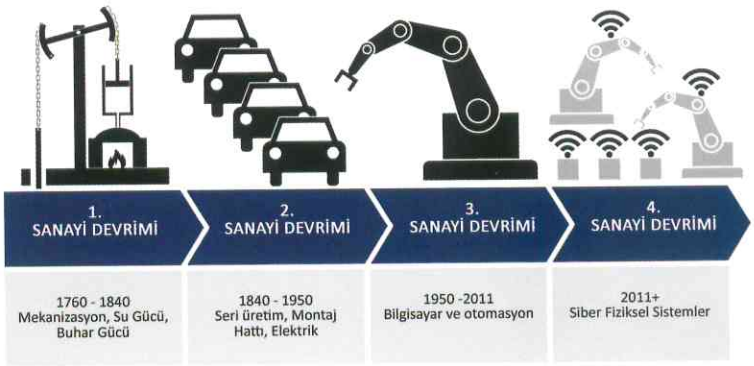


Resim 1. Endüstri devrimleri ve dönemleri (5) .

Mimarlık ve Endüstri 4.0 Eşleşmesi

Arş. Gör. Pelin Sarıcıoğlu
Doç. Dr. Zeynep Yeşim İlerisoy
Doç. Dr. Asena Soyluk

Günümüze kadar modern sanayi gelişimi devam etmiş ve üç büyük devrim gerçekleşmiştir. Şu an ise bulunduğumuz çağ "Endüstri 4.0" olarak adlandırılmaktadır. Hannover Fuarı'nda gündeme gelen Endüstri 4.0'ün amacı geleneksel endüstriyel süreçlerin bilişim teknolojisi ile entegre olarak dijitalleşmesidir (1). Sanayinin dijital dönüşümü olarak nitelendirilen Endüstri 4.0'ün temel amaçları; dijital ortamda robotların, makine ve ekipmanların birbirine bağlanmaları ve her türlü paydaşların (müşteriler, tedarikçiler) üretimde gerekli enerji ve ham madde kaynakları ile durmaksızın iletişim kurabilmeleridir (2). Endüstri 4.0, üretim ve hizmet sektörlerinin dinamiklerini getirdiği yeni teknolojiler ile sağlamaktadır. Dolayısıyla Endüstri 4.0'ün getirdiği yenilikler; büyük veri (big data), AR (arttırılmış gerçeklik), IoT (nesnelerin interneti), RFID-RTLS gibi akıllı sensör teknolojileri, siber güvenlik, sanal gerçeklik, bulut bilişim, yapay zeka ve otonom robotlardır. Bu teknolojilerdeki gelişmelerin kullanıldığı alanlar arasında mimarlık-inşaat, endüstri, hizmet ve sağlık sayılabilmektedir (3-4).

Çalışma kapsamında Endüstri 4.0'ün temel yapı taşları olan bulut bilişim, eklemeli üretim, sanallaştırma teknolojileri, sensörler, mobil teknolojiler, RFID-RTLS, adaptif ve robotik sistemler, yapay zeka, veri analitiği, simülasyon, gömülü sistemler, kablosuz iletişim ve ağ teknolojileri, siber güvenlik gibi teknolojiler ile gerçek zamanlı veri yönetimi ve analitiği, birlikte çalışabilirlik, sanallaştırma, merkezi olmayan karar yapıları, çeviklik, hizmet odaklılık prensiplerinin mimarlık-inşaat alanında kullanılan yapay zeka, 3D yazıcılar, BIM, robotik, dronelar, artırılmış gerçeklik, nanoteknolojik malzemeler, yenilenebilir teknolojiler, akıllı şehirler-evler ve çevreler gibi teknolojilerle arakesitlerinin birbirleriyle bağlantılarını irdelemek ve mimarlık alanında hangi sorunlara bu kesişimlerle çözüm bulunabileceğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

Literatür taramasında, Endüstri 4.0'ün getirdiği teknolojilerin ve yeniliklerin üretim alanındaki yansımalarına ait çalışmalar yoğunken, mimarlık-inşaat alanına yansımalarına dair çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, Endüstri 4.0'ün mimarlık ve inşaat alanındaki etkileri, değiştirip-dönüştürdüğü uygulamalar, sağladığı avantajlar ve zorluklar, çözüm getirdiği konular; Endüstri 4.0'ün getirdiği teknolojiler ve kullandığı prensiplerle eşleştirilerek ve karşılaştırılarak ortaya konmuştur.

Endüstri 4.0 ve Kapsamı

İlk Endüstri Devrimi (1.0), mekanik üretim sistemleri aracılığıyla su ve buhar gücünün kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. İkinci Endüstri Devrimi'nde (2.0) ise elektriğin kullanılması ile seri üretime geçiş yaşanmıştır. Üçüncü Endüstri Devrimi'nde üretimin otomatik hale gelmesi, elektroniklerin kullanımı ve bilgi teknolojilerinin ilerlemesi ile dijital bir devrim yaşanmıştır (Resim 1) (5). Dördüncü Endüstri Devrimi veya Endüstri 4.0, ilk kez Almanya'da gündeme gelmiş ve tanım olarak insan gücünün yerini makine gücüne bırakarak imalat süreçlerini yönetebilir duruma gelmesi anlamındadır.

Endüstri 4.0 "akıllı fabrikalar" gibi yeni terimlerin gerçekleşmesini mümkün kılarken, üretim sistemlerinin (sanal ve fiziksel) bütüncül olarak birbirleriyle esnek biçimde iş birliği yaptıkları ortam sunmaktadır. Endüstri 4.0'ün getirdiği avantajların başında üretimin daha az fiyatla, asgari enerji kullanarak, ısı ve süre tasarrufuyla, kaynakların daha az kullanımıyla, hızlı bir biçimde, güvenilirliği yüksek, kaliteli ve randımanlı olması gelmektedir. Bu amaçların gerçekleşebilmesi için de üretimi etkisi altına alan ve üretim idaresini başlatan tüm aşamaların bu kapsam doğrultusunda yeniden ele alınması ve akıllı biçime dönüştürülmesi de gerekmektedir (2).

Endüstri 4.0'ün verimliliğin artırılmasında, yenilikçi iş süreçleri ve ürünlerin tasarımındaki hedeflerini aşağıdaki temel prensiplere dayanarak gerçekleştirdiği söylenebilmektedir (6-7).

Gerçek zamanlı veri yönetimi yeteneği: İşletmelerde oluşan süreçlerle ilgili verilerin anlık olarak toplanması ve verilerin analiz edilmesi anlamına gelmektedir.

Birlikte çalışabilirlik: "Nesnelerin interneti" (IoT) ve "internet servisleri" üzerinden iletişim kurma yeteneğini ifade etmektedir.

Sanallaştırma: Sanal tesis ve simülasyon modellerinin sensör verileri ile bağlanması sonucu oluşan bir sistemdir.

Merkezi olmayan karar yapıları: Siber fiziksel sistemlerle ilgili olan

bu prensibe göre akıllı fabrikalardaki işleyen süreçlerde kendi kararlarını kendileri verebilmeleri anlamına gelmektedir.

Çeviklik: Kolay ve hızlı davranabilen anlamlarına gelen çevikliğin, Endüstri 4.0 ile yorumlanması da aynı anlama gelmektedir.

Hizmet odaklılık: Siber fiziksel sistemler, insanlar ve akıllı fabrika sistemlerinin hizmetlerin interneti ile herkese ulaşabilir olmasıdır.

İş süreçlerinin entegrasyonu: Kablosuz iletişim ve ağ teknolojileri, siber güvenlik, bulut bilişim, sensörler ile RFID-RTLS teknolojileri sayesinde iş süreçlerinde akıllı sistem elemanları karşılıklı iletişim kurup birlikte çalışarak, merkezi olmayan karar yapıları oluşmakta ve iş süreçlerinin entegrasyonu bu şekilde sağlanmaktadır.

The Boston Consulting Group raporunda, Endüstri 4.0 olarak bilinen dijital sanayi teknolojisinin yükselişinin, dokuz temel teknolojinin ilerlemesiyle güçlenen bir dönüşüm olduğu ifade edilmektedir (8). Bu teknolojiler başlıca; adaptif robotik sistemler, veri analitiği ve yapay zeka, simülasyon, gömülü sistemler, kablosuz iletişim ve ağ teknolojileri, siber güvenlik, bulut bilişim, eklemeli üretim, sanallaştırma teknolojileri, sensörler, RFID ve RTLS teknolojileri ve mobil teknolojilerdir. Tüm bu teknolojilere ek olarak IoT (nesnelerin interneti) ile büyük veri aracılığı ile tüm sistemler birbiriyle görevleri gerçekleştirebilmek için haberleşmektedir (7).

IoT (Nesnelerin interneti): Endüstri 4.0'ün temel omurgası olarak bilinen teknoloji ile nesnelerin gömülü yazılımlar, mikroişlemciler, kablosuz bağlantı ve veri depolama birimleri ile akıllı hale getirilmesi durumudur (9).

Büyük veri (Big data): "Sosyal medya paylaşımları, bloglar, fotoğraflar, ağ günlükleri, videolar, sistem logları gibi farklı kaynaklardan elde edilen, işlenebilen ve anlamlandırılabilen veri biçimine dönüştürülme şekli" olarak tanımlanabilmektedir"(10).

Adaptif ve robotik sistemler: Sanal görüş yetenekleri ve ileri seviye sensör yapıları, yüksek hassaslık, doğruluk, gelişmiş algoritmalar yardımı ile hem hareket ve pozisyon kontrolü sağlayabilmekte hem de farklı ortamlara uyum sağlayabilmektedir (6).

ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ	ENDÜSTRİ 4.0 PRENSİPLERİ						
	Gerçek zamanlı veri yönetimi ve analitiği	Birlikte çalışabilirlik	Sanallaştırma	Merkezi olmayan karar yapıları	Çeviklik	Hizmet odaklılık	İş süreçlerinin entegrasyonu
Adaptif ve Robotik Sistemler					✓		
Veri Analitiği ve Yapay Zeka	✓			✓	✓	✓	
Simülasyon			✓		✓		
Gömülü Sistemler				✓			
Kablosuz İletişim ve Ağ Teknolojileri		✓		✓	✓		✓
Siber Güvenlik		✓					✓
Bulut Bilişim					✓	✓	✓
Eklemeli Üretim					✓		
Sanallaştırma Teknolojileri					✓		
Sensörler	✓		✓	✓			✓
RFID & RTLS	✓			✓	✓		✓
Mobil Teknolojiler					✓		

Tablo 1. Endüstri 4.0 teknolojileri ve prensipleri (6).

Yapay zeka: Yapay zekanın amaçları insanların aklı ile yapabileceği şeyleri taklit ederek, yapılabilecekleri daha da geliştirmektir (11).

Simülasyon, sanallaştırma ve mobil teknolojiler: Simülasyon teknolojileri ile değişen her türlü koşulda performans değişimlerinin izlenebilmesi ya da yeni sistemlerin oluşturulabilmesi ve sistemlerin ne şekilde tepki vereceğinin ölçülmesi mümkün olmaktadır (6).

Gömülü sistemler: Siber fiziksel sistemlerin yapı taşı olmakla beraber, verileri üzerinde depolayabilmekte, işleme ve hesaplamayı mikro kontrolör yapılarla sağlamakta ve bu sayede iş sistemlerini, makineleri ve ürünleri akıllı hale getirmektedir (6).

Kablosuz iletişim ve ağ teknolojileri: Kablosuz iletişim ve ağ teknolojileri sayesinde makine ve cihazlar birbirleriyle veya bulut üzerindeki uygulama servisleriyle bağlantıda olurlar (6-12).

Siber güvenlik: Veri güvenliğinin koruma altında olması anlamına gelmektedir (13).

Bulut bilişim: Bir hizmet olarak bilişim aygıtlarının bibirleriyle yaptıkları bilgi paylaşımının adıdır (6).

Eklemeli üretim: 3D yazıcılarla yapılan üretimdir ve özellikle inşaat, mimarlık alanı başta olmak üzere günümüzde pek çok alanda kullanılması yaygınlaşmıştır (13).

Sensörler ile RFID VE RTLS teknolojileri: Sensörler ile RFID-RTLS teknolojileri sayesinde iş sistemlerine ait (ürün, makine, malzeme, ekipman) ögelerin takibi ve gerçek zamanlı izlenebilirliği sağlanmaktadır (6).

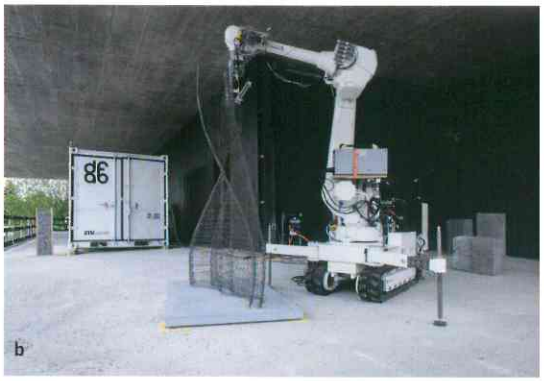
Literatürde bu devrimin farklı alanlar üzerinden incelemesi artan ivme ile yer almıştır. Yapılan literatür çalışması doğrultusunda temel prensiplerin ve teknolojilerin birbiriyle kesişim matrisi ortaya çıkartılmış ve Tablo 1'de sunulmuştur (6, 14).

Mimarlık ve İnşaat Alanında Kullanılan Yenilikçi Teknolojiler

Mimarlık alanında Endüstri 4.0 ile beraber yapı sektörünü ve tüm dünyayı



a


b


c


d

Resim 2. a. Akıllı şehir ve çevrelerin bileşen haritası, b. 3D yazıcı ile model üretimi, c. Gramazio & Kohler Research'ün İHA (drone) çalışmaları, d. Haydar Aliyev Havalimanı bilgisayar modellemesi (21, 22, 17, 23).

ilgilendiren mikro ve makro ölçekteki sorunlara da çözüm getirilmektedir(15). Mimarlık ve yapı sektörünün kullandığı teknolojilerle çözüm aranılan sorunlar; enerji etkinlik, sürdürülebilir çevreler oluşturmak, hızlı yapım teknikleri ile zamandan ve maliyetten tasarruf, konstrüksiyon problemlerinin teknolojilerle çözümü, nanoteknoloji ve malzeme bilimlerindeki gelişmelerle çevreye duyarlı, kendini yenileyebilen malzemelerin yapılarda kullanımı gelmektedir.

Akıllı şehirler ve çevreler oluşturmak: Endüstri 4.0 teknolojileriyle oluşturulan akıllı hizmetler ile her zaman kullanıcı merkezli olan akıllı şehirlerde/çevrelerde; bilgi ve iletişim teknolojileri ile zaman tasarrufu elde edilmesi, binalarda enerji etkinliğin sağlanması ve yönetilmesi, akıllı trafik uygulamaları ile trafiğin düzenlenmesi gibi temel faktörler ile sağlanan hizmet ve yaşam kalitesini maksimum verimlilik sağlayacak şekilde bütüncül bir planlama süreci ile pek çok soruna çözüm aranmaktadır (Resim 2a).

3D yazıcıların kullanımı: 3D baskı yönteminin mimarlıkta kullanılmasının avantajları; otomatik bir tabaka halinde üretim süreci olarak 3B baskı, inşaat süresinin kısalması, seri ve standart üretimin kolaylaşması, inşaat maliyetinin azaltılması ve insan gücünün azaltılması, hatasız ve hassas sonuçların elde edilebilmesi, mimari açıdan karmaşık formların kolayca inşası, ham maddenin %95'ine yakın kullanarak atık madde oranını en az tutulabilmesi, tasarımda esneklik sağlamasıdır (16-17).

Otonom robotlar ve drone kullanır Robotik sistemlerin ve droneların inşaat-yapı alanında kullanılması ile hızlı üretim, maliyet ve zamandan tasarruf, hacimsiz-esnek tasarım yapılabilmesi, sayısal teknolojilerin direkt olarak projelerde kullanılabilme çevreye verilen zararın azaltılması, yüzeylerin temizlenmesi, hazırlanması veya kaldırılması sırasında oluşabilece ses ve toz kirliliğini ortadan kaldırabil (18) (Resim 2c).

Bina bilgisi modelleme teknolojisi kullanımı: Bina Bilgisi Modelleme (BIM) kullanımı ile tasarım öncesi ve sonrası tutarlılık sağlaması, tasarıma ait çözünürlüğü yüksek görselleştirme


a


b



Resim 3. a. Yapay Zeka ve Arttırılmış Gerçeklik Uygulamaları, b. Nanoteknolojik Malzemelrin Binalarda Kullanımı (26, 27).

ve simülasyon yapılabilmesi, işbirlikçiler arasında koordinasyon ve iş birliğinin sağlanması, daha hızlı çizim yapılabilmesi, yüksek düzeyde kişiselleştirme ve esneklik, bina yaşam döngüsünün bakımının kolay yapılabilmesi, program ve maliyet optimizasyonu, inşaat planlama ve izlemenin gerçekleştirilebilmesi, yüksek oranda gerçekliği yakalama, süreçlerde hatalar ve eksiklikleri azaltabilme, genel proje süresini azaltmasıdır (19-20) (Resim 2d).

Yapay zeka ve arttırılmış gerçeklik: Tasarım aşamasında, görselleştirme için AR uygulamaları kullanılması ile mimarların sanal bağlamsal verilerle ve önerilen tasarımın özellikleriyle nihai bağlamında etkileşime girmelerini sağlamaktadır. İnşaat aşamasında, AR uygulamaları, montaj prosedürü sırasında doğrudan inşaat sahasında Bina İnformasyon Modelleme (BIM) veri bilgilerini üst üste bindirebilmektedir. Tamamlama sonrası aşamada AR, karmaşık bakım prosedürleri için bir uygulama olarak ve binalardaki onarım işlerinde kullanılabilir. Ayrıca, AR uygulamaları mimarlık ve bina inşaatı alanında mobil öğrenme medyası (m-öğrenme) tasarlayarak eğitim amaçlı kullanılabilir (24) (Resim 3a).

Nanoteknoloji: Nanoteknolojik malzemelerin inşaat-yapı sektöründe kullanılması enerji etkinlik amaçlı yapıların sürdürülebilirliğine katkı sağladığı, karbondioksit emilimini azaltarak çevre kirliliğini azalttığı, yine geliştirilebilecek yeni malzemelerle elektrik veya ısıya maruz kaldıklarında şekil ve özelliklerini tekrar kazanan değiştiren hafızalı malzemeler, binaları depreme karşı koruyabilme özelliğine sahip olacakları, "kendi kendini temizleyen" camlar bilim adamları tarafından daha da geliştirilerek, evin ışık almayan diğer yüzeylerinin de nanoteknolojiler sayesinde bu özelliğe kavuşabileceği gibi avantajlar getirebilecektir (25) (Resim 3b).

Yeni teknolojiler (İnterdsipliner teknolojilerin kullanımı): Yeni teknolojilerin gelişerek inşaat alanında kullanılmalarının en büyük amaçlarından biri enerji ve sürdürülebilirlik sorunlarına malzemeler ve yapım teknolojileri ile çözüm üretmek olacaktır.

ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ	MİMARLIK TEKNOLOJİLERİ						
	Akıllı Şehir ve Çevreler	3D Yazıcı	Otonom Robot ve Drone Kullanımı	BIM Kullanımı	Yapay Zekâ ve Arttırılmış Gerçeklik	Nano-Teknoloji Kullanımı	Diğer Teknolojilerin Kullanımı
Bulut Bilişim	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eklemeli Üretim		✓		✓			
Sanallaştırma Teknolojileri				✓	✓		
Kablosuz İletişim ve Ağ Teknolojileri	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Adaptif ve Robotik Sistemler			✓		✓		✓
Veri Analitiği ve Yapay Zeka	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gömülü Sistemler	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mobil Teknolojiler	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sensörler	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Siber Güvenlik	✓	✓	✓	✓	✓		✓

Tablo 2. Mimarlık teknolojileri ile Endüstri 4.0 teknolojileri eşleşmesi (yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

Endüstri 4.0 - Mimarlık Eşleşmesi ve Değerlendirme

Bu çalışmada Endüstri 4.0 ile beraber kullanılan prensipler ve teknolojilerin mimarlık alanının neresinde olduğu ve paylaştığı veya ayrıldığı noktaların neler olduğu araştırılmıştır. Mimarlık teknolojileri ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin eşleşme matriksinin çıkarıldığı Tablo 2'de görüldüğü gibi Endüstri 4.0'ün temel teknolojilerinden bulut bilişim, veri analitiği ve yapay zeka, sensörler, mobil teknolojiler ve gömülü sistemlerin tabloda belirtilen mimarlık teknolojilerinin hepsi ile bağlantılı oldukları görülmektedir; çünkü bu sistemlerin hepsinin ortak amaçlarından biri çevrim içi bilgi dağıtımı, bir hizmet olarak bilişim aygıtları arasında ortak bilgi paylaşımını sağlamak olduğundan ve mimarlıkta kullanılan teknolojilerde de bu gereksinim olduğundan hepsiyle eşleşebilecekleri düşünülmüştür.

Eklemeli üretim, 3D yazıcı kullanımı ile bağlantılıdır ve mimaride prototip veya gerçek model üretiminde kullanılan 3D yazıcı teknolojisi ve bu üretimin alt yapısı olan CAD yazılım araçlarından BIM kullanımı ile eşleşebileceği söylenebilir.

Sanallaştırma teknolojilerinin mimarlıkta kullanılan artırılmış gerçeklik ve yapay zeka teknolojilerinin alt yapısı ya da üst başlığı olduğu düşünüldüğünde birbiri ile iç içe geçtikleri söylenebilmektedir. AR ve VR sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojileri ile mimarlık dışında başka alanlarda da iş süreçlerinin ve kullanıcıların verimliliğini artırmak adına kullanıldıkları bilinmektedir. Mimarlık alanındaki AR ve VR teknolojilerinin Endüstri 4.0'teki sanallaştırma teknolojisi ile eşleşmesi ile süreçler çevik, hızlı ve bütünleşik olacaktır.

Adaptif ve robotik sistemlerin, mimarlıkta kullanılan robotik ve drone kullanımı ile bu sistemlerin altyapısı olan yapay zeka ile bağlantılı oldukları bilindiğinden bu sistemler ve gelecekte kullanılabilecek bu sistemlere entegre diğer teknolojilerle eşleşebilecekleri düşünülmektedir. Özellikle gelişen bu adaptif ve robotik sistemlerin katkısı ile örneğin dronelar ile insansız biçimde uzaktan kumanda edilerek inşaat süreçlerinin gerçekleştirilebildiği denemeler olduğu bilinmektedir.

Siber güvenlik teknolojisi Endüstri

ENDÜSTRİ 4.0 PRENSİPLERİ	MİMARLIK TEKNOLOJİLERİ						
	Akıllı Şehir ve Çevreler	3D Yazıcı	Otonom Robot ve Drone Kullanımı	BIM Kullanımı	Yapay Zekâ ve Arttırılmış 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 entegrasyonı	✓	✓	✓	✓	✓		✓

Tablo 3. Mimarlık teknolojileri ile Endüstri 4.0 prensipleri eşleşmesi (yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

4.0'ün getirdiği yenilikçi teknolojilere karşı zorunlu olarak geliştirilmesi gereken bir sistemdir. Çünkü, verilerin güvenli iletimi ve analizi sistemlerin işleme sağlığı için önem arz etmektedir. Dolayısıyla siber güvenlik sistemlerinin mimarlıkta kullanılan nanoteknolojik malzemeler dışındaki teknolojilerle eşleşme yapabileceği düşünülmektedir.

Tablo 3'te ise Endüstri 4.0 prensipleri ile mimarlık teknolojilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Endüstri 4.0 ile gerçekleşen üretim süreçlerinin dinamiklerini tanımlayan bu prensipler, mimarlıkta kullanılan teknolojilerin de işleme mantığını ifade etmektedir. Buna göre, hizmet odaklılık ile çeviklik prensiplerinin mimarlıktaki bütün teknolojilerin temel amacı olduğunu ve hepsiyle eşleştiğini söylemek mümkündür. Çünkü mimarlıkta kullanılan tüm bu teknolojilerin iş süreçlerini hızlandırmak, maliyetleri düşürmek ve kullanıcılara daha iyi hizmetler sunmak amaçları ortaktır. Ayrıca, gerçek zamanlı veri yönetimi ve analitiğin de birbiriyle internet aracılığı ile bağlı olan teknolojilerin temelini oluşturduğu ve bu sistemlerdeki akan verinin yönetim ve işleme-kontrol mekanizmasının adı olduğu düşünüldüğünde sayılan bu özellikler tüm mimarlık teknolojilerinde yer alan gereksinimlerdir. Örneğin AR teknolojileri, yapay zeka, BIM uygulamaları gibi teknolojilerde gerçek zamanlı olarak takip edilerek, süreçler izlenebilmekte ve olası bir hata durumunda geri besleme ile hatalar düzeltilebilmektedir.

Endüstri 4.0 prensiplerinden birlikte çalışabilirlik IoT ile nesnelerin birbiriyle iletişimde kalarak iş süreçlerini gerçekleştirebilmeleri anlamına gelen bu prensip, kablosuz iletişim, ağ teknolojileri ve siber güvenlik teknolojileri ile birleşerek mimarlıkta nanoteknolojik malzemeler dışındaki tüm teknolojilerde bağlayıcı olarak eşleşmektedir.

Sanallaştırma prensibinin özellikle AR-VR yapay zeka ile BIM teknolojileriyle aynı amaca yönelik olarak birbirlerini karşıladıkları söylenebilmektedir.

İş süreçlerindeki elemanların internet üzerinden birbirlerine bağlanması sonucu bir insana ihtiyaç duymadan gereksinimleri karşılayarak kendi kendilerine karar vererek süreçlere müdahale edebilme özelliği anlamına gelen merkezi olmayan karar yapılarının, mimarlıkta kullanılan akıllı çevreler, BIM, robotlar-dronelar, yapay zekave artırılmış gerçeklik ile diğer teknolojiler başlıkları da kendi kendisine karar verebilecek veya komutlarla yönlendirilebilecek yapılar olduklarından eşleşirler.

Kablosuz iletişim ve ağ teknolojileri, siber güvenlik, bulut bilişim, sensörler ile RFID-RTLS teknolojileri sayesinde iş süreçlerinde akıllı sistem elemanları karşılıklı iletişim kurup birlikte çalışmalarının bir sonucu olan iş süreçlerinin entegrasyonu prensibi mimarlıkta nanoteknoloji dışında tüm teknolojilerle eşleşebilmektedir. Çünkü bu prensibi oluşturan teknolojilerin hemen hepsi mimarlıkta kullanılan teknolojilerin birer parçasıdır ve bu teknolojiler sayesinde birbirine bağlanan nesnelerle iş süreçleri entegre bir şekilde gerçekleşmektedir.

Sonuç

Endüstri 4.0'ün getirdiği teknolojiler ve prensipler ile başta sanayi ve üretim sektörleri olmak üzere mimarlık ve yapı alanındaki etkileri ve yansımaları üretim, iş süreçleri, yapı-mimarlık alanındaki olumlu etkileri ile hissedilmektedir. Endüstri 4.0'ün prensip ve teknolojileri sayesinde neredeyse her alanda bilgiye ulaşmak kolaylaşmakta, iş verimliliği ve entegrasyonu artmakta, üretimde maliyet ve iş gücünden tasarruf edilmekte, üretim süreçleri hızlanmakta, esnekleşmektedir.

Endüstri 4.0'ün endüstri, üretim vb. sektörlerdeki etkilerinin bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler ışığında veri işleme, nesnelerin interneti ve büyük veri aracılığı ile her sektörde yeni iş modellerini doğurduğunu söylemek mümkündür. Akıllı ürünler ve bağlantılar sayesinde sektörlerin sınırları ortadan kalkarken, rekabet ile baş edebilmek için sektörler yeni stratejiler geliştirmek durumunda kalmaktalar. Hizmet odaklı iş modelleri gelişirken Endüstri 4.0, yüksek düzeyde operasyonel verimlilik ve verimlilikte büyüme sağlayabilmek için sektörü hızlandıracağı sonucuna ulaşılmaktadır.

Mimarlık alanında getirdiği teknolojiler ve prensipler ile ileri yapım teknolojileri sayesinde enerji tasarrufu ve sürdürülebilir çevrelerin oluşturulması sağlanmaktadır. 3D baskı, bina bilgi modellemesinin (BIM) kullanımı ile otonom araçlar, şantiyeler arasında ve şantiyede materyallerin sürücüsüz taşınmasını sağlayabilir. Uçan robotlar ve drone gözetimi, onarım ve bakım faaliyetlerinde

kullanımının yanı sıra projelerin daha kolay planlanması, tasarlanması, izlenmesi ve yürütülmesini sağlayabilir (28). Bunlara ek olarak BIM, drone, robot kullanımı teknolojileri ile hızlı üretim, maliyet ve zamandan tasarruf, hacimsiz-esnek tasarım yapılabilmesi, sayısal teknolojilerin direkt olarak projelerde kullanılabilmesi, çevreye verilen zararın azaltılması ile enerjiden tasarruf edilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Yine yapay zeka ile AR ve VR teknolojilerinin kullanımı süreçlere hız katmasının yanı sıra üretilen bilgi ve verilerin montaj, işletme, imalat, bakım-onarım, yenileme süreçlerinde yüksek derecede otomasyon sağlanabilmektedir. Nanoteknolojinin inşaat sektöründe kullanımı ile malzemelerin özellikleri sayesinde karbondioksit emisyonunu azaltarak enerji etkinliği sağlanarak, sürdürülebilir yapılar oluşturulabilmektedir.

Çalışmada Endüstri 4.0'ün mimarlığa teknoloji ve prensipleriyle yansımasının yapı sektöründe neleri değiştireceği ortaya konulurken Endüstri 4.0'ün teknoloji ve prensipleri ile mimarlıkta kullanılan teknolojiler karşılaştırıldığında mimarlık teknolojilerinin Endüstri 4.0 teknolojileri ile bütünleştiği ve Endüstri 4.0'ün aslında bu teknolojilerin temel taşı olduğunun belirlenmesi bu çalışmanın özgün yanını ortaya koymaktadır.

Kaynaklar

1. Kılıç, S., & Alkan, R. M. (2018). Dördüncü sanayi devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye Değerlendirmeleri. Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, 2(3), 29-49.
2. Doğru, S. (2018). Endüstri 4.0 ile Gelen Dijital Dönüşüm ve Risk Altındaki Meslekler. Trend Analizi Dergisi, Mayıs. Erişim Adresi: https://thinktech.stm. com.tr/uploads/raporlar/pdf/175201817161355_stm_endustri_40.pdf
3. Gökalp, E., Gökalp, M. O., Çoban, S., & Eren, P. E. (2019). Dijital Dönüşümün İstihdama Etkisi: Mesleki Açıdan Fırsatlar ve Tehditler, IMISC Conference (s. 1-8) Proceedings, Ankara.
4. Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2015, 12th International Conference on IEEE, s. 2147–2152.
5. URL: Endüstri Devrimleri, http://www.akillifabrika.org/Endustri_4.0_ve_Sistem_Entegrasyonlari,cnt-6 (Erişim Tarihi: 13.10.2019).
6. URL: Endüstri 4.0 Prensipleri ve Teknolojileri, http://alpustundag.blogspot.com/2017/05/endustri-40-tasarmprensipleri-ve.html (Erişim Tarihi 25.03.2019).
7. Salkin C., Öner M., Üstundag A., Çevikcan E. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0, Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. Springer Series in Advanced Manufacturing. Springer, Cham.
8. URL: Michael Rüßmann ve diğ, Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/ (Erişim Tarihi: 28.05.2019).
9. Pérez, F., Irisarri, E., Orive, D., Marcos, M., & Estevez, E. (2015, September). A CPPS Architecture Approach for Industry 4.0, 2015, IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (etfa), s.1-4. IEEE.
10. EBSO. (2015). "Sanayi 4.0", Ege Bölgesi Sanayiciler Odası, Araştırma Müdürlüğü.
11. Fırat, O. Z., & Fırat, S. Ü. (2017). Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 46(2), s.211-223.
12. Çavdar, T., & Öztürk, E. (2018). Nesnelerin İnterneti İçin Yeni Bir Mimari Tasarımı, Sakarya University Journal of Science, 22(1), s.39-48.
13. Eldem, M.O. (2017). Endüstri 4.0, TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni 2017/3, http://www.emo.org.tr/ekler/09287020c96f18a_ek.pdf?dergi=1111
14. Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (32), s.43-57 . DOI: 10.30794/pausbed.424955.
15. Emmitt, S. (2002)."Architectural Technology", Blackwell Science, USA.
16. Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi, ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi, 4(7), s.55-77.
17. Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). A Critical Review of the Use of 3D Printing in the Construction Industry, Automation in Construction, 68, s.21-31.
18. Çağlar, B. (2017). Sayısal Fabrikasyonun Güncel Mimarlık Pratiğine Yansımalarını Mimarlık Ofisleri Üzerinden Okuma Deneyimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
19. Kalfa, S. M. (2018). Building Information Modeling (BIM) Systems and Their Applications in Turkey, Journal of Construction Engineering, Management & Innovation, 1(1), s.55-66.
20. Rokooei S. Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes, Procedia - Social and Behavioral Sciences 210 (2015) s.87–95.
21. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/public-sector/deloitte-nl-pssmart-cities-report.pdf (Erişim tarihi: 1 Şubat 2017).
22. URL: 3D yazıcı ile üretim, https://robohub.org/meshmould-robotically-fabricated-metal-meshes/ (Erişim Tarihi: 13.10.2019).
23. URL: Haydar Aliyev Kültür Merkezi, https://www.arkitektuel.com/haydar-aliyev-kultur-merkezi/ (Erişim tarihi: 16.10.2019).
24. Fazel, A., & Izadi, A. (2018). An İnteractive Augmented Reality Tool for Constructing Free-Form Modular Surfaces, Automation in Construction, 85, s.135-145.
25. Seza, F. (2010). Konut Tasarımına Yönelik Sürdürülebilirlik ve Teknoloji Bağlamında Bir Gelecek Tahmin Modeli, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
26. URL: Yapay zeka ve arttırılmış gerçeklik, http://fintechtime.com/tr/2018/10/artirilmis-gerceklik sektorunu-cin-ayakta-tutuyor/, (Erişim Tarihi: 13.10.2019).
27. Yılmaz, A. G. S., Vural, N., & KTÜ, M. F. Sürdürülebilir Yapıların Tasarlanmasında Nanoteknolojinin Rolü (Role of Nanotechnology in The Design of Sustainable Buildings).
28. 31. Price Waterhouse Coopers International Limited Company. (2016). 2016 Global Industry 4.0 Survey: Industry 4.0: Building the Digital Enterprise, https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digitalenterprise-april-2016. (30.05.2019).