



## Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Simülasyon Tekniği ile Bir Ahşap Fabrikasının Üretim Sistemine Uygulanması \*

*Application Of Industry 4.0 Technologies To The Production System Of A Wood Factory With Simulation Technique*

Mehmet Erdoğan BAĞ<sup>1</sup> Emre ASLAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Tokat/Türkiye mehmet.e.bag@gmail.com

<sup>2</sup> Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Tokat/Türkiye, emre.aslan@gop.edu.tr

### ÖZET

Günümüzde teknoloji her alanda olduğu gibi endüstride de hızla gelişmektedir. Endüstri, keşfedilen yenilikler sayesinde belirli aralıklarla çağ atlamıştır. Bu aralıklar endüstri 1.0 ile başlamakta ve günümüzde endüstri 4.0 olarak adlandırılan dönem ile devam etmektedir. Endüstriyel gelişimlerin temel amacı, üretim süreçlerini iyileştirmek ve katma değeri yüksek olan adımları atmaktır. Üretim esnasında kaybedilen zaman, hurdaya ayrılan hammadde, optimum çalışan sayısına sahip olmama gibi durumlar sebebiyle endüstriyel üreticiler sıkıntı yaşamaktadır. Bu sıkıntılar ile mücadelede makineler ve internetin gücünü kullanma fikriyle doğan endüstri 4.0 getirdiği yenilikler ile tüm dünyada yoğun ilgi görmektedir. İmalat süreçlerinde hem hata payını hem de maliyetleri azaltmak için insanı sistemden çıkarmayı amaçlayan bu sistem, yapay zeka ve nesnelerin interneti teknolojileri ile verimliliği de artırmaktadır. Bu çalışmada ahşap panel kapı üretimi yapan bir fabrikanın üretim sistemi ele alınmıştır. Mevcut sistemde makineler ve insan gücünü kullanan bu fabrikanın üretim sistemine endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makineler eklenmiştir. Amerikan panel kapı üretiminin kapı kanadı aşamasının ele alındığı bu çalışmada, fabrikanın bu ürün için tespit ettiği ekonomik sipariş miktarı olan 560 adet baz alınmıştır. Arena simülasyon programında mevcut durum analiz edilmiş ve üretim süresini ve çalışan sayısını azaltacak endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makineler yerleştirilerek alternatif senaryo oluşturulmuştur. Alternatif senaryo ile 560 adet ürünün üretim süresinin 118 saat 58 dakikadan 106 saat 19 dakikaya ve çalışan sayısının da 26 kişiden 16 kişiye indirilebileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri 4.0, Simülasyon, Üretim Sistemleri, Arena.

### ABSTRACT

Today, technology is developing rapidly in industry as well as in every field. The industry has periodically moved on, thanks to the innovations discovered. These intervals start with industry 1.0 and continue with the period called industry 4.0 today. The main purpose of industrial developments is to improve production processes and take steps with high added value. Industrial manufacturers experience difficulties due to the time lost during production, scrapped raw materials, and not having the optimum number of employees. Industry 4.0, which was born with the idea of using machines and the power of the internet in the fight against these problems, attracts great attention all over the world with its innovations. This system, which aims to remove people from the system in order to reduce both the margin of error and costs in the manufacturing processes, also increases efficiency with artificial intelligence and internet of things technologies. In this study, the production system of a factory that produces wooden panel doors is discussed. Machines with industry 4.0 technologies have been added to the production system of this factory, which uses machines and manpower in the current system. In this study, which deals with the door leaf stage of American panel door production, the economic order amount determined by the factory for this product is 560 pieces. In the Arena simulation program, the current situation was analyzed and an alternative scenario was created by placing machines with industry 4.0 technologies that will reduce production time and the number of employees. With the alternative scenario, it has been determined that the production time of 560 products can be reduced from 118 hours 58 minutes to 106 hours 19 minutes and the number of employees can be reduced from 26 to 16 people.

**Keywords:** Industry 4.0, Simulation, Production Systems, Arena.

### MAKALE BİLGİSİ

*Makale Geçmişi*

Başvuru Tarihi: 19 Eylül 2022

Kabul Tarihi: 23 Kasım 2022

*Makale Türü*

Araştırma Makalesi

*Sorumlu Yazar*

Mehmet Erdoğan BAĞ

### ARTICLE INFOS

*Article History*

Received: September 19, 2022

Accepted: November 23, 2022

*Article Type*

Research Article

*Responsible Author*

Mehmet Erdoğan BAĞ

\* Bu çalışma, danışmanlığı Doç. Dr. Emre ASLAN tarafından yapılmış olan ve Mehmet Erdoğan BAĞ'ın hazırladığı "Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Simülasyon Tekniği ile Üretim Sistemine Uygulanması; Bir Ahşap Fabrikası Örneği" isimli doktora çalışmasından derlenmiştir.

## 1. Giriş

Gelişen teknolojiler dünya üretim sanayisinde yepyeni bir kavram ve devrimi beraberinde getirmiştir. Bu kavram 4. Sanayi devrimi ile gelen Endüstri 4.0'dır. İşletmeler için çok çekici olan, kâr hedeflerini artırmalarına yardımcı olacak hızlı, esnek ve verimli üretim anlayışını en etkin şekilde uygulayabilmelerine yardımcı olacak bu kavram kısa zamanda popüler olmuştur. İmalat esnasında en çok hata yapan varlığı insan olarak gören ve insanı sistemden çıkararak hata payını azaltmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Hata yapma payı daha düşük olan bilgisayarlar ile yapay zekâ ve nesnelerin interneti kavramlarını kullanarak verimlilik artırılacaktır.

Son yıllarda popüleritesini artıran ve imalat sektöründe kendine oldukça fazla yer bulan simülasyon bilimsel çalışmaların da gözdesi konumundadır. Sistemleri analiz edip yorumlamak, geleceğe dair ışık tutmak ve geliştirmek simülasyonun asli faydalarıdır. Çalışan sistemlerin bilgisayar ortamına aktararak modelinin kurulması ve gerçek dünyada hiçbir müdahale etmeden istenilen değişikliklerin yapılması, hiçbir para ve zaman maliyetine katlanılmaması ise simülasyonun en önemli avantajlarıdır. Bu sayede maliyetlere katlanmadan sistem üzerinde denemeler yapmak ve en uygun olanı seçmek mümkündür.

Bu çalışmada endüstri 4.0 teknolojilerini halihazırda kullanmayan bir fabrika seçilmiştir. Bu fabrikaya ait üretim sisteminin mevcut durum simülasyonu, arena ile oluşturulmuştur. En çok üretilen Amerikan panel kapı ürününün üretim süreci ele alınmıştır. Ardından endüstri 4.0 teknolojilerinden bir kısmı sisteme dâhil edilerek alternatif senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryo ile üretim sisteminde katma değeri yüksek kazanımlar elde etmek amaçlanmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: sanayi devrimlerinin tarihsel gelişimi, üretim sistemlerinde simülasyon hakkında genel bilgilerin ardından endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojiler ve bu teknolojileri kullanarak bir üretim sisteminde yapılan değişiklikleri içeren simülasyon uygulamasını içermektedir.

## 2. Sanayi Devrimlerinin Tarihsel Gelişimi ve Endüstri 4.0

İlk sanayi devrimi olan Endüstri 1.0; 1760-1840 yılları arasında İngiltere'de Newcomen adındaki buharla çalışan bir makineyi İskoç James Watt'ın tamir etmesi ve daha da geliştirmesi sonucunda üretim sürecine dâhil etmesi ile başlamıştır. Üretim şeklinin insan ve kas gücüne bağlı olduğu bu durumdan, makinelerin üstünlük kurduğu üretim şekline evrilmesini sağlamıştır (Mohajan, 2019: 378). Endüstri 1.0 ile mekanizasyon, su gücü ve buhar gücü kullanımı yaygınlaşmıştır.

İkinci sanayi devrimi, 1870'lerde başlayıp Birinci Dünya Savaşına kadar sürmüştür. Endüstri 2.0 olarak değerlendirilen bu dönemde meydana gelen teknolojik ve sosyal gelişmeler ikinci sanayi devrimini ifade etmektedir (Mokyr, 1998: 1). Endüstri 2.0 ile seri üretim, montaj hattı ve elektrik kullanımı yaygınlaşmıştır.

Bilim ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda 1970'li yılların başından itibaren üçüncü sanayi devrimi gerçekleşmeye başlamış, insan ve hayvan gücü yerine kullanılan makineler bu dönemde akıl gücünü de kullanmaya başlamıştır. Bu dönemde üretim süreçlerinde elektronik ve bilişim teknolojileri kullanılarak otomasyon sistemleri artırılmış, üretimde verimlilik sağlanmıştır. Elde edilen gelişmeler sonucunda bu dönem bilgi ekonomisi ve bilgi toplumu olarak adlandırılmıştır (Kagermann vd., 2013: 13). Endüstri 3.0 ile bilgisayar ve otomasyon kullanımı yaygınlaşmıştır.

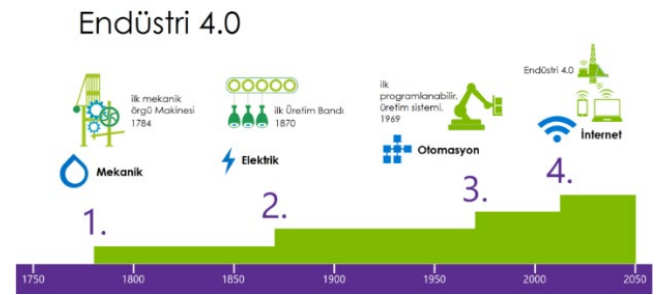
Endüstri 4.0 olarak tanımlanan dördüncü sanayi devrimi, endüstriyel üretim ile bilgi ve iletişim teknolojileri arasındaki yakınlaşma yoluyla ülkedeki imalat sektörünün rekabetçiliğini güçlendirmek amacıyla, akademisyenler, sanayiciler ve Alman Hükümeti tarafından yapılan girişimlerden doğmuştur (Baena vd., 2017: 74).

Endüstri 4.0 yeni bir dijital endüstriyel teknolojinin yükselişi olarak bilinmektedir. Makineler arasında veri toplamamıza ve analiz etmemize olanak sağlayarak daha hızlı, daha esnek ve verimli süreçler sağlarken daha düşük maliyetlerle daha kaliteli ürünler üretmemizi sağlayacaktır. Bu, üretim verimliliğini artıracak, ekonomiyi geliştirecek, endüstriyel büyümeyi hızlandıracak ve işgücü profilini değiştirecektir (Ungerma vd., 2018: 133).

Endüstri 4.0, dijital teknolojilerin otonom yapılarla insan faktörü olmadan etkileşiminin sağlanabildiği sanayi dönemidir. Otonom yapılar aracılığı ile insan faktörü olmadan etkileşimin sağlanarak ve üretim süreçlerinde kullanılacağı fikri Endüstri 4.0 öncesinde tartışılmaya başlanmıştır (Schwab, 2017: 17). Endüstriyel gelişimin tarihsel sürecini ve teknolojik yenilikleri görsel olarak şekil 1'de görmek mümkündür.

### Şekil 1

Endüstriyel gelişimin tarihsel süreci ve teknolojik yenilikler



**Kaynak:** <http://www.novitek.com.tr/2019/03/25/endustriyeh-tarihine-kisa-bir-yolculuk/>

Endüstri 4.0 ile anılan teknolojilerden bazıları;

- *Nesnelerin İnterneti*: İngilizce kısaltması "IoT" olarak ifade edilen (The Internet of Things) ağ bağlantı özelliği bulunan cihazların birbiriyle iletişimini internet aracılığıyla sağlayarak cihazların (nesnelerin) uzaktan takip edilebildiği uygulamaları ifade eder (Yıldız, 2018:549). IoT aracılığı ile cihazlar etkileşim içinde olduklarından fiziki mesafeden bağımsız olarak kullanılması mümkün olmaktadır (Lee ve Lee, 2015: 434).
- *Siber Fiziksel Sistemler*: Endüstri 4.0'ın bir diğer bileşeni olan siber-fiziksel sistemler, makinelerin verimli kullanımında daha esnek yazılımlar maharetiyle kontrol edilmelerini ifade etmektedir (Soysal ve Pamuk, 2018: 48). Bir diğer ifadeyle, siber-fiziksel sistemler, üretim süreçlerinde gözlem, eşgüdümleme ve denetimin karma teknolojiler aracılığı ile iş süreçlerinin daha muntazam ve hızlı yönetilmesine olanak sağlayan sistemlerdir (Yıldız, 2018: 549).
- *Büyük Veri ve Veri Analitiği*: İngilizce 'Big Data' olarak adlandırılan büyük veri kavramı karmaşık tüm verinin tek merkezde toplanması olarak tanımlanmaktadır (Gilschriest, 2016: 52). Ancak artan veri miktarından kaynaklı olarak verinin kullanımı ve içlerinden doğru ve gerekli bilginin seçimi zorlu bir süreç haline gelmiştir (Şimşek ve Çelik, 2012: 381).
- *Akıllı Fabrikalar*: Akıllı fabrikalar kavramı Endüstri 4.0 dönemine ait üretim tesislerini tanımlayan bir kavram olup geleneksel üretim tesisinin hiyerarşik alt sistemlerinin dikey olarak entegre edilmesiyle oluşturulmuş daha esnek ve yeniden

yapılandırılabilir üretimin gerçekleştirildiği fabrikalardır (Öztürk ve Öztürk, 2019: 952)

- *Yapay Zekâ*: İngilizce Artificial Intelligence (AI) kavramından Türkçe'ye Yapay Zekâ (YZ) olarak tercüme edilmiştir. YZ insanın zihinsel yetilerini ve düşünme yöntemlerinin bilgisayarlar aracılığı ile programlanarak taklit etmesi ve yapay yöntemler geliştirmesini temel alarak insandan bağımsız otonom öğrenebilen ve gelişebilen dijital sistemlerdir (Kaplan ve Haenlein, 2019: 680).
- *Bulut Bilişim*: Endüstri 4.0 döneminde yaygın olarak değerlendirilen bir diğer kavram Bulut Bilişim kavramıdır. Bu kavram İngilizce Cloud Computing kavramından Türkçe'ye tercüme edilmiştir. Bulut bilişim bilgisayar ve diğer dijital cihazların yerel konumlarından bağımsız olarak internet tabanlı kullanılabilmesi, istenildiğinde veriye erişilmesi ve verinin paylaşılmasını sağlayan, servis altyapısı gerektirmeyen bilişim servislerini ifade eden genel tanımlamadır (Rimal, vd., 2011: 10).

### 3. Üretim Sistemlerinde Simülasyon

Simülasyonun üretim sistemlerinde kullanılması, süreç iyileştirmek ve verimliliği artırmak amacıyla çevrim süresi ve üretim esnasında katılan maliyetlerin azaltılması gibi avantajları beraberinde getirmektedir. Ayrıca simülasyonu kullanan işletmeler mevcut sistemlerinde sahip oldukları kaynakları analiz etme ve herhangi yeni bir yatırımın öncesinde fikir edinme olanağı vermektedir (Klingstam ve Gullander, 1999: 174). Simülasyon ile modelleme ve analiz yapmak; gerçek bir fiziksel sistemin bilgisayar ortamında matematiksel bir modelinin yaratılması ve test edilmesi sürecidir (Chung, 2003: 2).

Simülasyonun başlıca uygulama alanları ise üretim sistemleri, insan kaynakları planlaması, gereksinimlerin belirlenmesi, zaman etüdü, performans ve verimlilik incelemesidir (Özcan ve Yıldırak, 2020: 176).

Simülasyonun avantajları;

- Sistemde alternatif durumların incelenmesi sınırsızdır. Sistemin daha detaylı incelenmesi ve anlaşılmasını sağlar (Halaç, 1982: 146).
- Gerçek sistemi değiştirmez. Kullanılan simgeler gerçekçidir (Yeroğlu, 2001: 18).
- Yapılan deneylerin test süreleri çok kısadır ve yöneticiler çok hızlı bir şekilde reaksiyon alabilmektedirler (Kikolski, 2017: 322).
- Simülasyonun dezavantajları;
- Bir test etme yaklaşımıdır ve defalarca çalıştırıldığında üretilen sonuçlar farklı olabilir. Bir modellemenin sonucu benzersizdir ve genelleme yapılarak başka problemler için kullanılamaz (Chase ve Aquilano, 1995: 684).
- Süreci modellemek ve analiz etmek uzun zaman almaktadır (Banks vd., 1984: 5).

### 4. Uygulamanın Metodolojisi

#### 4.1. Uygulamanın Kapsamı

Bu çalışmadaki uygulama organize sanayi bölgesinde hizmet veren bir ahşap fabrikasının üretim sisteminde yapılmıştır. Uygulamanın yapıldığı fabrika 2012 yılında faaliyete başlamış ve 2021 yılı itibarı ile 61 kişi çalışmaktadır.

Fabrika sahası içinde bir üretim alanı, bir kantin ve bir ofis (idari işler, muhasebe vs.) bulunmaktadır. Üretim alanında 14 adet makina (Çoklu dilimleme, Sıcak hare, Kasa-Pervaz zımpara, Pervaz birleştirme, Bantlama, Kasa ebatlama, Sıcak pres, Kol-kilit delme, Kapı ebatlama, Kasa ebatlama-delme, Weining, Otomatik boya,

Zımpara ve Paketleme) ve 3 adet el işçiliği istasyonu (Kapı serenleri çatımı, Kraft petek çatma ve zımpara) bulunmaktadır. Mevcut üretim sisteminde endüstri 4.0 teknolojileri yer almamaktadır. Bu nedenle uygulamanın yapılacağı yer olarak bu fabrika seçilmiştir.

Çalışma 53 işçi ile Amerikan panel kapı üretimi yapan bir ahşap fabrikasının üretim sisteminde yapılacak iyileştirmeyi içermektedir. Taşınan parçaların ebatları büyük ve makineler arası mesafeler uzak olduğu için zaman kaybı çok fazla olmaktadır. Hem endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makineler hem fabrika düzeni hem de taşımaları en aza indirmek için kullanılan konveyörler ile alternatif senaryo oluşturulmuştur.

#### 4.2. Uygulamanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmada ahşap kapı imalatı yapan bir fabrikanın Amerikan panel kapı ürününe ait üretim hattı ele alınmıştır. Mevcut sistemde Endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makineler yer almamaktadır. Çalışmanın temel amacı Endüstri 4.0'ın getirdiği yenilikleri üretim sistemine entegre etmek ve sağlayacağı iyileştirmeleri simülasyon aracılığı ile tespit etmektir. Bu doğrultuda mevcut duruma ilişkin operasyonlar ve üretim süreleri elde edilmiş ve simülasyon modeli kurulmuştur. Modelin geçerliliği test edildikten sonra sisteme akıllı makineler yerleştirilerek alternatif senaryo geliştirilmiştir.

Endüstriyel sektörde en önemli faktörlerden biri de siparişin termin tarihidir. En kısa teslimat süresine sahip olmak müşteri memnuniyetini artıracak ve tercih edilme nedeni olacaktır. Bunu sağlayabilmenin en iyi yolu gelişen teknolojiyi sürekli takip etmek ve üretim sisteminde uygulamaktır. Endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makinelerine satın almak maliyetlidir. Dolayısı ile bu makinelerin üretim sistemine faydasını görebilmek için simülasyon modeli oluşturmak önemli bir yol göstericidir.

#### 4.3. Uygulamanın Yöntemi

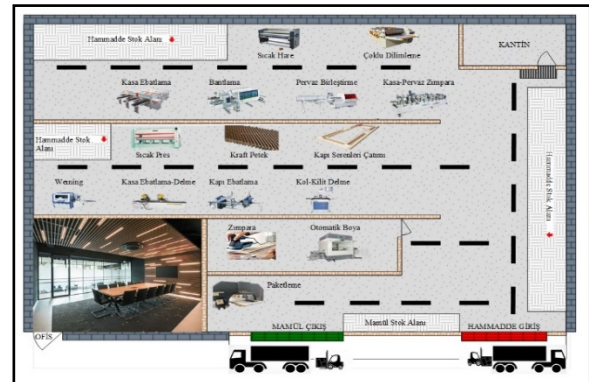
Bu çalışmadaki uygulamada fabrikada üretilen ürünlerden biri olan Amerikan panel kapı imalat süreci ele alınmıştır. Uygulama için gerekli bilgiler fabrika yönetiminin izni ile üretim sahasında zaman etütleri alınarak toplanmıştır. Elde edilen bu veriler ile Arena ile simülasyon programında sistemin mevcut durum simülasyonu kurulmuştur. Geçerliliği tespit edilen sistem ile alternatif senaryo geliştirilmiştir.

#### 4.4. Mevcut Durum Analizi

Fabrikaya ait mevcut durumu fabrika düzenini temsil eden görsel sketch up uygulaması ile oluşturulmuş ve şekil 2'de verilmiştir. Bu görselde de görüleceği üzere fabrika ana hatları ile 3 ayrı bölümden oluşmaktadır. 14 adet makina ve 3 adet el işçiliği istasyonu bulunmaktadır.

#### Şekil 2

Fabrikanın Mevcut Durum Görseli



Fabrikada üretilen ürün çeşitliliği çok fazladır. Ancak bu çalışmada en çok sipariş alınan ve üretilen ürün olan Amerikan panel kapının üretim süreci ele alınmıştır. Simülasyon süreci ürün siparişi alındığı andan itibaren başlamaktadır. Ürün teslimine kadar fabrika içerisindeki her süreç uygulamaya eklenmiştir. Gerçek sisteme en yakın simülasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Fabrikanın tespit etmiş olduğu ekonomik sipariş miktarı olan 560 adet Amerikan panel kapı üretimi baz alınmıştır. Bu sebeple simülasyon modeli için 560 adet sipariş alındığı varsayılmıştır. Amerikan panel kapı üretimi 3 aşama ile üretilmektedir. Bunlar kapı kanadı, kapı pervazı ve kapı kasasıdır. Çalışmanın uygulama kısmı bu aşamalardan bir tanesi olan kapı kanadı ürünü için yapılacaktır. Kapı kanadına ait operasyon bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1**  
Kapı Kanadına Ait Mevcut Durum Operasyon Bilgileri

Kapı Kanadı						
Sıra	Makine	İşlem	Giriş	Çıkış	Süreler	
1	El işçiliği	Kapı serenlerinin çatılması	18 ürün girer	1 ürün çıkar	270 sn	
2	El işçiliği	Çatılan çerçeve içerisine Kraft petek yerleştirilmesi	1 ürün girer	1 ürün çıkar	356 sn	
3	Sıcak pres makinası	Kapı yüzeyinin petek yerleştirilmiş çerçeveye yapıştırılması	5 ürün girer	5 ürün çıkar	300 sn	
4	Kapı ebatlama makinası	Kapı kanadının ölçüye göre ebatlanması	1 ürün girer	1 ürün çıkar	183 sn	
5	Bantlama makinası	Kapı kanadının etrafının bantlanması	1 ürün girer	1 ürün çıkar	346 sn	
6	Kol kilit delme makinası	Kapı kanadının kol ve kilit yerleri delinir	1 ürün girer	1 ürün çıkar	121 sn	
7	Otomatik boya makinası	1.kat astar uygulamasının yapılması	1 ürün girer	1 ürün çıkar	178 sn	
8	Zımpara makinesi	El ile Astar zımparası yapılması	1 ürün girer	1 ürün çıkar	240 sn	
9	Otomatik boya makinası	Son kat boya işlemi	1 ürün girer	1 ürün çıkar	192 sn	
10	Paketleme makinası	Ürünler paketlenir	1 ürün girer	1 ürün çıkar	92 sn	
11	560 adet Ürün tamamlandı (ÇIKIŞ)					

Kurulan simülasyon modeli, parçaların fabrikaya hammadde olarak girdikleri andan nihai tüketiciye ulaşan ürün oldukları ana kadar geçen süreci içermektedir. Dolayısı ile hammaddenin kamyonundan indirilmesi, stok alanına taşınması, stok alanından üretim sahasına taşınması, her bir makinada işlem görmeden öncesi ve sonrasında gerçekleşen taşımalar, boya sonrası kurumaları için geçen süreler, fabrikanın çalışma saatleri ve mola süreleri dâhil tüm süreç simülasyona aktarılmıştır. Mevcut durumda kapı kanadı üretimi için 26 işçi çalışmaktadır.

Sisteme girilecek operasyon sürelerini belirlemek için her bir operasyon için 25'er defa zaman etüdü alınmıştır. Elde edilen bu değerlerin ortalamaları alınarak sisteme girilecek değerler sabit kabul edilmiştir.

Şekil 1'de kapı sereni çatılmasına ait görsel mevcuttur. Kapı serenleri çatıldıktan sonra kapı kanadının kasasını oluşturmaktadır. Bu operasyon için 18 parça ürün gerekmektedir. 560 adet kapı kanadı imalatı için 10080 adet kapı sereni parçasına ihtiyaç vardır.

Çatılan kapı serenleri içerisine Kraft petek adı verilen dolgu parçaları zımba yardımı ile yerleştirilir. Bu dolgu peteği yüksek basınçlara karşı dayanıklı, gürültü ve sıcaklığı iletmeyen yapısı ile kapıya hem hafif hem de sağlam bir form kazandırmaktadır.

Kraft petek yerleştirme işleminin ardından kapı kanadının iki yüzeyine göre üretilmiş olan panel kapı yüzeyi tutkal yardımı ile yapıştırılır. Ardından sıcak pres makinasına 5'er adet olarak yerleştirilir

Presten çıkan ürünler kapı ebatlama makinasında işlem görmek üzere taşınır. Kapı kanadı istenen ölçülerde kenarları temizlenerek ebatlanır ve son halini alır.

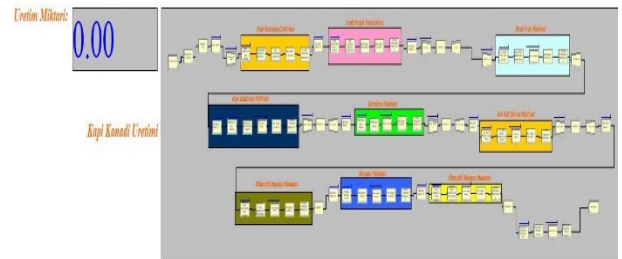
Son boyutlarına ulaşan kapı kanadı, etrafı bantlanmak üzere bantlama makinasına taşınır. Burada kanadın dört tarafı istenen renk bant ile pürüzsüz bir şekilde bantlanır.

Bantlama işlemi biten kapı kanadı kol ve kilit deliklerinin açılması için kol-kilit delme makinasına taşınır. Burada kapı kilitleri ve kapı kollarının takılması için gerekli delikler özel imal edilmiş makina ile açılır.

Nihai tüketiciye ulaşacak forma kavuşan kapı kanadı boyanmak üzere otomatik boya makinasına taşınır. Önce bir kat astar boyası atılan kapı kanadı, pürüzsüz form yakalanana kadar zımpara yapılır. Son kat boyası da atıldıktan sonra paketleme işlemine geçilir. Bu işlemden sonra ürün sistemden tamamen çıkmış olur.

Tüm aşamalar simülasyon programına aktarılmıştır. Girilen değerler ile gerçek sisteme en yakın değerler elde edilmiştir. Arena simülasyon programında oluşturulan mevcut durum simülasyon görüntüsü şekil 3'de verilmiştir.

**Şekil 3**  
Mevcut Durum Simülasyon Görüntüsü



Mevcut durum simülasyon görüntüsünde yer alan her bir renkli büyük kutu operasyonları içermektedir. Bu kutular dışında kalan her bir küçük kutu ise operasyonlar arası işçilerin yapmış olduğu taşımaları temsil etmektedir.

Model oluşturulurken her bir operasyon için 25 adet zaman etüdü alınmıştır. İşlemleri yapanlar makinalar olduğu için operasyon

süreleri genel olarak hep aynı değerler çıkmaktadır. Dolayısı ile değerler sabit tutulmuştur. Sistem sadece Amerikan panel kapı üretimi süreçlerini içerecek şekilde çalıştırılmıştır. Makinalar sadece 560 adet panel kapı üretmiş, işlemi biten makinalara başka bir iş ataması yapılmamıştır. Bu sebeple çalışmada makine kullanım oranları, verimlilik vs. değerlerinden çok siparişin tamamlanma süresini ve çalışan sayısını azaltmak hedeflenmektedir.

560 adet kapı kanadı üretimi gerçek hayatta 15 iş gününde tamamlanmaktadır. Kurulan mevcut durum simülasyon modelinde de son ürünün sistemden çıkışı 119 saat yani 15 iş gününe denk gelmektedir. Modelin işleyişi hakkında fabrikadaki üretim müdürü ile görüşülerek teyit edilmiş ve modelin geçerliliği doğrulanmıştır.

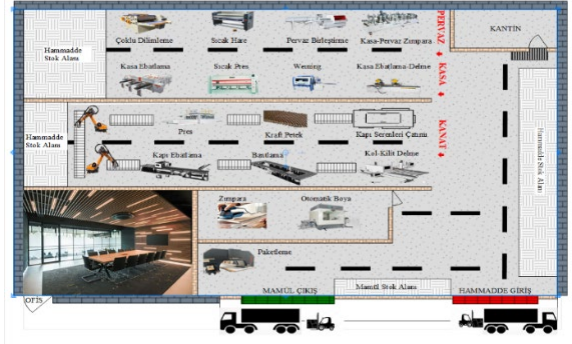
Mevcut durum incelendiğinde çalışanların fabrika içerisinde yarım mamulleri taşıırken ve makinalara ürün yerleştirirken çok zaman kaybettikleri gözlemlenmiştir. Endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makinalar sayesinde taşıma ve makinelere ürün yerleştirme işlemlerinin tamamen makinalar aracılığı ile yapılacak bir alternatif senaryonun gerekliliği görülmektedir.

#### 4.5. Alternatif Senaryo Analizi

Mevcut durum fabrika düzeninde gözlemlenen bazı aksaklıklar (yarı mamul taşıma, makinalara ürün yerleştirme vs.) giderilmiştir. Alternatif fabrika düzeni oluşturulmuştur. Endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makinalar yerleştirilerek fabrikanın kuş bakışı görüntüsü yeniden düzenlenmiştir. Taşımalar en az seviyeye indirilmiştir. Şekil 4’de alternatif senaryo için sketch up uygulamasında oluşturulan görsel verilmiştir.

#### Şekil 4

Fabrikanın Alternatif Senaryo Görseli



Fabrika makina yerleşim yerlerine bakılacak olursa, peş peşe gelen operasyonlarda kullanılan makinalar arası mesafenin uzun olduğu ve taşımalar ile fazla zaman kaybedildiği görülmektedir. Bunu gidermek amacıyla sensörlü taşıma konveyörleri eklenerek makinalar arası mesafeler ve taşımalar yeniden düzenlenmiştir. Ayrıca hammadde stok alanlarının da yerleri değiştirilmiş, sistem içerisindeki karışıklık giderilmiştir.

Çalışmada ele alınacak kapı kanadı üretim hattına endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makinalar yerleştirilmiştir. Sisteme eklenen makinalar, ülkemiz sınırları içerisinde, bu teknolojiye sahip fabrikalarca hali hazırda kullanılmaktadır. Alternatif senaryo için kullanılacak makinalar hakkındaki bilgiler (isim, işlev, işlem süresi vs.), bu makinaların dağıtımını ve kurulumunu yapan bir firmadan elde edilmiştir. Ayrıca bu teknolojiye sahip makinaları kullanan fabrikalar ile de iletişime geçilmiştir.

Kapı kanadı hattına sensörlü taşıma konveyörleri yerleştirilmiştir. Bu sayede makinalar arası taşımalar ortadan kalkmıştır. Ayrıca iki adet vakumlu kapı besleme manipülatörü yerleştirilmiştir. Ana üretim hattındaki tüm makinalar değiştirilmiştir. Endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makinalar ile yapılan operasyonlar ve işlem süreleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2

Kapı Kanadına Ait Alternatif Senaryo Operasyon Bilgileri

Kapı Kanadı					
Sıra	Makine	İşlem	Giriş	Çıkış	Süreler
1	Seren hazırlama istasyonu	Kapı serenlerinin çatılması	6 ürün girer	1 ürün çıkar	68sn
2	El işçiliği	Çatılan çerçeve içerisine Kraft petek yerleştirilmesi	1 ürün girer	1 ürün çıkar	89sn
3	Sıcak pres makinası	Kapı yüzeyinin petek yerleştirilmiş çerçeveye yapıştırılması	1 ürün girer	1 ürün çıkar	90sn
4	1.Vakumlu kapı besleme manipülatörü	Çıkan ürünü alıp raylı sisteme taşır	1 ürün girer	1 ürün çıkar	11sn
5	2.Vakumlu kapı besleme manipülatörü	Raylı sistemdeki ürünü konveyöre taşır	1 ürün girer	1 ürün çıkar	11sn
6	Endüstri 4.0 ebatlama makinası	Kapı kanadının ölçüye göre ebatlanması	1 ürün girer	1 ürün çıkar	92sn
7	Bantlama makinası	Kapı kanadının etrafının bantlanması	1 ürün girer	1 ürün çıkar	108sn
8	Kol kilit delme makinası	Kapı kanadının kol ve kilit yerleri delinir	1 ürün girer	1 ürün çıkar	79sn
9	3.Vakumlu kapı besleme manipülatörü	Çıkan ürünü konveyöre taşır	1 ürün girer	1 ürün çıkar	11sn
7	Otomatik boya makinası	1.kat astar uygulamasının yapılması	1 ürün girer	1 ürün çıkar	75sn
8	Zımpara makinesi	El ile Astar zımparası yapılması	1 ürün girer	1 ürün çıkar	240sn
9	Otomatik boya makinası	Son kat boya işlemi	1 ürün girer	1 ürün çıkar	75sn
10	Paketleme makinası	Ürünler paketlenir	1 ürün girer	1 ürün çıkar	92sn
11	560 adet Ürün tamamlandı (ÇIKIŞ)				

Alternatif simülasyon modelinde daha önce el işçiliği ile yapılan kapı sereni çatılması işlemi artık makinalar ile yapılmaktadır. Kapı sereni parçalarını, seren hazırlama istasyonuna 2 işçi yerleştirmektedir. Daha sonra her bir kapı için 6 adet seren parçasını makine otomatik olarak alıp kanadın kasasını oluşturacak şekilde birleştirmektedir.

Konveyör üzerinde diğer istasyona giden kapı kanadı içerisine 2 işçi ile Kraft petek yerleştirme işlemi el ile yapılmaktadır. Kraft petek zımbalanarak sabitlendikten sonra ürün sonraki istasyon olan pres makinası gitmektedir.

Sıcak pres makinasında kapı yüzeyleri yapıştırılır. İşlemi biten ürünü vakumlu kapı besleme manipülatörü raylı taşıma vagonuna yüklemektedir. Bu vagondaki ürün sayısı 40 adet olunca 1 işçi vagonu ebatlama makinasının yanındaki ikinci kapı besleme manipülatörünün yanına taşımaktadır.

İkinci kapı besleme manipülatörü vagondaki ürünleri sırasıyla konveyöre yerleştirmektedir. Bu konveyörde hiç işçi çalışmamaktadır. Ebatlama makinasında tamamen sensörlü makinalarla kapı formunu alan kapı kanadı bantlama operasyonu için sonraki istasyona geçmektedir.

Bantlama istasyonunda karşılıklı iki adet bantlama makinası bulunmaktadır. Kapı kanadı bu istasyonda iki tur yapmaktadır. İlk turdan sonra kapı kanadı hareketli tekerler sayesinde doksan derece dönmektedir. Bantlanmayan tarafı da bantlandıktan sonra istasyonu terk etmektedir.

Otomatik kol kilit delme makinasında yine sensörlü makinalar ile kapı kolu ve kilit takılacak delikler açılmaktadır. Üçüncü kapı besleme manipülatörü ile bu istasyondan çıkan ürünler raylı

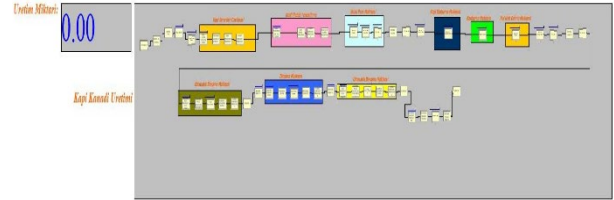
sistemde bulunan vagona taşınmaktadır. Vagondaki ürün sayısı 40 adet olunca 1 işçi boyama işlemi için taşımaktadır.

Ürünler daha sonra sırasıyla otomatik boya makinasına, zımpara istasyonuna ve son olarak tekrar boya makinasına giderek işlem görmektedir. Bu işlemlerin ardından nihai tüketiciye ulaşacak ürün sistemden tamamen çıkmaktadır.

Tüm bu değişiklikler arena simülasyon programına aktarılmıştır. Alternatif durum arena simülasyon görüntüsü şekil 5'te verilmiştir.

### Şekil 5

Alternatif Senaryo Simülasyon Görüntüsü



Alternatif senaryo simülasyon modeline ait görüntüde görüldüğü üzere renkli kutular haricindeki taşımaları temsil eden kutuların sayısı azalmıştır. Sistemde ki taşıma kargaşası büyük oranda ortadan kalkmıştır. Ayrıca sistem, renkli kutular içerisindeki operasyonlara ait işçi tarafından makinaya ürün yerleştirme ve geri alma gibi zaman kayıplarına neden olan hareketlerden de kurtulmuştur.

Kurulan alternatif senaryo ile edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya ait veriler tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

Mevcut Durum ve Alternatif Senaryo Karşılaştırılması

	Ürün	Mevcut durum	Ürün	Alternatif senaryo	Fark	İyileşme Oranı
Kapı Kanadı	İlk ürün	23:01 saat	İlk ürün	15:36 saat	7:25 saat	%32
	Son ürün	118:58 saat	Son ürün	106:19 saat	12:39 saat	%10
	1 ürün	12:45 dk	1 ürün	11:24 dk	1:31 dk	%10
	İşçi	26	İşçi	16	10	%38

Tablo 3'e göre mevcut durumda ilk bitmiş ürün 23 saat 1 dakikada çıkarken oluşturulan alternatif senaryoda 15 saat 36 dakika sonra sistemden çıkmaktadır. İlk ürün için 7 saat 25 dakika kazanç elde edilmiştir. Sistemden en son çıkan ürün ise mevcut durumda 118 saat 58 dakika sonra sistemi terk ederken, alternatif senaryoda 12 saat 39 dakika kazançla 106 saat 19 dakika sonra çıkmaktadır. Her bir ürünün sistem içerisinde geçirdiği zaman mevcut durumda 12 dakika 45 saniye iken, alternatif senaryoda 11 dakika 24 saniyeye düşmüştür. Ayrıca çalışan sayısında büyük bir azalma olduğu da görülmektedir.

## 5. Sonuç

Fabrika mevcut çalışma düzeninde Endüstri 4.0 teknolojilerinden faydalanmamaktadır. Çalışmanın amacı üretim sistemine Endüstri 4.0'ın getirdiği yenilikleri ekleyerek üretim sürecinde iyileştirmeler yapmaktır. Öncelikle kapı üretiminde kullanılan akıllı makinalar araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda kapı üretim hatlarında kullanılan seren hazırlama istasyonu, sıcak pres makinası, vakumlu kapı besleme manipülatörleri, Endüstri 4.0 ebatlama makinası, bantlama makinası ve kol-kilit delme makinalarına ulaşılmıştır. Bu makinaların çalışma prensipleri ve üretim sürelerini elde etmek için makine tedarikçilerine ulaşılmıştır. Uygulama yapılan fabrikalarla

iletişime geçilmiştir. Her bir makinanın üretim süreleri hem tedarikçi firma hem de uygulayan fabrikalar tarafından teyit edilerek elde edilmiştir.

Mevcut duruma bakılacak olursa, makinelerin yerleştirilmesinde bir problem olduğu görülmektedir. Peş peşe gelen operasyonlarda makineler arası mesafenin uzak olması taşımalarla zaman kaybını artırmaktadır. Dolayısı ile öncelikle makine yerleşim düzeni değiştirilmiştir. Her bir panel kapı parçası (kanat, kasa, pervaz) için bir bant düzeni oluşturulmuştur. Taşımalarla kaybedilen zaman azaltılmıştır. Ayrıca stok alanlarının da yerleri değiştirilerek hammadde direk üretilecek ürüne ait bandın başına stoklanmıştır. Bütün makinaların belirli bir akışa sahip rotaları oluşturularak bant düzeni ve akışı sağlanmıştır.

Kapı kanadı bölümünde üretim bandı yeniden kurulmuştur. Konveyör sistemi ile taşımalar en aza indirilmiştir. Endüstri 4.0 makinalar ile üretimde fark edilebilir bir iyileştirme yapılmıştır. En uzun süreli üretim sürecine sahip kapı kanadı üretim hattında ise Tablo 3'te de görüldüğü üzere son ürünün çıkış süresi 12 saat 39 dakika azalmıştır. Günlük 8 saat 30 dakika mesai yapan bu firma için 1,5 gün erken üretimi tamamlamak anlamına gelmektedir. Ayrıca kanat bandı için çalışan işçi sayısı 26'dan 16'ya inmiştir.

Tüm bu iyileştirmeler sonucunda fabrika 1,5 gün mesai ücretini ve 10 işçi için ödenecek ücreti ödemeyecektir. Alternatif senaryo uygulandığı takdirde fabrika yönetimi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığının açıkladığı veriye göre her bir işçi için aylık brüt 7603,43 TL, toplamda 76034,30 TL kar edecektir. Ayrıca bir günlük işçi maliyetinin 7603,43 (brüt işçi maliyeti) x 53 (çalışan işçi sayısı) : 30 (1 ayda ki gün sayısı) = 13432,72 TL olduğu ve 1,5 gün erken bitirildiği için ise Amerikan kapı panel üretimi için 13432,72x1,5 = 20149,08 TL kâr edecektir. Toplamda 76034,30+20149,08=96183,38 TL maliyete katlanmayacaktır.

Simülasyon programlarının bizlere sağladığı faydalar saymakla bitmemektedir. Bu çalışma için oluşturulan alternatif senaryo istenildiği takdirde hiçbir maliyete katlanılmadan bilgisayar ortamında değiştirilebilmektedir. Daha farklı senaryolar ile farklı öngörülere sahip olma konusunda çok iyi bir yol göstericidir. En çok üretimi yapılan ürün seçilmesi sebebi ile oluşturulan alternatif senaryonun diğer ürünler için de tam anlamıyla aynı sonuçları vereceği öngörülememektedir. Dolayısı ile daha gerçekçi sonuçlar için aynı bant düzeni ve endüstri 4.0 teknolojilerine sahip makineler ile farklı ürün gruplarının da simülasyon modeli oluşturması sistemin sağlığı açısından iyi olacaktır.

## Kaynakça

- Baena, F., Alvaro G., Julian M., Joel S. and Sebastian R. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0, *Procedia Manufacturing* (9): 73-80.
- Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., and Nicol, D. M. (1984). *Discrete-Event System Simulation (Forth Edition)*. Pearson Prentice Hall.
- Chase, R. B., Aquilano, N. J. (1995). *Production and Operations Management*. ABD, Irwin.
- Chung, C. A. (2003). *Simulation Modelling Handbook: A Practical Approach*, CRC Press.
- Gilschrist, A. (2016). *Industry 4.0 - The Industrial Internet of Things*. Apress.
- Halaç, O. (1982). *İşletmelerde Simülasyon Teknikleri*. İstanbul Üniversitesi Yayınevi. İstanbul.
- Kagermann, H., Wahlster, W., and Helbig J., (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0*, Acatech – National Academy of Science and Engineering: 14.
- Kaplan, A. M., and Haenlein, M. (2019). Digital transformation and disruption: On big data, blockchain, artificial intelligence, and other things. *Business Horizons*, 62(6): 679-681.
- Klingstam, P., Gullander, P. (1999). Overview of Simulation Tools for Computer-aided Production Engineering, *Computer in Industry*, 38: 173-186.
- Lee, I. and Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises. *Business Horizons*, 58(4): 431-440.
- Kikolski, M. (2017). Study of Production Scenarios with the Use of Simulation Models. *Procedia Engineering* (182): 321-328.
- Mohajan, H. K. (2019). The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 5(4): 77-387.
- Mokyr, J. (1998). *The Second Industrial Revolution, 1870-1914 The Lever of Riches* (pp. 1-10). Evanston ABD: Northwestern University.
- Novitek Erişim adresi <http://www.novitek.com.tr/2019/03/25/endustri-tarihine-kisa-bir-yolculuk/>, Erişim tarihi (21.06.2022).
- Özcan, B., Yıldırak, E. (2020). A Simulation Study on a Production System. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 4(2): 172-186.
- Öztürk, M. ve Öztürk, R. (2019). Akıllı İşletmelerde Bilgi Teknolojilerinin Kullanımı. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 6(35): 948-957.
- Rimal, B. P., Jukan, A., Katsaros, D. and Goeleven, Y. (2011). Architectural Requirements for Cloud Computing Systems: An Enterprise Cloud Approach. *Journal of Grid Computing*, 9(1): 3-26.
- Schwab, K. (2017). *Dördüncü Sanayi Devrimi, World Economic Form*. Optimist Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Soysal, M. ve Pamuk, N. S. (2018). Yeni Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 Üzerine Bir İnceleme. *Verimlilik Dergisi*, (1): 41-66.
- Şimşek, Ş. ve Çelik, A. (2012). *Yönetim ve Organizasyon (14 ed.)*. Eğitim Yayınevi.
- Ungerma, O., Dedkova, J. and Gurinova, K. (2018). The Impact Of Marketing Innovation on The Competitiveness of Enterprises in The Context of Industry 4.0. *Journal of Competitiveness*, 10(2): 132-148.
- Yeroğlu, C. (2001). *Üretim ve Servis Sistemlerinde Pratik Simülasyon Teknikleri*. Atlas Yayıncılık. İstanbul.
- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2): 546-556.