

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE ENDÜSTRİ İŞLETMECİLİĞİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜRETİMDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM KAPSAMINDA
ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) UYGULAMALARI: BİR ÜRETİM
İŞLETMESİNDE FARKLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) YATIRIM
SENARYOLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mücahit SARI

2020801268

Danışman
Prof. Dr. Hilmi YÜKSEL

İZMİR

2023



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**ÜRETİMDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM KAPSAMINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) UYGULAMALARI: BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE FARKLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) YATIRIM SENARYOLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

17.11.2023

Mücahit SARI

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**Üretimde Dijital Dönüşüm Kapsamında Artırılmış Gerçeklik (AR)
Uygulamaları: Bir Üretim İşletmesinde Farklı Artırılmış Gerçeklik (AR)
Yatırım Senaryolarının Değerlendirilmesi**

Mücahit SARI

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Endüstri İşletmeciliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Günümüzde işletmeler, teknolojik gelişmeleri uygulamalarında kullanarak, süreçlerini iyileştirmekte, maliyetlerini düşürmekte ve kalitelerini arttırmaktadır. Hızla gelişen teknolojileri üretim uygulamalarına dahil etmek işletmelerin rekabet avantajı elde etmesine yardımcı olmaktadır. Üretimde dijitalleşme konusu, verinin dijitalleştirilmesi, işlerin dijital ortamda yapılması ve örgütlerin dijital dönüşüm ile köklü bir yapısal reformudur. Üretimde dijital dönüşüm teknolojileri içinde sıralanan Artırılmış Gerçeklik (AR) teknolojisi de gerçek ortam görünümüne sanal görünüm eklenerek bilgiyi zenginleştirmenin bir yoludur ve işletmelerde montaj işlemlerinde kalite uygulamalarında, malzeme hazırlama ve endüstriyel eğitim gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bir üretim işletmesinde farklı artırılmış gerçeklik (AR) yatırım senaryolarının değerlendirilmesi için uygulama yapılmaktadır. Montaj hattında AR teknolojisinin kullanımı konusunda literatürüne katkı sunulmaktadır. Uygulamada, montaj hattında AR teknolojisi kullanımı ile tamamlanma süresi değişen görevlerin ataması yapılmaktadır. Çevrim süresinin enküçüklenmesi amacıyla kurulan modellerde, AR teknolojisinin kullanımı ile montaj hattının mevcut durumundan sağlanabilecek iyileştirmeler ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Çalışmada kurgulanan modeller, otomotiv sanayiinde, otomobil far üretimi yapan bir üretim işletmesinde uygulanmaktadır.

Çalışmada üretim tesisinde AR teknolojisi kullanımı ile çevrim süresinin kısaltılması ve üretim miktarının artması durumları farklı senaryolar açısından sunulmaktadır ve montaj hattına dahil edilmesi gereken AR teknolojisi konusunda öneri geliştirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış Gerçeklik, Üretimde Dijital Dönüşüm, AR Teknolojisinin Montaj Hattında Kullanılması, Endüstriyel Eğitim



ABSTRACT

Master's Thesis

Augmented Reality (AR) Applications within the Scope of Digital Transformation in Manufacturing: Evaluation of Different Augmented Reality (AR) Investment Scenarios in a Manufacturing Business

Mücahit SARI

Dokuz Eylül University

Graduate School of Social Sciences

Department of Business Administration

Production Management and Industrial Management Program

Nowadays, companies are improving their processes, reducing their costs and increasing their quality by using technological developments in their implementations. Incorporating rapidly developing technologies into production practices helps businesses gain competitive advantage. The issue of digitalization in production is the digitalization of data, doing business in a digital environment and a radical structural reform of organizations through digital transformation. Augmented Reality (AR) technology, which is listed among the digital transformation technologies in production, is a way to enrich information by adding a virtual view to the real environment view and is used in areas such as quality applications, material preparation and industrial training in assembly processes in businesses.

In this study, an application is made to evaluate different augmented reality (AR) investment scenarios in a manufacturing company. With the use of AR technology, a contribution is made to the assembly line literature. In practice, in assembly line, tasks with varying completion times are assigned using AR technology. In the models established for the purpose of minimizing the cycle time, it is aimed to reveal improvements that can be achieved from the current situation of the assembly line with the use of AR technology. The models designed in the study are applied in the automotive industry, in a production company that produces automobile headlights. In the study, the situations of shortening the cycle time and

increasing the production amount by using AR technology in the production facility are presented in terms of different scenarios, and a recommendation is developed on the AR technology that should be included in the assembly line.

Keywords: Augmented Reality, Digital Transformation in Production, Use of AR Technology in Assembly Line, Industrial Training



**ÜRETİMDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM KAPSAMINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK
(AR) UYGULAMALARI: BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE FARKLI
ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) YATIRIM SENARYOLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İÇİNDEKİLER

YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLOLAR LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

**BİRİNCİ BÖLÜM
ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK**

1.1. Artırılmış Gerçeklikle İlgili Kavramlar	5
1.1.1. Sanal Gerçeklik	5
1.1.2. Artırılmış Sanallık	6
1.1.3. Karma Gerçeklik	7
1.2. Artırılmış Gerçeklik (AR) Teknolojisinin Ortaya Çıkışı ve Tarihsel Gelişimi ..	9
1.3. Artırılmış Gerçeklik (AR) Araçları	11
1.3.1. Başa Giyilen AR Araçları	12
1.3.2. El ile Tutulan AR Araçları	12
1.3.3. Uzamsal AR Araçları	12
1.4. Artırılmış Gerçeklik (AR) Yöntemleri	13
1.4.1. Sensör Tabanlı Yöntemler	13
1.4.2. Görme Tabanlı Yöntemler	13

1.5. Üretimde Dijital Dönüşüm	14
1.5.1. Üretimde Dijital Dönüşüm Aşamaları	14
1.5.2. Dijitalleştirme, Dijitalleşme ve Dijital Dönüşüm	15
1.5.2.1. Dijitalleştirme	16
1.5.2.2. Dijitalleşme	17
1.5.2.3. Dijital Dönüşüm	17
1.6. Üretimde Kullanılan Dijital Teknolojiler	18
1.6.1. Bulut Teknolojisi	19
1.6.2. Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi	19
1.6.3. Büyük Veri	20
1.6.4. Gerçek Zamanlı Analitik	20
1.6.5. Nesnelerin İnterneti ve 5G	20
1.6.6. Dijital İkiz	21
1.6.7. Eklemeli Üretim ve 3B Baskı	21
1.6.8. Artırılmış Gerçeklik	22

İKİNCİ BÖLÜM

ÜRETİMDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM KAPSAMINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) UYGULAMALARI

2.1. Artırılmış Gerçeklik (AR) Teknolojisinin Üretim İşletmelerinde Kullanımı	23
2.2. Montaj İşlemlerinde AR Yaklaşımları	24
2.1.1. Montaj İşlemlerinde – Optik ve Şeffaf Görüntülü Yaklaşımlar	25
2.1.2. Montaj İşlemlerinde – Görüntü Projeksiyonu Yaklaşımları	26
2.3. Karmaşık Montaj Görevlerinde Rehberlik	27
2.4. Malzeme Hazırlama	28
2.5. Kalite Kontrol ve Muayene	29
2.6. Algılama Cihazları ile Entegrasyon	30
2.7. Endüstriyel Eğitim	31
2.8. Artırılmış Gerçeklik ve Endüstriyel Kullanımına Yönelik Literatür Taraması	31

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE FARKLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR)
YATIRIM SENARYOLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Araştırmanın Yöntemi	39
3.2. Montaj Hattında Çevrim Süresinin Belirlenmesi	39
3.3. Montaj Hattında Değişen Görev Süreleri ile Çevrim Süresinin Belirlenmesi	41
3.4. Artırılmış Gerçeklik (AR) Teknolojisinin Montaj Hattında Kullanılması	43
3.4.1. Montaj Hattına İlişkin Veriler	44
3.4.2. Montaj Hattında Çevrim Süresinin Belirlenmesi	45
3.4.3. Montaj Hattında Eğitim ile Değişen Görev Süreleri	46
3.4.4. Geleneksel Eğitim ile Değişen Görev Süreleri İçin Montaj Hattı Senaryosu Uygulaması	48
3.4.5. AR Teknolojisi Kullanımı İle Değişen Görev Süreleri İçin Montaj Hattı Senaryosu Uygulaması	49
3.4.6. Farklı Senaryo Uygulamalarının Sonuçlarının Karşılaştırılması	51
3.5. Artırılmış Gerçeklik (AR) Teknolojisi Kullanımı ile Uygulama Senaryoları	53
3.5.1. Senaryo 1: Bir İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	54
3.5.2. Senaryo 2: İki İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	55
3.5.3. Senaryo 3: Üç İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	57
3.5.4. Senaryo 4: Dört İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	58
3.5.5. Senaryo 5: Beş İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	60
3.5.6. Artırılmış Gerçeklik (AR) Teknolojisi Kullanımı Senaryolarının Karşılaştırması	61
SONUÇ	65
KAYNAKÇA	68

KISALTMALAR

AR	Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)
VR	Sanal Gerçeklik (Virtual Reality)
HMD	Başa Takılan Ekran (Head Mounted Display)
HHD	El ile Tutulan Ekranlar (Hand-Held Display)
SAR	Mekânsal Artırılmış Gerçeklik (Spatial Augmented Reality)
SR-HMD	Uzamsal Kaydedilmiş Görüntü Göstergeli Kask (Spatially Registered Head Mounted Display)
PI	Yazılı Talimatlar (Paper Instructions)
VRI	Sanal Gerçeklik Eğitimleri (Virtual Reality Instruction)
AR-VI	Artırılmış Gerçeklik Video Eğitimleri (Augmented Reality Video Instruction)
PRO	Projeksiyon Yansı (Projection)
VI	Videolu Eğitim (Video Instruction)
HOI	Uygulamalı Eğitim (Hands on Instruction)
ITS	Akıllı Eğitim Sistemi (Intelligent Tutoring System)

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Yöntemler ve Açıklamaları	s.32
Tablo 2: Literatürde AR ile Karşılaştırılan Yöntemler	s.38
Tablo 3: Far Montajı Süresince Yapılan İşler ve İşlem Süreleri	s.44
Tablo 4: Mevcut Durum İş – İstasyon Atama ve Çevrim Süresi Hesaplama	s.46
Tablo 5: Geleneksel Eğitim ile Değişen Görev Süreleri için İş – İstasyon Atama ve Çevrim Süresi Hesaplama	s.49
Tablo 6: AR Teknolojisi Kullanımı ile Değişen Görev Süreleri için İş – İstasyon Atama ve Çevrim Süresi Hesaplama	s.51
Tablo 7: Uygulamada Değişen Çevrim Süreleri ve Üretim Miktarları	s.53
Tablo 8: Bir İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	s.55
Tablo 9: İki İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	s.56
Tablo 10: Üç İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	s.58
Tablo 11: Dört İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	s.59
Tablo 12: Beş İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı	s.61
Tablo 13: Artırılmış Gerçeklik (AR) Teknolojisi Kullanımı Senaryolarının Karşılaştırması	s.62
Tablo 14: Farklı Senaryolar için Montaj Hattı Çevrim Süresi ve Üretim Miktarı	s.63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: AR – VR ve Karma Gerçeklik	s.8
Şekil 2: Sutherland, (1968) HMD Cihazı	s.9
Şekil 3: AR Teknolojisinin Gelişimi	s.10
Şekil 4: Dijitalleştirme, Dijitalleşme ve Dijital Dönüşüm Aşamaları	s.16
Şekil 5: Optik Görünümlü AR ile Montaj İşlemi	s.25
Şekil 6: Görüntü Projeksiyonlu AR’ın Montaj İstasyonunda Kullanımı	s.27
Şekil 7: Görünmeyen Alanda Montaj İşlemi için AR	s.28
Şekil 8: Depo ve Malzeme Hazırlama İşlemlerinde AR Kullanımı	s.29
Şekil 9: Montajdan Sonra Parçaların İncelenmesi için Video Şeffaf AR Yöntemi	s.30

GİRİŞ

Günümüz dünyasında teknoloji sürekli değişen ve gelişen bir dinamiğe sahiptir. Bu gelişme içerisinde ve sosyal hayatımızda büyük yeri olan akıllı telefon ve tabletlerin de yardımıyla mobil uygulamalar ayrı bir teknoloji geliştirme alanına dönüşmüştür. Mobil uygulamalar sayesinde insanlar, ofis veya ev ortamında olmak zorunda kalmadan, telefonlarını kullanarak günlük yaşam ihtiyaçlarını karşılama olanağına sahiptir ve mobil uygulamaların şaşırtıcı bir şekilde artması, AR teknolojilerinin ön plana çıkmasına neden olarak bu teknolojileri ileriye taşımaktadır. Üç boyutlu modelleri de içerebilen medya öğelerini kullanarak gerçek dünya görüntüsü üzerinde artırılmış bir dünya görüşü sunan Artırılmış Gerçeklik (AR) teknolojisi ile çeşitli alanlarda uygulamalar geliştirilmektedir.

AR, sanal bilgilerin toplanması ve gerçekliğe yeni bir bakış açısı getiren gerçeklikle bütünleşmesiyle oluşan bir bilgi teknolojisidir. Bu teknoloji donanım ve yazılım geliştikçe ve onları çok çeşitli uygulamalar için erişilebilir hale getirdikçe, her geçen gün giderek daha popüler hale gelmektedir. Öğrenme, eğitim, simülasyon, oyun oynama veya diğer görevlerde kullanıcı deneyimlerini geliştirme potansiyelleri nedeniyle farklı alanlara uygulanan bu teknolojilerin motivasyonu uygulamadan uygulamaya değişmekle birlikte çoğunlukla kullanıcıya sadece duyularını kullanarak elde edemeyeceği ek bilgiler sağlamaktadır. Pek çok farklı alanda sorunları çözme potansiyeline sahip olduğundan; Google, IBM, Sony, HP gibi tanınmış kuruluşların yanında pek çok şirket ve üniversite bu teknolojileri geliştirmek için araştırmalarını sürdürmektedir. Fizik, kimya, biyoloji, matematik, tarih, astronomi, tıp ve hatta müzik başta olmak üzere hemen hemen her konudaki uygulamalar için uygun teknolojinin, bu konulardan herhangi birine uyum sağlayabilecek ve nihayetinde kullanıcının hayatını etkileyebilecek uygun cihazlar geliştirilmesi bu araştırmaların temel motivasyonları olarak görülmektedir.

İşletmelerin de günümüz modern teknolojilerini uygulamalarına dahil ederek çalışma alanlarını iyileştirmeleri, maliyetlerini düşürmeleri, kalitelerini artırmaları ve müşteri beklentisine en uygun ürün veya hizmeti ortaya koymaları olağan bir durumdur. AR teknolojisi, işletmelerin faaliyetlerini daha etkin gerçekleştirebilmek

amacıyla, çalışan eğitimi, montaj işlemi kolaylaştırma, kalite kontrol faaliyetleri, malzeme hazırlama gibi alanlarda yardımı alınan bir teknolojidir. Montaj hatlarında AR teknolojisi kullanımı durumu, montaj hattında çalışanın AR teknolojisi yardımıyla montaj işlemini daha kısa sürede ve daha az hata ile tamamlaması konusunda öne çıkmaktadır. Montaj hatlarında AR teknolojisi ile işbaşı eğitim montaj sırasında eş zamanlı olarak yapılmakta ve çalışanların işi tamamlama sürelerine yansımaktadır. Özellikle ürün çeşitliliği yüksek olan endüstrilerde çalışanların farklı ürün spesifikasyonları açısından güncel ve doğru bilgiye erişebildikleri bu teknolojinin sanayi ortamında kullanımı artarken, bu teknolojinin kullanımın çevrim süresine ve üretim süresine etkisinin incelenmesi bu tezin konusunu oluşturmaktadır. Bu bağlamda, tez üç bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde, Artırılmış Gerçeklik (AR) teknolojisi ele alınmaktadır ve teknolojik olarak ilgili olduğu sanal gerçeklik, artırılmış sanallık ve karma gerçeklik gibi kavramlarla ilişkisi ve farklılıkları tartışılmaktadır. Ardından AR teknolojisinin ortaya çıkışı ve gelişimi açıklanmaktadır. AR araçları ve yöntemleri ile ilgili genel teknik bilgiler paylaşıldıktan sonra, üretimde dijital dönüşüm konusu açıklanmaktadır. Dijitalleştirme, dijitalleşme ve dijital dönüşüm konusunun açıklanması ve üretim işletmelerinde kullanılan dijital teknolojilerin açıklandığı birinci bölümde AR teknolojisinin de içinde yer aldığı teknolojiler ele alınmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, AR teknolojisinin üretim işletmelerinde kullanımına yer verilmektedir. Özellikle montaj işlemlerinde AR teknolojisinin kullanımı, optik ve şeffaf görüntülü yaklaşımlar ve görüntü projeksiyonu yaklaşımları olarak ele alınmaktadır. Ardından, karmaşık montaj görevlerinde rehberlik, malzeme hazırlama, kalite kontrol ve muayene, algılama cihazları ile entegrasyon ve endüstriyel eğitim alanlarında AR teknolojinin tanıtılması ve kullanımının açıklanması açısından tezin amacına uygun olarak açıklanmaktadır. Ardından AR teknolojisinin endüstriyel kullanımına yönelik yapılan literatür taramasına yer verilmektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümü, bir üretim işletmesinde farklı artırılmış gerçeklik (AR) yatırım senaryolarının değerlendirilmesi için uygulama yapılmaktadır. Montaj hattında AR teknolojisi kullanımı konusunda literatürüne katkı sunulan bu bölümde, montaj hattında, AR teknolojisi kullanımı ile tamamlanma süresi değişen görevlerin

ataması yapılmaktadır. Çevrim süresinin enküçüklenmesi amacıyla kurulan modellerde, AR teknolojisinin kullanımı ile montaj hattının mevcut durumundan sağlanabilecek iyileştirmeler ortaya çıkarılmaktadır. Mevcut durumda çalışan montaj hattının belirlenen istasyon sayısı çerçevesinde çevrim süresi hesaplanmaktadır. Ardından geleneksel işbaşı eğitim olarak kabul edilen, kâğıt dokümantasyon eğitimi ile çalışanların görev tamamlama süreleri iyileştirilmesi durumunda montaj hattı çevrim süresi hesaplanmaktadır ve son olarak AR teknolojisi kullanıldığı durumda işlem süreleri belirlenerek montaj hattı çevrim süresi hesaplanmaktadır. Mevcut durum, geleneksel eğitim ve AR teknolojisi kullanımı durumlarında montaj hattında ortaya çıkarılan farklılıklar sunulmaktadır ve çevrim süreleri, hat verimlilikleri, çıktı miktarları karşılaştırılmaktadır. Uygulamanın ikinci aşamasında montaj hattında istasyonlara atanan işçilerin AR teknolojisi ile eğitimi ve geleneksel eğitimine yönelik karma eğitim senaryoları test edilmektedir.

Çalışmada kurgulanan modeller, otomotiv endüstrisinde, otomobil far üretimi yapan bir üretim işletmesinde uygulanmaktadır. Çalışmada üretim tesisinde AR teknolojisi kullanımı ile çevrim süresinin kısaltılması ve üretim miktarının artması durumları incelenmektedir. Montaj hattı boyunca işgücü yoğun operasyonların olduğu görevler üzerine AR teknolojisi kullanımı ile yapılan iyileştirmelerin çevrim süresine ve çıktı miktarına yönelik sonuca olan etkileri araştırılmaktadır. Montaj hattı boyunca AR teknolojisinin kullanılabileceği operasyonlar ve etkileri titizlikle incelenmektedir ve uygulayıcı işletmede kullanıma yönelik öneriler geliştirilmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK

Artırılmış Gerçeklik (AR), gerçek ortam görünümüne sanal görünüm eklenerek bilgiyi zenginleştirmenin bir yoludur. Uygulamada sanal ile gerçeğin üst üste bindirilmesinin ilk amacı, doğrudan görülen nesnede medya öğelerini kullanarak ekstra bilgi vermektir. AR'nin keşfi, sanal dünya ile etkileşim kurma sorusuna yanıt aranarak başlamıştır ve günümüzde sosyo-ekonomik standartlardan oluşan birçok kullanım alanı ile uygulama her geçen gün gelişmektedir (Vallino, 1998: 1). Temelde AR, bilgisayar tarafından oluşturulan üç boyutlu nesneler ile gerçek dünya nesneleri arasında eşzamanlı bir entegrasyon sağlamaktadır.

Sanal verileri fiziksel dünya üzerinde işlemek, ekstra bilgi sağlamak, kullanıcılara görünmeyenleri sunmak ve gerçek zamanlı etkileşim sağlamak AR'nin ana özellikleridir. Sanal gerçekliği ötesinde bir yapıda olan artırılmış gerçeklik, gerçek bir çevrede türetilmektedir. Gerçek çevredeki nesnelerin görüntülerinin, sanal olarak tarafından üretilen grafik, ses ve konum verileri gibi ek veriler ile gerçek zamanlı olarak zenginleştirilerek daha detaylı ve anlaşılır bir şekilde tanımlanması ile ortaya çıkmaktadır (Caboni ve Hagberg, 2019: 1127 – 1128).

AR teknolojisi, temelde sanal gerçekliğin bir türüdür ve sanal gerçeklikteki gibi gerçeklikle yer değiştirmenin aksine onu tamamlamaktadır (Azuma, 1997:355). AR teknolojisi, sanal görüntüleri veya nesneleri gerçek dünya görseli üzerine bindirerek, gözlemciye duyular ile elde edemediği bilgileri yalnızca fiziksel etkileşimini kullanarak verebilen bir donanım-yazılım sistemi olarak tanımlanmaktadır (Mura ve Dini, 2020:4). Bir AR sisteminin temel amacı ise kullanıcının gözlerinin önündeki gerçek sahneye bağlayan optik yolda sanal öğeler yaratmaktır. Mura ve Dini, (2020:4) bu işlemi yapmak için uygulanması gereken adımları aşağıdaki gibi sıralamaktadır:

- *Gerçek görüntü elde etme*, gerçek dünyadan görüntüleri yakalayan bir video kamera aracılığıyla görüntü oluşturulması,
- *İzleme (tracking)*, sanal görüntüyü düzgün bir şekilde hizalamak için ortamdaki nesnelerin konumunu ve yönünü belirlemek ve kaydetmek için takip

edilmesi, (Yaygın olarak kullanılanlar, uzaydaki bileşenleri tanımlamak için yapay işaretleyiciler kullanan referans işaretçisi tanımlama ve nesne özelliklerini kullanan işaretli tanımlama işlemleridir.)

– *Sanal görüntü oluşturma*, sayısallaştırılmış içerikler oluşturmak için üç boyutlu CAD modellerini kullanan bir bilgisayar aracılığıyla sanal görüntü elde edilmesi,

– *Kompozit görüntü üretimi*, artırılmış içerik üretmek için, kamera tarafından yakalanan gerçek görüntülerin bilgisayar tarafından oluşturulan sanal görüntülerle birleştirilmesi,

AR gerçek çevreyi tanımlamak için izleme teknolojilerinden faydalanmaktadır. Ar teknolojilerinin kullanımında, belirlenmiş ve tanımlanmış sınırlar bulunmaktadır. Bu sınırlar ile katmanlandırılmış bir yapıda dijital destek ile zenginleştirilmiş gerçek çevre ilişkilendirilmektedir (Bimber ve Raskar, 2005:4).

1.1. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİKLE İLGİLİ KAVRAMLAR

Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Sanal Gerçeklik (VR) fikrini ve bu altyapıda kullanılan metodolojileri öğrenmek işletmelerin gelecek stratejileri için önemli görülmektedir. Bu bağlamda AR ve VR gibi teknolojileri yakından tanımak ve aralarındaki farklılıkları ortaya koymak gerekmektedir. Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Sanal Gerçeklik (VR) sıklıkla karıştırılan kavramlardır. Aralarında birçok benzerlik olmasına rağmen, onları tamamen farklı kılan birçok farklılaşma da bulunmaktadır. VR yanında AR ile bir arada değerlendirilen ve karıştırılan Karma Gerçeklik, Sanal Süreklilik, Artırılmış Sanallık gibi kavramlardan bu bölümde bahsetmek, kavramsal olarak karmaşanın ortadan kalkmasında faydalı olacaktır.

1.1.1. Sanal Gerçeklik (Virtual Reality / VR)

Sanal Gerçeklik (Virtual Reality / VR), genel olarak sanal bir ortamdaki bir sanal nesnedir, daha doğrusu bir simülasyon veya yapay bir rekreasyon bilgisayar tarafından oluşturulmuş, gerçek yaşam ortamı veya durumu kullanıcıya vererek

kullanıcıyı içine çeken bir sanal nesne olarak tanımlanabilir. "Sanal Ortam" (Virtual Environment) olarak adlandırılan iyi bir VR sistemi, kullanıcıların fiziksel olarak nesnelerin etrafında dolaşmasına ve bu nesnelere gerçekmiş gibi dokunmasına, yani içinde gezinilebilecek ve muhtemelen etkileşime girilebilecek bir ortam sağlamaktadır (Kumari ve Polke, 2018: 855). Gerçek dünyaya tamamen dalmış kullanıcının beş duyusundan bir veya daha fazlasının zaman içinde bir simülasyonu ile etkileşim halindedir (Fang, vd., 2014: 412).

VR tanımının yapılabilmesi için Piekarski ve diğerleri (1999) sanal ve gerçeklik kavramları üzerinde durmuşlardır. Buna göre sanal, esasında veya etkisinde olmak şeklinde tanımlanır, ancak bu durum gerçeklik değildir. Gerçeklik, onu tasavvur eden fikirlerden bağımsız olarak var olan gerçek veya etkili bir durumdur. VR ise bilgisayarlar tarafından yaratılan ve bu ortam gerçekmiş gibi iletişim kurulabilen bir ortam durumudur. VR bilgisayarlarda ve zihinlerde var olan sanal dünyalardır ve VR için iyi bir sistem, kullanıcıların nesneler arasında fiziksel olarak gezinmesine ve bu nesneleri gerçekmiş gibi hissetmesine olanak tanımaktadır (Rebbani, vd., 2021: 280).

AR kavramı bu vizyonun ötesindedir ve gerçek ile sanal nesneleri gerçek bir ortamda birleştirmektedir. Bu birleşim gerçek zamanlı ve etkileşimli olarak hareket etmekte, gerçek ve sanal nesneler birbirleriyle depolanmaktadır. Özetle VR ile AR arasında ayırım yapmak için AR'nin gerçek ortamı kullanması ve sanal nesneleri üzerine bindirmesi, VR'nin ise tamamen yapay bir ortam yaratması durumu göz önünde bulundurulmalıdır (Sicarı, vd., 2017: 263).

1.1.2. Artırılmış Sanallık

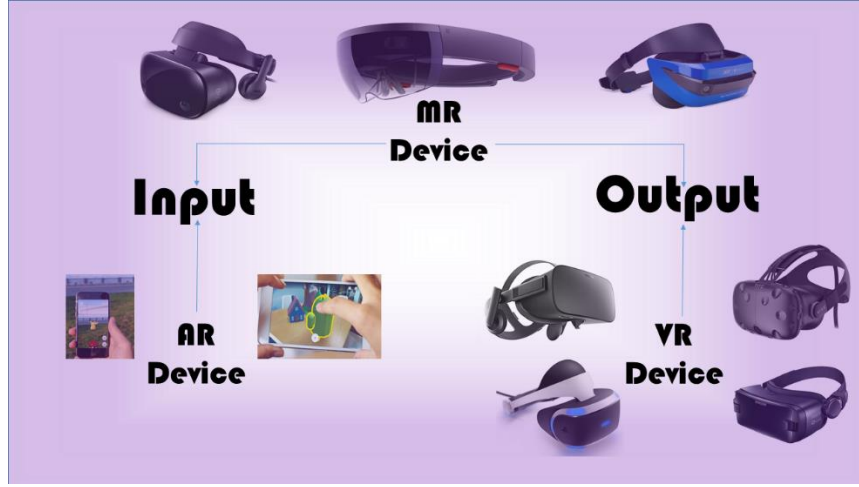
Artırılmış Sanallık, gerçek dünyadan elde edilen sanal bir temsili etkileşimli olarak keşfetme yeteneğidir. Artırılmış Sanallık, gerçek dünya nesnelerini sanal dünyayla birleştiren Karma Gerçekliğin bir alt kategorisi olarak düşünülebilir. Çoğu zaman, bu durum, videoları fiziksel alanlardan (örneğin, bir web kamerası aracılığıyla) aktararak veya fiziksel nesnelerin, videoların veya nesnelerin boyutlu taramasını kullanarak ve sanal nesnelerle örtülü olarak elde edilmektedir. Artırılmış Sanallık,

sanal dünyanın esnekliğini korurken sanal dünyanın biraz gerçek gibi olduğu izlenimi vermektedir (Rebbani, vd., 2021: 280).

1.1.3. Karma Gerçeklik

Karma Gerçeklik, fiziksel ve dijital nesnelerle gerçek zamanlı olarak bir arada bulunan ve etkileşime giren yeni ortamlar ve görselleştirmeler yaratmak için gerçek ve sanal dünyaların birleştiği bir hibrit gerçeklik olarak tanımlanmaktadır (Rebbani, vd., 2021: 280). Karma Gerçeklik, yalnızca fiziksel ve sanal dünyalarda yer almakla kalmayıp, aynı zamanda hem AR hem de Artırılmış Sanallığı içeren gerçeklik ve sanal gerçekliğin bir birleşimidir. Karma Gerçeklik holografi olarak da adlandırılan gerçek ortamda düzenlenmiş nesneleri dijital olarak birleştirme imkânı sunmaktadır (Goodman, 1971: 292). Karma Gerçeklik, gerçek ve sanal içeriğin bir arada bulunduğu ve gerçek zamanlı olarak etkileşime girdiği bir ortamdır. AR ve VR yönleri karma gerçekliği başarmak için birleşmektedir ve karma gerçeklik artırılmış gerçeklik veya sanallığa bir alternatif değildir. Aksine, gerçek ve sanal ortamlarda kullanıcıların algısını zenginleştiren benzersiz bir bakış açısidir. Esneklik, daldırma, etkileşim, bir arada yaşama ve zenginleştirme, karma gerçeklik deneyiminin temel yönleridir (Yagol, vd., 2018: 482). Bu, AR ve VR'nin teknolojik yönlerini benimseyerek elde edilmektedir ve böylece bir karma gerçeklik deneyimi, kullanıcıların kendilerini içine dalmış bir ortamda hissettikleri gerçek-sanal bir ortam sağlayarak ve gerçek dünya algılarını geliştirmektedir (Bekele, vd., 2018: 7-3). Şekil 1 ile AR – VR ve Karma Gerçeklik görüntüsü verilmektedir.

Şekil 1. AR – VR ve Karma Gerçeklik



Kaynak: (Jasyal, 2018: 4)

AR, VR, Artırılmış Sanallık ve Karma Gerçeklik kavramları benzer ve ortak teknolojik altyapıları ile desteklenirken yine farklı teknolojik nitelikleri ile farklılaşmaktadır ancak sonuç olarak bu teknolojiler farklı amaçlara hizmet etmesi yönünden de ayırım yapılmasına imkân tanımaktadır. Rebbani ve diğerleri (2021: 280) bu kavramların farklılıklarını özetlemek için amaçlarını açıklamaktadır:

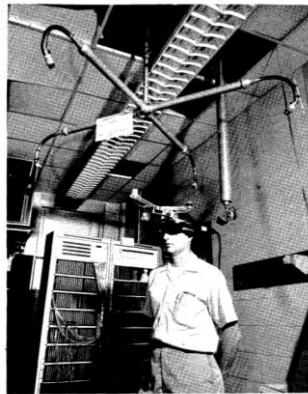
- Artırılmış Gerçeklik: gerçek dünyaya ilişkin vizyonumuza sanal bilgiler ekleyerek gerçek dünyaya ilişkin algımızı ve anlayışımızı geliştirmeyi amaçlamaktadır.
- Sanal Gerçeklik: hiçbir şekilde etkileşime girmeden veya gerçek dünyayı görmeden bilgisayar tarafından oluşturulan bir ortamla varlığımızı ve etkileşimimizi geliştirmeyi amaçlamaktadır.
- Artırılmış Sanallık: sanal dünyayı gerçek dünya sahneleriyle artırmayı amaçlamaktadır.
- Karma Gerçeklik: gerçek ve sanal ortamları karıştırmayı amaçlamaktadır.

1.2. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) TEKNOLOJİSİNİN ORTAYA ÇIKIŞI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Günümüz dijital teknoloji çağının en popüler konularından biri olan Artırılmış Gerçeklik (AR) teknolojisinin tarihsel gelişimine bakıldığında, II. İkinci Dünya Savaşı'na kadar uzandığı görülmektedir. II. Dünya Savaşı'nda İngiliz Ordusunun pilotlarına uçuşla ilgili bilgileri sağlayabilecekleri bir sistem geliştirmesi ve geliştirilen bu sistem ile uçuş sırasında pilotun ön camında düşmanla ilgili önemli radar bilgilerinin görüldüğü bir yapı oluşmuştur (Vaughan-Nichols, 2009: 19). Bu sistem AR teknolojisinin temelleri ile ilişkilendirilmektedir. Ardından 1950'li yıllara gelindiğinde sinematograf Morton Heilig tarafından "Sensorama" olarak isimlendirilen bir simülatör geliştirilmiştir. Bu simülatörle kullanıcıya beş duyu organını aktif hale getirebilecekleri bir sistem sunulmuştur. Geliştirilen simülatör 1980'li yıllarda jetonla çalıştırılarak üç boyutlu görseller, stereo sesler, kokular, efektler ve titreşimlerle var olan mevcut ortamın gerçeklik algısının artması sağlanmak amacıyla kullanılmıştır (Altınpulluk ve Kesim, 2015:5).

1968 yılında Ivan Sutherland ve öğrencileri tarafından AR ve SR teknolojilerinin günümüzdeki gelişimine de katkısı olacak olan ekranlı kask olarak bilinen başa takılan ekran (HMD) cihazı geliştirilmiştir. Şekil 2 ile Sutherland, (1968) HMD cihazı gösterilmektedir.

Şekil 2. Sutherland, (1968) HMD Cihazı



Kaynak: (Sutherland, 1968: 760).

Basit grafik görüntüleri kullanılarak tasarlanan bu cihaz kafa ve göz hareketleriyle çalışan ve başa takılan bir görüntüleyicidir. Ancak cihazın geliştirildiği zaman dilimi düşünüldüğünde günümüze kıyasla gelişmemiş daha ilkel bilgisayar sistemlerinin kullanılması bu cihazın ağır olmasına neden olmuştur. Bu durum cihazı kullanışsız kılmış olsa da AR'nin gelişimi için önemli bir adım olmuştur (Sutherland, 1968: 758 – 760).

Dijital gözlükler üzerine çalışan ve giyilebilir bilgisayarların mucidi olarak bilinen Steve Mann 1980 yılında kask ve çanta kullanarak ilk giyilebilir ekipmanı üretmiştir. Üzerine çalıştığı dijital gözlükler zaman içerisinde geliştirilerek 1999 yılında EyeTap adının verildiği kask ve çanta ekipmanı olmadan kullanılabilen daha küçük ve zarif bir şekle getirilmiştir (Mann, 2012: 12). EyeTap gelişim süreci ile Google Glass'ın ve Hololens'in atası olarak görülebilir. Şekil 3 ile AR teknolojisinin 2000'li yıllar öncesi gelişimi gösterilmektedir.

Şekil 3. AR Teknolojisinin Gelişimi



Kaynak: (Mann, 2004: 24).

EyeTap teknolojisinin ışık tuttuğu Google Glass 2012 yılında Google tarafından tanıtılan bir giyilebilir bilgisayardır. Bu cihazla sesli komutlar verilebilmekte, internet bağlantısı yapılarak Google tarayıcısının sesli arama özelliği ile soru sorulup cevap alınabilmekte, telefon gibi arama ve mesaj gönderme, fotoğraf çekme, video kaydetme gibi işlemler yapılabilmektedir (Sapargaliyev, 2015: 344).

Microsoft ise Hololens teknolojisini 2015 yılında tanıtmıştır. Bu akıllı gözlükle gerçek dünya üzerinde üç boyutlu hologramlarla etkileşime girilmesi sağlanarak VR ve AR teknolojilerinin tecrübe edilmesi sağlanmıştır (Altınpulluk ve Kesim, 2015:7). 2018 yılında ortaya çıkan ARCore da Google tarafından geliştirilen bir AR projesidir. ARCore yapısında; ortam tanıma, hareket izleme, ışık tahmini, gibi özellikler kullanılmaktadır. Bu şekilde gerçek olan objelerin boyutları alınabilmekte, zemin ve yüzeyler hakkında bilgi alınabilmektedir. Ancak bu teknolojinin kullanılabilmesi için mobil cihazın bu teknolojiyi desteklemesi gerekmektedir (Lanham, 2018: 6 – 7). AR teknolojisinin tarihsel süreci incelendiğinde basit ve ilkel olan halleri de dikkate alındığında köklü bir teknoloji olduğu ancak son zamanlarda teknolojik imkânlarında daha ileri seviyede olması ve görsel desteklerin daha üst düzeyde olması bu teknolojiyi daha ilgi çekici kılarak birçok alanda kullanımının önünü açtığı görülmektedir.

1.3. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) ARAÇLARI

Artırılmış Gerçeklik, gerçek ve sanal nesneleri gerçek bir ortamda birleştiren, etkileşimli ve gerçek zamanlı çalışan, gerçek ve sanal nesneleri her biri ile kaydeden teknoloji olarak, sadece görme duyusuyla da sınırlanmamaktadır. AR potansiyel olarak işitme, dokunma ve koku alma dahil tüm duylara uygulanabilir. Bazı AR uygulamaları, sanal nesnelerin eklenmesine ek olarak algılanan ortamdan gerçek nesnelerin çıkarılmasını da gerektirmektedir. Örneğin, belirli bir konumda duran bir binanın AR görselleştirmesi, bugün orada bulunan binayı kaldırabilir. AR'nin genel karma gerçeklik alanının bir parçası olması, gerçek-sanal ortamların bir sürekliliğini tanımlamaktadır. Hem gerçek nesnelerin sanal olanlara eklendiği artırılmış sanallıkta hem de sanal ortamlarda (veya sanal gerçeklikte), çevreleyen ortam sanalken, AR'de çevreleyen ortam gerçektir. (Azuma, vd., 2001: 36 – 38; Bimber and Raskar, 2006). Bu derece sanallık ve gerçekliğin içi içe geçtiği teknolojinin gerçekleşmesi için kullanılan araçların dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Bütünleştirilmiş sanal ve gerçek ortamları görüntülemek için ekranlardan yararlanılmaktadır ve bu ekranlar başa takılan, elde kullanılan ve yansıtılmalı olarak sınıflanmaktadır.

1.3.1. Başı Giyilen AR Araçları

Başı giyilen AR sistemleri, kullanıcılar tarafından bir ekranın başlarına monte edilerek gözlerinin önünde görüntü sağlandığı durumdur ve başa takılan ekranlar (head worn display – HWD) olarak adlandırılmaktadır. HWD sistemlerinin sınıflandırması, retinal sistemler, başa takılan ekranlar (head mounted display – HMD) ve başa takılan projektörler (head mounted projective display – HMPD) olarak yapılmaktadır (Krum, vd., 2012: 18 -22). İdeal olarak, başa takılan AR ekranları bir güneş gözlüğünden daha büyük olmaması amaçlanmaktadır (Azuma, vd., 2001: 36 – 38).

1.3.2. El ile Tutulan AR Araçları

El ile tutulan AR sistemleri (hand-held display – HHD), olarak videonun içini görmeye dayalı büyütme sağlamak için bağlı bir kamera kullanan elde tutulan, düz panel LCD ekranlar ortaya çıkmaktadır (Mohring, vd., 2004: 2). HHD, AR katmanı ile gerçek nesneleri gösteren bir pencere veya büyüteç görevi görmektedir. Bağımsız bir HHD için, cep telefonları, PDA'lar ve Tablet PC'ler potansiyel adaylar olarak görülmektedir (Wagner ve Schmalstieg, 2003: 18).

1.3.3. Uzamsal AR Araçları

Uzamsal Artırılmış Gerçeklik, (spatial augmented reality – SAR) fiziksel ve dijital bilgileri ekranlar veya projektörler aracılığıyla doğrudan gerçek dünyaya karıştırmaktadır. SAR, fiziksel dünyayla etkileşime geçmek için zaten mevcut olan becerileri kullanmakta, bir veya daha fazla kullanıcı ile araç engeli olmadan aynı tutarlı illüzyonla etkileşime girebilmektedir (Wojciechowski ve Cellary, 2013: 576). Uçak kokpitlerinde bulunan ekran göstergeleri en sık kullanılan SAR örneği olarak verilirken, Hologram teknolojisi de SAR ile açıklanabilmektedir. Ancak bu teknolojinin kullanıcının hibrit dünyaya dalması konusunda dezavantajları ortaya çıkabilir. Ayrıca, dijital bilgilerin görüntülenmesi için fiziksel bir desteğe duyulan ihtiyaç, SAR'nin güçlü bir kısıtlamasıdır. Aslında, anamorfik illüzyonlar

kullanılmadıkça, mevcut teknoloji ile havadaki bilgileri yansıtmak mümkün değildir (Roo ve Hachet, 2017: 195).

1.4. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) YÖNTEMLERİ

Artırılmış Gerçeklik sisteminde kullanıcının artırılmış görünümünü temsil eden AR ekranı, sanal içeriği büyütme alanıyla doğru ve tutarlı bir şekilde hizalayan AR izleme ortamı ve kameranın bir yayın stüdyosunda otonom olarak hareket etmesini ve sürekli olarak yayıncıyı hedeflemesini sağlayan bir robotik kamera sistemi olmak üzere üç temel bileşen bulunmaktadır. Bu sistemde kullanılan görüntüleme teknikleri hala gelişme aşamasındadır ve esas olarak üç tür yapımda ifade edilmektedir. En genel yaklaşım, monitör-göstergeye atıfta bulunan bir monitör aracılığıyla artırılmış bir görüntü sergilemektir. İkinci yaklaşım, alternatif olarak, bazı araştırmacılar izleyicilere birinci şahıs bakış açısı sağlamak için vücuda takılan ekipman kullanmaktadır. AR sistemlerini tamamlamak için kullanılan takip yöntemleri sensör tabanlı ve görme tabanlı izleme yöntemleri olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir (Yan ve Hu, 2017: 20).

1.4.1. Sensör Tabanlı Yöntemler

Sensör tabanlı izleme yöntemleri kullanan AR sistemleri, cep telefonları, tablet bilgisayarlar, akıllı gözlükler, gibi sensör içeren donanımlar ile desteklenmektedir. Bu donanımlar sensörler ile AR için gerçek dünyaya ilişkin veri toplamaktadır ve genel olarak gerçek dünyaya ilişkin bilgileri sanal nesneler ile bütünleştirmektedir. Gerçek dünyaya ilişkin konum ve yön verileri ile çevrenin daha kolay algılanabilmesi sağlanmakta ve AR sistemi için gerçeklik tamamlanmaktadır (Aguero, vd., 2020: 2).

1.4.2. Görme Tabanlı Yöntemler

Görme tabanlı izleme yöntemleri kullanan AR sistemleri, yine cep telefonları, tablet bilgisayarlar, akıllı gözlükler, gibi kamera içeren donanımlar ile

desteklenmektedir. Bu donanımlar kamera yardımı ile gerçek dünya görüntüsünü kaydetmektedir ve sanal içerik ile birleşimini sağlamaktadır. Bu birleşimi sağlarken işaretçi (marker) kullanan ve kullanmaya yöntemler olarak görmek tabanlı izleme yöntemleri ikiye ayrılmaktadır (Koller, vd., 1997: 90).

İşaretçi kullanılan yöntemler: AR görüntüsünü yüksek çözünürlüklü bir şekil veya resim ile birleştirmektedir. Her işaretçi için bir algoritma desteği ile eşleşme sağlanmakta ve sanal nesne ekrana yansıtıldığında gerçeklik algısı ortaya çıkmaktadır. İşaretçi kullanılmayan yöntemler: AR görüntüsünü işaretçi yardımı olmadan gerçek ortama ait benzersiz veriler kullanılmaktadır.

İşaretçi kullanan izleme yöntemleri, hızlı çözüm sağlamakla birlikte eşsizlik özelliği ile değil kalıplar yaratılmış ile algoritma kullanması ile ortaya çıkmaktadır. İşaretçi kullanılmayan yöntemler kullanımı zor, benzersiz algoritma gerektiren ancak birebir gerçek dünya yansıması olarak anlaşılmaktadır (Yan ve Hu, 2017: 20).

1.5. ÜRETİMDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Teknolojinin yoğun etkisinin hayatın her alanında yaşandığı günümüz dünyasında işletmelerin dijital platformların parçası haline gelmesi, yeni iş birliği ve rekabet yollarına katılması için sektör dinamiklerini yeniden şekillendirmektedir. Dijital dönüşüm, dijital teknolojilerin kullanımının iş süreçlerini, iş modellerini, müşterilerin davranış ve beklentilerini, tedarik zincirlerini ve endüstri yapılarını nasıl değiştirdiğini tanımlamak ve analiz etmek için açıklanmaktadır. Üretimde dijital dönüşüm konusu, dijital dönüşümün aşamaları ve üretimdeki yeri / önemi konuları ile değerlendirilmekte, özellikle üretim işletmeleri için bu konu daha da önem arz etmektedir.

1.5.1. Üretimde Dijital Dönüşüm Aşamaları

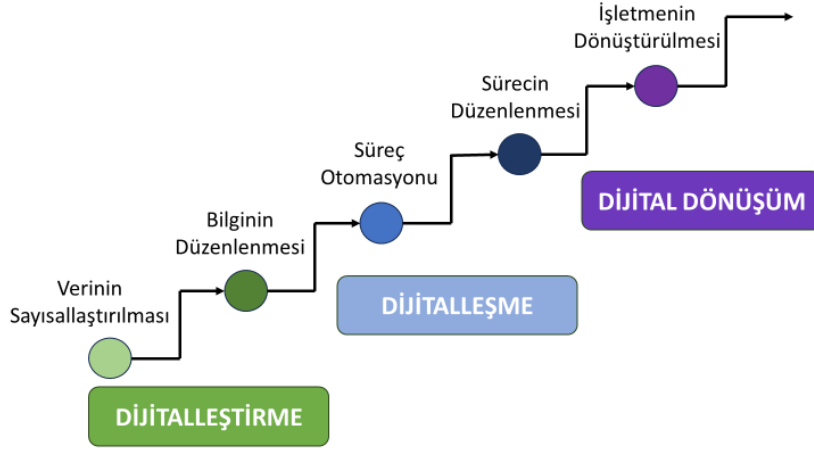
Dijitalleşme, günlük hayatın hemen hemen her alanında yoğun bir şekilde etkisini hissettirmektedir. İşletmeler de sektörden bağımsız olarak içinde bulundukları teknolojik dönüşüm sürecinde bir yol arayışı içerisinde. Üretim işletmelerinin,

dijital dönüşüm sürecini sistemlerine entegre edemedikleri müddetçe hayatta kalmaları mümkün değilken, geleceğe hazırlanmak ve sektörlerinde güncel kalabilmek için, zaten aşırı rekabetçi olan pazarda avantaj elde etmek amacıyla dijital yeteneklere, yazılımlara ve teknolojilere yatırım yapması gerekmektedir. Böyle bir ortamda işletmeler, Endüstri 4.0'ı gerçekleştirebilmek için dijital dönüşümde ustalaşmak zorundadır. Bu dönüşümü aşamalar halinde incelemek dijitalleştirme, dijitalleşme ve dijital dönüşüm kavramlarının anlaşılması ve açıklanması ile yapılmaktadır.

1.5.2. Dijitalleştirme, Dijitalleşme ve Dijital Dönüşüm

Dijitalleştirme, dijitalleşme ve dijital dönüşüm, son dönemde sıklıkla kullanılan kavramlardır, ancak çoğu zaman yanlış anlamda kullanılmaktadır. Bir işlemin dijitalleştirilmesi mümkün değildir. Dijitalleştirme otomasyon amacıyla bilgileri sayısallaştırarak ve teknolojiyi entegre ederek bir süreç otomasyonudur. Dijitalleştirme (sayısallaştırma), birçok bağlamda kullanılmaktadır ve çoğu zaman dijitalleşme ile birlikte kullanılmakta ve karıştırılmaktadır. Çünkü dijitalleştirme ve dijitalleşme, birbiriyle yakından ilişkili ve çoğu zaman geniş bir literatür aralığında birbirinin yerine kullanılan iki kavramsal terim olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu iki terim arasında açıkça bir ayrım yapılmasında analitik değer bulunmaktadır (Brennen ve Kreiss, 2016: 1). Dijital dönüşüm ise sadece bir iş için değil daha geniş açıdan ele alınması gereken bir olgudur. Şekil 4. dijitalleştirme, dijitalleşme ve dijital dönüşüm aşamalarını şema ile göstermektedir ve verilerin sayısallaştırılması, bğinin düzenlenmesi, süreç otomasyonu, sürecin düzenlenmesi, işletmenin dönüştürülmesi adımlarını içermektedir.

Şekil 4. Dijitalleştirme, Dijitalleşme ve Dijital Dönüşüm Aşamaları



Kaynak: (Reinitz, 2020)

1.5.2.1. Dijitalleştirme

Dijitalleştirme, kağıt üzerindeki dokümanların, mikrofilm görüntülerin, fotoğrafların, seslerin ve daha fazlası gibi analog / fiziksel şeylerin dijital (bit ve bayt) bir sürümünün oluşturulmasıdır (Bloomberg, 2018). Bu nedenle, dijital olmayan bir şeyin ve/veya temsil ettiği bir şeyin dijital bir formata dönüştürülmesi bu sayede bir hesaplama sistemi tarafından olası birçok nedenden ötürü kullanılabilmesi dijitalleştirmedir. Dijitalleştirme, orijinal belgeyi, görüntüyü, sesi vb. değiştirmek anlamına gelmemektedir. Orijinal belgeler bazen yok edilebilir ancak dijital kopyası işlevini görebilir niteliktedir (Schumacher, vd., 2018).

Analog kayıtlar iş dünyasında doküman tarayıcılarını kullanarak dijitalleştirilmektedir. Belge tarayıcıları, taranmış bir belgenin, dijital bir sunumunu oluşturmaktadır. Ancak dijitalleştirme bununla sınırlı değildir. İçerdiği veriler kullanılmıyorsa bir belgenin dijitalleştirilmesi sadece arşivleme kolaylığı sağlayacaktır. Ancak önemli olan, süreç içinde dijitalleştirmenin kullanımıdır. İş akışı içinde fiziksel taşıyıcılardan elde edilen dijital verilerin kullanılması ile işlerin daha sistematik hale getirilmesidir. Böylece insanların, süreçlerin, verilerin ve iş sonuçlarının arasında, eyleme geçirilebilir şekilde bağlantı kurulmaktadır (Kagermann, 2015: 23).

1.5.2.2. Dijitalleşme

Genellikle, dijitalleştirme ve dijital dönüşüm ile birlikte kullanılan dijitalleşme kavramı da diğerleri ile karıştırılmaması gereken ve özgün bir anlamı olan bir olgudur. Dijitalleşme, etkileşimleri, iletişimleri, işletme fonksiyonlarını ve iş modellerini (daha fazla) dijital ortama dönüştürmek anlamına gelmektedir (Bloomberg, 2018). İş dünyasında dijitalleşme dijital teknolojilerden yararlanarak ve dijitalleştirilmiş verilerin daha geniş bir kullanımına ve içeriğine dönüştürülerek, iş operasyonlarının, iş fonksiyonlarının ve iş modellerinin etkinleştirilmesi, iyileştirilmesi dönüştürülmesini açıklamaktadır. Bu açıdan, dijitalleşme bilginin ve süreçlerin dijitalleştirilmesi ile ilişkilidir. Ancak dijitalleştirme, günden güne gelişen kayıt teknolojileri birbirine bağlantılı sistemlerle ilgili olmakla birlikte, dijitalleşme dijital verilerden ve süreçlerden yararlanarak, bağlantı kurulması ile ilgilidir (Gobble, 2018: 56).

Dijitalleşme ile ilgili olan bir diğer konu ise ortamın veya iş alanının dijitalleşmesidir. İş ortamının dijitalleşmesi, işgücünün dijital araç, sistem ve teknolojiler kullanarak bağlantılı hale gelmesidir. Burada dijitalleşme farklı bir etkileşim yaratmakta ve sadece verinin dijitalleştirilmesinden farklı fırsatlar sunmaktadır. Bu şekilde dijitalleşme, dijital işletme ve dijital dönüşüme doğru ilerlemenin yolunu açmaktadır.

1.5.2.3. Dijital Dönüşüm

Dijitalleşme, temelde gelir elde etmek, işleri geliştirmek, iş süreçlerini değiştirmek / dönüştürmek ve dijital iş için bir ortam oluşturmak amacıyla dijital teknolojilerin ve verilerin kullanılması anlamına gelmektedir. Bu noktada dijital dönüşüm ile keşişim yaşanmaktadır. Ancak dijital dönüşüm, dijital ticarete geçmenin bir yolu olarak dijitalleşmeden daha geniş bir kavramdır. Dijital dönüşüm işletme çapında bir olgudur. Sadece bir işlemde dokümanların dijitalleştirilmesi ve süreçlerin dijitalleşmesi dijital dönüşüm olarak kabul edilmemektedir. Dijital dönüşüm, süreçler, bölümler ve iş ekosistemleri arasında sürekli bir optimizasyon çabasıyla, doğru

köprüleri inşa etmenin başarının anahtarı olduğu bir yolculuktur (Bloomberg, 2018). Dijital dönüşüm yeni bir ekonomiye öncülük etmek amacıyla, dijital bir işletmeye ilgili olsun veya olmasın, yeni bir pazar, müşteri ve iş modeli fırsatları için gereken teknolojinin benimsenmesi ve değişimin hızlanmasına yol açacak işlemleri kapsamaktadır. Özetle, dijital dönüşüm işletmeye dijital olma yolunda kazandırdığı yetenekler ve işletmenin sahip olduğu temel ticari varlıkların gerektirdiği dijitalleştirme ile iş modelinin değişikliğidir (Schallmo, ve Williams, 2018: 3 – 8).

1.6. ÜRETİMDE KULLANILAN DİJİTAL DÖNÜŞÜM TEKNOLOJİLERİ

İşletmeler için dijital dönüşüm veya işler için dijitalleşme, müşterilerine değer sağlamak ve daha rekabetçi olabilmek için dijital çözümlerin iş süreçlerine entegre edilmesi sürecidir. Dijital dönüşüm, iş süreçlerini daha verimli hale getirmek, etkileşimi artırmak ve daha iyi bir kullanıcı deneyimini teşvik etmek amacıyla iş süreçlerini yeniden şekillendirmek için dijital teknolojinin kullanılmasını içermektedir. Dijital dönüşüm, mevcut ürün veya hizmetlerin dijital versiyonunun oluşturulmasını, mevcut işletmelerin perde arkasında verimliliğinin arttırılmasını veya hatta dijital çağdan önce hayal edilemeyen tamamen yeni ürün ve hizmetlerin yaratılmasını içerebilir. Dijital dönüşüm yalnızca teknolojiyle ilgili değildir. İş süreçlerindeki ve kurum kültüründeki değişiklikler, şirketin başarısı için aynı derecede önemlidir. Dijital dönüşüm projeleri, büyük işletmelerin daha çevik olmalarına, rakipleri ile dijital hamlelerle rekabetine, daha küçük işletmelerin ise ürün tekliflerini gelişen pazara uyarlamasına yardımcı olmaktadır. Dijital dönüşümü sadece belirli teknolojiler etrafında sınırlamaktan ziyade, bir işletmenin gelişmesine ve daha iyi sonuçlar elde etmesine yardımcı olacak her türlü teknolojiyi içerecek şekilde açıklanmaktadır. Bu noktada ele alınacak teknolojiler bu açıdan işletmelerde yaygın olarak kullanılan çeşitli yenilikçi teknolojilerdir ve çoğu girişim bu teknolojilerin birden fazlasını kullanmaktadır.

1.6.1. Bulut Teknolojisi

Bulut bilişim, bilişim hizmetlerinin her zaman olmasa da çoğunlukla üçüncü taraf sağlayıcılar kullanılarak esnek ve ölçeklenebilir bir şekilde sağlanmasını ifade eden geniş bir ifadedir (Obitko, ve Jirkovsky, 2015: 218). Bulut bilişim hizmetleri üç ana kategoriye ayrılmaktadır: Hizmet Olarak Altyapı (IaaS) — sunucular, depolama ve ağ oluşturma gibi altyapılara isteğe bağlı erişim sağlamaktadır. Hizmet Olarak Platform (PaaS) — kuruluşların yeni hizmetler oluşturmaya olanak tanıyan barındırılan bir ortam ve ileri teknolojilere erişim kazanmaktadır. Hizmet Olarak Yazılım (SaaS) — üçüncü taraf sağlayıcılar tarafından işletilen ve internet üzerinden hizmet olarak sunulan iş uygulamalarıdır (Marston, vd., 2011: 176 – 179). Bulut bilişim, esneklik, ölçeklenebilirlik ve çeviklik sağlayan önemli bir dijital dönüşüm teknolojisidir. Dijital dönüşüm hareketinin içinde bulunan pek çok işletme bulut teknolojisinden faydalanmaktadır. Çünkü çoğu zaman geleneksel altyapı gerekli dijital altyapıyı çalıştırmak için yeterince gelişmiş, ölçeklenebilir, çevik ve uygun maliyetli değildir. Bu noktada bulut teknolojisi, geleneksel altyapıya alternatif olarak dijital dönüşüme açılan bir kapı görevindedir (Jadeja, ve Modi, 2012: 877 – 879).

1.6.2. Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi

Yapay zeka ve makine öğrenimi, insanın bilişsel süreçlerinin makineler tarafından simüle edilmesini içermektedir (Mrugalska, ve Wyrwicka, 2017: 466). Yapay zekanın belirli uygulamaları arasında uzman sistemler, doğal dil işleme, bilgisayar görüşü, tahmine dayalı analitik ve konuşma tanımları yer almaktadır. Dijital dönüşüm hareketinin içinde bulunan pek çok işletme, yeni iş stratejilerinin bir parçası olarak yapay zeka ve makine öğreniminden kapsamlı bir şekilde yararlanmaktadır. Verimliliği artırmanın yanı sıra, bu teknolojiler işletmelerin topladığı verilerin daha iyi kullanılması açısından da kritik öneme sahiptir. Verilerden eyleme geçirilebilir içgörüler elde etmek, işletmelerin ürün ve hizmetlerini iyileştirmesine ve yenilikçi stratejiler geliştirmesine olanak tanımaktadır (Wang, vd., 2016: 315).

1.6.3. Büyük Veri

Veriler modern ekonominin yakıtı olarak görülmekte ve örgütler işletmeler kuruluşlar için oldukça değerli bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Bu noktada veri toplama ve işleme günden güne artan bir şekilde her işletme için hem zorluk hem de fırsat yaratan üstel büyümeye yol açmaktadır (Yin, ve Kaynak, 2015: 143 – 146). Büyük veriler, işletmelerin günlük operasyonlarında topladığı yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış verileri içerebilir, müşterilerinden veya üçüncü taraflardan elde edilen bilgiler de dahil olduğunda bu verilerin işlenmesi ve anlaşılabilir hale getirilmesi başka bir boyut kazanmaktadır. Bu noktada işletmeler veriler tahmine dayalı modelleme, veri madenciliği ve diğer veri analitiği türleri için kullanılabilir. İşletmeler, büyük veri analitiğini uygulayarak büyük miktarda veriyi işleyebilir, işle ilgili bilgileri çıkarabilir, stratejik modeller oluşturabilir ve veriye dayalı kararlar alabilir (Barnes, 2013: 297 – 302).

1.6.4. Gerçek Zamanlı Analitik

Gerçek zamanlı analitik, verinin ve ilgili kaynakların sisteme girdiği anda analiz edilmesidir. "Gerçek zamanlı", veriler üzerinde kullanıcıların anlık olarak algılayacağı şekilde hareket etme yeteneğini ifade etmektedir. Akışlı veri mimarileri, verileri operasyonel sistemlerden gerçek zamanlı olarak iletmektedir, yüksek performanslı analiz motorlarından yararlanmakta ve hızlı operasyonel kararlara olanak tanımaktadır. Bu kararlar, robotik süreç otomasyonları veya diğer dijitalleşmiş uygulama biçimleriyle desteklenmektedir (Aulbur, ve Singh, 2014: 8).

1.6.5. Nesnelerin İnterneti ve 5G

Nesnelerin İnterneti (IoT), internete bağlı ve bir ağ üzerinden veri aktarabilen bilgi işlem cihazları, makineler veya diğer nesnelerden oluşan bir sistemdir. Çoğu zaman, kendilerini denetleyecek bir insan veya geleneksel bilgisayar sistemine ihtiyaç duymadan bağımsız olarak çalışabilir niteliktedir. IoT cihazları, 5G teknolojisinin

mümkün kıldığı daha fazla bant genişliği, daha hızlı iletim yetenekleri ve kesintisiz bağlantılar gerektirmektedir (Witkowski, 2017: 764). İmalat endüstrisinde, Endüstri

4.0 olarak da bilinen Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT), dijital dönüşüme yön verirken, bu teknoloji, üreticilerin operasyonlarını iyileştirmesine ve esnekliği, yenilikçiliği, hızı ve kaliteyi artırmasına yardımcı olmaktadır. Üretim sonrasında da IoT, tüketicilerin ürünleri nasıl satın aldığı ve kullandığı hakkında değerli bilgiler sağlayarak müşteri memnuniyetini artırmada da önemli bir rol oynamaktadır. IoT teknolojisi ile, takip edilebilir, giyilebilir taşınabilir ekipmanlar ile yeni, yenilikçi hizmetlere olanak sağlanmaktadır (Global, 2015).

1.6.6. Dijital İkiz

Dijital ikiz, fiziksel ve dijital dünyalar arasındaki boşluğu doldurmaya yardımcı olan bir teknolojidir. Dijital ikiz, fiziksel bir nesneyi doğru şekilde yansıtacak şekilde tasarlanmış sanal bir modeldir (Sanders, vd., 2016: 811 – 813). Gerçek nesne, önemli işlevsel alanlarla ilgili çeşitli sensörlerle donatılmıştır. Bu sensörler, enerji çıkışı, sıcaklık ve hava koşulları gibi nesne performansının çeşitli yönlerine ilişkin veriler üretmektedir. Veriler daha sonra bir işleme sistemine aktarılmakta ve dijital kopyaya uygulanmaktadır. Bu, kuruluşların simülasyonları çalıştırmak, performans sorunlarını araştırmak ve olası iyileştirmeleri yapmak için sanal modeli kullanmasını mümkün kılmaktadır. Amaç, gerçek fiziksel nesneye uygulanabilecek değerli bilgiler üretmektir (Sulavik, vd., 2015).

1.6.7. Eklemeli Üretim ve 3B Baskı

3B yazdırma olarak da bilinen eklemeli üretim, üretim sürecine dijital esneklik ve verimlilik katmaktadır (Berman, 2012, 155). Eklemeli üretim, donanıma belirli bir şekle sahip bir malzemeyi katman katman yerleştirme talimatı vermek için bilgisayar destekli tasarım (CAD) kullanmakta ve istenen nesneyi otomatik olarak üretmektedir. Geleneksel üretim tekniklerinde ham maddeden başlamak ve frezeleme, gravür, kalıplama vb. kullanarak parçaları ortaya koymak için bir dizi işlem süreci

gerçekleştirilmektedir. Eklemeli üretim teknolojisi, bu süreçleri tasarım odaklı tamamlaması ile bir bütün halinde ele almaktadır ve teknolojik alt yapısı ile ürün ortaya çıkarmaktadır (Piller, vd., 2015: 39 – 42). Doğru şekilde uygulandığında, gelişmiş performansa, geleneksel süreçlerde mümkün olandan daha karmaşık geometrilere ve basitleştirilmiş üretime sahip yüksek kaliteli son ürünler elde edilmesini sağlamaktadır.

1.6.8. Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik (AR), dijital bilgileri görsel bir kullanıcı deneyimine bağlamaktadır. Tamamen yapay bir ortam yaratan sanal gerçekliğin aksine, artırılmış gerçeklik mevcut bir ortamı ele almakta ve üzerine yeni bilgiler eklemektedir (Carmigniani, 2011: 341 – 377). AR, hem çalışanların görevlerine hem de bir organizasyonla tüketici etkileşimlerine uygulanabilir bir teknoloji olarak, işletmelerin üretkenliği ve kaliteyi artırmasına, bilgi aktarımını kolaylaştırmasına, eğitimin iyileştirilmesine ve üstün müşteri desteğine yardımcı olmaktadır. Teknolojinin daha sezgisel kullanımının önünü açan AR teknolojisi dijital sistemlerle etkileşim şeklini değiştirmektedir (Lu, vd., 1999: 471).

İKİNCİ BÖLÜM

ÜRETİMDE DİJİTALLEŞME KAPSAMINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) UYGULAMALARI

Üretim işletmeleri gelişen teknolojileri bünyesine hızlı adapte edebilme yeteneğine göre gelişen yapıları ile pek çok konuda öncü konumdadır. Üretim işletmelerinde operasyonların performans göstergeleri olan hız, verimlilik, kalite ve maliyet kriterleri teknoloji desteği ile ilerleme katetmektedir. 21. yüzyıl teknolojileri bu ilerlemeye hız kazandırmaktadır. AR teknolojisi İkinci Dünya Savaşı'nda ilk kullanılmış olmakla birlikte işletmeler için kullanımı daha sonra gündeme gelmektedir.

2.1. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) TEKNOLOJİSİNİN ÜRETİM İŞLETMELERİNDE KULLANIMI

AR uygulamalarının işletmeler için kullanımı oldukça geniş bir alana yayılmakla birlikte bu teknolojinin her geçen gün gelişmesi ile önemini korumaktadır. Üretim, kalite, lojistik, tasarım, lojistik, güvenlik, eğitim, planlama, malzeme hazırlama ve simülasyon gibi pek çok alanda AR uygulamalarını görmek mümkündür (Van Krevelen ve Poelman, 2010; Pierdicca, vd., 2017). Bu uygulamalarda AR teknolojisinin kullanımının etkilerinin ne derece yoğunlaştığı, hangi alanlarda temel teknolojiyken, hangi alanlarda destek teknoloji olduğuna dair literatürde yapılan inceleme çalışmaları bulunmaktadır (Dini ve Mura, 2015; Bottani, ve Vignali, 2019). Bu çalışmada temel nokta olan üretim yönetimi için aşağıdakiler gibi birçok faaliyette kullanılabilen AR teknolojisi gibi araçlara giderek daha fazla ilgi duyan bir alanı temsil etmektedir.

- Karmaşık işlemlerin gerçekleştirilmesinde, belirli görevler sırasında sanal talimatların kullanılmasında ve kullanıcının zamanla ilgili maliyetlerle hatalar içerebilecek yanlış eylemlerde bulunmasının önlenmesinde sağladığı çalışan desteği;

- Tasarlanmış ve deneyimsiz personele hitap eden öğretim prosedürleri ve talimatları için gerçekleştirdiği eğitim rehberliği;
- Sahadaki işçiye uzaktan ve eş zamanlı olarak uzman bakım teknisyenlerine birleşik görüntü sağlama imkânı sayesinde uzaktan bakım desteği,
- Gerçek zamanlı işyeri teşhisi veya iş arkadaşlarıyla iş birliği ve iletişim gibi diğer potansiyel uygulamalar.

Bu uygulamalar işletmelere sağladıkları avantajlar bakımından kullanıcıların dikkatini çekmekte ve kullanımının yaygınlaşması ile faydaları giderek yaygınlaşmaktadır. Montaj sistemlerinde, esas olarak operatörlerin bir montaj sırasını doğru şekilde gerçekleştirmelerini desteklemek için birçok uygulama denenmesi ise bu çalışmanın konusu olmakla birlikte montaj işlemlerinde AR teknolojisini kullanımı bu noktada detaylandırılacaktır.

2.2. MONTAJ İŞLEMLERİNDE AR YAKLAŞIMLARI

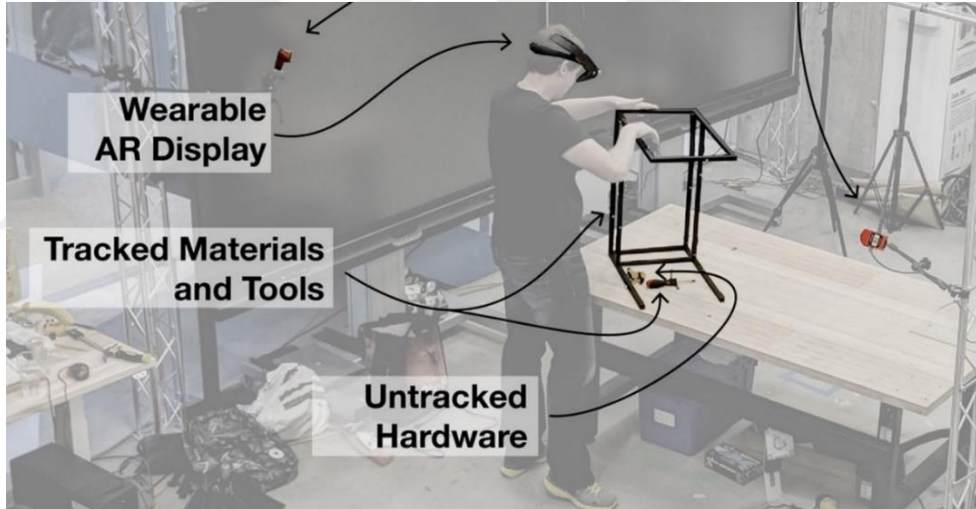
Montaj işlemleri için kullanılan talimatlar ne kadar karmaşık, kullanıcı bir montaj görevini tamamlaması için o kadar fazla zamana ihtiyaç duymaktadır. Montaj işlemini kolaylaştırmak için yapılan çalışmalar, operatörü yönlendirmek için çeşitli görsel özellikler kullanılması bir yöntemdir. Bu yöntem ekrandaki basit metinden, monte edilecek fiziksel bileşenleri taklit eden animasyonlu üç boyutlu modellere kadar çeşitlilik göstermektedir. Daha basit görsel özelliklerin daha hızlı tanındığı ve anlaşılmasının daha kolay olduğu ve ayrıca performansı optimize etmek için bir AR ekranının bir seferde gösterdiği sembol sayısının mümkün olduğunca az olması gerektiği bilinmektedir (Zarraonandia, vd., 2014: 830). Montaj işlemleri için AR teknolojileri ile görüntüleme yaklaşımlarının işi mümkün olduğunca basitleştirmek için kullanılması amaçlanmaktadır.

2.1.1. Montaj İşlemlerinde – Optik ve Şeffaf Görüntülü Yaklaşımlar

Montaj görevlerini gerçekleştirirken rehberlik, şüphesiz birçok AR uygulamasının tipik amacını temsil etmektedir. Genellikle, montaj işlemlerini yönlendirmek için optik veya video şeffaf yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Montaj işlemlerinde kağıt liste yerine kullanılan bir sistem örneği Şekil 4'te gösterilmiştir. AR uygulaması bir Microsoft HoloLens donanımı için geliştirilmiştir ve bilgi çalışana başa takılan bir ekran aracılığıyla sunulmaktadır. Sistem, işçiye parçanın yerleştirildiği alanı gösteren sanal bir "tünel" gösterebilir ve bu uygulama hem tek parça üretim hem de kitle üretim için zaman verimliliğini sağlamaktadır. Şekil 5 ile optik görünümlü AR ile montaj işlemleri gösterilmektedir.

Şekil 5. Optik Görünümlü AR ile Montaj İşlemi



Kaynak: (Whitlock, vd., 2019).

Montaj işlemlerinin doğru yürütülmesini yönlendirmek için AR cihazlarının kullanımıyla ilgili olan uygulamalar; montaj görevleri sırasında uygun bilgileri vermek için, kullanıcının farklı biliş aşamalarına, yani algı, dikkat, hafıza ve yürütmeye dayalı olarak farklı kılavuzluk uygulamaları sağlamak için bir prototip sistem geliştirmeyi amaçlamaktadır (Chimienti, vd., 2010: 176). Montaj işlemi sırasında AR kullanıcılarının LCD üzerindeki dijital belgelere kıyasla işlemleri daha hızlı ve doğru bir şekilde yürüttüklerini açıklayan çalışmalar bulunmaktadır.

Radkowski ve diğerleri (2015), çalışmalarında farklı zorluk seviyelerindeki montaj işlemlerini açıklamak için farklı görsel özellikleri ilişkilendiren bir AR video görme desteği üzerine araştırma yapmışlardır. Gerçekleştirilecek görev ne kadar karmaşıksa, verilen talimat o kadar kolay anlaşılır görsel özelliği ile AR destekli olmaktadır. Sonuçlar, yöntemin kağıt yönergelerinden daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamaktadır (Radkowski, vd., 2015: 337 – 349).

Aouam ve diğerleri (2018), tarafından önerilen çalışmada, araba montajı ve demontajı için ses tabanlı bir etkileşim tekniği AR sistemi ile entegre edilmiştir. Konuşma sinyali, gerçek sahnede görselleştirilen sanal arabanın bileşenlerinden oluşan AR ortamıyla etkileşim kurmak için kullanılmıştır. Metinsel komutlara dönüştürülen sesli komutlar, kullanıcının çeşitli bileşenleri manipüle etmesine izin vermek için her iki eli de serbest bıraktığından dolayı üretim verimliliğini arttırmıştır (Aouam, vd., 2018: 1 – 5).

AR, yalnızca bu teknolojiyi kullanırken ortaya çıkabilecek bazı dezavantajların üstesinden gelmek için işitmeye ek olarak diğer insan duyularıyla da birleştirilmiştir. Montaj görevlerini desteklemek için gerçek zamanlı bir vibro-dokunsal kılavuz yönteminin geliştirildiği Arbelaez ve diğerleri (2019) araştırmasında bir örnek sunulmuştur. Sistem, bileşenleri ve kullanıcı ellerini tanımak için iş istasyonunun üstüne yerleştirilmiş bir web kamerası ile kullanıcıya titreşim şeklinde yapılan eylem hakkında bir geri bildirim vermek için bir vibro-dokunsal bileklik kullanmaktadır (Arbelaez, vd., 2019: 673–687).

2.1.2. Montaj İşlemlerinde – Görüntü Projeksiyonu Yaklaşımları

Görüntü projeksiyonu, işçiyi vücudunda AR cihazlarını taşımadan hareketsiz bırakma özelliğinden dolayı montaj işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sistemler, öncekiler gibi, basılı kopya veya monitör tabanlı çalışma talimatlarına olan ihtiyacı ortadan kaldırmakta ve bir çalışma yüzeyinde bir tür dijital “işletim tuvali” oluşturmaktadır.

Projektör tabanlı bir AR aracı, genel olarak bir video şeffaf veya optik şeffaf sistem ile karşılaştırıldığında daha basittir ve ayrıca manuel bir sürecin her adımında

operatör tarafından kullanımı açısından daha sezgiseldir. Operatör tezgâha veya parçalara yansıyan ışıkları takip ederek montaj işlemini gerçekleştirmektedir. Funk ve diğerleri (2016), görüntü projeksiyonunun başka bir yaklaşımı Şekil 6'daki gibi göstermektedir.

Şekil 6. Görüntü Projeksiyonlu AR'nin Montaj İstasyonunda Kullanımı



Kaynak: (Funk, vd., 2016a: 936).

Sistem, operatörün yanına yerleştirilmiş bir panel kullanmaktadır; burada, bir HMD'nin hareket kısıtından ya da gözlük takan kullanıcılar için özel versiyonlara ihtiyaç duyma sınırından kaçınma imkanı sağlanmaktadır. Montaj sırasında adım adım ilerlemek ve önceki talimatları gözden geçirmek için işçi ayak pedallarını kullanmaktadır; bu sayede eller AR cihazından uzak tutulur ve işçi montaj sürecini kesintiye uğratmadan işine devam edebilmektedir.

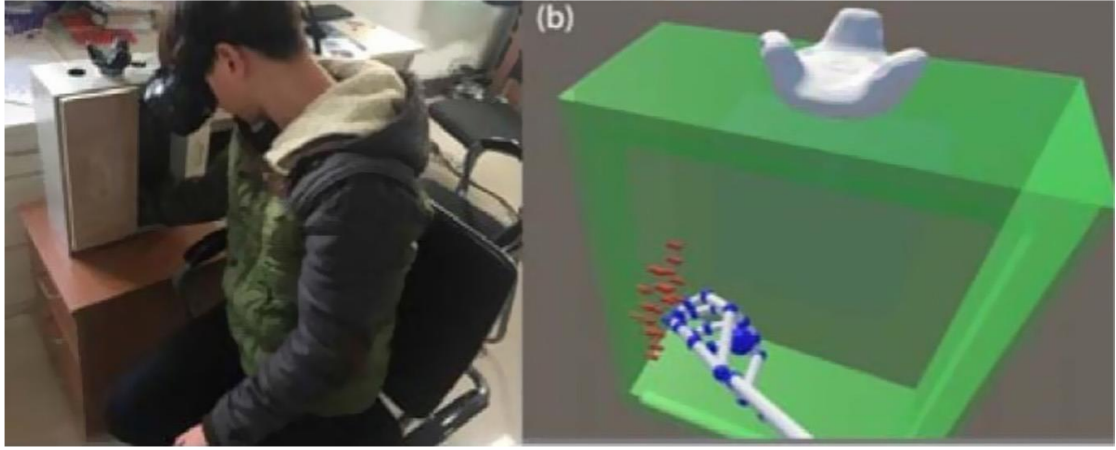
2.3. KARMAŞIK MONTAJ GÖREVLERİNDE REHBERLİK

Karmaşık montaj görevlerinde rehberlik, bu tür işlemleri gerçekleştirmek ve hatalardan veya zaman alıcı prosedürlerden kaçınmak için önemli bir konudur. Genellikle bu görevler, başvuru kılavuzları kullanılarak ve çalışanı birkaç sayfa kağıt talimatı okumaya zorlayarak gerçekleştirilmektedir. Örneğin havacılık endüstrisinde tipik karmaşık montaj görevleriyle karşılaşılabilir. NASA, HoloLens AR başlıklarını kullanmaktadır (Technology Review, 2018). Boeing, kablo demeti operasyonları için akıllı gözlükler ve bir AR uygulaması geliştirmiştir. Sistem, montajcılarının elektrik

kablolarının uçak gövdesinde nereye gittiğini kolayca görmelerini sağlamaktadır ve bu da hataların ve üretim süresinin önemli ölçüde azalmasına olanak tanımaktadır (Assembly Magazine, 2018).

Karmaşık montajın özel bir durumu, kullanıcı tarafından doğrudan görülemeyen alanlarda işlemler gerçekleştirilerek temsil edilmesidir. Wang ve diğerleri (2018) tarafından önerilen çalışmada montaj sahnesinde üst üste bindirilmiş, görünmez alandaki parça ve insan ellerinin sayısallaştırılmış modeliyle birleştirilmek üzere, hedef nesnelerin gerçek zamanlı konumu hakkında bilgi elde etmek için bir izleme yöntemi kullanılmaktadır. Şekil 7 ile görünmeyen alanda AR kullanımı ile tamamlanan iş gösterilmektedir.

Şekil 7. Görünmeyen Alanda Montaj İşlemi için AR



Kaynak: (Wang ve diğerleri, 2018: 3)

Wang ve diğerleri (2018), yapılan çalışmada, çalışan tarafından doğrudan görülemeyen bir alanda (bir kutu içinde) AR sistemi tarafından desteklenen vida konumlandırma işleminde, AR yardımı olmadan yapılan montaja kıyasla gelişmiş bir verimlilik ve işlem doğruluğu bulunmuştur (Wang, vd., 2018: 1-5).

2.4. MALZEME HAZIRLAMA

Malzeme hazırlama, herhangi bir üretim tesisinde montaj görevlerinden hemen önce doğru parçaları ve ürünleri bir depodan bulmak ve almak için temel bir süreçtir.

İşletmeler, AR'nin yenilikçi bir çözüm sunabileceği böylesine maliyetli bir süreci iyileştirmek için sürekli olarak yeni yöntemler aramaktadır. Otomotiv sektöründe yapılan bir uygulamada çalışanlar, depolama yerleri veya parça numaraları gibi ihtiyaç duydukları tüm bilgileri akıllı gözlükler aracılığıyla otomatik olarak kendi görüş alanlarında alabilmektedirler (Assembly Magazine, 2018). Şekil 8, malzeme hazırlamada AR kullanımını göstermektedir.

Şekil 8. Depo ve Malzeme Hazırlama İşlemlerinde AR Kullanımı



Kaynak: (Assembly Magazine, 2018).

Malzeme hazırlama sırasında AR teknolojisi kullanımının pek çok avantajı olabilir. AR teknolojisi üstüne yerleştirilen sensörler ile depoda otomatik stok sayımı yapabilir ve kaydı tutabilir, AR cihazına takılan kamera aynı zamanda barkod okuyucu olarak da kullanılabilir: bir çalışan doğru parçayı seçtiğinde barkod yeşil olarak gösterilir, değilse kırmızı renkte yanabilir ve kullanıcıyı hata yapmaktan alıkoyabilir (Assembly Magazine, 2018).

2.5. KALİTE KONTROL VE MUAYENE

Kalite kontrol ve muayene, bir montaj sırasındaki önemli adımları temsil etmektedir. Çoğu durumda, enstrümanlar ve referans değerlerle karşılaştırma talep edebilirler. Bu nedenlerle, AR sistemleri bu tür bir uygulama için çok uygundur ve

operatörü bu kritik aşamada verimli bir şekilde destekleyebilir. Şekil 9 ile Kalite kontrol sırasında AR kullanımı için BMW örneği gösterilmektedir.

Şekil 9. Montajdan Sonra Parçaların İncelenmesi için AR Kullanımı



Kaynak: (BMW Group Homepage, 2019)

Şekilde aracın arka ışığının doğru konumunu ve çevredeki gövde panellerine göre hizalamasını belirlemek için bir video görme sistemi kullanan bir HHD'nin kullanıldığı gösterilmektedir (BMW Group Homepage, 2019). Kalite kontrol ve muayene için kullanılan kalibrasyon sistemleri ve inceleme alanları düşünüldüğünde AR teknolojisi kullanımı ile kalite kontrol kullanım alanı oldukça geniş değerlendirilmektedir.

2.6. ALGILAMA CİHAZLARI İLE ENTEGRASYON

AR'nin tek kullanımı, operatör tarafından yürütülen görevler üzerinde kapalı döngü kontrolü için geri besleme sinyalleri sağlayamadığından, manuel montaj hatlarında AR tabanlı sistemler, kullanıcıya sürecin uygun fiziksel değerlerini verebilen sensörlerle entegre edilmesi konusunda şiddetle istenmektedir (Mura vd., 2015: 340). AR, birinin sınırlarının diğeri tarafından doldurulabileceği sinerjik bir sistem yaratmak için algılama cihazlarıyla entegre edilebilir. Bu nedenle AR, operatöre doğru eylemi gerçekleştirmede rehberlik etmek ve herhangi bir taahhüt edilen hatayı

düzeltilmek için bir destek sağlamak için kullanılabilir. Montaj sırasında hata tespiti için AR'yi bir kuvvet sensörüyle entegre eden bir iş istasyonu, AR kamera tarafından giderilemeyen montaj hatalarının bir kısmını tespit edebilen bir kuvvet sensörünün entegrasyonu ile elde edilen bütünleşik sistem işçinin çalışmasını verimli ve gelişmiş kılmaktadır (Mura, vd., 2015: 342).

2.7. ENDÜSTRİYEL EĞİTİM

Bir AR sisteminin prensip olarak hem uzman çalışanları yönlendirmek hem de deneyimsiz kullanıcıları eğitmek için kullanılabileceği göz önüne alındığında, bu iki uygulama arasındaki fark, sistem tarafından verilen talimatların düzeyine bağlıdır. Eğitim için kullanılan bir AR sisteminde, operatöre rehberlik etmek için kullanılan komutların sırası ve sanal nesneler, belirli bir montaj prosedüründe herhangi bir deneyime sahip olmadığı gerçeğini dikkate alınarak hazırlanmaktadır (Mura ve Dini, 2021:17). Bu durumda, çok basit montaj görevleri bile ayrıntılı olarak açıklanır ve ayrıca bir aletin kullanımı veya güvenlik ilkeleri hakkında temel bilgiler de gösterilmektedir.

2.8. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK VE ENDÜSTRİYEL KULLANIMINA YÖNELİK LİTERATÜR TARAMASI

AR teknolojilerinin endüstriyel eğitimde uygulanabilirliğini test etmek için literatürde yapılan çalışmalar derlenmiştir. AR teknolojilerini açıklayan çalışmalar genel olarak geleneksel yöntemler ile bir arada kullanılmaktadır. Bu yöntemler teknoloji tabanlı olanlar ile teknolojiden bağımsız talimat yöntemleri olarak da açıklanmaktadır. Tablo 1, literatürde AR teknolojisi ile kullanılan ya da karşılaştırma amacıyla kullanılan yöntemlerin kısaltmaları ve açıklamalarını içermektedir.

Tablo 1. Yöntemler ve Açıklamaları

Yöntem	Açıklama
SR-HMD (Spatially Registered HMD)	Üç Boyutlu Kaydedilmiş Görüntü Göstergeli Kask
PI (Paper Instructions)	Yazılı Talimatlar
VRI (VR Instruction)	Sanal Gerçeklik Eğitimleri
AR-VI (AR Video Instruction)	Artırılmış Gerçeklik Video Eğitimleri
HMD (Head Mounted Display)	Ekranlı Kask (Kafaya Takılan Gösterge)
PRO (Projection)	Projeksiyon Yansı
VI (Video Instruction)	Videolu Eğitim
HOI (Hands on Instruction)	Uygulamalı Eğitim

Tang ve diğerleri (2003), dört farklı türde öğretim yöntemini karşılaştıran ilk çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntemler; yazılı talimat (PI), videolu eğitim (VI), başa takılan gösterge (HMD) ile video talimatları ve üç boyutlu kaydedilmiş görüntü göstergeli kask (SR-HMD) olarak sıralanmaktadır. Çalışmanın tasarımında deneysel olarak 56 aşamalı bir Lego Duplo montajı kullanılmıştır. Son montajı tamamlamak için çeşitli şekiller, renkler ve boyutlarda lego blokları kullanılmıştır. Uygulamada 75 deneyimsiz öğrenci, verilen öğretim yöntemlerini görevi tamamlama süresi, doğruluk ve varsayılan zihinsel zorlanma açısından test etmek amacıyla gruplara ayrılmışlardır. Çalışma sonucunda, elektronik tabanlı talimatların tamamlanma süresini önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır. Özellikle, SR-HMD'nin montaj süresini %35 oranında azalttığı ve hata azaltma açısından, SR-HMD ile PI karşılaştırıldığında hata sayısını %83 oranında büyük ölçüde azalttığı ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca SR-HMD eğitimi alanların, PI ile eğitim alanların ortalama 13.3 puanına kıyasla 10 puan ile daha düşük bir zihinsel iş yükü bildirdikleri raporlanmıştır (Tang, vd., 2003: 73 – 80). AR alanında, eğitim yöntemleri konusunda erken bir katkı sağlayan Tang ve diğerleri (2003) çalışması oldukça kapsamlı ve AR teknolojinin geleceğine yönelik bir örnek oluşturmıştır.

Tang ve diğerleri (2003) çalışmasından on yıl sonra, Hou ve Wang (2013) yine bir Lego Duplo düzeneği kullanarak bir araştırma yürütmüştür. Bu deneyde karmaşık bir Lego montajı kullanılmıştır. Lego ile üretilen son ürün farklı şekil, boyut ve renklerde 35 parçadan oluşuyordu. Bitmiş ürün, basit bir blok tasarımından ziyade bir robotu andırıyordu. Araştırmada 50 katılımcı, görev tamamlama süresi, hatalar, toplam görev yükü ve öğrenmenin kalıcılığı açısından PI kılavuzunu SR-HMD ile karşılaştıran iki deneyde yer almışlardır. İlk deneyin sonuçları, SR-HMD eğitiminin PI ile karşılaştırıldığında tamamlanma süresini %38 oranında azalttığını göstermektedir. Ortalama hata sayısı da %61 oranında azalmıştır. Zihinsel, fiziksel, zamansal, performans, çaba ve hayal kırıklığı dahil olmak üzere çeşitli iş yükleri için de bir değerlendirme yapılmıştır. SR-HMD eğitimi alanlar için zihinsel iş yükü %50 oranında azaltılmıştır. Bir diğer deney ise SR-HMD'nin PI'ye karşı öğrenmedeki kalıcılık etkilerini incelemeye yöneliktir. Sonuçlar, ürünü hatasız bir şekilde monte etmek için gereken denemelerin SR-HMD eğitiminde %25 daha az olduğunu göstermektedir. SR-HMD'nin tamamlanması için gereken süre ilk denemede %42, ikinci denemede %31 ve üçüncü denemede %17 daha hızlıdır (Hou ve Wang, 2013: 38 – 45). Hou ve Wang (2013) tarafından yürütülen araştırmada genel olarak, SR-HMD'nin faydaları karmaşık montajda bile Tang ve diğerleri (2003) tarafından tamamlanan çalışmaya istatistiksel olarak benzerlik göstermektedir.

Westerfield ve diğerleri (2015) çalışmasında bilgisayar ana kartlarının montajı için SR-HMD yönteminden faydalanmışlardır. Araştırmada 16 deneyimsiz kullanıcı 2 gruba ayrılmıştır ve gruplara farklı SR-HMD komutları sunulmuştur. İlk grup, gerekli adımın gerçekleştirilmemesi veya yanlış tamamlanması durumunda kullanıcının montaja devam etmesini engelleyen akıllı öğretim sistemi (intelligent tutoring system / ITS) ile donatılmıştır. Bu sistem ile kullanıcıya, hatanın nasıl düzeltileceği konusunda da geri bildirim sağlanmıştır. İkinci gruba, bir adımın yanlış tamamlanması durumunda süreç boyunca ilerlemeyi engellemeyen basit AR talimatları sunulmuştur. Öğretim süresinden sonra, kullanıcılara benzer içerikli bir son test verilmiştir ve öğrenmenin kalıcılığını ölçmek için ana kartı fiziksel olarak monte etmeleri istenmiştir. Kullanıcılardan ayrıca kullanılabilirlik ve bilişsel yük hakkında geri bildirimde bulunmaları istenmiştir. Çalışmanın sonunda, her iki grup da ön testten son teste

puanlarını önemli ölçüde artırmıştır, ancak ITS verilen grup, kontrol grubuna göre puanlarını %25 daha fazla arttırmıştır. Bu çalışma ile bir AR platformuna bir ITS'nin eklenmesinin faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır (Westerfield, vd., 2015: 157 – 172).

Hořejší (2015), su gideri montajı sırasında AR-VI ile PI yöntemlerini karşılaştıran 40 katılımcı üzerinde bir çalışma gerçekleştirmiştir. İlk 20 katılımcı, kullanıcının hareketlerini algılayan ve montajın yanındaki monitörde AR'de görüntüleyen kurulu kameraları kullanarak su giderini montajlamışlardır. İkinci grup bir yazılı talimatname kullanmışlardır. AR monitörünü kullanan grup, montaj süresini 2 dakika azaltmış ve montajı daha az denemede mükemmel bir şekilde tamamlamayı başarmışlardır. Bu çalışma, AR-VI yönteminin bir ekrandaki bilgileri öğrenmenin kalıcılığını arttırdığı ve netliğini iyileştirdiği sonucuna varmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarının odak değişikliği gerektirmeyen bir SR-HMD ile vurgulanacağı varsayılmaktadır (Hořejší, 2015: 699 -706).

Mura ve diğerleri (2016), manuel montaj görevlerinin doğasını, ne tür hataların meydana geldiğini ve mevcut azaltma tekniklerini tanımlayan çalışmalarında, işgücü üzerindeki bilişsel yükü azaltmak için AR tabanlı yöntemden faydalanmışlardır. Çalışana doğru montaj sırası hakkında gerekli bilgileri vermek ve hata durumunda onu uyarmak için kullanılan bir güç sensörü ile artırılmış gerçeklik (AR) ekipmanı arasındaki etkileşime dayalı yenilikçi bir sistem önerilmiştir. Kuvvet sensörü tezgahın altına yerleştirilmiştir ve bir XYZ referans sistemine göre güç ve tork verilerini toplayarak montaj sürecini izlemek için kullanılmıştır. Böylece bir model tanıma tekniği, hata tanımlamasına ve uygun kurtarma prosedürünün seçilmesine izin vermektedir. Araştırmada kullanılan ilk cihaz, iş istasyonunun üzerine yerleştirilmiş bir CCD kamera ve montaj işlemlerinin doğru bir şekilde yürütülmesine ve kurtarma prosedürleri hakkında talimatların alınmasına destek olarak işçi tarafından kullanılan bir LCD ekranı içermektedir. İkincisi ise sanal nesnelerin üst üste bindirilmesiyle gerçek dünya görüşüne izin vererek, yansıtılan görüntüleri işçinin gözleri önünde yansıtma yeteneğine sahip başa takılan bir ekrandan (HMD) oluşmaktadır. CCD kamera ayrıca, güç sensörü tarafından algılanamayan hataları belirlemek için de

kullanılmaktadır. Araştırmada temel bir montaj prosedürü ile ilgili bir vaka çalışması sunulmakta ve tartışılmaktadır (Mura, vd., 2016: 340 – 345).

Loch ve diğerleri (2016), tarafından yapılan bir çalışma da VI ile SR-HMD yöntemlerini karşılaştırmaktadır. Araştırmaya deneyimsiz 17 lisans öğrencisi katılmıştır. Araştırmaya katılan kullanıcılara yönelik demografik bilgilerinin ve teknolojiye yönelik algılanan kullanım kolaylığı hakkındaki görüşleri görevden önce bir anket aracılığıyla toplanmıştır. Araştırmada kullanıcıların Lego bloklarını kullanarak iki düzenek oluşturması istenmiştir. Çalışmanın sonuçlarında AR yöntemi yardımıyla daha düşük zihinsel iş yüküne ihtiyaç olduğu, hata sayısı ve harcanan sürede azalma gerçekleştiği gösterilmektedir (Loch, vd., 2016: 147 – 150).

Funk ve diğerleri (2016a) tarafından gerçekleştirilen basit Lego tabanlı montaj çalışmasında PI, HMD, AR-VI ve PRO yöntemleri karşılaştırılmıştır. 16 kullanıcıya bir tür eğitim yöntemi atanmış ve parçayı bulmak için geçen süre, parçayı seçme zamanı, son konumu bulma zamanı ve montaj zamanı açısından yöntemler değerlendirilmiştir. Uygulamalarda gözlenen hata oranları ve bilişsel yükler kaydedilmiştir. Çalışmanın sonunda, PRO en düşük hata oranını ve bilişsel yükü verirken, PI en düşük montaj süresi ile sonuçlanmıştır. Bu çalışma, montaj için bir SR-HMD'nin potansiyel faydalarını test etmek amacıyla oluşturulurken çalışmanın deneysel tasarımı gelecekteki çalışmalar için bir ilham kaynağı olmuştur (Funk, vd., 2016: 934 – 939).

Blattgerste ve diğerleri (2017), Funk ve diğerleri (2016) çalışmasını baz alarak aynı montaj ortamıyla bir deney gerçekleştirmişlerdir. Blattgerste ve diğerleri (2017) çalışmalarında montaj talimatlarını HMD, SR-HMD, AR-VI ve PI aracılığıyla test etmek için 24 kullanıcı 4 gruba ayrılmıştır. Aynı sonuçlar işlem zamanı, işlem hataları ve bilişsel yük açısından test edilmiştir. Yazılı talimatlar en hızlı zamanı ve en az hatayı verdiği için, sonuçlar AR teknolojilerini kullanmanın herhangi bir faydasını kanıtlamamaktadır. Bu sonuçlar deneysel tasarımın basitliğinden kaynaklanabilir. Basit lego montaj işlemi sırasında kullanıcılar, montaj adımlarını kolayca ezberleyebilmişlerdir. Bu kadar basit bir montajda AR yardımı gerekli olmayabileceği sonucuna varılmıştır (Blattgerste, vd., 2017: 75 – 82).

Pierdicca ve diğerleri (2017) SR-HMD aracılığıyla talimatların sunulması için bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemi kullananların daha az zaman ve hata bildirdiği belirtilirken, bu teknolojiyi mevcut öğretim yöntemleriyle karşılaştırmak için herhangi bir deneysel deneme yapılmamıştır. Ayrıca, yazılım kullanıcıya geri bildirim sağlamazken, AR aracılığıyla bazı son parçaların ve montajın sonu doğrulanmıştır (Pierdicca, vd., 2017: 389 – 401).

Werrlich ve diğerleri (2018), altı silindirli bir motora sahip sürücüsüz bir taşıma sistemi kurmak için SR-HMD ve PI yöntemlerini karşılaştıran bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırma, otomotiv üretimi için çalışan bir endüstriyel tesiste gerçekleştirilmiştir. 30 katılımcı iki gruba ayrılmıştır. 15 kişi Microsoft HoloLens ile entegre edilmiş ve cihazlar katılımcıların vücutlarına göre özelleştirilmiştir. Diğer 15 katılımcıya yazılı talimat kitabı verilmiştir ve eğitime başlamadan önce kitabı incelemelerine izin verilmiştir. Her iki grup için eğitim modülleri başlangıç, orta seviye ve uzman olarak bölünmüştür ve bu sırada yazılım giderek daha az bilgi sağlamıştır. Eğitim oturumundan sonra, tüm kullanıcılardan görevi yardım olmadan gerçekleştirmeleri istenmiştir. Araştırmada montajı tamamlama süresi, yapılan hatalar, kullanılabilirlik ve bilişsel yükler kaydedilmiştir. PI yöntemi kullananlar, montaj sürelerini önemli ölçüde azaltmışlardır, ancak HoloLens donanımı ile eğitim alanlar hata oranı, bilişsel yük dahil olmak üzere diğer tüm yönlerden daha yüksek puan almışlardır. Kullanıcılara son bir anket verilmiştir ve en çok tercih edilen eğitim yöntemi olarak SR-HMD seçilmiştir (Werrlich, vd., 2018: 134 – 142).

Gabajová ve diğerleri (2019), Slovakya'da VRI ve SR-HMD öğrenme teknolojilerini PI ile karşılaştıran bir üniversite çalışması yürütmüştür. 30 katılımcıdan 5 adımlı basit bir endüstriyel fiş – priz sistemi monte etmeleri istenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, SR-HMD yöntemi ve öğretiminin montaj süresini %36 oranında iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada test edilen tek ölçü zamandır ancak araştırmada teknolojilerin hata oranı veya kullanıcı geri bildirimi hakkındaki veriler dahil edilmemiştir (Gabajová, vd., 2019: 66 – 77).

Ferrati ve diğerleri (2019), tarafından yapılan çalışmada, endüstriyel kiraz toplayıcılara hidrolik hortumların montajını içeren bir araştırma ele alınmıştır. Bu on üç aşamalı montaj işlemi, SR-HMD ve PI yöntemlerinin kullanımını karşılaştırmak

için kullanılmıştır. 10 katılımcı, teknolojiyi test etmek için iki gruba ayrılmıştır. SR-HMD yöntemini kullanan katılımcılar, hidrolik hortumu PI yöntemi kullananlara göre ortalama %22 daha hızlı monte etmiştir. SR-HMD kullananlar için hata oranı da %20 düşmüştür (Ferrati, vd., 2019: 803 – 808).

Lampen ve diğerleri (2019), insan etkileşimi ile uygulamalı eğitim (HOI) bilgilerini görüntülemenin bir diğer yolunu da çalışmalarına eklemişlerdir. Araştırma SR-HMD, PI ve HOI yöntemlerinden faydalanan 24 katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Her kullanıcı, bir otomotiv araba kapısının bir kısmını monte etmek için gereken eğitimi tamamlamışlardır. Çalışmanın sonuçları, HOI ve SR-HMD eğitiminin benzer sonuçlar verdiğini ve tamamlama süresi ve hata sayısı açısından PI yönteminden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. HOI bazı ortamlar için uygun bir seçenek olsa da diğerlerini eğitmek için çalışanları kullanmak maliyetli olarak görülebilmektedir. Çalışanları eğitmek için cihazların kullanılması, eğitim vermesi için başka bir çalışana ödeme yapma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır (Lampen, vd., 2019: 588 – 593).

Lai ve diğerleri (2020), tarafından yapılan araştırmada montaj işleminde görev süresini ve hatayı azaltmak için, derin öğrenme ağı destekli çok modlu AR komutlarından oluşan bir sistem üzerinde çalışılmıştır. Çeşitli yerinde talimatlar (metinler, videolar, 3D animasyonlar) sağlayan çok modlu AR oluşturma ile gerçekleştirilmiştir. Bu sistemle iş mili motoru montajı üzerinde yapılan denemeler ile sistemin montaj tamamlama süresini ve hata sayısını sırasıyla %33.2 ve %32.4 oranında azalttığı ortaya çıkarılmıştır (Lai, vd., 2020: 69 – 81).

AR teknolojilerinin endüstriyel eğitimde uygulanabilirliğini test etmek için farklı yöntemler ile karşılaştırılan literatürde yaklaşık son 20 yılda yapılan çalışmalar Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Literatürde AR ile Karşılaştırılan Yöntemler

<u>Çalışma</u>	<u>Uygulama</u>	<u>İşlem Sayısı</u>	<u>Kullanılan Yöntemler</u>	<u>Başarılı Bulunan Yöntem</u>
Tang ve diğerleri (2003)	Lego	56	SR-HMD, HMD VI & PI	SR-HMD
Hou ve Wang (2013)	Karmaşık Lego Montajı	35	SR-HMD & PI	SR-HMD
Westerfield ve diğerleri (2015)	Ana kart Montajı	18	SR-HMD w/ITS & SR-HMD w/o ITS	SR-HMD w/ITS
Hořejší (2015)	Su Gideri Montajı	7	AR-VI & PI	AR-VI
Mura ve diğerleri (2016)	Basit Montaj İşlemi	4	AR-VI & SR-HMD	-
Loch ve diğerleri (2016)	Lego	-	VI & SR-HMD	SR-HMD
Funk ve diğerleri (2016)	Lego	32	PI, HMD, AR-VI & PRO	PRO - PI
Blattgerste ve diğerleri (2017)	Lego	32	PI, SR-HMD AR-VI & PRO	PI
Pierdicca ve diğerleri (2017)	Basit Montaj İşlemi	5	SR-HMD	-
Werrlich ve diğerleri (2018)	Motor Montajı	-	SR-HMD & PI	PI
Gabajova ve diğerleri (2019)	Endüstriyel Priz	5	SR-HMD, VRI & PI	SR-HMD
Ferrati ve diğerleri (2019)	Hidrolik Hortum	13	SR-HMD & PI	SR-HMD
Lampen ve diğerleri (2019)	Araba Kapısı	-	SR-HMD, PI & HOI	HOI
Lai ve diğerleri (2020)	Mil Motoru Montajı	-	multi-modal AR	-

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE FARKLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) YATIRIM SENARYOLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Üretim alanında Artırılmış Gerçeklik (AR) teknolojisi kullanımı, montaj hatlarında çalışan işgücünün işlem sürelerinde değişikliklere yol açmaktadır. Bu durum montaj hattı konusunda AR teknolojisi kullanımı ile değişen görev sürelerini göz önüne alan çalışmalarının yeniden yapılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, işletmenin üretim alanında yapılan araştırma AR teknolojisinin kullanımı ile montaj hattı boyunca çalışan operatörlerin montaj sürelerinin değişen operasyon sürelerinin göz önünde bulundurulması ve çalışan eğitiminin AR teknolojisi kullanılmaktadır.

3.1. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Çalışmada montaj hattı mevcut durumu değerlendirilmiştir ve geleneksel eğitim ile değişen görev sürelerini dikkate alan ve AR teknolojisi kullanımı ile değişen görev sürelerini dikkate alan farklı senaryolar üzerinde çalışılmıştır. Kurgulanan montaj hattına eşit özellikte işgücünün çalıştığı ve görev sürelerinin eşit alındığı durumda çevrim süresi belirlenmiştir. Sonrasında çalışanlara geleneksel olarak verilen işbaşı eğitim ve AR teknolojisi ile montaj eğitimi verilmesi halinde gelişen beceri seviyelerinde montaj hattı farklı senaryolar ile kurgulanmıştır ve izlenen adımların çevrim süresi üzerinde yarattığı etki gözlemlenmiştir. Çevrim süresinde yaşanan değişim ile montaj hattı çıktı miktarı ilişkilendirilmiştir.

3.2. MONTAJ HATTINDA ÇEVİRİM SÜRESİNİN BELİRLENMESİ

Montaj hattında, verilen iş istasyonu sayısı için çevrim süresinin en küçüklenmesini amaçlayan Scholl ve Becker (2006) tarafından yapılan sınıflandırmada en sık karşılaşılan modelde kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenleri, aşağıdaki gibidir. Amaç fonksiyonu çevrim süresinin en küçüklenmesi olan modelde kullanılan kısıtlar bu amaçla çalışılmaktadır.

İndisler

i	İş/görev
j	İstasyon

Parametreler

t_i	i görevinin işlem süresi
M	İş / görev sayısı (kümesi)
N	İstasyon sayısı (kümesi)
P_{ba}	İşler arası öncelik ilişkileri matrisi

Karar Değişkenleri

C	Çevrim süresi
X_{ij}	i görevi j istasyonunda yapılması durumunda 1; diğer durumlarda 0.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Minimize } Z=C; \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m t_i * X_{ij} \leq C \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n j * X_{bj} \geq P_{ab} * \sum_{j=1}^n j * X_{aj} \quad \forall (a,b) \in M \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \quad (5)$$

Denklem 1 ile amaç fonksiyonu gösterilmiştir ve çevrim süresinin minimizasyonu amaçlanmaktadır. Denklem 2 ile her işin bir istasyona atanması şartı üzerine çalışılmaktadır. Denklem 3 ile her istasyona atanan işlerin toplam işlem sürelerinin çevrim süresini aşmaması kısıtı sağlanmaktadır. Denklem 4 ile işlerin istasyonlara atanması sırasında işler arasındaki öncelik kısıtı sağlanmaktadır. Denklem 5 ile X_{ij} değişkeninin 0-1 tam sayı olma kısıtı konulmuştur.

Modelde çevrim süresi minimizasyonu yapılmaktadır ancak istasyonlara atanan işçiler göz ardı edilmektedir. Bu nedenle geleneksel eğitim ve AR teknolojisi kullanımı ile görev süreleri değişen işçilerin ataması için geliştirilmiş model ile çalışılmaktadır.

3.3. MONTAJ HATTINDA DEĞİŞEN GÖREV SÜRELERİ İLE ÇEVİRİM SÜRESİNİN BELİRLENMESİ

Çevrim süresinin enküçüklenmesi için montajı tamamlamak için gerekli montaj operasyonları belirli bir işlem sırasında ve süresinde gerçekleştirilmektedir. Montaj işlemlerinin tamamlanma süreleri işgücü faktörüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu noktada geleneksel eğitim ve AR teknolojisi kullanımı ile görev süreleri değişen işçilerin ataması için geliştirilmiş model ilk olarak Mansoor (1968), tarafından çalışılmıştır ve değişken işçi performans seviyelerini göz önüne almaktadır. Çevrim süresinin en küçüklenmesi amacıyla işgücü faktörüne modelde kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenleri, aşağıdaki gibidir. Amaç fonksiyonu çevrim süresinin enküçüklenmesi olan modelde kullanılan kısıtlar bu amaçla çalışılmaktadır.

İndisler

- i İş/görev
- j İşçi
- k İstasyon

Parametreler

- t_{ij} i görevinin j işçisi tarafından tamamlanma süresi
- M İş / görev sayısı (kümesi)
- N İşçi sayısı (kümesi)
- K İstasyon sayısı (kümesi)
- P_{ba} İşler arası öncelik ilişkileri matrisi

Karar Değişkenleri

C Çevrim süresi

X_{ijk} i işinin j işçisi tarafından k istasyonunda yapılması durumunda 1; diğer durumlarda 0.

Y_{jk} j işçisinin k istasyonuna atanması durumunda 1; diğer durumlarda 0.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Minimize } Z=C; \quad (6)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k X_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} * X_{ijk} \leq C \quad \forall k \quad (8)$$

$$X_{ijk} \leq Y_{jk} \quad \forall i, j, k \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{jk} = 1 \quad \forall k \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^k Y_{jk} = 1 \quad \forall j \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k j * X_{bjk} \geq P_{ab} * \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k j * X_{ajk} \quad \forall j, k \text{ \& } \forall (a,b) \in M \quad (12)$$

$$X_{ijk}, Y_{jk} \in \{0,1\} \quad (13)$$

$$C > 0 \quad (14)$$

Modelde denklem 6, amaç fonksiyonudur ve çevrim süresinin minimizasyonunu hedeflemektedir. Denklem 7, her işin bir işçi ile bir istasyona atanmasını sağlama kısıtıdır. Denklem 8, her istasyon için o istasyona atanan işlerin o işleri yapacak işçinin işlem süresine bağlı olarak çevrim süresini aşmamasını sağlam kısıtıdır. Denklem 9, bir işin bir istasyona bir işçi ile atanması durumunda, bu işinin ancak o istasyona atanması durumunda olduğunun kısıtıdır. Denklem 10, her istasyon

için bir işçi atanması kısıtıdır. Denklem 11, her işçi için bir istasyona atanması kısıtıdır. Denklem 12, b görevinin a görevinin hemen ardılı olduğu durumlarda öncelik ilişkilerini sağlama kısıtıdır. Denklem 13 ile X_{ijk} ve Y_{jk} değişkenlerinin 0-1 tam sayı olma kısıtı konulmuştur. Denklem 14 çevrim süresinin negatif olmama kısıtıdır.

3.4. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) TEKNOLOJİSİNİN MONTAJ HATTINDA KULLANILMASI

Araştırmanın örnek uygulaması otomobil farı üretimi yapılan bir montaj hattında gerçekleştirilmiştir. Otomobil farı montaj hatları, diğer otomotiv OEM montaj hatlarına kıyasla emek yoğunluklu çalışmaktadır. Otomasyon tabanlı montaj ekipmanları kullanılmaya başlansa da (otomatik perçinleme, delme gibi), montaj operasyonları yaklaşık %80 oranında işgücü ile tamamlanmaktadır.

Otomobil farı montaj hatlarında zamanında teslimat ve hat verimliliğinin sağlanması için işgücü en önemli ve baskın kaynaktır. İşgücü dağılımı montaj hattı verimliliğine direkt etki etmektedir. Otomotiv sanayinin beklediği ürün çeşitliliği, far üretimi için çalışılan istasyonlara ait iş yükleri arasında farklılıklara da neden olmaktadır.

Mevcut durumda far montaj hattında 15 iş, 6 istasyonda gerçekleştirilmektedir. Fiziksel olarak benzer düzenlenmiş 21 adet, 6 iş istasyonundan oluşan montaj hattının çalışan 143 personeli bulunmaktadır. Ancak bu işçilerin, 126'si iş istasyonlarında çalışmakta, geri kalanı ise yan görevleri yerine getirmektedir. Bu nedenle montaj hattında bulunan iş istasyonlarına atanan 126 işçi değişen ürün çeşitliliği ile montaj işlemini ürün özelliklerine uygun olarak gerçekleştirmektedir. Bu durum, montaj hattı yönetiminde, üretim hızını artırma konusunda esneklik ihtiyacına neden olmaktadır. Çalışanlar arasında devamsızlık, iş öğrenme, rotasyon durumlarında yönetim, yan görevlerde çalışan işçilerden bir veya daha fazlasını, bu iş istasyonlarında görevlendirebilmektedir.

3.4.1. Montaj Hattına İlişkin Veriler

Otomobil farı montajı, kaynak ve cıvatalama işlemleriyle bir araya getirilen bileşenlerden oluşan bir üründür. Başlıca kalite gereklilikleri ile elektrik bileşenleri için hafif emisyon ve su geçirmez kaplardan oluşan bu otomobil komponenti, içinde bulunduğu sanayi kolunun marka model çeşitliliği göz önünde bulundurulduğunda oldukça çeşitlilik gösteren bir gruptadır. İncelenen örnekte otomobil farlarının montaj süreci, bireysel bileşenlerin ve alt montajların bir araya getirildiği işlere ek olarak tavlama, soğutma, ısı dengeleme, etiketleme ve muayene için birkaç ek işlem kullanılır. Bu görevlerin listesi Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Far Montajı Süresince Yapılan İşler ve İşlem Süreleri

<u>İş No</u>	<u>İş Açıklama</u>	<u>Ortalama İşlem Süresi</u>
1	Mercek Yerleştirme	17.5
2	İç Vida Montajı	17.0
3	Dış Vida Montajı	17.0
4	Hava Üfleme İşlemi	10.0
5	Vibrasyonlu Kaynak	25.0
6	Tavlama (Fırın) İşlemi	22.5
7	Soğutma İşlemi	20.0
8	Isı Dengeleme	20.0
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi	30.0
10	Soket Yerleştirme	11.0
11	Etiketleme	8.0
12	Sızıntı ve Işık Testi	28.0
13	Havalandırma Kapağının Takılması	16.0
14	Muayene	17.5
15	Paketleme	12.0

3.4.2. Montaj Hattında Çevrim Süresinin Belirlenmesi

Montaj hattında mevcut durumda 15 iş yapılmaktadır ve 6 istasyonda bu işler tamamlanmaktadır. Bu noktada yapılan çalışmada öncelikle ortalama işlem süreleri dikkate alınarak montaj hattında çevrim süresi enküçükleme modeli kurulmuştur ve mevcut durum geçerliliği test edilmiştir.

Araştırmada, model hesaplamaları IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı ile yapılmıştır. 91 değişken ve 231 kısıt kullanılarak, 6 istasyon için minimum çevrim süresi hesaplanmış ve işlerin istasyon atamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulamada çalışılan model ortalama işlem süresine bağlı olarak Tablo 4'te gösterildiği gibi kurgulanmıştır.

Mevcut durumda, ortalama işlem süreleri dikkate alındığında montaj hattının çevrim süresi 51.5 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 15 işin 6 istasyona atanması durumu söz konusu olduğunda, iş1-iş2-iş3 istasyon1'e, iş4-iş5 istasyon2'ye, iş6-iş7 istasyon3'e, iş8-iş9 istasyon4'e, iş10-iş11-iş12 istasyon5'e ve iş13-iş14-iş15 istasyon6'ya atanmıştır.

Tablo 4. Mevcut Durum İş – İstasyon Atama ve Çevrim Süresi Hesaplama

<u>İş</u>	<u>İş Açıklama</u>	<u>Ortalama İşlem Süresi</u>	<u>İstasyon Atama</u>
1	Mercek Yerleştirme	17.5	1
2	İç Vida Montajı	17.0	1
3	Dış Vida Montajı	17.0	1
4	<i>Hava Üfleme İşlemi</i>	10.0	2
5	Vibrasyonlu Kaynak	25.0	2
6	<i>Tavlama (Fırın) İşlemi</i>	22.5	3
7	<i>Soğutma İşlemi</i>	20.0	3
8	<i>Isı Dengeleme</i>	20.0	4
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi	30.0	4
10	Soket Yerleştirme	11.0	5
11	Etiketleme	8.0	5
12	<i>Sızıntı ve Işık Testi</i>	28.0	5
13	Havalandırma Kapağının Takılması	16.0	6
14	<i>Muayene</i>	17.5	6
15	Paketleme	12.0	6
ÇEVİRİM SÜRESİ		51.5	

3.4.3. Montaj Hattında Eğitim ile Değişen Görev Süreleri

İşbaşı eğitim, bir çalışanın deneyimlediği becerilerdeki artışı temsil etmektedir. Geleneksel olarak işin tekrarlanması ve bir bilen ile yapılması şeklinde ve yönlendirmeler ile sağlanmaktadır. Geleneksel eğitimde hiçbir ekipman veya alet kullanılmamaktadır. Sanayide geleneksel eğitim, kağıt dokümantasyon gibi yazılı talimatları içeren bir araç kullanmak gibi geleneksel eğitim teknikleri ile açıklanmaktadır. AR teknolojisi, operatörleri montaj anında sanal olarak yönlendiren

teknoloji desteğine sahiptir ve bu tezin ortaya çıkış amacını oluşturmaktadır. Çalışmada işçilerin işi tamamlama sürelerinin kısaltılabilmesi için geleneksel eğitim ile görev sürelerinde değişim ve AR teknolojisi ile görev sürelerinde değişim üzerine çalışılmıştır.

Beceri eşiğine ulaşılması için eğitim öğrenme eğrisi kavramına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Wright (1936), bir uçak inşa etme maliyetini etkileyen faktörleri araştıran makalesinde öğrenme eğrisi kavramını ortaya çıkarmıştır. Ana fikir, bir işçi bir ürünün montajını belirli sayıda döngü için tamamladıkça, montajı tamamlamak için gereken sürenin azalacağıdır, bir süre sonra işlem süresi dengeye gelecek ve ortalama işlem süresi ortaya çıkacaktır. Daha sonra işin yapılması ile ilgili yeni bir eğitim adımı gündeme geldiğinde işin tamamlanma süresinin daha kısa süreceği durumu söz konusu olmaktadır. Yapılan araştırmada, bir döngü, bir ürünün tamamlanması olarak kabul edilmektedir ve öğrenme eğrisi uygulamalarının kısa vadeli olması amaçlanmıştır (Wright, 1936). Öğrenme eğrisi oranı, öğrenme zorluğunu temsil etmek için kullanılan bir rakamdır. Wright (1936) araştırmasında işbaşı geleneksel eğitim uygulaması olmadan montaj için öğrenme eğrisi oranı %80 olarak kabul edilmiştir. Bu tez için de, geleneksel eğitim için öğrenme eğrisi oranını %80 olarak kabul edilmektedir.

Eğitim ile işlem sürelerinin kısaltılacağı kabulü ile montaj hattında yapılan işler ve işlem süreleri gözden geçirilmektedir ve görevlerin işlem süreleri yeniden hesaplanmaktadır. Bu noktada “Hava Üfleme İşlemi”, “Tavlama (Fırın) İşlemi”, “Soğutma İşlemi”, “Isı Dengeleme”, “Etiketleme”, “Sızıntı ve Işık Testi” ile “Muayene” işlemleri salt manuel olarak gerçekleştirilen operasyonlar olmadığından öğrenme etkisi bu işler için makine zamanları çıkarılması üzerinden hesaplanmaktadır. Aşağıda bu hesaplamaların nasıl yapıldığı gösterilmektedir.

- Manuel İş Örnek:

Mercek Yerleştirme İşlemi (Ortalama İşlem Süresi) = 17,5 sn

Mercek Yerleştirme İşlemi (Geleneksel Eğitim ile İşlem Süresi) = $17,5 * 0,8 = 14,9$ sn

- Makine-İnsan İş Örnek:

Hava Üfleme İşlemi (Ortalama İşlem Süresi) = 10 sn

Hava Üfleme İşlemi (Geleneksel Eğitim ile İşlem Süresi) = $5 + (5 * 0,8) = 9$ sn

Bu hesaplamalara bağlı olarak, geleneksel eğitim ile işlem süresi ve AR eğitim ile işlem süresine bağlı olarak uygulama yapılmaktadır.

3.4.4. Geleneksel Eğitim ile Değişen Görev Süreleri için Montaj Hattı Senaryosu Uygulaması

Montaj hattında mevcut durumda yapılan 15 işin işlem sürelerinin geleneksel eğitim ile kısaltılmaktadır ve kısalan işlem süreleri ile uygulamada 6 istasyonda bu işler tamamlanmaktadır. Ancak “Hava Üfleme İşlemi”, “Tavlama (Fırın) İşlemi”, “Soğutma İşlemi”, “Isı Dengeleme”, “Etiketleme”, “Sızıntı ve Işık Testi” ile “Muayene” işlemlerin eğitim ile kısaltılma süresi oransal olarak daha azdır bu durumda, öncelikle geleneksel eğitim ile değişen işlem süreleri hesaplanmıştır ve bu hesaplamalar sonucu bulunan işlem süreleri dikkate alınarak model kurulmuştur.

Geleneksel eğitim sonucu değişen görev süreleri dikkate alınarak yapılan modelin hesaplamaları IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı ile yapılmıştır. 91 değişken ve 231 kısıt kullanılarak, 6 istasyon için minimum çevrim süresi hesaplanmış ve işlerin istasyon atamaları gerçekleştirilmiştir. Geleneksel eğitim sonucu değişen görev sürelerine bağlı olarak yapılan iş ve istasyon atamaları Tablo 5’te gösterilmektedir.

Geleneksel eğitim ile değişen görev süreleri dikkate alındığında montaj hattının çevrim süresi 43.2 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 15 işin 6 istasyona atanması durumu söz konusu olduğunda, iş1-iş2-iş3 istasyon1’e, iş4-iş5 istasyon2’ye, iş6-iş7 istasyon3’e, iş8-iş9 istasyon4’e, iş10-iş11-iş12 istasyon5’e ve iş13-iş14-iş15 istasyon6’ya atanmıştır. İşlerin istasyonlara atanması sırasında mevcut durum ile bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5. Geleneksel Eğitim ile Değişen Görev Süreleri için İş – İstasyon Atama ve Çevrim Süresi Hesaplama

§	İş Açıklama	Geleneksel Eğitim	İstasyon Atama
1	Mercek Yerleştirme	14.0	1
2	İç Vida Montajı	13.6	1
3	Dış Vida Montajı	13.6	1
4	<i>Hava Üfleme İşlemi</i>	9.0	2
5	Vibrasyonlu Kaynak	20.0	2
6	<i>Tavlama (Fırın) İşlemi</i>	21.5	3
7	<i>Soğutma İşlemi</i>	19.0	3
8	<i>Isı Dengeleme</i>	19.2	4
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi	24.0	4
10	Soket Yerleştirme	8.8	5
11	Etiketleme	6.4	5
12	<i>Sızıntı ve Işık Testi</i>	25.6	5
13	Havalandırma Kapağının Takılması	12.8	6
14	<i>Muayene</i>	16.5	6
15	Paketleme	9.6	6
ÇEVİRİM SÜRESİ		43.2	

3.4.5. AR Teknolojisi Kullanımı ile Değişen Görev Süreleri için Montaj Hattı Senaryosu Uygulaması

Montaj hattında mevcut durumda yapılan 15 işin işlem sürelerinin AR teknolojisi kullanımı ile kısaltılmaktadır ve kısalan işlem süreleri ile uygulamada 6 istasyonda bu işler tamamlanmaktadır. Ancak “Hava Üfleme İşlemi”, “Tavlama (Fırın) İşlemi”, “Soğutma İşlemi”, “Isı Dengeleme”, “Etiketleme”, “Sızıntı ve Işık Testi” ile “Muayene” işlemlerin makine işlem süresi içerdiğinden AR teknolojisi

kullanımı bu işlerin tamamlanma süresine etkisi oransal olarak daha azdır bu durumda, öncelikle AR teknolojisi kullanımı ile değişen işlem süreleri hesaplanmıştır ve bu hesaplamalar sonucu bulunan işlem süreleri dikkate alınarak model kurulmuştur.

AR teknolojisi kullanımı sonucu değişen görev süreleri dikkate alınarak yapılan modelin hesaplamaları IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı ile yapılmıştır. 91 değişken ve 231 kısıt kullanılarak, 6 istasyon için minimum çevrim süresi hesaplanmış ve işlerin istasyon atamaları gerçekleştirilmiştir. AR teknolojisi kullanımı sonucu değişen görev sürelerine bağlı olarak yapılan iş ve istasyon atamaları Tablo 6’da gösterilmektedir.

AR teknolojisi kullanımı ile değişen görev süreleri dikkate alındığında montaj hattının çevrim süresi 39,8 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 15 işin 6 istasyona atanması durumu söz konusu olduğunda, iş1-iş2-iş3 istasyon1’e, iş4-iş5 istasyon2’ye, iş6-iş7 istasyon3’e, iş8-iş9 istasyon4’e, iş10-iş11-iş12 istasyon5’e ve iş13-iş14-iş15 istasyon6’ya atanmıştır. İşlerin istasyonlara atanması sırasında mevcut durum ile bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 6. AR Teknolojisi Kullanımı ile Değişen Görev Süreleri için İş – İstasyon Atama ve Çevrim Süresi Hesaplama

<u>İş</u>	<u>İş Açıklama</u>	<u>AR ile Eğitim</u>	<u>İstasyon Atama</u>
1	Mercek Yerleştirme	12.29	1
2	İç Vida Montajı	11.91	1
3	Dış Vida Montajı	11.92	1
4	<i>Hava Üfleme İşlemi</i>	8.52	2
5	Vibrasyonlu Kaynak	17.50	2
6	<i>Tavlama (Fırın) İşlemi</i>	21.02	3
7	<i>Soğutma İşlemi</i>	18.55	3
8	<i>Isı Dengeleme</i>	18.89	4
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi	21.10	4
10	Soket Yerleştirme	7.72	5
11	Etiketleme	5.60	5
12	<i>Sızıntı ve Işık Testi</i>	24.46	5
13	Havalandırma Kapağının Takılması	11.16	6
14	<i>Muayene</i>	16.01	6
15	Paketleme	8.43	6
ÇEVİRİM SÜRESİ		39.98	39.98

3.4.6. Farklı Senaryo Uygulamalarının Sonuçlarının Karşılaştırılması

Ortalama işlem süresi, geleneksel eğitim ile işlem süresi ve AR teknolojisi kullanımı ile işlem süresi parametreleri ile iş – istasyon ataması yapıldığında, 3 farklı işlem süresi uygulaması için de iş istasyon atamalarının aynı kaldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak iş1-iş2-iş3 istasyon1'e, iş4-iş5 istasyon2'ye, iş6-iş7 istasyon3'e, iş8-iş9 istasyon4'e, iş10-iş11-iş12 istasyon5'e ve iş13-iş14-iş15 istasyon6'ya

atanmaktadır. Ayrıca ortalama işlem süresi parametresi ile yapılan hesaplamalarda çevrim süresi 51,5 sn, geleneksel eğitim ile işlem süresi parametresi ile yapılan hesaplamalarda çevrim süresi 43,2 sn ve AR teknolojisi kullanımı ile işlem süresi parametresi ile yapılan hesaplamalarda çevrim süresi 39,8 sn olarak görülmüştür.

İşletmede 21 adet, benzer hat çalışmaktadır. Toplam 143 personeli bulunan işletmede 126 işçi bu istasyonlarda çalışmaktadır ancak, geciken siparişler, beklenmedik duruşlar gibi montaj hattının hızlanması gereken durumlarda veya işçi devamsızlığında yan görevlerde çalışan işçilerin istasyonlarda görev alması gerekmektedir. Ayrıca işletmede üretilen benzer montaj özelliklerine sahip ancak marka model nedeniyle çeşitlilik gösteren geniş ürün yelpazesi nedeniyle ortalama üretim süresi uzun olmaktadır. Bu gereklilikler nedeniyle geleneksel eğitim ile işlem sürelerini kısaltma veya AR teknolojisinden faydalanma işletme için çevrim süresinin kısaltılması açısından önem arz etmektedir. Montaj hattının verimliliği ve çıktı miktarı üç farklı işlem süresi göz önüne alındığında değişiklik göstermektedir. Tablo 7 bu farklılıkları göstermektedir.

Tablo 7’de de gösterildiği gibi, mevcut durumda ortalama işlem süresi ile fabrikada günde ortalama 11.744 adet ürün çıkmaktadır. Ancak çalışan eğitimi ile bu sayının 14.000 ile çıkabileceği, AR desteği ile 15.000 adet üstüne çıkabileceği görülmektedir. Hat verimliliği, ortalama işlem süresi için %88, geleneksel eğitim ile işlem süresi için %90 ve AR teknolojisi kullanımı ile işlem süresi için %90 oranındadır. Ayrıca AR teknolojisi kullanımı ile çevrim süresinin düşürülmesi nedeniyle montaj hattının 5 istasyondan oluşacak şekilde kurgulanması durumunda karşılaşılabilecek durum da model ile uygulamaya alınmıştır ve 5 istasyondan oluşan durumda hat başına üretim miktarı arasındaki fark mevcut durumda 559 adet ile AR teknolojisi kullanımı durumunda ile 5 istasyon ve çalışan ile 489 adet üretim yapılabileceği görülmüştür.

Tablo 7. Uygulamada Değişen Çevrim Süreleri ve Üretim Miktarları

<u>Kurgulanan</u> <u>Model</u>	<u>Toplam</u> <u>Süre</u>	<u>Çevrim</u> <u>Süresi</u> <u>(sn)</u>	<u>Hat</u> <u>Verimliliği</u>	<u>Günlük Hat</u> <u>Üretim Miktarı</u>	<u>Günlük</u> <u>Fabrika</u> <u>Üretim</u> <u>Miktarı</u>
Ortalama İşlem Süresi	271.5	51.5	0.88	559.2	11744
Geleneksel Eğitim İşlem Süresi	233.6	43.2	0.90	666.7	14000
AR Teknolojisi Kullanımı ile İşlem Süresi	215.1	39.98	0.90	720.0	15120
AR Teknolojisi Kullanımı ile İşlem Süresi (5 istasyon)	215.1	58.9	0.73	489.0	10268

3.5. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) TEKNOLOJİSİ KULLANIMI İLE UYGULAMA SENARYOLARI

İşletmenin ihtiyaçları doğrultusunda ürün çeşitliliği ile, ürün geçişlerinde yaşanan işlem süresi artışlarının önlenmesi, çalışan eğitimi ile çevrim süresinin kısaltılması ve çeşitli nedenler ile işgücü rotasyonu yaşandığı durumlarda çalışanların işe hızlı uyum sağlaması ve işlem süresini kısaltması amacıyla geleneksel eğitim ya da AR teknolojisi destekli eğitim yöntemlerinden yararlanılabileceği durumlar üzerine çalışılmıştır. Ayrıca montaj hattında yapılan 15 işlem detaylı olarak incelendiğinde, örneğin 3. İstasyonda bulunan “Tavlama (Fırın) İşlemi” ve “Soğutma İşlemi” olarak

belirlenen görev 6 ve görev 7 için, makine-insan destekli işlemler olarak açıklama yapılmaktadır. Ve işgücü eğitimi ile bu operasyonların işlem sürelerinde göreceli olarak daha az düşüş sağlanmaktadır. Bu nedenle 3. istasyon için AR teknolojisi kullanmanın daha az fayda sağlayacağı eleştirisi ortaya çıkmıştır. Bu durumda, hat boyunca, 5 işçi için AR teknolojisi kullanımı, 4 işçi için AR teknolojisi kullanımı, 3 işçi için AR teknolojisi kullanımı, 2 işçi için AR teknolojisi kullanımı ve 1 işçi için AR teknolojisi kullanımına yönelik 5 adet farklı senaryo üstünde çalışılmıştır. Her senaryo için hangi istasyonda AR teknolojisi kullanımının yapılacağı ve çevrim süresinin ne olacağı hesaplanmıştır. AR destekli eğitim alan çalışanların işçi istasyon atama modeli için farklı senaryolar değerlendirilmiştir.

3.5.1. Senaryo 1: Bir İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

Montaj hattında mevcut durumda 15 iş yapılmaktadır ve 6 istasyonda bu işler tamamlanması düşünülmektedir. Bu durumda 6 işçi çalışacaktır ve bu işçilerden 5 tanesi geleneksel eğitim ile işlem tamamlama sürelerini belirlerken 1 işçi AR teknolojisi kullanımı ile işini tamamlamaktadır. Çalışılan model bu durumda değişen işlem sürelerini dikkate almaktadır ve AR teknolojisi desteği alan işçinin hangi istasyona atamasının yapılacağına karar vermektedir.

Araştırmada, uygulama hesaplamaları IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı ile yapılmıştır. 577 değişken ve 783 kısıt kullanılarak, 6 istasyon için minimum çevrim süresi hesaplanmış, işlerin ve işçilerin istasyon atamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulama, 1 AR teknolojisi kullanımı, 5 geleneksel eğitim ile değişen işlem sürelerine bağlı olarak Tablo 8’de gösterildiği gibi sonuçlanmaktadır.

Senaryo 1’de bir AR teknolojisi kullanımı durumu söz konusu olduğunda, 15 işin 6 istasyona atanması durumunda bir değişiklik olmamıştır. İş1-iş2-iş3 istasyon1’e, iş4-iş5 istasyon2’ye, iş6-iş7 istasyon3’e, iş8-iş9 istasyon4’e, iş10-iş11-iş12 istasyon5’e ve iş13-iş14-iş15 istasyon6’ya atanmıştır. AR teknolojisi kullanan işçinin istasyon 4’e atandığı görülmüştür. Senaryo 1 için çevrim süresi 41.2 sn olarak hesaplanmıştır.

Tablo 8. Bir İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

<u>İş</u> <u>İş Açıklama</u>		<u>Senaryo 1:</u> <u>Bir İstasyonda AR</u> <u>Teknolojisi</u> <u>Kullanımı</u>	<u>İstasyon</u>
1	Mercek Yerleştirme	GE	1
2	İç Vida Montajı		
3	Dış Vida Montajı		
4	Hava Üfleme İşlemi	GE	2
5	Vibrasyonlu Kaynak		
6	Tavlama (Fırın) İşlemi	GE	3
7	Soğutma İşlemi		
8	Isı Dengeleme	AR	4
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi		
10	Soket Yerleştirme	GE	5
11	Etiketleme		
12	Sızıntı ve Işık Testi		
13	Havalandırma Kapağının Takılması	GE	6
14	Muayene		
15	Paketleme		
ÇEVİRİM SÜRESİ		41.2	

3.5.2. Senaryo 2: İki İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

Senaryo 2 için, 15 işin 6 istasyona 6 işçi ile atanması durumunda, 4 işçinin geleneksel eğitim ile işlem tamamlama süreleri belirlenirken 2 işçi AR teknolojisi kullanımı ile işini tamamlamaktadır. Çalışılan model bu durumda değişen işlem sürelerini dikkate almaktadır ve AR teknolojisi desteği alan işçinin hangi istasyona atamasının yapılacağına karar vermektedir.

Araştırmada, uygulama hesaplamaları IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı ile yapılmıştır. 577 değişken ve 783 kısıt kullanılarak, 6 istasyon için minimum çevrim süresi hesaplanmış, işlerin ve işçilerin istasyon atamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulama 2 AR teknolojisi kullanımı, 4 geleneksel eğitim ile değişen işlem sürelerine bağlı olarak Tablo 9’da gösterildiği gibi sonuçlanmaktadır.

Tablo 9. İki İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

<u>İş</u> <u>İş Açıklama</u>		<u>Senaryo 2:</u> <u>İki İstasyonda AR</u> <u>Teknolojisi</u> <u>Kullanımı</u>	<u>İstasyon</u>
1	Mercek Yerleştirme	GE	1
2	İç Vida Montajı		
3	Dış Vida Montajı	AR	2
4	Hava Üfleme İşlemi		
5	Vibrasyonlu Kaynak		
6	Tavlama (Fırın) İşlemi	GE	3
7	Soğutma İşlemi		
8	Isı Dengeleme	AR	4
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi		
10	Soket Yerleştirme	GE	5
11	Etiketleme		
12	Sızıntı ve Işık Testi		
13	Havalandırma Kapağının Takılması	GE	6
14	Muayene		
15	Paketleme		
ÇEVİRİM SÜRESİ		40.8	

Senaryo 2’de bir AR teknolojisi kullanımı durumu söz konusu olduğunda, 15 işin 6 istasyona atanması durumunda mevcut durum ile karşılaştırıldığında değişiklik olmuştur. İlk iki istasyon arasında İş3, istasyon1’den, istasyon 2’ye gelmiştir. Bu

durumda işi istasyon atamaları değerlendirildiğinde, İş1-iş2 istasyon1'e, iş3-iş4-iş5 istasyon2'ye, iş6-iş7 istasyon3'e, iş8-iş9 istasyon4'e, iş10-iş11-iş12 istasyon5'e ve iş13-iş14-iş15 istasyon6'ya atanmıştır. AR teknolojisi kullanımının istasyon 2 ve istasyon 4'e atanan işçilerde olduğu görülmüştür. Senaryo 2 için çevrim süresi 40.8 sn olarak hesaplanmıştır.

3.5.3. Senaryo 3: Üç İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

Senaryo 3 için, 15 işin 6 istasyona 6 işçi ile atanması durumunda, 3 işçinin geleneksel eğitim ile işlem tamamlama süreleri belirlenirken 3 işçi AR teknolojisi kullanımı ile işini tamamlamaktadır. Uygulama, bu durumda değişen işlem sürelerini dikkate almaktadır ve AR teknolojisi desteği alan işçinin hangi istasyona atamasının yapılacağına karar vermektedir.

Araştırmada, uygulama hesaplamaları IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı ile yapılmıştır. 577 değişken ve 783 kısıt kullanılarak, 6 istasyon için minimum çevrim süresi hesaplanmış, işlerin ve işçilerin istasyon atamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulama, 3 AR teknolojisi kullanımı, 3 geleneksel eğitim ile değişen işlem sürelerine bağlı olarak Tablo 10'da gösterildiği gibi sonuçlanmaktadır.

Senaryo 3'te üç istasyonda AR teknolojisi kullanımı durumu söz konusu olduğunda, 15 işin 6 istasyona atanması durumunda mevcut durum ile karşılaştırıldığında değişiklik olmuştur ve iş istasyon atamaları senaryo iki ile aynı çıkmıştır. İlk iki istasyon arasında İş3, istasyon1'den, istasyon 2'ye geçmiştir. Bu durumda işi istasyon atamaları değerlendirildiğinde, İş1-iş2 istasyon1'e, iş3-iş4-iş5 istasyon2'ye, iş6-iş7 istasyon3'e, iş8-iş9 istasyon4'e, iş10-iş11-iş12 istasyon5'e ve iş13-iş14-iş15 istasyon6'ya atanmıştır. AR teknolojisi kullanımının istasyon 2, istasyon 4 ve istasyon 5'e atanan işçilerde olduğu görülmüştür. Senaryo 3 için çevrim süresi 40.5 sn olarak hesaplanmıştır.

Tablo 10. Üç İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

<u>İş</u> <u>İş Açıklama</u>		<u>Senaryo 3:</u> <u>Üç İstasyonda AR</u> <u>Teknolojisi</u> <u>Kullanımı</u>	<u>İstasyon</u>
1	Mercek Yerleştirme	GE	1
2	İç Vida Montajı		
3	Dış Vida Montajı	AR	2
4	Hava Üfleme İşlemi		
5	Vibrasyonlu Kaynak		
6	Tavlama (Fırın) İşlemi	GE	3
7	Soğutma İşlemi		
8	Isı Dengeleme	AR	4
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi		
10	Soket Yerleştirme	AR	5
11	Etiketleme		
12	Sızıntı ve Işık Testi		
13	Havalandırma Kapağının Takılması	GE	6
14	Muayene		
15	Paketleme		
ÇEVİRİM SÜRESİ		40.5	

3.5.4. Senaryo 4: Dört İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

Senaryo 4 için, 15 işin 6 istasyona 6 işçi ile atanması durumunda 2 işçinin geleneksel eğitim ile işlem tamamlama süreleri belirlenirken 4 işçi AR teknolojisi kullanımı ile işini tamamlamaktadır. Uygulama bu durumda değişen işlem sürelerini dikkate almaktadır ve AR teknolojisi desteği alan işçinin hangi istasyona atamasının yapılacağına karar vermektedir.

Araştırmada, uygulama hesaplamaları IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı ile yapılmıştır. 577 değişken ve 783 kısıt kullanılarak, 6 istasyon için minimum çevrim süresi hesaplanmış, işlerin ve işçilerin istasyon atamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulama 4 AR teknolojisi kullanımı, 2 geleneksel eğitim ile değişen işlem sürelerine bağlı olarak Tablo 11’de gösterildiği gibi sonuçlanmaktadır.

Tablo 11. Dört İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

<u>İş</u> <u>İş Açıklama</u>		<u>Senaryo 4:</u> <u>Dört İstasyonda AR</u> <u>Teknolojisi</u> <u>Kullanımı</u>	<u>İstasyon</u>
1	Mercek Yerleştirme	AR	1
2	İç Vida Montajı		
3	Dış Vida Montajı		
4	Hava Üfleme İşlemi	GE	2
5	Vibrasyonlu Kaynak		
6	Tavlama (Fırın) İşlemi	AR	3
7	Soğutma İşlemi		
8	Isı Dengeleme	AR	4
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi		
10	Soket Yerleştirme	AR	5
11	Etiketleme		
12	Sızıntı ve Işık Testi		
13	Havalandırma Kapağının Takılması	GE	6
14	Muayene		
15	Paketleme		
ÇEVİRİM SÜRESİ		39.98	

Senaryo 4’te dört AR teknolojisi kullanımı durumu söz konusu olduğunda, 15 işin 6 istasyona atanması durumunda mevcut durum ile bir değişiklik olmamıştır. İş1-

iş2-iş3 istasyon1'e, iş4-iş5 istasyon2'ye, iş6-iş7 istasyon3'e, iş8-iş9 istasyon4'e, iş10-iş11-iş12 istasyon5'e ve iş13-iş14-iş15 istasyon6'ya atanmıştır. AR teknolojisi kullanımının istasyon 1, istasyon 3, istasyon 4 ve istasyon 5'e atanan işçilerde olduğu görülmüştür. Senaryo 4 için çevrim süresi 39.8 sn olarak hesaplanmıştır.

3.5.5. Senaryo 5: Beş İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

Senaryo 5 için, 15 işin 6 istasyona 6 işçi ile atanması durumunda, 1 işçinin geleneksel eğitim ile işlem tamamlama süreleri belirlenirken 5 işçi AR teknolojisi kullanımı ile işini tamamlamaktadır. Uygulama bu durumda değişen işlem sürelerini dikkate almaktadır ve AR teknolojisi desteği alan işçinin hangi istasyona atamasının yapılacağına karar vermektedir.

Araştırmada, uygulama hesaplamaları IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı ile yapılmıştır. 577 değişken ve 783 kısıt kullanılarak, 6 istasyon için minimum çevrim süresi hesaplanmış, işlerin ve işçilerin istasyon atamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulama 5 AR teknolojisi kullanımı, 1 geleneksel eğitim ile değişen işlem sürelerine bağlı olarak Tablo 12'de gösterildiği gibi sonuçlanmaktadır.

Senaryo 5'te beş AR teknolojisi kullanımı durumu söz konusu olduğunda, 15 işin 6 istasyona atanması durumunda mevcut durum ile bir değişiklik olmamıştır. İş1-iş2-iş3 istasyon1'e, iş4-iş5 istasyon2'ye, iş6-iş7 istasyon3'e, iş8-iş9 istasyon4'e, iş10-iş11-iş12 istasyon5'e ve iş13-iş14-iş15 istasyon6'ya atanmıştır. AR teknolojisi kullanımının istasyon 1, istasyon 2, istasyon 3, istasyon 4 ve istasyon 5'e atanan işçilerde olduğu görülmüştür. Senaryo 5 için çevrim süresi 39.98 sn olarak hesaplanmıştır.

Tablo 12. Beş İstasyonda AR Teknolojisi Kullanımı

<u>İş</u> <u>İş Açıklama</u>		<u>Senaryo 5:</u> <u>Beş İstasyonda AR</u> <u>Teknolojisi Kullanımı</u>	<u>İstasyon</u>
1	Mercek Yerleştirme	AR	1
2	İç Vida Montajı		
3	Dış Vida Montajı		
4	Hava Üfleme İşlemi	AR	2
5	Vibrasyonlu Kaynak		
6	Tavlama (Fırın) İşlemi	AR	3
7	Soğutma İşlemi		
8	Isı Dengeleme	AR	4
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi		
10	Soket Yerleştirme	AR	5
11	Etiketleme		
12	Sızıntı ve Işık Testi		
13	Havalandırma Kapağının Takılması	GE	6
14	Muayene		
15	Paketleme		
ÇEVİRİM SÜRESİ		39.98	

3.5.6. Artırılmış Gerçeklik (AR) Teknolojisi Kullanımı Senaryolarının Karşılaştırması

Uygulama için, 15 işin 6 istasyona 6 işçi ile atanması durumu 5 farklı senaryo ile incelenmiştir. İşçi istasyon atamalarında, işçilerin AR teknolojisi kullanımının yarattığı etki değerlendirilmiştir. Tablo 13 ile kurgulanan senaryolar özetlenmiştir.

Tablo 13. Artırılmış Gerçeklik (AR) Teknolojisi Kullanımı Senaryolarının Karşılaştırması

İş	İş Açıklama	Ortalama	Geleneksel	AR	5 AR & 1 GE	4 AR & 2 GE	3 AR & 3 GE	2 AR & 4 GE	1 AR & 5 GE
1	Mercek Yerleştirme	17.5	14.0	12.3	AR	AR	GE	GE	GE
2	İç Vida Montajı	17.0	13.6	11.9					
3	Dış Vida Montajı	17.0	13.6	11.9					
4	<u>Hava Üfleme İşlemi</u>	10.0	9.0	8.5	AR	GE	AR	AR	GE
5	Vibrasyonlu Kaynak	25.0	20.0	17.5					
6	<u>Tavlama (Fırın) İşlemi</u>	22.5	21.5	21.0	AR	AR	GE	GE	GE
7	<u>Soğutma İşlemi</u>	20.0	19.0	18.5					
8	<u>Isı Dengeleme</u>	20.0	19.2	18.8	AR	AR	AR	AR	AR
9	Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi	30.0	24.0	21.0					
10	Soket Yerleştirme	11.0	8.8	7.7	AR	AR	AR	GE	GE
11	Etiketleme	8.0	6.4	5.6					
12	<u>Sızıntı ve Işık Testi</u>	28.0	25.6	24.4					
13	Havalandırma Kapağının Takılması	16.0	12.8	11.2	GE	GE	GE	GE	GE
14	<u>Muayene</u>	17.5	16.5	16.0					
15	Paketleme	12.0	9.6	8.4					
	Çevrim Süresi	51.5	43.2	39.8	39.8	39.8	40.5	40.8	41.2

Tüm senaryolar karşılaştırıldığında, 4. İstasyonda her durumda AR teknolojisi kullanımının uygun olduğu ortaya çıkmaktadır. 4. İstasyonda yapılan işlerden iş8 “Isı Dengeleme” işi insan-makine ortak yapılan bir iş olsa da diğer iş olan iş9 “Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi” ortalama işlem süresi 30 sn olan bir işlemdir ve hattaki en uzun işlem süresine sahip olan iştir. Bu işlemin AR teknolojisi desteği 21 sn’ye indirilmesi, montaj hattında çok daha büyük bir etki yarattığından, bu işlemin AR teknolojisi kullanımı ile yapılması önerilmektedir. Sağlanan AR cihazı teknolojisi ile çalışan bu cihazı çıkarma gereği duymadan diğer işleri yürütebilmektedir. Bu nedenle “Isı Dengeleme” işlemi sırasında parça yerleştirme talimatını da teknolojik destek ile alıp 1,2sn bir iyileştirme katkısından yararlanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Farklı senaryolar için çevrim süreleri değerlendirildiğinde, senaryo 5 ve senaryo 4’ün çevrim süresinin 39,98 sn olduğu görülmektedir. Bu süre sadece AR teknolojisi kullanımı olan durum ile aynıdır. Bu durumda hat için 4 adet, 5 adet veya 6 adet AR teknolojisi kullanımının montaj hattı çevrim süresi açısından farklı olmadığı ortaya çıkmıştır. Tablo 14 ile farklı senaryolarda çevrim süresi ve üretim miktarı karşılaştırılmaktadır.

Tablo 14. Farklı Senaryolar için Montaj Hattı Çevrim Süresi ve Üretim Miktarı

<u>Kullanılan Eğitim Yöntemi</u>	<u>Çevrim Süresi (sn)</u>	<u>Günlük Hat Üretim Miktarı</u>	<u>Günlük Fabrika Üretim Miktarı</u>
6 AR ile Eğitim	39.98	720.4	15128
5 AR ile Eğitim - 1 Geleneksel Eğitim	39.98	720.4	15128
4 AR ile Eğitim - 2 Geleneksel Eğitim	39.98	720.4	15128
3 AR ile Eğitim - 3 Geleneksel Eğitim	40.5	711.1	14933
2 AR ile Eğitim - 4 Geleneksel Eğitim	40.8	705.9	14824
1 AR ile Eğitim - 5 Geleneksel Eğitim	41.2	699.0	14680

Tablo 14’te de görüldüğü üzere hat için 4 adet, 5 adet veya 6 adet AR teknolojisi kullanımının montaj hattı çevrim süresi açısından ve günlük üretim miktarı

açısından bir farklılığı yoktur. Çünkü 3. istasyonda bulunan “Tavlama (Fırın) İşlemi” ve “Soğutma İşlemi” olarak belirlenen görev 6 ve görev 7 için, makine-insan destekli işlemler olduğundan işlem süresinde iyileştirme yaşanmamaktadır. Bu nedenle 3. istasyon “6 AR ile Eğitim”, “5 AR ile Eğitim - 1 Geleneksel Eğitim” ve “4 AR ile Eğitim - 2 Geleneksel Eğitim” ile kurgulanan yapılarda 39,8 toplam işlem süresi ile darboğaz konumundadır. Bu nedenle işletme için hat başına 6 AR cihazı alması ile 4 AR cihazı alması açısından üretim miktarına etki olarak fark bulunmamaktadır. Sonrasında 3 AR cihazı kullanılması, 2 AR cihazı kullanılması ve 1 AR cihazı kullanılması durumlarında, hattın çevrim süresinin giderek arttığı ve üretim miktarının azaldığı ortaya çıkmaktadır.

AR teknolojisi kullanımı ve geleneksel eğitimi karma olarak alan çalışan grupları için hazırlanan model sonunda, en etkin sonucun hat başına 4 AR cihazı kullanılması olduğu sonucuna varılmıştır. 21 benzer hattan oluşan sistemde 84 cihaz alım durumu gündeme gelmiştir. İşletmenin fayda ve maliyet analizleri ve yatırım izleme çalışmaları bu öneriyi göz önünde bulundurmaktadır.

SONUÇ

Teknolojik gelişmelerin etkisini hayatın her alanında yaşarken, üretim işletmelerinin faaliyetlerini gerçekleştirirken bu teknolojilerden faydalanmaları ve sağladıkları faydayı ortaya çıkarma ihtiyaçları gündeme gelmektedir. Bu tezde incelenen teknoloji Artırılmış Gerçeklik (AR) teknolojisidir. Günden güne gelişen teknoloji kullanım kolaylığı ve düşen maliyetleri ile dikkat çekmektedir. AR teknolojisi dijital dönüşüm yaşayan işletmelerin, depolama işlemlerinde kolaylaştırma, malzeme hazırlama işlemlerini daha sistemli bir şekilde yerine getirme, kalite kontrol ve muayene, endüstriyel eğitim gibi pek çok alanda kullanılan bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

Montaj hatlarında AR teknolojisi kullanımı işbaşı eğitim olarak algılanabileceği gibi işi hızlandırma etkisi ile işi tamamlamada yardımcı bir ekipman olarak da görülmektedir. Çalışanların AR teknolojisi kullanımı ile işi tamamlama sürelerinin azalması, hata yapma şanslarının ortadan kalkması ve işi yaparken kalite kontrol işini sağlamaları avantajları ile montaj hattında AR kullanımı durumu ortaya çıkmaktadır.

Montaj hattında AR teknolojisi kullanımı, montaj hattında işin tamamlanma süresine etki etmektedir. Yapılan çalışmada, montaj hattı boyunca AR teknolojisi kullanımı ile değişen işlem sürelerinin etkisinin ne olduğu araştırılmıştır. Montaj hattında istasyonlara atanan işler bu teknolojinin kullanıldığı durumda değişiklik gösterip göstermediği ve minimum çevrim süresinin ne olduğunun belirlenmesi için çalışılmıştır. Öncelikle iş istasyon atamasında farklılık gözlenmezken, çevrim süresinde yaşanan azalma ile işletmenin üretim miktarındaki artış durumu karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın AR teknolojisi kullanımı ile yarattığı etki incelendiğinde, istasyonlarda farklı teknikler kullanılması durumunda istasyon atamalarının ve çevrim süresinin nasıl olacağının araştırılması gündeme gelmiştir. Bu durumda farklı istasyonlar için farklı işlem sürelerinin alınma ihtimali söz konusu olmuştur. Uygulamada iş-işçi-istasyon ataması yapılarak çevrim süresi minimizasyonu amaçlanmıştır.

Çalışmanın uygulaması otomobil endüstrisinde yan sanayi olarak otomobil farı üretimi yapan bir işletmenin montaj hattı verileri ile uygulanmıştır. İşletmede mevcut durumda 21 benzer çalışan montaj hattı bulunmaktadır ve her hat için ortalama 15 iş 6 istasyonda tamamlanmaktadır. Ancak emek yoğun bir iş olarak far montajı sırasında, marka model değişikliği nedeniyle montaj hattında sıkça eğitim gerekliliği duyulmaktadır. Ayrıca çalışanlar arasında devamsızlık, iş öğrenme, rotasyon durumlarında da işbaşı eğitimden faydalanılmaktadır. AR teknolojisi bu işletme için montaj hattında yararlanmak istediği bir destekleyici teknoloji olarak sunulmaktadır. Sadece eğitim amacıyla değil montaj işlemlerini kolaylaştırması, işi yaparken kontrolü de sağlaması gibi etkileriyle AR teknolojisi kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Tez için yapılan araştırmada, ortalama işlem süresi, geleneksel eğitim ile işlem süresi ve AR teknolojisi kullanımı ile işlem süresi parametreleri ile iş – istasyon ataması yapıldığında, 3 farklı işlem süresi uygulaması için de iş istasyon atamalarının aynı kaldığı görülmüştür. Ancak hat boyunca ortalama işlem süresi parametresi ile yapılan hesaplamalarda çevrim süresi 51,5 sn, geleneksel eğitim ile işlem süresi parametresi ile yapılan hesaplamalarda çevrim süresi 43,2 sn ve AR teknolojisi kullanımı ile işlem süresi parametresi ile yapılan hesaplamalarda çevrim süresi 39,8 sn olduğu ortaya çıkmıştır. İşletmede 21 adet, benzer hat çalışmaktadır ve mevcut durumda ortalama işlem süresi ile fabrikada günde ortalama 11.740 adet ürün çıkmaktadır. Ancak çalışan eğitimi ile bu sayının 14.000 ile çıkabileceği, AR desteği ile 15.000 adetün üstüne çıkabileceği görülmektedir.

İşletmede montaj hattında gerçekleştirilen tüm işler emek yoğun iş değildir. Bu nedenle insan-makine etkileşimi olan işlerin olduğu istasyonlarda AR teknolojisi kullanımının uygunluğunun araştırılması istenmiştir. Farklı senaryolarda, AR teknolojisinin kullanım oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı istasyonlar için AR teknolojisi kullanımı durumunda uygulama yapılmaktadır. Bu amaçla 5 farklı senaryo ile incelenmiştir. Tüm senaryolar karşılaştırıldığında, 4. İstasyonda her durumda AR teknolojisi kullanımının uygun olduğu ortaya çıkmaktadır. 4. İstasyonda yapılan işlerden iş8 “Isı Dengeleme” işi insan-makine ortak yapılan bir iş olsa da diğer iş olan iş9 “Döndürme ve Yeniden Tork Yatırma İşlemi” ortalama işlem süresi 30 sn olan bir işlemdir ve hattaki en uzun işlem süresine sahip olan iştir. Bu nedenle AR teknolojisi

desteği 21 sn'ye indirilmesi, montaj hattında çok daha büyük bir etki yarattığından, bu işlemin AR teknolojisi kullanımı ile yapılması önerilmektedir. Sağlanan AR cihazı teknolojisi ile çalışan bu cihazı çıkarma gereği duymadan diğer işleri yürütebilmektedir. Bu nedenle “Isı Dengeleme” işlemi sırasında parça yerleştirme talimatını da teknolojik destek ile alıp 1,2sn bir iyileştirme katkısından yararlanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Farklı senaryolar için çevrim süreleri değerlendirildiğinde, senaryo 5 ve senaryo 4'n çevrim süresinin 39,98 sn olduğu görülmektedir. Bu süre sadece AR teknolojisi kullanımı olan durum ile aynıdır. Bu durumda hat için 4 adet, 5 adet veya 6 adet AR teknolojisi kullanımının montaj hattı çevrim süresi açısından farklı olmadığı ortaya çıkmıştır. Hat için 4 adet, 5 adet veya 6 adet AR teknolojisi kullanımının montaj hattı çevrim süresi açısından ve günlük üretim miktarı açısından bir farklılığı yoktur. Bu nedenle işletme için hat başına 6 AR cihazı alması ile 4 AR cihazı alması açısından üretim miktarına etki olarak fark bulunmamaktadır. Sonrasında 3 AR cihazı kullanılması, 2 AR cihazı kullanılması ve 1 AR cihazı kullanılması durumlarında, hattın çevrim süresinin giderek arttığı ve üretim miktarının azaldığı ortaya çıkmaktadır. Çalışma sonunda, işletmeye en etkili sonucun hat başına 4 AR cihazı kullanılması olduğu açıklanmıştır. İşletmede, 21 benzer hattın oluşan sistemde 84 cihaz alımı önerilmiştir.

KAYNAKÇA

- Acar, N. ve Estaş, Ş. (1986). *Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları*. Ankara: MPM Endüstri Şubesi.
- Aguero, M., Maharjan, D., Rodriguez, M. D. P., Mascarenas, D. D. L., ve Moreu, F. (2020). Design and implementation of a connection between augmented reality and sensors. *Robotics*, 9(1), 3.
- Altınpulluk, H., ve Kesim, M. (2015). Geçmişten günümüze artırılmış gerçeklik uygulamalarında gerçekleşen paradigma değişimleri. *Akademik Bilişim Kongresi*, 4-6.
- Aouam, D., Benbelkacem, S., Zenati, N., Zakaria, S., Meftah, Z. (2018), Voice-based augmented reality interactive system for car's components assembly. In: *2018 3rd International Conference on Pattern Analysis and Intelligent Systems*, pp. 1–5.
- Araújo, F. F., Costa, A. M., & Miralles, C. (2012). Two extensions for the ALWABP: Parallel stations and collaborative approach. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 483-495.
- Arbelaez, J.C., Viganò, R., Osorio-Gómez, G. (2019), Haptic Augmented reality (HapticAR) for Assembly Guidance. *Int. J. Interact. Des. Manuf. (IJIDeM)* 13, 673–687.
- Askin R.G. ve Standridge C.R., (1993), Modelling and Analysis of Manufacturing Systems, *John Wiley & Sons Inc.*, ss: 40-42.
- Assembly Magazine Homepage. (2018) <https://www.assemblymag.com/articles/94979-the-realityof-augmented-reality> (10.10.2022).
- Azuma R., Baillot Y., Behringer R., Feiner S., Julier S., MacIntyre B.,(2001), Recent Advances in Augmented Reality, *Naval Research Laboratory*, 34-47.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Becker, C. and Scholl, A. (2006). “A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing”. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694-715

- Bekele, M. K., Pierdicca, R., Frontoni, E., Malinverni, E. S., & Gain, J. (2018). A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 11(2), 1-36.
- Bimber O., Raskar R., (2006), Modern Approaches to Augmented Reality, *ACM Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference Courses*, Boston, USA.
- Bimber, O., ve Raskar, R. (2005). *Spatial Augmented Reality: Merging Real And Virtual Worlds*. CRC Press.
- Blattgerste, J., Strenge, B., Renner, P., Pfeiffer, T., ve Essig, K. (2017). Comparing Conventional and Augmented Reality Instructions for Manual Assembly Tasks. *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '17*, 75–82.
- BMW Group Homepage. (2019), <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0294345EN/absolutely-real:-virtual-and-augmented-reality-open-new-avenues-in-the-bmwgroup-production-system?language=en> (08.10.2022)
- Bottani, E., ve Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IIE Transactions*, 51(3), 284-310.
- Bryan, F. R. (1997). *Beyond the Model T: The Other Ventures of Henry Ford*. Wayne State University Press.
- Bukchin, J., Darel, E., & Rubinovitz, J. (1997). Team-oriented assembly system design: A new approach. *International Journal of Production Economics*, 51(1-2), 47-57.
- Caboni, F., ve Hagberg, J. (2019). Augmented Reality In Retailing: A Review Of Features, Applications And Value. *International Journal of Retail & Distribution Management*. Vol. 47 No. 11, pp. 1125-1140
- Chimienti, V., Iliano, S., Dassisti, M., Dini, G., ve Failli, F. (2010). Guidelines for implementing augmented reality procedures in assisting assembly operations. In *International Precision Assembly Seminar* (pp. 174-179). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Dalle Mura, M., Dini, G., Failli, F.(2015). An Integrated Environment Based On Augmented Reality And Sensing Device For Manual Assembly Workstations. *Procedia CIRP*, 41, 340–345.
- Dalle Mura, M., ve Dini, G. (2021). Augmented Reality In Assembly Systems: State Of The Art And Future Perspectives. *In International Precision Assembly Seminar* (pp. 3-22). Springer, Cham.
- Dini G, Mura M.D., (2015), Application of Augmented Reality Techniques in Through-Life Engineering Services, *Procedia CIRP*, **38**, 14-23.
- Doerr, K. H., Klastorin, T. D., & Magazine, M. J. (2000). Synchronous unpaced flow lines with worker differences and overtime cost. *Management Science*, 46(3), 421-435.
- Ferrati, F., Erkoyuncu, J. A., ve Court, S. (2019). Developing an Augmented Reality Based Training Demonstrator for Manufacturing Cherry Pickers. *Procedia CIRP*, 81, 803–808.
- Funk, M., Kosch, T., Kettner, R., Korn, O., Schmidt, A. (2016b): An Overview of 4 Years of Combining Industrial Assembly with Augmented Reality for Industry 4.0. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Knowledge Technologies and Datadriven Business*, p. 4.
- Funk, M., Kosch, T., ve Schmidt, A. (2016a). Interactive worker assistance: Comparing the effects of in-situ projection, head-mounted displays, tablet, and paper instructions. *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '16*, 934–939.
- Gabajová, G., Furmannová, B., Medvecká, I., Grznár, P., Krajčovič, M., ve Furmann, R. (2019). Virtual Training Application by Use of Augmented and Virtual Reality under University Technology Enhanced Learning in Slovakia. *Sustainability*, 11(23), 6677.
- Goodman, J. W. (1971). An introduction to the principles and applications of holography. *Proceedings of the IEEE*, 59(9), 1292-1304.
- Gronalt, M., & Hartl, R. F. (2003). Workforce planning and allocation for mid-volume truck manufacturing: a case study. *International Journal of Production Research*, 41(3), 449-463.

- Heike, G., Ramulu, M., Sorenson, E., Shanahan, P., & Moinzadeh, K. (2001). Mixed model assembly alternatives for low-volume manufacturing: the case of the aerospace industry. *International Journal of Production Economics*, 72(2), 103-120.
- Hopp, W. J., Tekin, E., & Van Oyen, M. P. (2004). Benefits of skill chaining in serial production lines with cross-trained workers. *Management Science*, 50(1), 83-98.
- Hořejší, P. (2015). Augmented Reality System for Virtual Training of Parts Assembly. *Procedia Engineering*, 100, 699–706.
- Hou, L., ve Wang, X. (2013). A Study On The Benefits Of Augmented Reality In Retaining Working Memory In Assembly Tasks: A Focus On Differences In Gender. *Automation in Construction*, 32, 38–45.
- Jasayal, A., (2018). Defining AR-MR-VR Devices. *Medium*, 4-6.
- Koller, D., Klinker, G., Rose, E., Breen, D., Whitaker, R., ve Tuceryan, M. (1997). Real-time vision-based camera tracking for augmented reality applications. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology* (pp. 87-94).
- Krum D. M., Suma E. A., Bolas M., (2012). Augmented Reality Using Personal Projection and Retroreflection. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(1), 17-26.
- Kumari, S., ve Polke, N. (2018). Implementation Issues of Augmented Reality and Virtual Reality: A Survey. In *International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things* (pp. 853-861). Springer, Cham.
- Küçükkoç, İ., (2020) “*Montaj Hattı Planlama, Modelleme ve Optimizasyon*”, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Lai, Z. H., Tao, W., Leu, M. C., ve Yin, Z. (2020). Smart augmented reality instructional system for mechanical assembly towards worker-centered intelligent manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 55, 69-81.
- Lampen, E., Teuber, J., Gaisbauer, F., Bär, T., Pfeiffer, T., ve Wachsmuth, S. (2019). Combining Simulation and Augmented Reality Methods for Enhanced Worker Assistance in Manual Assembly. *Procedia CIRP*, 81, 588–593.
- Lanham, M. (2018). *Learn ARCore-Fundamentals of Google ARCore: Learn to build augmented reality apps for Android, Unity, and the web with Google ARCore 1.0*. Packt Publishing Ltd.

- Lee, C. Y., & Vairaktarakis, G. L. (1997). Workforce planning in mixed model assembly systems. *Operations Research*, 45(4), 553-567.
- Loch, F., Quint, F., ve Brishtel, I. (2016). Comparing Video and Augmented Reality Assistance in Manual Assembly. *2016 12th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, 147–150.
- Mann, S. (2004). Continuous lifelong capture of personal experience with EyeTap. In *Proceedings of the the 1st ACM workshop on Continuous archival and retrieval of personal experiences* (pp. 1-21).
- Mann, S. (2012) Through the glass Lightly. *IEEE Technology and Society Magazine*. 31(3), 10–14.
- Mansoor, E. M.1968. "Assembly Line Balancing: a Heuristic Algorithm for Variable Operator Performance Levels." *Journal of Industrial Engineering*19: 618–629
- Mohring M., Lessig C., Bimber O., (2004), Video See-Through AR on Consumer Cell-Phones, *3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Arlington, USA.
- Mura, M. D., Dini, G., ve Failli, F. (2016). An Integrated Environment Based on Augmented Reality and Sensing Device for Manual Assembly Workstations. *Procedia CIRP*, 41, 340–345.
- Nakade, K., & Ohno, K. (1999). An optimal worker allocation problem for a U-shaped production line. *International Journal of Production Economics*, 60, 353-358.
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., ve Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215-228.
- Piekarski, W., Gunther, B., ve Thomas, B. (1999). Integrating virtual and augmented realities in an outdoor application. In *Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99)* (pp. 45-54). IEEE.
- Pierdicca, R., Frontoni, E., Pollini, R., Trani, M., ve Verdini, L. (2017). The Use of Augmented Reality Glasses for the Application in Industry 4.0. In *L. T. De Paolis, P. Bourdot, ve A. Mongelli (Eds.), Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics* (pp. 389–401). Springer International Publishing.

- Radkowski, R., Herrrema, J., Oliver, J. (2015), Augmented reality-based manual assembly support with visual features for different degrees of difficulty. *Int. J. Hum.-Comput. Interact.* 31(5), 337–349.
- Rebbani, Z., Azougagh, D., Bahatti, L., ve Bouattane, O. (2021). Definitions and applications of augmented/virtual reality: A survey. *International Journal*, 9(3).
- Roo, J. S., ve Hachet, M. (2017). Towards a hybrid space combining Spatial Augmented Reality and virtual reality. In *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)* (pp. 195-198). IEEE.
- Saif, U., Guan, Z., Jahanzaib, M., 2014, Survey of assembly lines and its types, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 9, 2, 95-105.
- Sapargaliyev, D. (2015, October). Learning with wearable technologies: A case of Google Glass. In *International Conference on Mobile and Contextual Learning* (pp. 343-350). Springer, Cham.
- Sarker, B. R., ve Pan, H. (2001). Designing a mixed-model, open-station assembly line using mixed-integer programming. *Journal of the Operational Research Society*, 52(5), 545-558.
- Scholl, A., ve Becker, C. (2006). State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 666-693.
- Sicaru, I. A., Ciocianu, C. G., ve Boiangiu, C. A. (2017). A Survey On Augmented Reality. *Journal of Information Systems ve Operations Management*, 11(2), 263 – 279.
- Star, M. K. (1989). *Managing Production and Operations*. United States of America: Prentice Hall, 134.
- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I* (pp. 757-764).
- Syberfeldt A., Holm M, Danielsson O., (2016), Support Systems on The Industrial Shop-Floors of the Future – Operators’ Perspective on Augmented Reality, *Procedia CIRP*, 2016, 44, 108-113.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F., ve Mou, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '03*, 73.

- Technology Review Homepage. <https://www.technologyreview.com/s/612247/nasa-is-using-hololens-ar-headsets-to-build-its-new-spacecraft-faster/> Accessed 15 Sept 2019
- Vallino, J., (1998). *Interactive Augmented Reality*, University of Rochester, New York.
- Van Krevelen, D. W. F., ve Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International journal of virtual reality*, 9(2), 1-20.
- Vaughan-Nichols, S. J. (2009). Augmented reality: No longer a novelty?. *Computer*, 42(12), 19-22.
- Wagner D., Schmalstieg D. First Steps Towards Handheld Augmented Reality, *7th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, New York, USA, 21-23 Ekim 2003.
- Wang, Z., Zhang, S., Bai, X. (2018). Augmented reality based product invisible area assembly assistance. In: *2018 3rd International Conference on Control, Automation and Artificial Intelligence (CAAI)* (2018)
- Werrlich, S., Daniel, A., Ginger, A., Nguyen, P.-A., ve Notni, G. (2018). Comparing HMD-Based and Paper-Based Training. *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 134–142.
- Westerfield, G., Mitrovic, A., ve Billinghamurst, M. (2015). Intelligent Augmented Reality Training for Motherboard Assembly. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 25(1), 157–172.
- Wild, R. (1971). Techniques of Production Management. *Great Britain: Rinehard and Wiston Ltd.*, 239-243, 270-271.
- Wojciechowski R., Cellary W., Evaluation of Learners' Attitude Toward Learning in ARIES Augmented Reality Environments, *Computers & Education*, 2013, **68**, 570-585.
- Wright, T.P., Factors affecting the cost of airplanes. *Journal of Aeronautical Science*, (1936), pp. 124-125

Yagol, P., Ramos, F., Trilles, S., Torres-Sospedra, J., & Perales, F. J. (2018). New trends in using augmented reality apps for smart city contexts. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(12), 478.

Yan D., Hu H., (2017), Application of Augmented Reality and Robotic Technology in Broadcasting: A Survey, *Robotics*, 6(3), 18-38.

Zarraonandia, T., Aedo, I., Díaz, P., ve Montero Montes, A. (2014). Augmented presentations: Supporting the communication in presentations by means of augmented reality. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 30, 829–838.



