. A. (1987). ON THE THRESHOLDS OF KNOWLEDGE. *IJCAI* (Cilt 87, s. 1172-1176). içinde

Llamas, J., Leronés, P. M., Medina, R., Zalama, E., & Gómez-García-Bermejo, J. (2017). Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Techniques. *Applied Sciences*, 7(10), s. 992. doi:<https://doi.org/10.3390/app7100992>

Merrell, P., Schkufza, E., & Koltun, V. (2010, Aralık). Computer-Generated Residential Building Layouts. *ACM Transactions on Graphics*, 29(6), s. 181:1-12. doi:<http://doi.acm.org/10.1145/1866158.1866203>.

Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

Mostafavi, F., Engelenburg, C. v., Khademi, S., & Vrachliotis, G. (2024). Floor plan generation: The interplay among

data, machine, and designer. *International Journal of Architectural Computing*, 0(0), s. 1-17. doi:10.1177/14780771241290649

Nagy, D., Lau, D., Locke, J., Stoddart, J., Villaggi, L., Wang, R., . . . Benjamin, D. (2017). Project Discover: An Application of Generative Design for Architectural Space Planning. *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, (s. 59-66). Toronto, Canada.

Newton, D. (2019). Generative deep learning in architectural design. *Technology|Architecture + Design*, 3(2), s. 176--189. doi:https://doi.org/10.1080/24751448.2019.1640536

Obeso, A. M., Vázquez, M. S., Acosta, A. A., & Benois-Pineau, J. (2017). Connoisseur: classification of styles of Mexican architectural heritage with deep learning and visual attention prediction. *In Proceedings of the 15th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing*, (s. 1-7). doi:https://doi.org/10.1145/3095713.3095730

Perez, H., Tah, J. H., & Mosavi, A. (2019). Deep Learning for Detecting Building Defects Using Convolutional Neural Networks. *Sensors*, 19(16), s. 3556. doi:https://doi.org/10.3390/s19163556

Portman, M., Natapov, A., & Fisher-Gewirtzman, D. (2015). To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems* (55), 376–384.

Prieto, J., Castaño-Perea, E., & Arroyo, F. (2017). Augmented Reality In Architecture: Rebuilding Archeological Heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2(W3), 311-315.

Ruiz-Montiel, M., Boned, J., Gavilanes, J., Jiménez, E., Mandow, L., & Pérez-de-la-Cruz, J.-L. (2013). Design with shape grammars and reinforcement learning. *Advanced Engineering Informatics*, 27(2), s. 230-245. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.12.004>

Russell, S. J., & Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence A Modern Approach*. Prentice Hall.

Sarıcıoğlu, P., İlerisoy, Z. Y., & Soyluk, A. (2021). Mimarlık ve Endüstri 4.0 Eşleşmesi. *Yapı, Mimarlık, Tasarım, Kültür, Sanat Dergisi*(464), 12-17.

Siountri, K., & Anagnostopoulos, C.-N. (2023). The Classification of Cultural Heritage Buildings in Athens Using Deep Learning Techniques. *Heritage*, 6(4), s. 3673-3705. doi:<https://doi.org/10.3390/heritage6040195>

Sjölén, A. (2022). *Visualiseringsarbete av bansträckning*. Swedish: Luleå University of Technology, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering.

Steinfeld, K. (2017). Dreams may come. *ACADIA 2017: DISCIPLINES \& DISRUPTION (Proceedings of the 37th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture)*, (s. 590-599).

Susi, J. (2022). *Interactive Architectural Visualization using Unreal Engine*. Savonia: Savonia University of Applied Sciences, Bachelor's Thesis.

Şapcı, B., & Pektaş, Ş. T. (2021). Makine Öğrenmesi Aracılığı ile Kullanıcı Deneyimi Bilgilerinin Erken Mimari Tasarım Süreçleriyle Bütünleştirilmesi. *Journal of Computational Design*, 2(1), s. 67-94.

Thomsen, M. R., Nicholas, P., Tamke, M., Gatz, S., Sinke, Y., & Rossi, G. (2020). Towards machine learning for architectural fabrication in the age of industry 4.0. *International Journal of Architectural Computing*, 18(4), s. 335-352. doi:<https://doi.org/10.1177/1478077120948000>

Tonn, C., Petzold, F., Bimber, O., Grundhöfer, A., & Donath, D. (tarih yok). Spatial Augmented Reality for Architecture – Designing and planning with and within existing buildings. *international journal of architectural computing*, 6(1), 41-58.

Turing, A. (1950). Turing. *Computing machinery and intelligence. Mind*, 59(236).

Uzun, C. (2020). *Yapay Zeka ve Mimarlık Etkileşimi Üzerine Bir Çalışma: Üretken Çekişmeli Ağ Algoritması ile Otonom Mimari Plan Üretimi ve Değerlendirmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Wei, L. (2018). AI concepts in architectural design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 392(6), s. 062016. doi:[10.1088/1757-899X/392/6/062016](https://doi.org/10.1088/1757-899X/392/6/062016)

Wilkinson, S., Hanna, S., Hesselgren, L., & Mueller, V. (2013). Inductive Aerodynamics. *2013 eCAADe Conference*, 2, s. 39-48. Delft, The Netherlands.

Xu, Z., Tao, D., Zhang, Y., Wu, A. S., & Tsoi, A. C. (2014). Architectural style classification using multinomial latent logistic regression. In *Computer Vision–ECCV 2014: 13th European Conference. Proceedings, Part I 13*, s. 600-615. Zurich, Switzerland: Springer International Publishing.

Yıldız, Ö., & Kaya, B. (2021). Sinemasal Gerçeklikte Zaman Ve Mekan Tasarımı: Unreal Engine Ve the Mandalorian Örneği. *International Social Sciences Studies Journal*, 4644-4639, <http://dx.doi.org/10.26449/sss.3530>.

Yılmaz, A. (2020). *Yapay Zekâ* (İnkılâp Kitabevi Yayın San. Tic. A.Ş. b.). (G. Aksan, Dü.) İstanbul: KODLAB.

Yetiş, G., Yetkin, O., Moon, K., & Kılıç, Ö. (2018). A Novel Approach for Classification of Structural Elements in a 3D Model by Supervised Learning. *Proceedings of the 36th eCAADe Conference, 1*, s. 129-136.

Yoshimura, Y., Cai, B., Wang, Z., & Ratti, C. (2019). Deep Learning Architect: Classification for Architectural Design Through the Eye of Artificial Intelligence. *Computational Urban Planning and Management for Smart Cities 16*, s. 249-265.

Zandavali, B. A., & García, M. J. (2019). Automated Brick Pattern Generator for Robotic Assembly using Machine Learning and Images. *37 Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe and XXIII Iberoamerican Society of Digital Graphics, Joint Conference (N. 1). 7*, s. 217-226. Editör Blucher. doi:10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019\_605

Zeneks. (2023). *Endüstri 4.0*. Mayıs 2025 tarihinde <https://www.zeneks.com.tr/endustri-4-0-ve-sanayi-devrimi/> adresinden alındı

Zhang, H. (2019). 3D Model Generation on Architectural Plan and Section Training through Machine Learning. *Technologies*, 7(4), s. 82. doi:<https://doi.org/10.3390/technologies7040082>

As, I., Pal, S., & Basu, P. (2018). Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. *International Journal of Architectural Computing*, 16(4), s. 306-327. doi:<https://doi.org/10.1177/1478077118800982>

Bürümlü, K. (2023, Ocak 31). *En İyi Sanal Gerçeklik Gözlüğü Tavsiyeleri*. Mayıs 2025 tarihinde onedio.com: <https://onedio.com/haber/sanal-gerceklik-gozlugu-tavsiye-ve-onerileri-1124443> adresinden alındı

Babakhani, R. (2023). Automatic Generation of Architectural Plans with Machine Learning. *Technology| Architecture+ Design*, 7(2), s. 183-191. doi:<https://doi.org/10.1080/24751448.2023.2245712>

Badwi, I., Ellaithy, H., & Youssef, H. (2022). 3D-GIS Parametric Modelling for Virtual Urban Simulation Using CityEngine. *Annals of GIS*, 1-17.

Banfi, F. (2021). The Evolution of Interactivity, Immersion and Interoperability in HBIM: Digital Model Uses, VR and AR for Built Cultural Heritage. *International Journal of Geo-Information*, 10(685), 1-36, <https://doi.org/10.3390/ijgi10100685>.

Belém, C., Santos, L. F., & Leitão, A. (2019). On the Impact of Machine Learning: Architecture without Architects? J.-H. Lee (Dü.) içinde, *Proceedings of the 18th International Conference CAAD Futures 2019: Hello, Culture!* (s. 274-293).

Bienvenido-Huertas, D., Nieto-Julián, J. E., Moyano, J. J., Macías-Bernal, J. M., & Castro, J. (2020). Implementing Artificial Intelligence in H-BIM Using the J48 Algorithm to Manage Historic Buildings. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURAL HERITAGE*, 14(8), s. 1148–1160. doi:<https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1589602>

Bingöl, K., Akan, A. E., Örmecioglu, H. T., & Er, A. (2020). Depreme dayanıklı mimari tasarımda yapay zeka uygulamaları: Derin öğrenme ve görüntü işleme yöntemi ile düzensiz taşıyıcı sistem tespiti. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), s. 2197 - 2210. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.647981>

Brown, N. C., & Mueller, C. T. (2019). Design variable analysis and generation for performance-based parametric modeling

in architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 17(1), s. 36-52. doi:<https://doi.org/10.1177/1478077118799491>

Chatzikonstantinou, I., & Sariyildiz, S. (2016). Approximation of simulation-derived visual comfort indicators in office spaces: a comparative study in machine learning. *Architectural Science Review*, 59(4), s. 307-322. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2015.1072705>

Cirulis, A., & Brigmanis, K. B. (2013). 3D Outdoor Augmented Reality for Architecture and Urban Planning. *Procedia Computer Science*(25), 71-79.

Croce, V. (2023). Digital Heritage Classification via Machine Learning and H-BIM. *Nexus Network Journal*, 25(Suppl 1), s. 415-421. doi:<https://doi.org/10.1007/s00004-023-00725-0>

Cross, N. (2001). Can a Machine Design? *Design Issues*, 17(4), s. 44-50.

Cudzik, J., & Radziszewski, K. (2018). Artificial Intelligence Aided Architectural Design. *AI for Design and Built Environment. 1*, s. 77-84. Gdansk University of Technology: eCAADe.

Çamuşoğlu, N. (2024, Mayıs 31). *Sanal Gerçeklik Mimariyi Nasıl Değiştiriyor?* Nisan 2025 tarihinde [www.ekoyapidergisi.org](http://www.ekoyapidergisi.org): <https://www.ekoyapidergisi.org/sanal-gerceklik-mimariyi-nasil-degistiriyor> adresinden alındı

Çeliker, E. Y., Efendioğlu, G., & Balaban, Ö. (2020). CycleGAN ile Modern İç Mekânların Bilim Kurgu Ortamları Olarak Yeniden Üretilmesi. *Journal of Computational Design*, 1(3), s. 71-94.

Dede, İ., Yaşa, E., & Ersoy, S. (2024). Sanal Gerçeklik Teknolojileri ve Dijital Oyunların Mimarlık Eğitimine Katkısının Değerlendirilmesi Üzerine Bir Derleme Çalışması. *XVIII*.

*Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu* (s. 1-17). Balıkesir: Balıkesir Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü.

Diker, F., & Erkan, İ. (2022). Fuzzy logic method in the design of elementary school classrooms. *Architectural Engineering and Design Management*, 18(5), s. 739-758. doi:<https://doi.org/10.1080/17452007.2021.1910925>

Diker, F., & Erkan, İ. (2024). An approach with deep convolutional neural networks for accurate architectural style classification. *New Design Ideas*, 8(3), s. 615-640. doi:<https://doi.org/10.62476/ndi83615>

Eisenstadt, V., Langenhan, C., & Althof, K.-D. (2019). Generation of Floor Plan Variations with Convolutional Neural Networks and Case-based Reasoning. *eCAADe SIGraDi Conference, Porto*, (s. 1-6).

Ekici, B. B., & Aksoy, U. T. (2009). Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks. *Advances in Engineering Software*, 40(5), s. 356-362.

Elmas, Ç. (2003). *Bulanık mantık denetleyiciler*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

EpicGames. (2025). *Twinmotion*. Nisan 2025 tarihinde <https://www.twinmotion.com/en-US> adresinden alındı

Ertürk, N. B., & Değirmenci, F. N. (2023). Sanal Gerçeklik (VR) Teknolojilerinin Mimarlık Sektöründeki Yeri. *KARESI Journal of Architecture*, 2(2), 24-36.

Fonseca, D., Villagrassa, S., Martí, N., Redondo, E., & Sánchez, A. (2013). Visualization methods in architecture education using 3D virtual models and augmented reality in mobile and social networks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*(93), 1337-1343.

Fonseca, D., Villagrasa, S., Navarro, I., Redondo, E., Valls, F., Llorca, J., . . . Calvo, X. (2017). Student motivation assessment using and learning virtual and gamified urban environments. U. o. Salamanca (Dü.), *TEEM 2017* içinde (s. 1-7). New York NY United States: Association for Computing Machinery.

Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, *313*(5786), s. 504-507. doi:DOI: 10.1126/science.1127647

Huang, W., & Zheng, H. (2018). Architectural drawings recognition and generation through machine learning. *Proceedings of the 38th annual conference of the association for computer aided design in architecture*, (s. 156-165). Mexico.

Iglesias, R. M. (2021). *De Revit A Realidad Virtual, Yüksek Lisans Tezi*. Lleida: Universitat de Lleida. Escola Politècnica Superior, : Grau en Arquitectura Tècnica i Edificació, Yayınlanmamış.

Jehimof, T. (2019). *Virtuaalitodellisuuslasien Käyttämisen Arkkitehtuurisessa Visualisoinnissa*. Oulun ammattikorkeakoulu Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma.

Karadag, İ. (2023). Machine learning for conservation of architectural heritage. *Open House International*, *48*(1), s. 23-37. doi:10.1108/OHI-05-2022-0124

Kayış, M. K. (2019). *Mimari Tasarımda Yapay Zeka: Evrişimli Yapay Sinir Ağlarının Vaziyet Planı Tasarımında Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi,, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kim, K., & Wilson, J. P. (2015). Planning and visualising 3D routes for indoor and outdoor spaces using CityEngine. *Journal of Spatial Science*, *60*(1), 179–193.

Lenat, D. B., & Feigenbaum, E. A. (1987). ON THE THRESHOLDS OF KNOWLEDGE. *IJCAI* (Cilt 87, s. 1172-1176). içinde

Llamas, J., Leronés, P. M., Medina, R., Zalama, E., & Gómez-García-Bermejo, J. (2017). Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Techniques. *Applied Sciences*, 7(10), s. 992. doi:<https://doi.org/10.3390/app7100992>

Merrell, P., Schkufza, E., & Koltun, V. (2010, Aralık). Computer-Generated Residential Building Layouts. *ACM Transactions on Graphics*, 29(6), s. 181:1-12. doi:<http://doi.acm.org/10.1145/1866158.1866203>.

Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

Mostafavi, F., Engelenburg, C. v., Khademi, S., & Vrachliotis, G. (2024). Floor plan generation: The interplay among data, machine, and designer. *International Journal of Architectural Computing*, 0(0), s. 1-17. doi:10.1177/14780771241290649

Nagy, D., Lau, D., Locke, J., Stoddart, J., Villaggi, L., Wang, R., . . . Benjamin, D. (2017). Project Discover: An Application of Generative Design for Architectural Space Planning. *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, (s. 59-66). Toronto, Canada.

Newton, D. (2019). Generative deep learning in architectural design. *Technology|Architecture + Design*, 3(2), s. 176--189. doi:<https://doi.org/10.1080/24751448.2019.1640536>

Obeso, A. M., Vázquez, M. S., Acosta, A. A., & Benois-Pineau, J. (2017). Connoisseur: classification of styles of Mexican architectural heritage with deep learning and visual attention prediction. *In Proceedings of the 15th International Workshop on*

*Content-Based Multimedia Indexing*, (s. 1-7).  
doi:<https://doi.org/10.1145/3095713.3095730>

Özdoğan, M., & Korkmaz, S. Z. (2022). Sanal Gerçeklik Sistemlerinin Mimarlık Eğitiminde Kullanımı - Use of Virtual Reality Systems in Architectural Education. *1. Uluslararası Mimarlık, Sanat ve Tasarım Sempozyumu* (s. 40-49). Online: IAR-ARDE.

Perez, H., Tah, J. H., & Mosavi, A. (2019). Deep Learning for Detecting Building Defects Using Convolutional Neural Networks. *Sensors*, *19*(16), s. 3556.  
doi:<https://doi.org/10.3390/s19163556>

Portman, M., Natapov, A., & Fisher-Gewirtzman, D. (2015). To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems* (55), 376–384.

Prieto, J., Castaño-Perea, E., & Arroyo, F. (2017). Augmented Reality In Architecture: Rebuilding Archeological Heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *XLII-2(W3)*, 311-315.

Ruiz-Montiel, M., Boned, J., Gavilanes, J., Jiménez, E., Mandow, L., & Pérez-de-la-Cruz, J.-L. (2013). Design with shape grammars and reinforcement learning. *Advanced Engineering Informatics*, *27*(2), s. 230-245.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.12.004>

Russell, S. J., & Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence A Modern Approach*. Prentice Hall.

Sarıcıoğlu, P., İlerisoy, Z. Y., & Soyluk, A. (2021). Mimarlık ve Endüstri 4.0 Eşleşmesi. *Yapı, Mimarlık, Tasarım, Kültür, Sanat Dergisi*(464), 12-17.

Siountri, K., & Anagnostopoulos, C.-N. (2023). The Classification of Cultural Heritage Buildings in Athens Using Deep Learning Techniques. *Heritage*, 6(4), s. 3673-3705. doi:<https://doi.org/10.3390/heritage6040195>

Sjölén, A. (2022). *Visualiseringsarbete av bansträckning*. Swedish: Luleå University of Technology, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering.

Steinfeld, K. (2017). Dreams may come. *ACADIA 2017: DISCIPLINES & DISRUPTION (Proceedings of the 37th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture)*, (s. 590-599).

Susi, J. (2022). *Interactive Architectural Visualization using Unreal Engine*. Savonia: Savonia University of Applied Sciences, Bachelor's Thesis.

Şapcı, B., & Pektaş, Ş. T. (2021). Makine Öğrenmesi Aracılığı ile Kullanıcı Deneyimi Bilgilerinin Erken Mimari Tasarım Süreçleriyle Bütünleştirilmesi. *Journal of Computational Design*, 2(1), s. 67-94.

Thomsen, M. R., Nicholas, P., Tamke, M., Gatz, S., Sinke, Y., & Rossi, G. (2020). Towards machine learning for architectural fabrication in the age of industry 4.0. *International Journal of Architectural Computing*, 18(4), s. 335-352. doi:<https://doi.org/10.1177/1478077120948000>

Tonn, C., Petzold, F., Bimber, O., Grundhöfer, A., & Donath, D. (tarih yok). Spatial Augmented Reality for Architecture – Designing and planning with and within existing buildings. *international journal of architectural computing*, 6(1), 41-58.

Turing, A. (1950). Turing. *Computing machinery and intelligence. Mind*, 59(236).

Uzun, C. (2020). *Yapay Zeka ve Mimarlık Etkileşimi Üzerine Bir Çalışma: Üretken Çekişmeli Ağ Algoritması ile Otonom Mimari Plan Üretimi ve Değerlendirmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Wei, L. (2018). AI concepts in architectural design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 392(6), s. 062016. doi:10.1088/1757-899X/392/6/062016

Wilkinson, S., Hanna, S., Hesselgren, L., & Mueller, V. (2013). Inductive Aerodynamics. *2013 eCAADe Conference*, 2, s. 39-48. Delft, The Netherlands.

Xu, Z., Tao, D., Zhang, Y., Wu, A. S., & Tsoi, A. C. (2014). Architectural style classification using multinomial latent logistic regression. In *Computer Vision–ECCV 2014: 13th European Conference. Proceedings, Part I 13*, s. 600-615. Zurich, Switzerland: Springer International Publishing.

Yıldız, Ö., & Kaya, B. (2021). Sinemasal Gerçeklikte Zaman Ve Mekan Tasarımı: Unreal Engine Ve the Mandalorian Örneği. *International Social Sciences Studies Journal*, 4644-4639 , <http://dx.doi.org/10.26449/sss.3530>.

Yılmaz, A. (2020). *Yapay Zekâ (İnkılâp Kitabevi Yayın San. Tic. A.Ş. b.)*. (G. Aksan, Dü.) İstanbul: KODLAB.

Yetiş, G., Yetkin, O., Moon, K., & Kılıç, Ö. (2018). A Novel Approach for Classification of Structural Elements in a 3D Model by Supervised Learning. *Proceedings of the 36th eCAADe Conference*, 1, s. 129-136.

Yoshimura, Y., Cai, B., Wang, Z., & Ratti, C. (2019). Deep Learning Architect: Classification for Architectural Design Through the Eye of Artificial Intelligence. *Computational Urban Planning and Management for Smart Cities 16*, s. 249-265.

Zandavali, B. A., & García, M. J. (2019). Automated Brick Pattern Generator for Robotic Assembly using Machine Learning and Images. *37 Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe and XXIII Iberoamerican Society of Digital Graphics, Joint Conference (N. 1)*. 7, s. 217-226. Editora Blucher. doi:10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019\_605

Zeneks. (2023). *Endüstri 4.0*. Mayıs 2025 tarihinde [https://www.zeneks.com.tr/endustri-4-0-ve-sanayi-devrimi/adresinden alındı](https://www.zeneks.com.tr/endustri-4-0-ve-sanayi-devrimi/adresinden%20alindi)

Zhang, H. (2019). 3D Model Generation on Architectural Plan and Section Training through Machine Learning. *Technologies*, 7(4), s. 82. doi:<https://doi.org/10.3390/technologies7040082>

# ENDÜSTRİ 4.0. DÖNEMİNDE DİJİTAL TEKNOLOJİLERİN MİMARİ TASARIMA ETKİSİ

