

## Otomotiv Sektöründe İç Trim Üreticisi Olan İşletmede Simülasyon ve Yamazumi Uygulaması

İrem DÜZDAR<sup>1\*</sup>, Senanur ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Düzce

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7642-8121>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7683-0025>

\*Sorumlu yazar: iremduzdar@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 09.09.2024

Kabul tarihi: 25.02.2025

Online Yayınlanma: 17.03.2025

#### Anahtar Kelimeler:

Simülasyon

Arena

Yalın üretim

Yamazumi

Hat dengeleme

### ÖZ

Otomotiv sektörü ülkemizde, ekonomiye katkı sağlamış ve endüstriye öncülük eden sektörlerden biri olmuştur. Hat dengeleme, operatör ve makinelerin iş doluluklarını ve kapasitelerini ölçmede, birden çok operatörün bulunduğu istasyonda işgücünü eşit kullanmakta fayda sağlamıştır. Araştırmada amaç; pilot hat seçilerek üretim hattının bütün olarak incelenmesi, müşteri talebine göre israfların ortadan kaldırılarak üretim yapılması olmuştur. Otomotiv endüstrisinde iç trim parçaları üretimi yapan işletmenin üretim hattında simülasyon çalışması yapılarak mevcut durum analiz edilmiş, operatör iş dolulukları için Yamazumi grafiği ile iyileştirme çalışması yapılmış ve yalın üretim prensipleriyle mevcut durumda sürekli iyileştirme amaçlanmıştır. Arena yazılım programı kullanılarak hattın simülasyonu sağlanmış, mevcut üretim süreci raporlarla analiz edilmiştir. Simülasyon analiz edildikten sonra hat dengeleme çalışması için Yamazumi grafiği kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda pilot hat seçilerek veri analizi yapılmış, Arena yazılım programında model oluşturularak analiz edilen veriler modele aktarılmıştır. Model çalıştırılıp rapor incelendikten sonra iyileştirme aksiyonları belirlenmiştir. Yamazumi grafiği ile operatörlerin iş takibi yapılmış, yalın üretim teknikleri ile aksiyon planı hazırlanmıştır. Planlanan iyileştirmeler sonrası gelecek durum modeli oluşturulmuş, gelecek durum modeli ile mevcut durum modelinin raporları karşılaştırıldıktan sonra uygulama planı takip listesi hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda maliyette 15.761₺ iyileştirme sağlanmıştır.

## Simulation and Yamazumi Application in an Interior Trim Manufacturer in the Automotive Sector

### Research Article

#### Article History:

Received: 09.09.2024

Accepted: 25.02.2025

Available online: 17.03.2025

#### Keywords:

Simulation

Arena

Lean manufacturing

Yamazumi

### ABSTRACT

The automotive sector in our country has contributed to the economy and has become one of the leading industries. Line balancing has been beneficial in measuring the workload and capacity of operators and machines, as well as in utilizing the workforce equally in stations where multiple operators are present. The aim of the research was to examine the production line by selecting a pilot line and to eliminate waste according to customer demand while ensuring efficient production. A simulation study was conducted on the production line of a company manufacturing interior trim parts for the automotive industry, analyzing

the current state. Improvement efforts were carried out using the Yamazumi chart for operator workload, and continuous improvement was targeted through lean manufacturing principles. The Arena software program was used to simulate the line, allowing the current production process to be analyzed through reports. After the simulation was analyzed, the Yamazumi chart was used for line balancing. In this context, a pilot line was selected, and data analysis was conducted. A model was created in the Arena software, and the analyzed data was transferred to the model. The model was executed, and after reviewing the report, improvement actions were determined. Operators work tracking was carried out using the Yamazumi chart, and an action plan was prepared using lean manufacturing techniques. After the planned improvements were implemented, a future state model was created. The reports of the future state model were compared with those of the current state model, and an implementation plan follow-up list was prepared. As a result of the study, a cost improvement of 15,761₺ was achieved.

---

**To Cite:** Düzdar İ, Çelik S., 2025. Otomotiv sektöründe iç trim üreticisi olan işletmede simülasyon ve yamazumi uygulaması. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 5(1): 173-191.

## Giriş

Otomotiv sektörü ülkemizin ekonomisine, istihdamına, vergi gelirlerine vb. katkı sağlamaktadır. Gelişmiş teknolojilerin ülkemize girişinin öncüsü de otomotiv sektörüdür. Otomotiv sektörü, Avrupa’da doğmuş, Japonya’nın başarısı ile de önemli bir konuma gelmiştir. Otomotiv endüstrisinde iç trim parçaları üretimi yapan işletmenin üretim hattında simülasyon çalışması yaparak mevcut durumun analiz edilmesi, operatör iş dolulukları için yamazumi diyagramı ile iyileştirme çalışması yapılması ve yalın üretim prensipleriyle mevcut durumda sürekli iyileştirme amaçlanmaktadır.

Süreçte sürekli iyileştirme yapmak için mevcut durum analizi yapılarak yürürlükte olan sistemin detaylı bir şekilde raporlanması gerekmektedir. Mevcut durum raporları incelenirken kaynak kullanım oranları, darboğazların belirlenmesi ve oluşabilecek sorunların önceden gözlemlenebilmesi avantajı simülasyon ile sağlanmaktadır. Girdi verileri, operasyonel süreçlerin analizi ve iş etüdü yapılarak elde edilmektedir (Sağlamcı ve Aslan, 2022).

Üretim adetlerinin yüksek olduğu işletmeler hat dengeleme problemleri nedeniyle verimsizlik yaşamakta ve büyük kayıplar vermektedir. Oluşan problemler üretimde aksama, kalitesizlik, darboğaz oluşumu ve verimsizlik gibi istenmeyen sonuçlar yaratmaktadır (Kuğu ve ark., 2023).

Kuğu ve ark. (2023), çalışmalarında beyaz eşya sektöründe üretim yapan firmanın kondenser üretim hattında Arena uygulamasıyla hat dengeleme yapmışlardır. İşletmelerde verimsizlikler yüksek kayıplara neden olmaktadır. Hat dengeleme problemleri büyük bir kısmı oluşturmaktadır. Hat akışı ve hat yerleşimi değiştirilmeden Arena simülasyon programında mevcut ve gelecek durum simüle edilmiştir. Çevrim sürelerinde %28,5 iyileştirme sağlanmıştır.

Her iki çalışma da verimlilik artırmayı amaçlamaktadır, ancak bu çalışmada, operatör bazında daha detaylı bir analiz yaparak iş yüklerinin dengelenmesine odaklanmıştır.

Sağlamcı ve Aslan (2022), tekstil işletmesinde en çok üretilen ürünün aşamalarını Arena simülasyon yöntemiyle geliştirmişlerdir. Simülasyon, uzun dönemli karlılığı analiz edebilmek amacıyla 107 kez çalıştırılmıştır. Girdi verileri oluşturulurken, iş etüdü çalışması yapılmıştır. Animasyon oluşturulmuş olup bu yöntemle de doğrulama ve geçeleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda darboğaz kaynaklar beslenmiştir. Gelecek durum senaryosunda, işletme 5 işçi daha az çalıştırmış ancak çıktısını %41 oranında arttırmıştır. Her iki çalışma da üretim verimliliğini artırmayı hedeflese de, farklı sektörlerdeki spesifik ihtiyaçlara odaklanılmıştır.

Masood (2006), üretim hattında yapılan hat dengeleme sonucunda çevrim süresini azaltmak ve makine kullanımını arttırmayı hedeflemektedir. Transfer hattında kritik istasyonlar belirlenmiştir. Simul8 yazılımını kullanılarak yapılan iyileştirme çalışmasında üretim kapasitesinde artış beklenmektedir. Yapılan çalışma sonucunda çevrim süresi %32 azalmıştır ve verim %65 oranında artmıştır. Araştırmada makine kullanımının arttırılmasına yönelirken bu çalışmada daha fazla insana yönelik analizler yapılmış ve operatör bazında daha fazla detay verilerek iş gücü verimliliği daha kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

Bilget (2015), konfeksiyon üretim hatlarında simülasyon çalışması yaparak yalın üretim sistemlerini incelemiştir. Üç farklı ürünün üretim süreçleri analiz edilmiştir. Modelin geçerlemesi istatistiksel olarak günlük üretim adedi ile kontrol edilmiştir. Simülasyon ile hat dengelemesi yapıp algoritma geliştirilmiştir. “Kalp Algoritması” tüm modellere uygulanmış olup üretim kapasitesinin artmasını sağlamıştır.

Koçanalı (2009), televizyon üretimi yapan bir işletmede hat dengelemesi çalışması gerçekleştirmiştir. Hazırlık süreleri çalışmada baz alınmıştır. İstasyon ve iş atamaları arasında öncelik ilişkisi kurulmuştur. Mevcut sistem üzerinde dört uygulama gerçekleştirilmiş olup en uygun model araştırılmıştır. Koçanalı'nın yaklaşımı, daha çok hazırlık sürelerine odaklanırken, bu çalışmada operatör verimliliği ve çevrim sürelerinin simülasyonla iyileştirilmesi ön plandadır.

Özkıran ve Düşünür (2011), çalışmada darboğazların iyileştirilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Fren montaj hattında analiz yapılmıştır. Simülasyon modeli ile mevcut durum analiz edilerek sistemde değişiklikler önerilmiştir. İş adımlarının sıralamasında değişiklik mümkün değildir. İşlemlerde bir akış oluşması gerekmektedir. Çalışma sonucunda sistemde öneriler sunulmuştur.

Qattawi ve ark., (2019), çalışmada otomotiv sektöründe montaj hatlarının tasarımında yöntem geliştirmektedir. Mevcut durumdaki montaj hattının yeniden tasarlanmasına yönelik

araştırmada, kümeleme algoritması ve görev karşılıklık endeksi geliştirilmiştir. Mevcut ve gelecek durum, niceliksel performans parametreleri ve iş akış şeması kullanılarak açıklanmıştır. Yeni oluşturulan tasarımla beraber montaj süresinde iyileştirme sağlanmıştır. Qattawi ve ark., (2019) çalışmasında kümeleme algoritması ile montaj hattı yeniden tasarlanmış ve süreçte iyileştirme sağlanmıştır. Bu çalışmada ise, yalın üretim ve simülasyon teknikleriyle operatör doluluk oranları minimize edilmiştir. Her iki çalışma da montaj hattı verimliliğini artırmaya yönelik olsa da farklı teknikler ve yöntemlerle iyileştirme sağlamaktadır.

Tüm bu literatüre göre, bu çalışmada yapılan uygulama ile sürecin durumu simülasyon programında analiz edilerek iş yükü, alan, parça kalitesi gibi birçok alanda iyileştirme imkânı sunulmaktadır. Bu çalışmada simülasyon, yalın üretim teknikleri ve yamazumi diyagramı kullanılmıştır.

Bu çalışma, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla simülasyon, Yamazumi analizi ve yalın üretim tekniklerinin entegre edilmesini içeren kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Üretim hatlarında darboğazların tespiti, operatör doluluk oranlarının dengelenmesi ve çevrim sürelerinin minimize edilmesi amacıyla gerçekleştirilen analizler, üretim verimliliğini artırmaya yönelik önemli bulgular sağlamaktadır.

Simülasyon yöntemi sayesinde, sistemdeki darboğazlar tespit edilerek, üretim süreçlerine yönelik iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Yamazumi grafiği kullanılarak operatörlerin iş yükleri dengelenmiş ve gereksiz zaman kayıpları ortadan kaldırılarak süreçlerin daha etkin bir şekilde yönetilmesi sağlanmıştır. Çalışma sonucunda, üretim hattında operatör sayısının iyileştirilmesiyle maliyetlerin düşürülebileceği ve üretim kapasitesinin artırılacağı gösterilmiştir.

Bu bağlamda, araştırma literatüre üç temel katkı sunmaktadır:

1. **Üretim ve Süreç Verimliliği:** Simülasyon ve Yamazumi grafiği kullanımıyla üretim hatlarının dengelenmesi ve darboğazların azaltılması konusunda pratik bir yöntem sunulmuştur.
2. **Kaynak Yönetimi ve Maliyet Analizi:** Operatör sayısının iyileştirilmesi ve iş akışının daha verimli hale getirilmesiyle maliyet avantajı sağlanabileceği gösterilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, üretim süreçlerinin simülasyon destekli analizi ile yalın üretim ilkelerinin daha etkin bir şekilde uygulanmasına katkı sağlamakta ve üretim yönetimi alanında yeni bir perspektif sunmaktadır.

Bu çalışma, literatürde eksik kalan bazı noktaları tamamlayarak üretim süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Literatürdeki çalışmalar genellikle simülasyon veya yalın üretim tekniklerinden birini ele alırken, bu araştırma simülasyon,

Yamazumi analizi ve yalın üretimi birlikte kullanarak daha kapsamlı bir değerlendirme yapmaktadır.

Çalışmanın literatürdeki eksiklikleri tamamlayan başlıca katkıları şunlardır:

1. **Simülasyon ve Yamazumi Analizinin Entegrasyonu:** Literatürde simülasyon ve Yamazumi analizi çoğunlukla birbirinden bağımsız incelenmiştir. Bu çalışmada ise simülasyon aracılığıyla darboğazların belirlenmesi ve Yamazumi grafiğiyle operatör iş yüklerinin dengelenmesi bir arada ele alınarak sistematik bir süreç iyileştirme yöntemi sunulmuştur.
2. **Operatör Verimliliği ve Hat Dengeleme Üzerine Etkili Bir Yaklaşım:** Literatürde operatör verimliliği genellikle üretim adetleri veya genel zaman kayıpları üzerinden analiz edilmektedir. Bu çalışmada ise operatör bazında iş yükü dağılımı detaylı olarak ele alınmış ve Yamazumi diyagramı ile dengelenerek süreç iyileştirilmiştir.
3. **Maliyet Verimliliği ve Kaynak Yönetimi:** Simülasyon kullanılarak operatör sayısının nasıl iyileştirilebileceği, maliyetlerin nasıl düşürülebileceği ve üretim verimliliğinin nasıl artırılabilirliği somut verilerle ortaya konmuştur. Literatürde genellikle yalın üretim teknikleriyle ilgili teorik çerçeve sunulurken, bu çalışma gerçek bir üretim ortamında uygulanabilir bir model sunarak eksikliği gidermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma literatürde eksik kalan noktalara yönelik kapsamlı bir çözüm sunarak simülasyon destekli yalın üretim sistemlerinin daha verimli kullanılmasına yönelik önemli bir katkı sağlamaktadır.

Çalışmamızın birinci bölümünde, konunun teorik çerçevesi ele alınarak temel kavramlar ve literatürdeki ilgili çalışmalar incelenmiştir. İkinci bölümde, araştırmanın yöntemi detaylandırılmış; veri toplama süreçleri, analiz yöntemleri ve örneklem hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, elde edilen bulgular sunulmuş ve analiz edilmiştir. Son olarak, dördüncü bölümde araştırmanın sonuçları tartışılmış, elde edilen bulgular ışığında değerlendirmeler yapılmış ve gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## **Materyal ve Yöntemler**

### **Materyal**

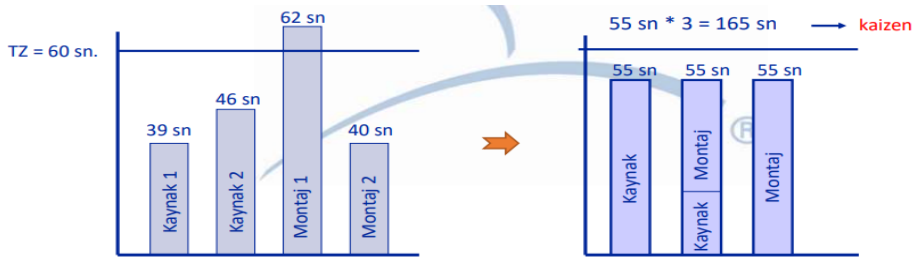
Araştırmada Yamazumi Grafiği, Simülasyon uygulamaları kullanılmıştır. Üretim tesisi araştırmada istasyonda iyileştirme ve geliştirme çalışması için tercih edilmiştir. Çalışmayla beraber tesisin verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir.

## Yöntem

Verimliliği arttırmak istenen üretim tesisi için pilot olarak seçilen üretim hattında zaman etüdü çalışması yapılarak veri seti hazırlanmıştır. Zaman etüdü ile veri hazırlama çalışması yapılırken; gün içi zaman aralıkları, performans vb. üretimi etkileyecek durumlar göz önüne alınarak çalışılmıştır.

## Yamazumi Grafiği

Şekil 1’de Yamazumi grafiği örneği gösterilmiştir. İlk durumdaki grafikte montaj 1 hattının belirlenen takt zamanının üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu gözlem sonucunda ikinci durumda planlanan takt zamanı hatlarda eşit duruma getirilmiştir.



Şekil 1. Yamazumi grafiği örneği (Yalın Enstitü, 2020)

Prosesin bir döngüsünün tamamlandığı, adetlik ürün çıkardığı süre çevrim zamanı olarak tanımlanmaktadır. Operatörün işe başladığı ve işi bitirdiği süre olarak ifade edilmektedir. Hat dengeleme yöntemlerinden biri, Yamazumi çalışmasıdır. Her operatör için çevrim süreleri analiz edilerek grafik haline getirilir. Grafik ile takt zamanının aşımı incelenebilmektedir.

Ürünlerin takt zamanı, proses takt zamanına düşürülmelidir bunu sağlamak için aksiyon listesi hazırlanmalıdır. Yamazumi grafiğinde, proses içinde işlem gören tüm işlerin süresi alınmaktadır. Yamazumi analizi ile çevrim süresi azaltılır, israf ortadan kaldırılır, hat dengeleme yapılır. Grafik ile analiz eden kişinin kolay anlaması sağlanır (Kuğu ve ark., 2023).

Yamazumi grafiği çalışmada, operatör iş adımları takip edilerek belirlenen sürenin altında iş dağılımının yapılması üzerine çalışmada uygulanmıştır.

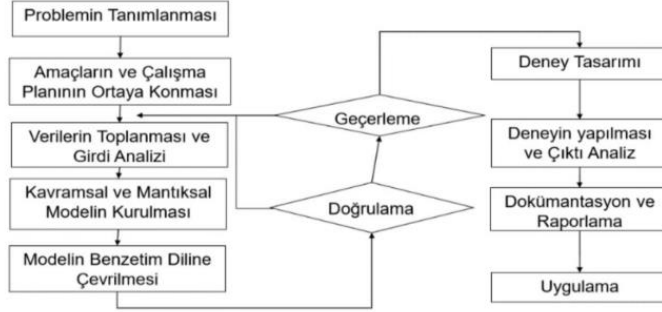
## Simülasyon (Benzetim)

Çalışma, üretimde; materyal planlama sistemleri, seri üretim, stok, kontrol, güvenlik, bakım, fabrika düzeni ve makine tasarımını etkileyebilmektedir.

Simülasyon çalışması, sistemin takibini yapmak ve davranışsal durumları çözümlenebilmek, çözümlendiği davranışlar için teori/hipotez kurgulayabilmek ve model

kullanarak gelecek durum hakkında bilgi olarak sistemde meydana gelen ya da gelebilecek değişiklikleri incelemek amacıyla yapılmaktadır.

Simülasyon, tasarım aşamasından seri üretimi takip eden tüm süreçlerde uygulanabilmektedir. Gerçek sürecin ya da planlanan sürecin analizinde raporlar sunarak uzman kişiye bilgi paylaşımı sağlamaktadır.



Şekil 2. Benzetim ve modelleme aşamaları (Tağman, 2021)

Şekil 2’de benzetim ve modelleme aşamalarının akış diyagramı görülmektedir. Problem tanımlanır ve probleme uygun amaçlar belirlenir. Amaçlar doğrultusunda veriler analiz edilir geçerleme adımı uygulanır, kavramsal ve mantıksal model oluşturulur. Model simülasyon programına aktarıldıktan sonra doğrulama ve geçerleme adımları gerçekleştirilir. Deney tasarımı yapılır, deneyin çıktıları analiz edilir. Raporlama yapılır ve uygulama aksiyonlarına geçilir. Çalışmada üretim hatlarına ait verilerin raporlarını incelemek için simülasyon uygulanmıştır.

Simülasyon, karmaşık sistemi raporlayabilmektedir. Sistemde planlanan değişiklikler simüle edilerek değişiklikler ve etkileri incelenebilir. Mevcut durumun simüle edilmesiyle elde edilen veriler sonucunda sürekli iyileştirme sağlanabilir. Girdi değişkenlerinin sanal ortamda düzenlenme kolaylığıyla fiziksel ortamda oluşabilecek aksiyonlar ve planlamalar incelenebilir. Analitik çözümde bilgi verici araç olarak kullanılıp, sonuçlar test edilebilir. Simülasyonla beraber fiziksel ortamda anlık değişikliğin zor olduğu durumlar simüle edilerek bilgi havuzu oluşturulabilir. Fiziksel değişiklik öncesi hataları analiz etmek için yardımcı olmaktadır. Simüle edilmiş modelde sistemin göstereceği performans hakkında fikir vermektedir.

### **Hat Dengeleme**

Üretim hattında yapılan işlemler belirlenir. İş istasyonları ve operatörlerin mevcut iş yükü analiz edilir. Her istasyonda gerçekleştirilen faaliyetler için çevrim süreleri hesaplanır. Mevcut darboğazlar tespit edilir ve üretim sürecindeki verimsizlikler belirlenir. Operatörlerin iş adımları ve süreç süreleri ölçülerek veri seti oluşturulur. Zaman etüdü uygulanarak her işlemin

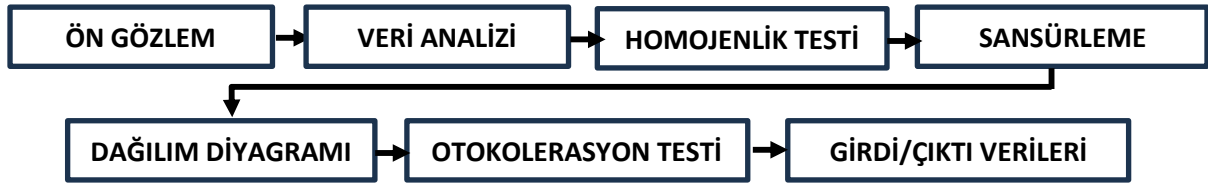
süresi belirlenir. Arena simülasyon programı kullanılarak mevcut üretim hattının simülasyonu oluşturulur. Simülasyon çıktıları analiz edilerek darboğaz noktaları belirlenir. Yamazumi grafiği kullanılarak operatörlerin iş yükleri görselleştirilir. İş adımları eşit dağıtılacak şekilde dengeleme çalışmaları yapılır. Hattın en verimli takt süresi belirlenir. İş istasyonları arasındaki operasyon süreleri dengelenerek verimsizlikler giderilir. Simülasyon sonuçlarına göre iş istasyonlarında düzenlemeler yapılır. Fazla yüklenen operatörlerden iş adımları diğer operatörlere aktarılır. Gereksiz iş adımları ve israflar ortadan kaldırılır. Operatör sayısı ve yerleşimi iyileştirilerek verimlilik artırılır. İyileştirilmiş hat yapısı simülasyon ortamında tekrar test edilir. Güncellenen çevrim süreleri ve iş dağılımı analiz edilerek performans değerlendirilir. Hat dengeleme çalışmasının getirdiği maliyet avantajları hesaplanır. İyileştirme planı üretim hattında uygulanır. Yeni sistemin performansı izlenerek gerekli düzeltmeler yapılır. Elde edilen veriler doğrultusunda sürekli iyileştirme sağlanır.

### **Araştırma Bulguları**

Model kabulleri aşağıdaki gibidir:

- Model girdileri, gerçek sistem verileridir.
- Modelin çalışma süresinde duruşlar (makine arızası, bakım vb.) sisteme dahil edilmemiştir.
- İşletme günde 20 saat çalışmaktadır. İşletmede sürecin faydasını göstermek ve araştırma bilgilerini sunmak amaçlı Arena demo sistemi kullanıldığı için 1 saatlik gözlem yapılmıştır.

Veri Toplama aşağıdaki adımlar ile yapılmıştır.



Şekil 3. Veri toplama adımları

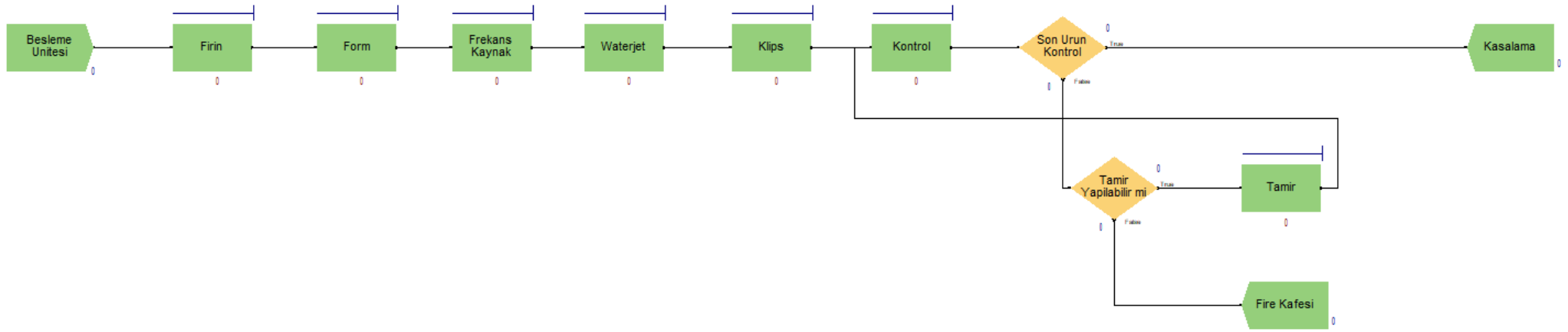
Şekil 3’de verilen veri toplama adımlarında da bulunan ilk adım, ön gözlemdir. Gerçek veri toplamadan önce planlama yapılan aşamadır. Bu aşamada taslak oluşturulur ve formlar birkaç kez değiştirilebilir. Verilerin Analizi adımı, verilerin toplandıkça analiz ederek ihtiyaç duyulan dağılımı sağlayıp sağlamadığına emin olunması gerekir. Homojenlik Testinde homojen veri kümeleri birleştirmeye çalışılır ve homojenliği kontrol ederken, dağılımların denkliği test edilir. Sansürleme aşamasında analiz edilen olayın bütünüyle gözlemlenemediği olasılığının farkında olarak analiz yapılması gerekir. Dağılım Diyagramı, iki değişken arasında



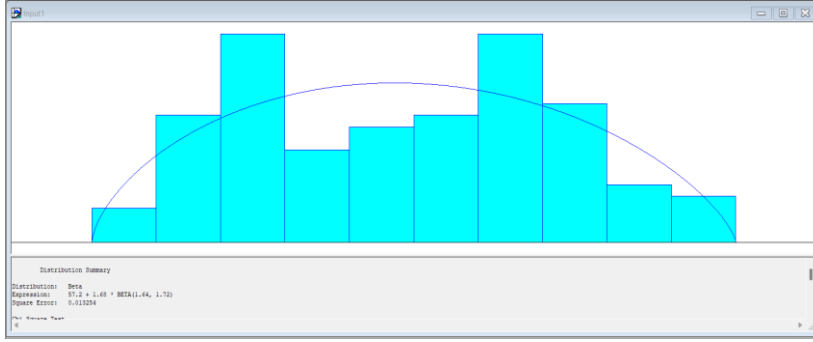
ilişki varlığını kontrol etmek için yapılır. Otokorelasyon testi yaparken, bağımsız gibi görünen dizinin otokorelasyona sahip olup olmadığının test edilmesi gerekir. Girdi ve çıktı verileri adımımda, girdi verileri, sistemi iyileştirmek için yapılan değişikliklerle değiştirilemeyecek olan belirsiz miktarı temsil eder. Çıktı verileri, sistemin performansını temsil eder.

Şekil 4’de Arena programında oluşturulan iş akış diyagramı verilmiştir. Ham madde besleme ünitesinden hat’a aktarılmaktadır. Besleme ünitesinde stoklanan ham madde vakum makinesi ile konveyör üzerine taşınmaktadır. Konveyöre taşınan ham madde termoplastik ürün olduğu için önce fırında ısıtılıp sonra formlama makinesinde şekil verilmektedir. Şekil verilen halıya fren ayak kısmının montajının yapılması için frekans kaynak makinesinde işlem yapılmaktadır. Waterjet makinesinde parçanın kesimi yapılmaktadır. Halıya koltuk montajlandığı bölgeye klips takmak için klips montaj ekipmanında parça işlem görmektedir. Tamamlanan ürün kontrol edilmektedir. Parçada kusur varsa tamir edilebilirse tamir edilir, tamir edilemezse fire kafesine ayrılmaktadır. Üründe hata yoksa kasaya konulmaktadır.

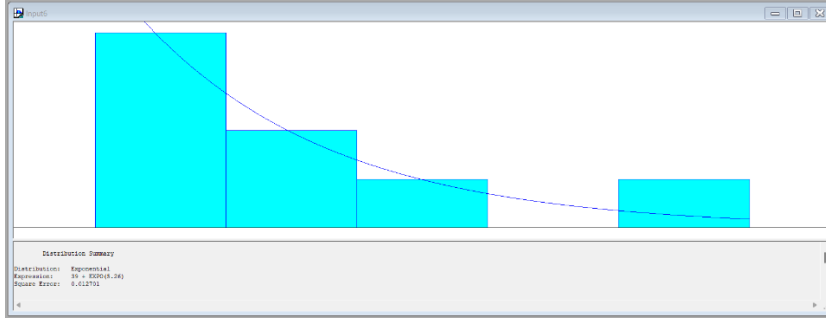
Arena modüllerinden create, process, decide ve dispose modülleri çalışmada kullanılmıştır. Create modülü ile ham maddenin üretime girişi gösterilmektedir. Process modülünde ham maddenin işlem gördüğü istasyonlar ifade edilmektedir.



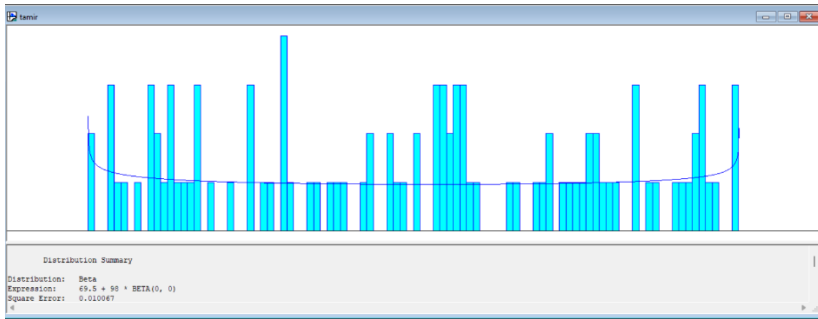
Şekil 4. Arena mevcut durum iş akış diyagramı



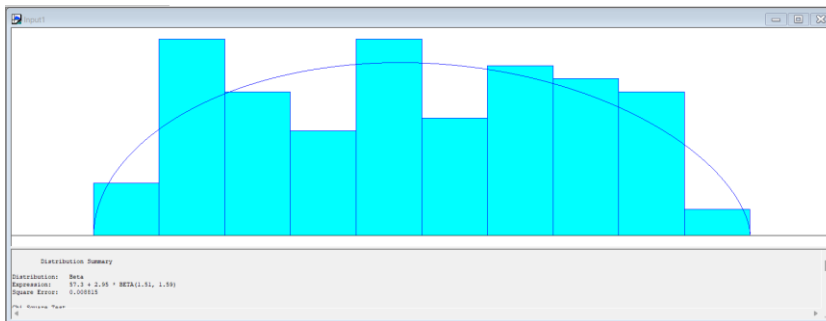
Şekil 5. Isıttıcı Süreci Input Analyzer



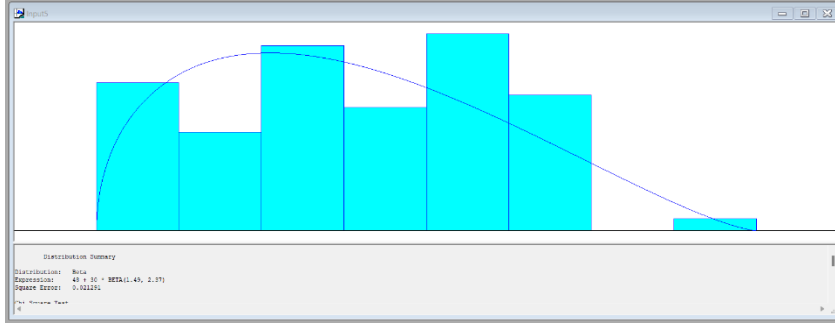
Şekil 6. Frekans Süreci Input Analyzer



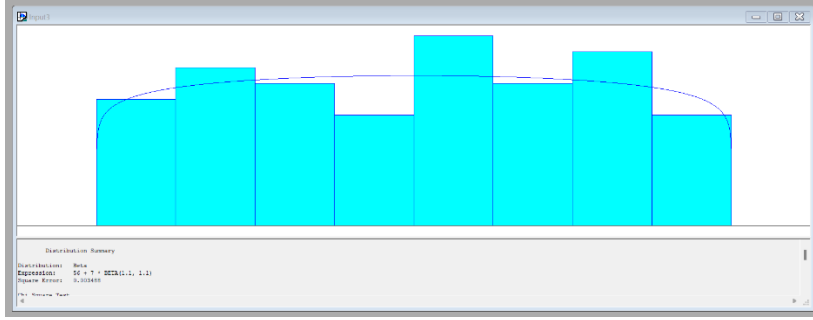
Şekil 7. Tamir Süreci Input Analyzer



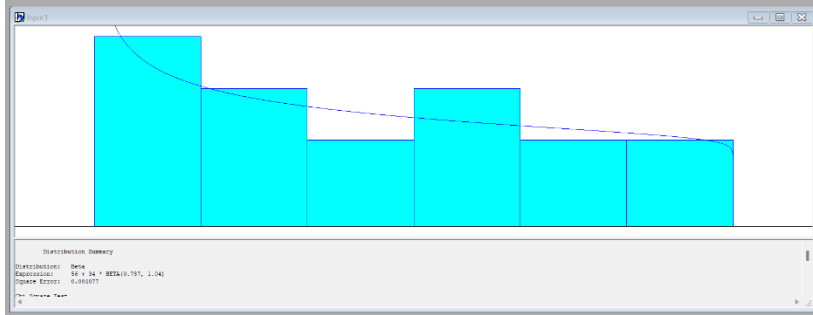
Şekil 8. Vakum Süreci Input Analyzer



Şekil 9. Waterjet Süreci Input Analyzer

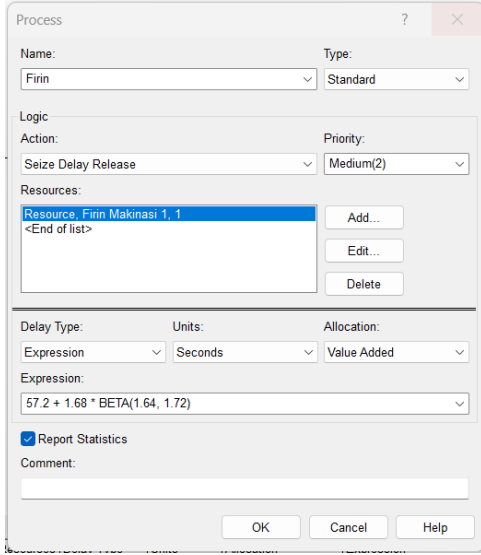


Şekil 10. Form Süreci Input Analyzer



Şekil 11. Frekans Süreci Input Analyzer

Process modülünün girdileri, fiziki olarak istasyondan tutmuş olduğumuz verilen Arena programında input analyzer ile dönüştürülmesiyle oluşmaktadır. Decide modülüyle, istasyonda yapılacak işleme karar verilmektedir. Dispose modülü, üretimin tamamlandığı aşamadır. Müşteriye sevk edilebilecek seviyede parçayı vermektedir.

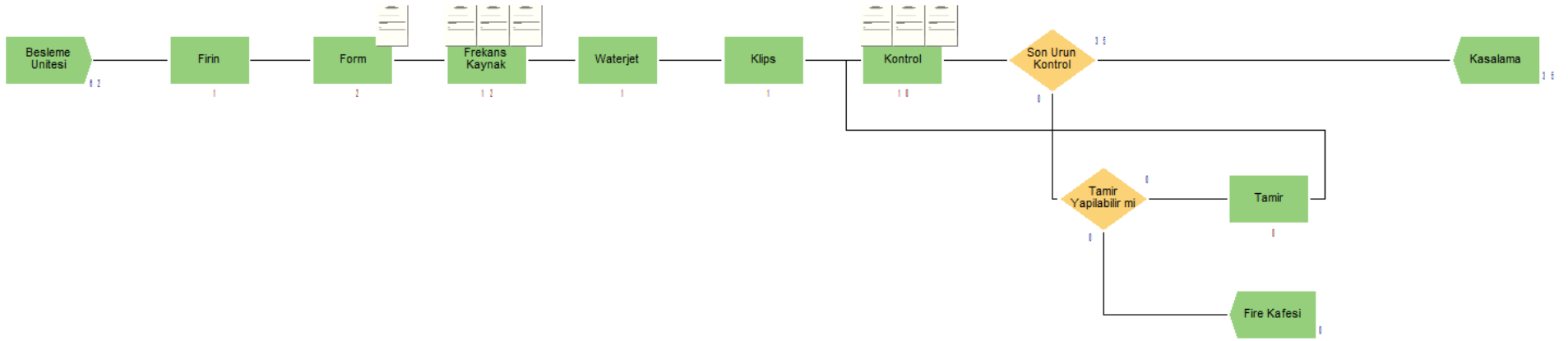


Şekil 12. Process Modülü

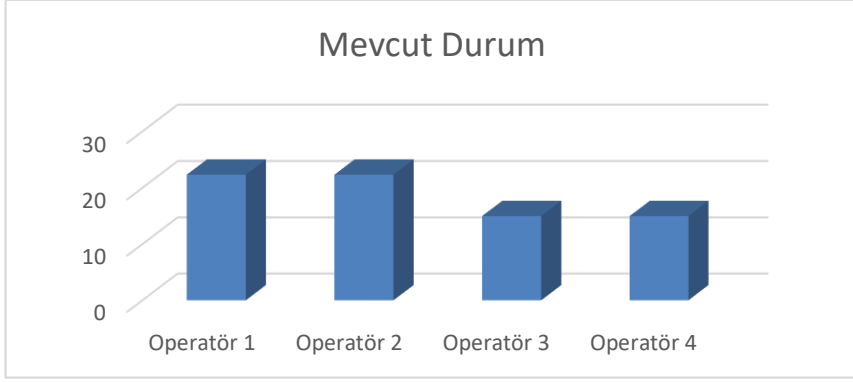
Şekil 12’ de yer alan process modülünde öncelikle istasyonun adı tanımlanmaktadır. İstasyonda kullanılan kaynaklar eklenmektedir. Şekil 12’de ifade edilen modülde fırın makinesi istasyona tanımlanmıştır. Expression değerlerin girildiği alanı ifade etmektedir. Seize, kaynağın meşgul edilmesini ifade etmektedir. Delay, işlem süresini ifade etmektedir. Release, işlem sürecinin tamamlanmasını ifade etmektedir. Programda bulunan Input Analyzer ile veriler işlenerek dağılım belirlenmektedir.

Şekil 13’de Arena çalıştırıldıktan sonraki durum gözlemlenmiştir. İşletme günde 20 saat çalışmaktadır. Programda 1 saatlik gözlem yapılmıştır ve 35 ürün üretilmiştir. Formlama, frekans kaynak ve kontrol proseslerinde dar boğaz gözlemlenmektedir.

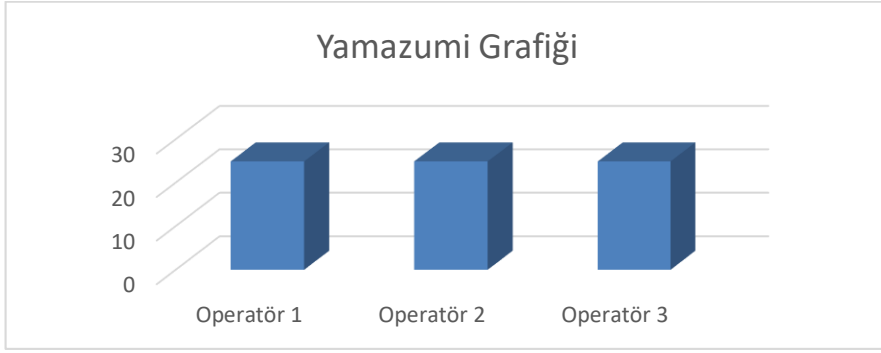
Şekil 14’de formlama hattında çalışan 4 operatörün dolulukları gösterilmiştir. Şekil 15’de yamazumi grafiği yardımıyla operatör doluluklarının eşitlenmesi hedeflenmektedir bu hedef doğrultusunda yapılan çalışmanın grafiği verilmiştir.



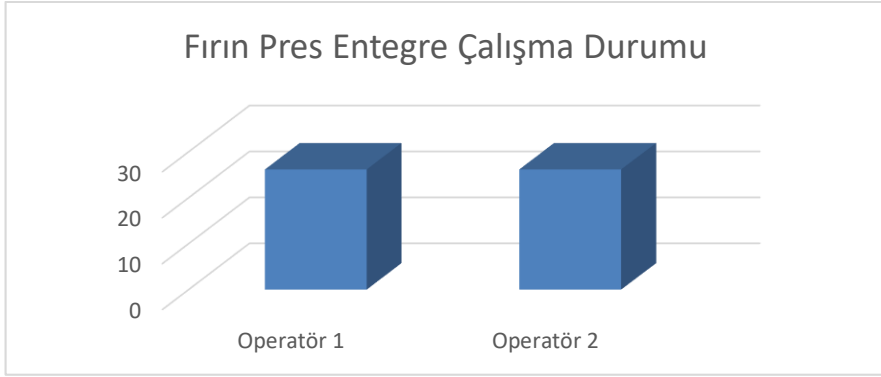
Şekil 13. Arena Çalışma akışı diyagramı



Şekil 14. Mevcut Durum



Şekil 15. Yamazumi Grafiği



Şekil 16. Fırın Pres Entegre Çalışma

Şekil 16’da fırın ve presin entegre çalışma durumunda operatör dolulukları gösterilmiştir. Makine tasarımıda fırın presin içerisine girebilmektedir ancak ham maddenin yanıcı olması nedeniyle mevcut durumda bu çalışma yapılamamaktadır. Hat dengeleme çalışması için kullanılan Yamazumi yöntemiyle yapılan düzenlemeler sonucunda 4 operatörle yürütülen üretim hattında iş yükü dengelemesi yapılarak 3 operatörle çalışılabilir hale getirilmiştir. Yamazumi grafiğiyle elde edilen yeni iş yükü dağılımında, tüm operatörlerin çevrim sürelerinin daha dengeli olduğu gözlemlenmiştir. İş yükü dağılımındaki bu iyileştirme sayesinde, operatör başına verimlilik artmış ve üretimde süreklilik sağlanmıştır.

Simülasyon çalışması Arena programı üzerinden yapılmıştır. Arena programı demo sürüm kullanıldığı için 1 saatlik analiz alınmış olup 62 replikasyon ile çalışmıştır. Excel üzerinden hat dengeleme çalışması ile de darboğaz tespiti yapılabilmektedir. Mevcut hat düzeninde veriler alınıp simülasyon programında ilgili modüller ile çalıştırılmıştır. Program çıktısında Şekil 13’de gözlemlendiği üzere formlama, frekans kaynak ve kontrol adımlarında darboğaz tespit edilmiştir. Çalışmada formlama ve frekans kaynak adımları arasında yer alan darboğaz üzerine analiz yapılmıştır.

Formlama hattında mevcut durumda 4 operatör çalışmaktadır. Operatörlerin iş adımlarını analiz etmek için Yamazumi grafiği çizilmiştir. Mevcut durum için çizilen Yamazumi grafiği sonrasında iş adımları operatörler arasında aktararak 3 operatörün çalıştığı durumu analiz etmek için Şekil 15’te yer alan grafik çizilmiştir. Fırın, formlama makinesinin içine girebilecek düzende tasarlanmıştır. Ancak mevcut kullanımdaki ham maddenin yanıcılığı nedeniyle entegre çalışma düzenine geçilememektedir. Ham madde maliyetleri nedeniyle ham madde revize edilememektedir.

Formlama hattında 1 operatör kazancı sağlanmıştır. İşletmede aynı hat düzeninden 3 hat bulunmaktadır. İyileştirme oranının fiziksel ortamda gözlemlenmek için çalıştığımız hat pilot olarak seçilmiştir.



Tablo 1. Maliyet hesaplaması

	Operatör Sayısı	Maliyet ( Ay )
Mevcut Formlama Hattı	4	$15.761 * 4 = 63.044\text{₺}$
İyileştirilmiş Durumda Formlama Hattı	3	$15.761 * 3 = 47.283\text{₺}$
		$\text{Kazanç} = 63.044\text{₺} - 47.283\text{₺} = 15.761\text{₺}$

### Sonuç

Bu çalışma, üretim sektörüne yönelik önemli katkılar sağlayarak sektördeki verimlilik sorunlarına çözüm üretmektedir. Özellikle yalın üretim ve simülasyon tekniklerini bir arada kullanarak, firmalara rekabet avantajı kazandırabilecek pratik ve uygulanabilir bir model sunmaktadır. Çalışmada, simülasyon ve Yamazumi analizi kullanılarak operatör iş yükleri dengelenmiş ve darboğazlar minimize edilmiştir. Hat dengeleme stratejileri sayesinde üretim süreleri kısaltılarak daha yüksek verim elde edilmiştir. Gereksiz iş gücü kullanımı ve üretim hattındaki dengesizlikler belirlenerek, gereksiz maliyetler minimize edilmiştir. İş gücü planlaması iyileştirilerek, işletmelerin daha düşük maliyetle daha yüksek üretim yapmasına olanak tanınmıştır. Simülasyon teknolojisinin kullanımı, firmaların dijital dönüşüm süreçlerini destekleyerek, Endüstri 4.0 ve akıllı üretim sistemlerine geçişi kolaylaştırmaktadır. Veri bazlı karar alma mekanizmalarının güçlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Daha kısa üretim süreleri ve düşük maliyetlerle çalışabilen firmalar, pazarda daha rekabetçi hale gelmektedir. Üretim süreçlerindeki iyileştirmeler, müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verilmesini sağlayarak müşteri memnuniyetini artırmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma sektörde üretim süreçlerinin iyileştirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi, iş gücü yönetiminin iyileştirilmesi ve dijital dönüşüm süreçlerinin desteklenmesi açısından güçlü katkılar sağlamaktadır. Bu yönleriyle hem akademik hem de endüstriyel açıdan değerli bir model ortaya koymaktadır.

Sağlamcı ve Aslan (2022), tarafından araştırılan çalışmada da simülasyon yazılımı ile operatör kazancı sağlanmıştır. Sağlamcı ve Aslan çalışmalarında en çok üretilen ürünü

takip ederek çıktıyı %41 oranında arttırmıştır. Yapmış olduğumuz çalışmada hat düzenini baz alarak kapasite, darboğaz ve işgücü üzerine analiz yapılmıştır.

Yapılan iyileştirme çalışmasında 1 operatör kazancı sağlanmıştır. Bunun maliyet kazancı 15.761₺ (\$621.25)'dir. İşletmede aynı hat düzenden 3 sistem bulunmaktadır. Çalışma işletmede yaygınlaştırılabilmektedir.

Tablo 2. Yıllık maliyet hesaplaması

Tablo 1. İstasyon Bazlı Kazanç Hesabı: <b>15.761₺</b>	Yıllık Kazanç
Aylık Kazanç (Tek İstasyon)	$15.761 * 12 = 189.132₺$
Yıllık Kazanç (İşletme)	$189.132 * 3 = 567.396₺$

Hat bazlı yıllık olarak kazanç 189.132₺'dir, işletmede aynı üretim hattından 3 sistem bulunmaktadır. İşletme bazlı yıllık kazanç 567.396₺'dir. Yapılan bu maliyet analizinin sonucunda istasyonda operatör kazancı sağlandığı için operatör ekstra üretim gücü olarak sisteme kazandırılmış olup üretim verimliliğinde artış gözlemlenmiştir.

Çalışmada operatör iş yükü dengelenmiş olsa da ergonomik faktörler ve çalışanların fiziksel/psikolojik yükleri derinlemesine incelenmemiştir. İş gücü memnuniyeti ve uzun vadeli çalışan verimliliği açısından detaylı ergonomik analizler yapılabilir. Çalışmanın devamlılığında, üretim süreçlerinin verimliliği için yapay zeka ve makine öğrenmesi teknikleri entegre edilerek, sistemin kendini adapte eden bir yapıya kavuşması sağlanabilir. Üretim sürecinin yanı sıra, hammadde tedariki ve ürün teslim süreçleri de modellenerek daha kapsamlı bir analiz yapılabilir. İş gücü üzerindeki fiziksel ve psikolojik yükler detaylı olarak incelenerek, insan merkezli üretim sistemleri tasarlanabilir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazar(lar), bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazar 1, alışmanın Kavramsal ve/veya Tasarım Süreçlerinin Belirlenmesi, alışmanın Kavramsal ve/veya Tasarım Süreçlerinin Yönetimi, Fikirsel İeriğın Eleřtirel İncelemesi, Son Onay ve Tam Sorumluluk konusunda katkıda bulunmuştur. Yazar 2, alışmanın Kavramsal ve/veya Tasarım Süreçlerinin Belirlenmesi, Veri Toplama, Veri Analizi ve Yorumlama, Makale Taslağının Oluşturulması, Son Onay ve Tam Sorumluluk konusunda katkı sağlamıştır.

### **Kaynakça**

Banks J, Jerry R., 1998. Principles of simulation. Handbook of Simulation, 12, 3-30.

Bilget S., 2015. Konfeksiyonda simülasyon tekniğıyle yalın üretim sistemlerinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Koçanalı F., 2009. Montaj hattı dengelemeye yönelik bir simülasyon modeli önerisi. Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kuğu S, Yolcan OO, Köse R., 2023. Kondenser üretim hattında Arena 16.1 destekli hat dengeleme alışması. Politeknik Dergisi, 1: 1.

Masood S., 2006. Otomatik üretim transfer hattının hat dengelemesi ve simülasyonu. Assembly Automation, 26(1): 69-74.

Özkıran A, Düşünür H., 2011. Otomotiv sektöründeki bir işletmede montaj hattının analizi ve dengeleme alışması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliğı Bölümü, İzmir.

Qattawi A, Chalil Madathil S., 2019. Yalın üretim ve dengeleme modellerinin hibrit yaklaşımını kullanarak montaj hattı tasarımı. Üretim ve Üretim Araştırması, 7(1): 125-142.

Sağlamcı Y, Aslan E., 2022. Simülasyon ile darboğazların tespit edilmesi ve süreç iyileştirme: Bir tekstil işletmesi örneğı. Journal of Academic Opinion, 2(1): 27-39.

Tağman AB., 2021. Sistem simülasyonu ile süreç iyileştirme: Bir tekstil işletme uygulaması. Doktora tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı, Karabük.