

**T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AYAKKABI İMALAT SEKTÖRÜNDE İŞ GÜCÜ VERİMLİLİĞİNİN
ARTIRILMASI**

Muhittin ERVÜZ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2022**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
1. GİRİŞ	1
1.1. Türkiye’de ve Dünyada Ayakkabı Sektörü	3
1.2. Çalışmanın Amacı	4
1.3. Çalışmanın Önemi	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM	11
3.1. Materyal	11
3.1.1. Zaman etüdü	12
3.1.2. Zaman etüdünün amaçları	12
3.1.3. Zaman etüdü kapsamı ve bilimsel yöntemi	13
3.1.4. Zaman etüdünün temel aşamaları	14
3.1.5. Zaman etüdü uygulamalarında insan faktörünün önemi	16
3.1.6. Öğrenme etkisi	17
3.1.7. Montaj hattı dengeleme	18
3.1.8. Montaj hattı dengeleme çalışmalarının amacı	18
3.1.9. Montaj hattı dengeleme çözümünde kullanılan yöntemler	19
3.1.9.1. Sezgisel yöntemler	19
3.1.9.2. Konum ağırlıklı dengeleme yöntemi	19
3.1.9.3. Analitik yöntemler	20
3.1.9.4. Benzetim teknikleri	20
3.1.10. Montaj hattı dengeleme için ön hesaplar	21
3.1.10.1. İş ögesi	21
3.1.10.2. İş istasyonu	21
3.1.10.3. Toplam iş süresi	21
3.1.10.4. İş istasyonu süresi	21
3.1.10.5. Çevrim süresi	22
3.1.10.6. Gerekli olan minimum istasyon sayısı	22
3.1.10.7. Ortalama iş istasyonu süresi	23
3.1.10.8. Öncelik diyagramı	23
3.1.10.9. Öncelik matrisi	24
3.1.10.10. Hat etkinliği	24
3.2. Yöntem	25
3.2.1. Simülasyon	25
3.2.2. Simülasyon modelleri	26
3.2.2.1. Statik veya dinamik	26
3.2.2.2. Belirli veya olasılıklı	26
3.2.2.3. Kesikli veya sürekli	26
3.2.3. Simülasyonun kullanıldığı alanlar	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	28
4.1. Uygulama Yapılan Sektörün İş Akışı	28
4.1.1. Kesim	32
4.1.2. Rekapta	32
4.1.3. Saya	32
4.1.4. Saya Kontrol	32
4.1.5. Saya Hazırlık	32
4.2. Mevcut Durum Zaman Etüdü	34

4.3. Öğrenme Etkisi.....	40
4.4. Montaj Hattı Dengeleme	41
4.5. Simülasyon.....	45
4.5.1. Mevcut durum çıktıları.....	46
4.5.2. Mevcut durumun öğrenme etkili senaryo çıktıları	47
4.5.3. Mevcut durumun öğrenme etkisi ve konum ağırlıklı dengeleme senaryo çıktıları.....	50
4.5.4. Mevcut durumun öğrenme etkisi ve konumdan bağımsız dengeleme senaryo çıktıları	51
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ	60
EKLER	61
EK 1. Simülasyon modeline ait Arena 10.0 görünümü.....	61
EK 1. Simülasyon modeline ait Arena 10.0 görünümü (Devamı)	61
EK 2. Simülasyon modeline ait gelişler arası sürelerin Arena görünümü.....	62



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AYAKKABI İMALAT SEKTÖRÜNDE İŞ GÜCÜ VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

Muhittin ERVÜZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İ.Hakan KARAÇİZMELİ
Yıl: 2022, Sayfa:62

Verimlilik çalışmaları sanayi üretiminin başladığı tarihten itibaren devam etmektedir. Bu çalışmalar farklı araçlar kullanılarak yapılmaya çalışılsa da temelinde karlılık esaslı çıktılar bulunmaktadır. Zaman etüdü verimlilik çalışmalarının temelini oluşturan bir araçtır. Zaman etütleriyle bir işin nasıl ve ne kadar sürede yapılması gerektiği sorusuna cevap aranmaktadır. Fakat tek başına bir çözüm yöntemi değildir. Operasyonlarda zaman içerisinde çalışanların işe alışmasından kaynaklı öğrenme etkisi ortaya çıkabilmektedir. Bu öğrenme etkisi operasyonların zorluk derecelerine göre farklılık gösterebilmektedir. Montaj hattı dengeleme ise, üretim hattı boyunca operasyon işlem sürelerinden kaynaklı boşa kalma ve fazla iş yüklemelerini tespit ederek istasyonlar arasındaki işlem sürelerini aynı seviyeye çekmeyi amaçlamaktadır. Üretim hatlarında yapılan çalışmaların hatlarda nasıl değişimlere sebep olduğunu incelemek amacıyla da simülasyon yöntemi kullanılmaktadır. Hatlarda belirlenen anahtar performans göstergelerine göre simülasyon çıktıları karşılaştırılarak ekonomik yöntem seçilmektedir. Bu çalışmada tekstildeki konfeksiyon dikim bantlarına benzeyen ayakkabı dikim bantlarında kişi başına düşen üretim miktarlarını arttırmaya yönelik senaryo analizleri yapılmıştır. Öncelikle zaman etüdü yardımıyla ortalama işlem süreleri belirlenmiştir. Ardından diğer çalışmalardan farklı olarak öğrenme etkisi ile işlem süreleri geliştirilmiştir. Konum ağırlıklı ve konumdan bağımsız montaj hattı dengeleme çalışmaları ile simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada önerilerde bulunulmuş ve bu önerilerin daha verimli olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında mevcut duruma göre önerilen durumda kişi başı üretimde %29,6, çift başı maliyetinde ise %22,86 oranında iyileşme sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Zaman Etüdü, Öğrenme Etkisi, Montaj Hattı Dengeleme, Simülasyon

ABSTRACT

MSc Thesis

INCREASING LABOR EFFICIENCY IN THE SHOE MANUFACTURING INDUSTRY

Muhittin ERVÜZ

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. İ.Hakan KARAÇİZMELİ
Year: 2022, Page:62**

Efficiency studies have been continuing since the start of industrial production. Although these studies are tried to be carried out using different tools, there are profitability-based outputs on the basis of it. Time study is a tool that forms the basis of productivity studies. With time studies, an answer is sought to the question of how and how long a job should be done. But it is not a stand-alone solution. A learning effect may occur in operations over time as employees get used to the job. This learning effect may differ according to the difficulty levels of the operations. Assembly line balancing, on the other hand, aims to bring the processing times between stations to the same level by detecting idle and overload due to operation processing times along the production line. Simulation method is also used in order to examine how the works done on the production lines cause changes in the lines. The economic method is selected by comparing the simulation outputs according to the key performance indicators determined on the lines. In this study, some scenarios have been tried to increase the per capita production of shoe sewing tapes, which are similar to garment sewing tapes in textiles. First of all, the average processing times were determined with the help of time study. Then, unlike other studies, processing times were improved with the learning effect. Position-weighted and position-independent assembly line balancing studies and simulation studies were carried out. More efficient working suggestions were made. When the results are compared, according to the current situation, 29.6% improvement in per capita production and 22.86% improvement in cost per pair has been achieved in the proposed situation.

KEY WORDS: Time Study, Learning Effect, Assembly Line Balancing, Simulation

TEŞEKKÜR

Tez alıőmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen Endüstri Mühendisliği Bölümü Dr. Öğr. Üyesi İ.Hakan KARAÇİZMELİ hocama teşekkürlerimi sunarım.

Uygulamada kullanılan verilerin toplanmasında desteği olan iş yeri çalışma arkadaşlarım Yasemin İMREK ve Mehmet GÖKKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez alıőması esnasında manevi desteğini eksik etmeyen Yaęmur KIVILCIM' a teşekkürlerimi sunarım.



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3. 1. Uygulamada izlenen yol	11
Şekil 3. 2. Dinlenme payları tablosu	15
Şekil 3. 3. Öncelik diyagramı	23
Şekil 3. 4. Simülasyon süreci	25
Şekil 4. 1. Ayakkabı bilgisayarlı kesim işlemleri	29
Şekil 4. 2. Ayakkabı rekapta kesim işlemleri	29
Şekil 4. 3. Ayakkabı saya dikim işlemleri-1	30
Şekil 4. 4. Ayakkabı saya dikim işlemleri-2	30
Şekil 4. 5. Ayakkabı montaj işlemleri-1	31
Şekil 4. 6. Ayakkabı montaj işlemleri-2	31
Şekil 4. 7. Mevcut durum öncelik diyagramı	42
Şekil 4. 8. Uygulamada kullanılan arena modülleri	45
Şekil 4. 9. Önerilen senaryonun operasyon öncelik diyagramı	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3. 1. Öncelik matrisi	24
Çizelge 4. 1. Operasyon işlemleri ve parça sayıları	35
Çizelge 4. 2. Operasyonlara ait dağılım payları	36
Çizelge 4. 2. Operasyonlara ait dağılım payları (Devamı)	37
Çizelge 4. 3. Mevcut durum standart süre hesaplanması	38
Çizelge 4. 4. Operasyonlara ait kapasite ve hedef adam hesapları	39
Çizelge 4. 5. Grupların öğrenme oranları	40
Çizelge 4. 6. Öğrenme oranı verileri	40
Çizelge 4. 7. Öğrenme oranı verileri-2	40
Çizelge 4. 8. Mevcut durum operasyon öncelikleri	41
Çizelge 4. 9. Mevcut durum öncelik matrisi	43
Çizelge 4. 9. Mevcut durum öncelik matrisi (Devamı)	43
Çizelge 4. 10. Konum ağırlıklı dengeleme sonuçları	44
Çizelge 4. 11. Simülasyon modelinin doğrulanması	46
Çizelge 4. 12. Mevcut durum arena çıktıları	47
Çizelge 4. 13. Öğrenme etkili simülasyon çıktıları	48
Çizelge 4. 14. Operasyonların öğrenme oranlı süreleri	49
Çizelge 4. 15. Öğrenme etkili konum ağırlıklı dengeleme çıktıları	50
Çizelge 4. 16. Öğrenme etkili konumdan bağımsız dengeleme çıktıları	51
Çizelge 4. 17. Senaryoların karşılaştırılması	53

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Ç.M	Çıktı Miktarı
Ç.S	Çevrim Süresi
H.E	Hat Etkinliği
K.S	Kişi Sayısı
K.B.Ü	Kişi Başı Üretim
K.K.O	Kaynak Kullanım Oranı
K.B.S	Kuyrukta Bekleme Süresi
SKU	Stok Tutma Birimi
T.İ.S	Toplam İş Süresi



1.GİRİŞ

Günümüzde rekabetin artmasıyla birlikte birçok işletme üretim kaynaklarının %100 yakınına kullanmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. Fakat bu çalışmalar doğrudan çok hızlı ve sonuç veren çalışmalar olmalıdır. Üretim hattında veya yerleşim düzeninde yapılacak çalışmaların, devreye alınmadan önce geçerliliğini test etmek ve karşılaşılabilecek problemleri en aza indirmek önemli aşamalardan biridir. Verimlilik işletmenin çıktı miktarıyla, üretimde kullanılan kaynakları arasındaki orandır (Demirbaş, 2019).

Zaman etüdü, bir işletmede bulunan operasyonların verimliliğini kısıtlar altında inceleyen, ekonomiklik ve verimlilik bakımından insan çalışmalarını inceleyen bir metottur (Yaylıcıoğlu, 2001). Bu yöntem çalışma koşullarını da göz önünde bulundurarak personelin hareketlerini farklı zaman ve günlerde kaydeder operasyonların standart zamanlarının tespiti için temel teşkil eder. İşletmeler prosesleri kısıtlayan işlemleri tespit etmenin yanı sıra personel performanslarını değerlendirmek üzere bu yöntem kullanılmaktadır. Zaman etütleri yoluyla standart süreler belirlenir ancak emek yoğun işlerde personeller zamanla tecrübe kazanır. Bu nedenle aynı işi bir süre yaptıktan sonra işlem süreleri değişebilir. Buna literatürde öğrenme etkisi denilmektedir.

Öğrenme etkisi ilk olarak havacılık endüstrisinde Wright tarafından ele alınmıştır. Wright üretim miktarı iki katına çıktığında verimliliğin arttığını ve üretim süresinin düştüğünü bunun sonucu olarak da maliyetlerin azaldığını ortaya koymuştur (Kayapalı ve Çalmaşur, 2021). Üretim süresi boyunca farklı zamanlarda yapılan zaman etütlerinde işlem sürelerinde değişim meydana gelmektedir. Personelin öğrenme etkisine bağlı olarak sürelerde azalma gözlemlenebilir. Operasyon sürelerindeki bu değişimleri dikkate almak, verimlilik çalışmalarının sonucunu daha da geçerli kılacaktır. Üretim hatlarındaki personellerin öğrenmeyle beraber işlem sürelerinden kaynaklı dengesizliklerden dolayı ara stok ve personelin boşta beklemesi

meydana gelebilir. Bu problemlerde montaj hattı dengeleme metoduyla çözümlenerek hattın verimli çalışması sağlanabilir.

Montaj hattı dengeleme, seri veya paralel çok fazla operasyonların zaman etüdü yöntemiyle süreleri tespit edildikten sonra hat boyunca eşit oranda iş dağılımı yaparak personel kaynağını maksimum düzeyde kullanmaya yönelik yapılan çalışmalardır. Montaj hattı dengeleme parça sayısı ve işlem sayısı fazla emek yoğun sektörlerde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde personel, makine ve zaman kısıtları maksimum düzeyde kullanılacak şekilde tekrar tasarlanmaktadır. Montaj hattı dengeleme çalışması yapıldıktan sonra mevcut durum ve önerilecek durumun çıktılarının üretimde değişiklik yapılmadan karşılaştırılması için simülasyon yöntemi kullanılır.

Simülasyon, gerçek sistemin verilerinin üzerinde yapılacak değişikliklerin sonucunu bilgisayar ortamında sonuçlarını gözlemek ve deney sonuçlarını yorumlamak için kullanılan bir araçtır. Simülasyonda gerçek sistem verilerini programa ne kadar doğru oranda aktarırsa gerçeğe yakın sonuçlar almak daha da kolaylaşmaktadır.

Bu çalışmada da insanoğlunun temel ihtiyaçlarından olan giyinme ihtiyacının önemli bir parçası olan ayakkabının imalat süreçleri üzerinde durulmuştur. Ayakkabı imalatının emek yoğun kısmı olan saya dikiminde iş gücü verimliliği artırmak için zaman etüdü, öğrenme etkisi, montaj hattı dengeleme ve simülasyon çalışmaları birlikte kurgulanmıştır. Uygulama kısmında yıllık 3 milyon çift ayakkabı üretimi yapan bir işletmenin üretim bandından alınan operasyon sürelerinin standart süreleri tespit edilmiştir. Ardından bu süreler belirlenen öğrenme etkisi ile tekrar hesaplanmıştır. Öğrenme etkisiyle hesaplanmış operasyon sürelerinde darboğazlar tespit edilerek hattın dengelenmesi amaçlanmıştır. Dengeleme esnasında birden fazla senaryo çalışılmıştır. Bu senaryolar da simülasyon yardımıyla karşılaştırılmıştır. Senaryolara göre kişi başı üretim ve çift başına düşen maliyet kriterleri bakımından uygun senaryo seçimi yapılmıştır.

1.1. Türkiye’de ve Dünyada Ayakkabı Sektörü

Uluslararası verilere göre yılda kişi başı ortalama 2 çift ayakkabı kullanılmaktadır. Ayakkabı türleri bakımından da son yıllarda spor ayakkabı kullanımı giderek artmaktadır. Spor ayakkabılar günümüzde yürüyüş ve antrenman dışında moda bakımından da kullanım amaçları arasında yer almıştır (DOĞAKA, 2014).

Dünyada ayakkabı üretiminin %85’i Uzak Doğu ülkeleri tarafından karşılanmaktadır. Uzak Doğu Ülkeleri arasında Çin %70 üretimle büyük oranda söz sahibidir. Daha sonra sırasıyla Hindistan, Vietnam, Endonezya, Pakistan gibi nüfus yoğunluğu fazla olan ülkeler bu sırayı takip etmektedir (DOĞAKA, 2014).

Türkiye ‘de 1950’li yıllardan itibaren insan gücünden makine gücüne dayalı üretime geçilmeye başlanmış olmasına rağmen makineleşme tam olarak sağlanmamıştır. Üretimin %60’a yakını atölye tipi üretim yerlerinde yapılmaktadır. Bu üretim şeklinden dolayı da sektörde kapasiteyi tam kullanama problemi vardır. Sektördeki işletmeler ağırlıklı olarak İstanbul ve İzmir’de bulunmaktadır. Konya, Bursa, Gaziantep ayakkabı üretimi yapılan diğer üretim merkezleridir. Son olarak Şanlıurfa’daki kümelenmeyle ayakkabı üretiminin yapıldığı son önemli şehirlerdendir (DOĞAKA, 2014).

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, ayakkabı üretim işletmesinin emek yoğun bölümü olan saya biriminde gerçekleştirilmiştir. Üretim bantlarındaki plansız iş gücü ve makine yerleşimi, bekleme neden olmakla beraber ara stokların fazla olmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerde personelin boşa beklemesine sebep olmakta ve darboğaz meydana getirmektedir.

Son yıllarda modağa bağılı giyim trendinin değışmesi ürün çeşitliliğinin artmasına neden olmuştur. Çeşitlilik arttıkça sipariş miktarlarının değışmesi üretim gün süresinin azalmasına neden olmuştur. Sipariş miktarlarındaki azalma model değışim sayılarını artırmakla beraber verimsiz çalışmalara neden olmuştur. Sektörde üretim öncesi hazırlık çalışmaları yeterli olmadığı için iş gücü planlama, darboğazları tespit etme konularında yetersiz kalınmasına yol açmakla beraber verimsiz çalışmaya neden olmaktadır.

Bu uygulamanın amacı dikimi yapılacak modellerin operasyonlarını üretim öncesi tespit ederek üretim esnasında meydana gelebilecek darboğazları tespit etmek, hattı dengelemek, çevrim süresini de düşürerek kapasiteyi kullanarak verimli çalışmaktır.

1.3. Çalışmanın Önemi

Emek yoğun sektörlerde iş gücünün verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar zaman etüdü, hat dengeleme ve simülasyon yöntemleriyle değerlendirilmiş olup çözüm yöntemleriyle değerlendirilmeye çalışılmıştır. Çalışmalarda temel amaç kaynakların verimli kullanılarak çevrim süresinin düşürülmesi, darboğazların ortadan kaldırılması ve personelin boşta bekleme sürelerinin en aza indirilmesidir.

Bu çalışmada literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak personellerin işlem süreleri üzerindeki öğrenme etkisi de dikkate alınmıştır. Üretimden alınan operasyon süreleri, hat dengeleme çalışması yapılmadan önce, öğrenme etkisiyle yeniden hesaplanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ayakkabı sektöründe literatür taraması yapıldığında sektöre yönelik markalaşma, müşteri memnuniyeti ve malzeme yönetimine yönelik çalışmalara sıkça rastlanmıştır.

Türkiye’de sektörün üretim sürecine yönelik verimliliği arttıracak, zaman etüdü, montaj hattı dengeleme konularında yapılan araştırmalar sınırlı sayıdadır. Bunun başlıca nedenlerini sıralayacak olursak;

- Sektördeki işletmelerin kurumsal yapıya geçememesi
- İşletmelerin daha çok atölye tarzı üretim yapması
- Yarı mamul girdi sayısının fazla olması ve üretime öncelik verilmesi
- Sektörün yönetici pozisyonunda eğitilmiş yeteri kadar yönetici bulunmamasıdır.

Literatür taramalarında ayakkabı üretiminin yoğun olan ülkelerde yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde zaman etüdü, montaj hattı dengeleme simülasyon çalışmalarına rastlanmıştır. Çalışmalar sonucunda verimliliği etkileyecek sonuçlar ortaya konulmuştur. İş ve zaman etütleri yapılarak işletmelere yeni yerleşim düzeni ve standart sürelerin belirlenmesinde yardımcı olacak yöntemler geliştirmişlerdir. Bu çalışmada ise yapılan zaman etütleriyle üretimde darboğaz noktalar belirlenerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Darboğaz noktalarına yönelik çözüm senaryoları simülasyon yardımıyla üretimde değişiklik yapılmadan çıktı miktarlarına etkisi ortaya konulmuştur.

Baraçlı (1998), ayakkabı üretiminde kalite bakımından üretim süreçlerinde sıfır hataya ulaşmada Poke-Yoke tekniğini kullanmıştır. Mia ve ark. (2017), ayakkabı imalatı yapan bir firmada pareto ve değer akış haritalandırma yöntemlerini kullanarak iş akışında katma değer yaratmayan, darboğaz oluşturan noktaları belirleyip ürünlerin müşteriye teslim süresini düşürmeyi hedeflemiştir. Fornasiero ve ark. (2009), ayakkabı

üretimi yapan bir işletmede tedarik zinciri yönetimine yönelik iyileştirmeleri Değer Akış Haritalandırma yöntemiyle belirleyerek çeşitli önerilerde bulunmuştur. Briciu (2015), ayakkabı imalatı yapan bir firmada Değer Akış Haritalandırma kullanarak değer katmayan işlemleri azaltarak proses çevrim süresini düşürmüştür.

Noor (2018), 4 farklı ayakkabı üretim işletmesinde dikim prosesinin verimliliğini arttırmak için montaj hattı dengelemesi yaparak iş gücü verimliliği ve ürün çıktı miktarının artırılmasıyla ilgili çalışma yapmıştır. Covas (2014), ayakkabı imalatı yapan fabrikada müşteriden gelen isteklere cevap verebilmek için, işletmede darboğaz olan dikim bölümünün hat değişikliklerine hızlı uyum sağlayabilmek için simülasyon yardımıyla hat dengeleme yapılmaya çalışılmıştır.

Mulugetan (2011), Ramsey ayakkabı fabrikasının dikim ve montaj hattında Arena yardımıyla mevcut durumu modellemiştir. İşletmenin verimli çalışmamasına neden olan dikim bölümündeki darboğaz noktalara yoğunlaşmıştır. Bu birimde benzer işlemlerin birleştirilmesi, darboğaz noktalarda çalışan düşük kapasiteli personele daha basit işler verilerek çözümler üretilmeye çalışılmıştır.

Wube (2019), ayakkabı fabrikasının dikim ve montaj hatlarının üretimdeki darboğazlarına çözümüne yönelik Simülasyon yönteminden yararlanmıştır. Çalışma sonucunda hat verimliliği %54'ten %87'ye, üretim verimliliği ise %76'dan %86'ya çıkarılmıştır. Chen ve ark. (2014), ayakkabı üretiminin dikim hattında kişi başına üretim miktarını performans göstergesi olarak kabul ederek, dikim hattını simülasyon ile incelemiştir. Çeşitli senaryolar değerlendirilmiş olup, en uygun yöntem belirlenerek önerilerde bulunmuşlardır.

Kurşun ve Kaloğlu (2009), kazak dikimi yapan konfeksiyon işletmesinde zaman etüdü yaparak veri toplamışlardır. Bu veriler mevcut durumla beraber Simülasyona yansıtılmıştır. Modeldeki darboğazlar farklı senaryolar ile çözümlenerek mevcut durum kıyas edilmiştir. Bu senaryolarda sırasıyla %7, %24, %52 oranında iyileşme gözlenen sonuçlar ortaya konulmuştur. Günday (2012), beyaz eşya imalatı yapan işletmede yeni ürün ve vardiya değişimlerinde çalışan profillerinin süreçlere adaptasyonunu üç parametrelili hiperbolik model kullanarak performans değişimlerini incelemiştir.

Güneş (2012), üretim işletmelerinde öğrenme etkisi üzerinden yola çıkarak maliyet tahmini, karlılık ve başa baş analizi konularında araştırmalar yapmıştır. Saban ve Köse (2003), üretim maliyetlerinde öğrenme etkisini grafik ve matematiksel modellerle incelemiştir. Denizcilik endüstrisinde üretim maliyetlerinin tahmin edilmesine ilişkin uygulama yapmışlardır. Erol ve Çetiner (2008), öğrenmenin işçilik maliyetlerini azaltmada bir araç olarak kullanılmasını incelemiştir.

Eryürük ve ark. (2014), etek üretimi yapan bir firmada konum ağırlıklı montaj hattı dengeleme yöntemini kullanarak çözüm önerisinde bulunmuştur. Bozbahçe (2017), bir konfeksiyon işletmesinde “U” tipi yerleşim için pozisyon ağırlık metoduyla hat dengeleme çalışması yaparak hattın etkinliğini ölçmüştür. Germanes ve ark. (2017), ayakkabı üretimi yapan işletmede darboğaz noktaları belirleyip zaman etüdü ve montaj hattı dengeleme yöntemlerini kullanarak hatların verimliliğini arttırmaya çalışmışlardır. Çalışma sonucunda hattın verimliliği %72,39’dan %77,30’a çıkarılmıştır.

Baykal ve Tunç (2011), konfeksiyon sektöründe bornoz dikimi yapan bir işletmede, darboğazları zaman etüdü yardımıyla ortaya koymaya çalışmışlardır. Akın (2015), mobilya üretimi yapan bir firmada kanepeler ve oturma grubu döşeme hattında konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemiyle iş istasyonu sayısı azaltarak çıktı sayısında %16 oranında artış sağlamıştır.

Eryürük (2009), elbise üretimi yapan bir işletmede Olasılıklı Hat Dengeleme ve En Büyük Küme Algoritma kuralını kullanmıştır. Çalışmada optimum makine ve personel kullanarak hat verimliliğini maksimum yapan montaj hattı dengeleme yapılmaya çalışılmıştır. Yapılan dengeleme çalışması sonucunda 34 iş istasyonu 29'a düşürülmüştür.

Eryürük ve ark. (2014), bir giyim firmasında Pozisyon Ağırlık Yöntemi ve Olasılıklı Hat Dengeleme Yöntem'lerinden hangisinin daha verimli olduğunun kıyaslaması yapılmıştır. Kayar ve Akalın (2015), pantolon üretimi yapan bir firmada manuel ve manuel-otomat makinelerden oluşan iki farklı montaj hattının hat verimliliğini karşılaştırmıştır. Otomat makinelerinin ve otomat-manuel makinelerin kullanıldığı hatların verimliliği sırasıyla %77 %44 sonucu ortaya koyulmuştur.

Umarani ve Valase (2017), hazır giyim sektöründe müşteri siparişlerinin karşılayabilmek için mevcut hattı makine ve personel bakımından yeniden tasarlayarak montaj hattının saatlik verimi %25 oranında arttırmışlardır.

Doğan ve Takçı (2015), hazır giyim işletmesinde montaj hattında yapılması düşünülen değişikliklerin etkisini simülasyon yardımıyla incelemişlerdir. Mevcut durumdaki makine, personel sayısı sabit kalarak mevcut ve gelecek durumdaki çıktılar simülasyonla değerlendirilmiştir. Gelecek durum için çıktı bakımından %47 oranında iyileşme sağlamışlardır.

Akın (2015), mobilya üretimi yapan işletmede hat dengeleme ve benzetim tekniklerini kullanarak montaj hattı dengeleme çalışması yapmıştır. Çalışmada "konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi" ile istasyon sayısını azaltmıştır daha sonra da çevrim süresini azaltarak çıktı sayısında %16 oranında iyileştirme sağlamıştır.

Nagi ve ark. (2013), motor üretimi yapan fabrikada çok ürünli montaj hattını dengelemesi için çalışma yapmışlardır. Fabrikada çekme üretim sistemi tekniği kullanılarak verimlilikte %14 artış sağlamışlardır. Faccio ve ark. (2013), İtalyan otomotiv endüstrisinde montaj hattı dengeleme probleminde süper market çekme sistemi uygulamış ve sonuçlarını simülasyon ile karşılaştırmışlardır.

Büyüksaatçi ve ark. (2015), LCD TV üretimi yapılan montaj hattını sezgisel ve matematiksel yöntemleri kullanarak hat tasarımı yapmışlardır. Bu tasarım sonuçlarının Simulasyon çıktılarını karşılaştırarak verimliliği artırma çalışmaları yapmışlardır. Bon ve Shahrin (2017), Malezya'da motor üretimi yapan fabrikada montaj hattında makine ve işgücünün verimli kullanılmasına yönelik senaryolar ortaya koyup sonuçlarını Simülasyonla değerlendirmişlerdir.

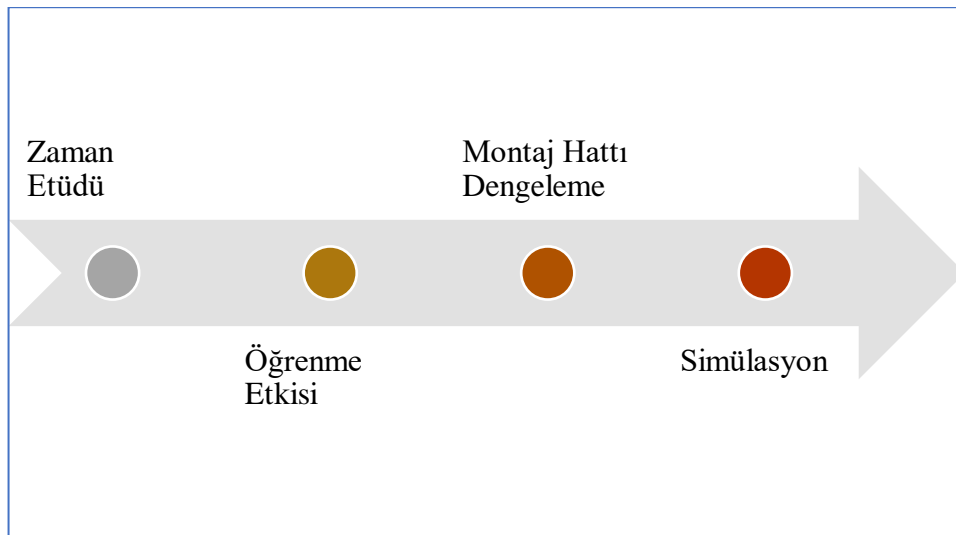
Güner ve Ünal (2008), tişört üretimi yapan konfeksiyon işletmesinde üretimi yapılacak modellerin hat tasarımını Simülasyon yardımıyla belirlemeye çalışmıştır. Üretim öncesi gerekli personel, makine gibi darboğazları analiz ederek, beklenmedik durumlara karşı tasarlanan hattın analizini ortaya koymaya yardımcı olacak aksiyon önerilerinde bulunulmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Emek yoğun sektör olarak bilinen ayakkabı sektöründe son yıllarda üretim kapasitesinin artışına bağlı olarak verimli çalışma konuları da önem kazanmıştır. Bu çalışmada ise öncelikli olarak zaman etüdü çalışmasıyla standart süre tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonrasında üretim yapıldıkça değişen işlem sürelerine, öğrenme etkisi etki ettirilerek operasyonlarda hat dengeleme çalışması yapılmıştır. Çalışma esnasında birden fazla senaryo ortaya atıldığı için senaryodaki değişimler de simülasyon yardımıyla denenerek verimli yöntem bulunmaya çalışılmıştır. Çalışmada izlenen yol Şekil 3.1. de verilmiştir.

Bu çalışmadaki problem yıllık üretim miktarı 3 milyon çift olan 2000'den fazla çalışanı olan bir ayakkabı işletmesinin dikim bantlarında Arena 10.0 yardımıyla çalışan personellerin üretim zamanından maksimum düzeyde faydalanmak üzere denemeler yapılmıştır. Yıllık ortalama 360'a yakın model 800'e yakın sku ile çalışılmaktadır. Mevcut personellerin tecrübe ortalamaları 3.8 yıldır.



Şekil 3. 1. Uygulamada izlenen yol

3.1.1. Zaman etüdü

İşletmeler gelişim bakımından potansiyel faaliyetleri barındırmaktadır. Yapılan üretim faaliyetlerinin verimli olup olmadığını tespit etmek amacıyla zaman etüdü kavramı en temel yapı taşıdır. Yapılan ölçümler sayesinde üretim faaliyetlerini kısıtlayan darboğaz operasyonlar tespit edilerek bu noktalarda nasıl gelişim sağlanacağına faaliyet adımları oluşturulur.

Zaman etüdünün temelinde yatırım yapmadan eldeki veri ve kaynaklarla daha iyiye ulaşma hedefi vardır. Zaman etüdü ekonomiklik, karlılık ve verimlilik gibi önemli sonuçlar elde etmeye yönelik çalışmalar içermektedir.

Zaman etüdü işletmelerde temel olarak hangi işten ne kadar yapılacağını tespit ederek çalışan performansını takip etmeye yönelik kullanılır. Fakat zaman etüdü verimlilikten üretim planlamaya kadar birçok konuya da yardımcı olabilmektedir. Bunlar standart süre tespiti, termin ve kapasite planlaması gibi konulara da temel teşkil etmektedir.

3.1.2. Zaman etüdünün amaçları

Zaman etüdü, bir operasyonu verimli hale getirmeyi ve bu çalışmalarını az maliyetle yapmayı amaçlamaktadır. Mevcut kaynakları kullanarak herhangi bir yatırım maliyeti gerektirmeden verimliliği arttırmayı hedeflemektedir. Bu arada operasyonların maliyetlerini işçilik ve hammadde kısıtı altında inceleyerek verimli çalışmayı amaçlamaktadır.

Zaman etüdünün amaçları aşağıdaki başlıklar altında özetlenebilir (Kuruüzüm, 1992).

- Verimli olmayan faaliyetleri iptal etmek,
- Gerekli olan faaliyetleri verimli şekilde uygulamak,
- Çalışma sisteminin standartlaştırmak,
- Operasyonların standart sürelerini doğru tespit etmek,

- Üretimdeki kaynakları maksimum oranda kullanmak,
- İşgücünü eğitmek (Yaylıcıoğlu, 2001).

3.1.3. Zaman etüdü kapsamı ve bilimsel yöntemi

Zaman etüdü çalışması genellikle yapılan operasyonun detayını ve işi yapan kişinin faaliyetlerini inceler. Ancak işin yapılması esnasında işgücüyle birlikte üretim esnasında kullanılan makine, tezgâh ve yerleşim düzenini de inceleyerek analizlerde yapabilir. Bu analizler sonucunda yerleşim düzeni, personel ve makine sayısı bakımından değişikliklere ihtiyaç duyabilir. Zaman etüdü tek başına teknolojik gelişmeleri içeremez.

Zaman etüdü, bir problemi çözmek için aşağıdaki soruları sorar;

- İş nasıl yapılıyor?
 - Problemin tanımlanması
 - Bilgi toplanması
 - Problem analizi
 - Çözüm yollarının araştırılması
- İş nasıl yapılmalıdır?
 - Uygun yöntemi seçme
 - Uygulama

İş nasıl yapılıyor sorusunun cevabı bulunduktan sonra, işin ne kadar sürede yapılması gerektiğiyle ilgili hesaplar yapılır.

3.1.4. Zaman etüdünün temel aşamaları

Zaman etüdü 8 ana aşamadan oluşur (Kanawaty, 1997). Bu aşamalarda yapılacak işlemlerin tamamı sorgulayıcı ve detaycı gözlemlenerek ilerlemelidir. Buradan çıkacak en önemli sonuç ise standart hale getirilmesi olmalıdır. Zaman etüdünde normal zaman tespit edildikten sonra standart süre hesaplanırken Şekil 3.2 (Kobu, 2012)'deki dinlenme payları dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu paylar işlemin zorluk derecesine göre değişmektedir.

Zaman etüdünü temel aşamaları;

1. Etüt yapılacak işin veya sürecin seçimi,
2. İş veya süreçle ilgili bilgilerin toplanarak kaydedilmesi,
3. Yapılan işin sorgulayarak gözden geçirilmesi,
4. Bütün detayları göz önünde bulundurarak uygun yöntemin seçilmesi,
5. Seçilen yöntem için gerekli standart zamanın belirlenmesi,
6. Yeni yöntemin her koşul altında geçerli standartlarının belirlenmesi,
7. Yeni yöntemin standart hale getirilmesi,
8. Yeni standardın denetimle sürdürülmesidir (Yaylıcıoğlu, 2001).

İşlemlere ait temel süreler tespit edilerek Normal Zaman Denklem 3.1'deki gibi hesap edilir (Yücel ve Dilik, 2021). Normal zaman değerleri üzerinden dinlenme payları eklenerek Standart süre hesaplaması aşağıdaki Denklem 3.2. deki gibi yapılmaktadır (Yücel ve Dilik, 2021);

- Normal Zaman: nz
- Tempo: e
- Kişisel İhtiyaç Payı: n
- Kişisel Dinlenme Payı: r
- Temel Zaman: tz
- Standart Zaman: sz olmak üzere,

$$tz = (nz * e) / 100 \quad (3.1)$$

$$sz = tz * (1 + n + r) \quad (3.2)$$

DİNLENME PAYLARI	
FAKTÖRLER	PAYLAR (%)
A) KİŞİSEL İHTİYAÇLAR	2-5
B) YORULMA PAYLARI	
1) Bedensel Çaba Yorgunluğu ve Beceri	
Çok hafif	2
Hafif ve ustalık isteyen	4
Orta ağırlıkta ve ustalık isteyen	8
Ağır	16
Çok ağır	24
2) Düşünsel Çaba Yorgunluğu	
%30-40 yoğunluk	1
%41-50 yoğunluk	2
%51-75 yoğunluk	4
%76 ve fazlası yoğunluk	8
3) Çalışma Esnasındaki Duruş Pozisyonu	
Oturma	1
Ayakta	2
Eğilme ve uzanma	4
Yürüme	10
4) Gürültü	
Normal sesle konuşmak	0
Konuşmak için ses yükseltmek gerekirse	1
Bağırarak konuşulabiliyorsa	2
Gürültü konuşmayı engelliyorsa	4
Düzensiz ve sürekli normal gürültü varsa	1
5) Göz Yorgunluğu	
Çıplak gözle yapılan işler	0
Gözlük kullanılıyorsa	4
Mikroskop ve benzeri cihazlar kullanılıyorsa	6
6) Çevre ve Ortam Şartları	
Büro ve benzeri yerler	0
Duman ve yağ kokusu olan yerler	3
Aşırı rahatsızlık veren unsurlar varsa	6
Aşırı soğuk ve sıcak ortamlarda	6
Zararlı kimyasal maddelerin bulunduğu yerlerde	6
C) GEÇİKME PAYLARI	
Dinlenme araları verilmesi (çay içme ve benzeri gibi)	0
Anzi	1-5
Hazırlık	0

Şekil 3. 2. Dinlenme payları tablosu (Kobu, 2012)

3.1.5. Zaman etüdü uygulamalarında insan faktörünün önemi

Zaman etüdü çalışması zaman, makine ve yerleşim düzeninden kaynaklı israfların nedenlerini araştıran sistematik bir tekniktir. İrafların başlıca nedenleri personelin iyi eğitilememesi ve yeterli denetimin yapılmamasıdır. Yöneticiler, ustabaşılar ve işçiler kaynakları verimli kullanmanın önemini yeteri kadar bilemeyebilirler. Zaman etüdünün yararları usta, çalışan ve yöneticilere başlangıçta anlatılmalıdır.

Zaman etüdü çalışmalarına başlanırken üst yönetim desteği alınmalıdır. Çalışmalarda ustabaşı ve personelin zaman etüdüne inanmaları ve destekleri çalışmayı olumlu ve olumsuz yönden etkileyebilmektedir. Zaman etüdünün amaçları ve yararları tam açıklanmazsa bazı dirençlerle karşılaşılması muhtemeldir. Ustabaşının direnç gösterme nedenleri arasında üretim miktarında gelebilecek muhtemel artışta otoritesini kaybedeceği kaygısı yer almaktadır. Zaman etüdü uzmanı dirençle karşılaşmamak için, doğrudan personel emir verilmemelidir. Ayrıca üretimde yapılacak değişikliklere ustabaşını dahil etmeden başlanılmamalıdır. Zaman etüdü uzmanı bazı kurallara uygun olarak hareket etmelidir (Tunçbilek, 2019). Bu kurallar:

- Zaman etüdü uzmanı yapılacak etüdün detayını ilgili kişilere anlatmalıdır.
- Personelin çözüm önerileri sunmaya uygun bir ortam hazırlamalıdır.
- Çalışanlardan gelen önerilere açık ve teşvik edici olmalıdır.
- Zaman etüdü uzmanı, sadece verimlilik değil motivasyonu da arttıracak faaliyetleri izlemelidir.

3.1.6. Öğrenme etkisi

Öğrenmeyle ilgili kavramlar 1936 yılında Wright tarafından matematiksel model haline dönüştürülmeye çalışılmıştır (Kayapalı ve Çalmaşur, 2021). Üretim miktarının birikimli olarak iki katına çıktığında işçilik süresinin sabit oranda azaldığı düşüncesini ortaya koymuştur.

Üretim proseslerinde işlerin sürekli ve uzun dönemli yapılmasına bağlı olarak yapılan işle işçi arasındaki uyum giderek artar. Uyumun artması işçilik süresi ve çıktı miktarlarında olumlu yönde değişikliklere yol açmaktadır. Öğrenme etkisi doğrudan işlem sürelerini ve maliyeti etkilemektedir. Emek yoğun sektörlerde öğrenme etkisinin hesaplanması üretimin ilerleyen günlerinde meydana gelebilecek darboğazların tespit edilmesine yönelik çalışmalara yardımcı olabilir. Öğrenme oranının hesaplanması Denklem (3.3)'te verilmiştir (Heizer and Render, 1999).

T_N : N . birim üretim için gerekli toplam zaman

T_1 : İlk birimin üretilmesi için gerekli zaman

b : öğrenme eğrisinin eğimi

$$b = \log(\text{öğrenme oranı})/\log 2 \quad (3.3)$$

$$T_N = T_1(N^b) \quad (3.4)$$

3.1.7. Montaj hattı dengeleme

Ürünler genellikle birden fazla malzemedeki bir araya gelmektedir. Bu malzemelerde üretim hattı boyunca operasyon önceliklerine göre dizilerek sıralı işlemlerden geçerek nihai ürüne dönüşmektedir. Malzemelerin operasyon önceliklerine ve eşit iş yükü prensibine göre dağılım yapılmasına montaj hattının temel amaçlarından biridir.

Üretim hattı boyunca belirli kısıtlar altında iş istasyonları arasındaki süre farkı eşit olacak şekilde hattın düzenlenmesine montaj hattı dengeleme kavramı denir. Hat boyunca bütün istasyonlardaki sürelerin eşit olması hattın dengeli kurulduğunu göstermektedir. Eğer sürelerin farklı olması durumunda işlem süresi en yüksek olan istasyon hattın darboğaz istasyonu olacaktır. Darboğaz istasyonlar montaj hatlarında çıktı miktarını belirleyen istasyondur. Yani sistemin çıktı miktarı, işlem süresi en yüksek olan istasyon tarafından belirlenecektir.

3.1.8. Montaj hattı dengeleme çalışmalarının amacı

Montaj hatları toplu üretim yapılan art arda dizilmiş sistem dizinidir. Burada istasyonlar belli kısıtlara dizilir ve malzemeler bu sırayı takip ederek ürüne dönüşür.

Montaj hattı çalışmalarının amaçları arasında;

- Düzenli parça akışını sağlamak,
- İnsan kaynağından maksimum derecede faydalanmak,
- Makine kapasite kullanım oranları arttırmak,
- İşlem sürelerini düşürmek,
- Boş süreleri ve bekleme zamanlarını minimuma indirmek,
- İstasyon sayısını düşürmek,
- Eldeki kaynakları kullanarak verimli çalışmayı sağlamak,

Montaj hattı dengeleme çalışmalarında sonucunda;

- Bir personele birden fazla iş ataması yapılabilir.
- İşlem süresine göre başka istasyonda görev verilebilir.

3.1.9. Montaj hattı dengeleme çözümünde kullanılan yöntemler

3.1.9.1. Sezgisel yöntemler

Belli yolun izlenmesi ve belirli varsayımlar yaparak montaj hattı dengeleme problemine yaklaşık çözüm yolu gösteren yöntemlerdir. Çevrim süresinin sabit varsayıldığı sezgisel yöntemler iş istasyonu sayısını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bazı sezgisel yöntemler aşağıdaki gibidir;

- Aday matris ile çözüm
- Konum ağırlıklı dengeleme yöntemi
- Killbridge ve Wester Sezgisel Yöntemi
- Öncelik Diyagramı ile Çözüm
- İki Aşamalı (Moddie-Young) Dengeleme Yöntemi
- Comsoal Tekniği
- Probabilistik Hat Dengeleme

3.1.9.2. Konum ağırlıklı dengeleme yöntemi

Konum ağırlıklı dengeleme yöntemi Helgeson ve Birnie tarafından 1961 yılında diğer yöntemlere hızlı yaklaşık çözümler öneren sezgisel metottur. Bir operasyonun konum ağırlığı, operasyonun kendi işlem süresi ile kendinden sonra gelen tüm operasyonların işlem sürelerinin toplamına eşittir. Bu yöntemde çevrim süresine göre istasyon sayısını ve boşluk zamanlar tespit edilir. Yöntemin uygulama metodu şöyledir (Demirbaş, 2019);

1. Operasyonların öncelik diyagramı hazırlanır.
2. Operasyonların konum ağırlıkları belirlenir.
3. Konum ağırlıklarına göre operasyonlar büyükten küçüğe sıralanır.
4. Konum ağırlığı en yüksek olan istasyon önceliği olmayan istasyona atanır.

5. İstasyon ataması çevrim süresini geçmeyecek şekilde istasyon sayısına bakılmadan atanır.
6. Çevrim süresine yakın başka atama yapılacak operasyon yoksa istasyon kapatılır. İkinci istasyona geçilir.
7. Bütün operasyonlar atama yapılana kadar bu işlem devam eder.

3.1.9.3. Analitik yöntemler

Bu yöntemler Optimizasyon veya Matematiksel Programlama Yöntemleri olarak bilinmektedirler. Doğrusal tamsayılı programlama yöntemi ilk geliştirilen analitik yöntem olup, daha sonra 0-1 tam sayılı programlama yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca Dinamik programlama yöntemi de analitik metotlar olarak kullanılmaktadır.

3.1.9.4. Benzetim teknikleri

Benzetim teknikleri işletmelerin bilgisayar kullanımıyla karar vermesine yardımcı olur. Herhangi bir işin veya sistemin işleyişini anlamak ve bu sistemde yapılacak değişimlerin sonucunu değerlendirmek için yapılan çalışmalara benzetim denir. Benzetim tekniğinin kullanılabilmesi için bazı aşamaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aşamalar şu şekildedir;

- Problemin tanımlanması
- Sistemin tanımlanması
- Akış şemasının oluşturulması
- Akışın bilgisayar diline çevrilmesi
- Bilgisayar dilindeki sistemin doğrulanması
- Bilgisayar çıktılarının doğruluk düzeyinin incelenmesi
- Senaryoların değerlendirilmesi
- Kayıt altına alınmasıdır.

3.1.10. Montaj hattı dengeleme için ön hesaplar

Montaj hattı dengelemesini temel amacı iş istasyonlarını minimum personele eşit süre oranında dağıtmaktır. Genellikle bu problemlerde kullanılan iyileştirme önerileri şöyledir;

- Âtıl zamanları minimuma indirmek,
- İstasyonların sayısını azaltmak,
- Kaynak kullanım oranını maksimum düzeyde tutmak,
- Çıktı miktarını arttırmaktır.

Montaj hattı dengelemede kullanılan bazı temel kavramlar şöyledir;

3.1.10.1. İş ögesi

Üretim hattı boyunca işin yeterli ve anlamlı olacak şekilde bölünmüş işlem parçacıklarıdır.

3.1.10.2. İş istasyonu

Montaj hattında işin işçiler tarafından yapılan bölümlerdir. Bir istasyonda minimum bir personel olduğu varsayılır. Dengeleme çalışmasında en küçük ve en büyük istasyon sayısına dikkat edilmez.

3.1.10.3. Toplam iş süresi

Montaj hattı üzerinde ürünün meydana gelebilmesi için ihtiyaç olan operasyonların standart sürelerinin toplamıdır.

3.1.10.4. İş istasyonu süresi

Montaj hattının bir istasyonundaki iş ögelerinin standart sürelerinin toplamıdır. İş istasyon süresi çevrim süresinden büyük olamaz.

3.1.10.5. Çevrim süresi

Çevrim süresi, montaj hattında işlem süresi en yüksek olan operasyon veya işlerin hattı tamamlaması için gerekli zaman olarak ifade edilebilir. Çevrim zamanının hesaplanması Denklem (3.5)'te verilmiştir (Çalışkan, 2020).

Çevrim süresi, üretim hattında istasyonların işini tamamlayabilmesi için geçen süredir. Çevrim süresi doğrudan üretim hızıyla ilgilidir. Çevrim süresinin küçük olması çıktı miktarını doğrudan etkilemektedir.

C: Çevrim zamanı,

T: Toplam süre

N: Talep;

$$C = \frac{T}{N} \quad (3.5)$$

3.1.10.6. Gerekli olan minimum istasyon sayısı

Bir montaj hattı sisteminde, hat dengelemesinden sonra gerekli olan çevrim süresinden büyük olmayan istasyonlar en az kaç tane olacağını hesaplanmasıdır. Minimum istasyon sayısının formülü Denklem (3.6)'da verilmiştir (Çalışkan, 2020).

n_{olasi} =Çevrim Süresinin Yarısından Büyük Süreye Sahip İstasyon sayısı

C = Çevrim Süresi

t_i = i No'lu İş Ögesinin İşlem Süresi

$$n_{olasi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{C} \quad (3.6)$$

3.1.10.7. Ortalama iş istasyonu süresi

İstasyon sayısının toplam iş süresine bölünmesiyle, gerekli ortalama süreye ortalama iş istasyonu süresi denir. Ortalama iş istasyonu süresinin hesaplanması Denklem (3.7)'de verilmiştir (Çalışkan, 2020).

C^* = Ortalama İş İstasyonu Süresi

C = Çevrim Süresi

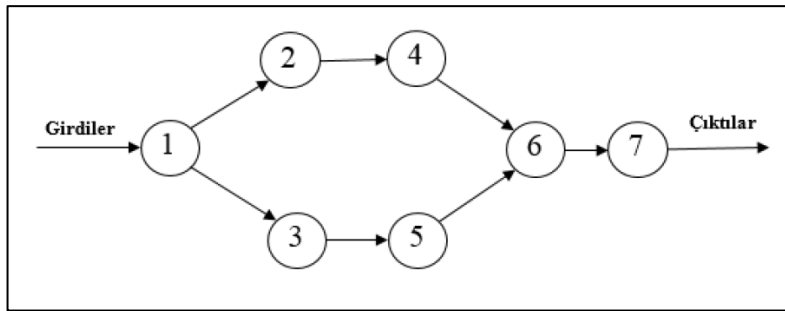
s = Dengeleme Sonucunda Elde Edilen İstasyon Sayısı

z_i = i No'lu İş Ögesinin İşlem Süresi

$$C^* = \frac{\sum_{i=1}^N z_i}{s} \quad s \geq s_{\min}, C \geq C^* \quad (3.7)$$

3.1.10.8. Öncelik diyagramı

Bir montaj hattında, operasyon öncelikleri göz önünde bulundurularak tamamlanacak sırayı belirten diyagrama öncelik diyagramı denir. Bu diyagramda daireler istasyonları, oklar ise hangi işleme geçileceğini göstermektedir. Şekil 3.3. de örnek öncelik diyagramı verilmiştir.



Şekil 3. 3. Öncelik diyagramı

3.1.10.9. Öncelik matrisi

Bir montaj hattında, operasyon ilişkilerini gösteren matrise öncelik matrisi denir. Çizelge 3.1. de verilmiştir. Aralarındaki ilişkiyi doğrudan ve dolaylı ilişkileri gösteren faaliyetler için 1, ilişki göstermeyen faaliyetler içinde 0 değeri verilir.

Çizelge 3. 1. Öncelik matrisi

		İzleyen İş Öğeleri						
		1	2	3	4	5	6	7
Önde Gelen İş Öğeleri	1	-	1	1	1	1	1	1
	2		-	0	1	0	1	1
	3			-	0	1	1	1
	4				-	0	1	1
	5					-	1	1
	6						-	1
	7							-

3.1.10.10. Hat etkinliği

Bir montaj hattında, istasyona atanan operasyonların işlem süresinin çevrim süresi ve dengeleme sonrası ortaya çıkan istasyon sayısının çarpımına oranıdır. Denklem 3.8'de hat etkinliği formülü verilmiştir (Çalışkan, 2020).

HE = Hat Etkinliği

z_i = i. İstasyondaki İşlem Süresi

C = Çevrim Süresi

s = Dengeleme Sonucunda Elde Edilen İş İstasyonu Sayısı

$$HE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^s z_i}{C * s} * 100 \quad (3.8)$$

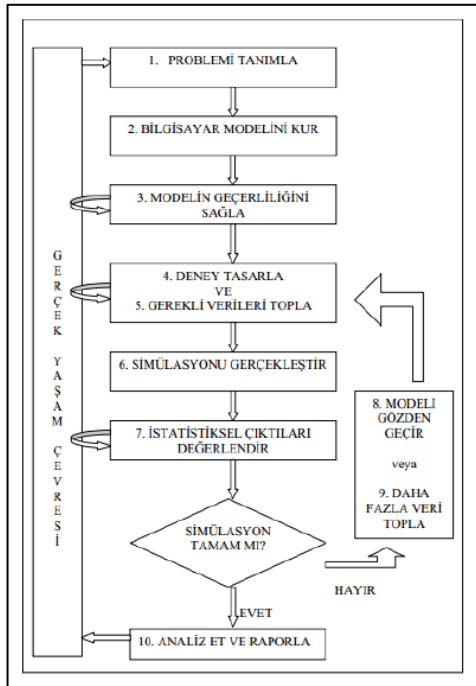
3.2. Yöntem

3.2.1. Simülasyon

Benzetim, tasarımı yapılan modellerin faaliyete geçmeden önce verimlilik ve kısıtlar bakımından sonuçları gözlemlemek için bilgisayar ortamında test etmektir. Benzetim ile modelleme;

- Sistemin davranışını tespit etme,
- Senaryo geliştirme,
- Kurulan senaryoların gelecekteki çıktılarını tahmin etmek için kullanılan yöntemdir.

Bir simülasyon çalışmasının başarısı, kurulan simülasyon modelinin gerçek sisteme ne kadar oranda benzediğidir. Kurulan modelin gerçekteki sisteme yakın olabilmesi için veriler sağlıklı şekilde toplanmalı ve sistemi temsil etmesi önemlidir. Başarılı simülasyon sürecinin adımları Şekil 3.4. (Eren, 2019) de gösterilmiştir.



Şekil 3. 4. Simülasyon süreci (Eren, 2019)

3.2.2. Simülasyon modelleri

Günümüz simülasyonları Monte Carlo yöntemine dayanır (Özçetin, 2019).

3.2.2.1. Statik veya dinamik

Statik; Sistemin belirli bir andaki değerlerini gösterir. Monte Carlo benzetimi bu yönteme uymaktadır.

Dinamik; Sistemin çalışma zamanına göre yapılan verilerin modellenmesidir.

3.2.2.2. Belirli veya olasılıklı

Belirli; Deterministik değişken içermeyen girdi setlerinin sadece bir çıktı verdiği simülasyon modelidir.

Olasılıklı; Stokastik modeller bir veya birden fazla değişken içeren modellerdir. Girdiler rassal değişkenler olup çıktılarda da rassal veriler elde edilmektedir.

3.2.2.3. Kesikli veya sürekli

Kesikli simülasyonlarda, sistem durumunu belirleyen değişkenlerin zamanın bazı noktalarında değişkenlik gösteriyorsa durum değişkenleri zaman boyunca sürekli olarak değişir.

Sürekli simülasyon, sistemin durumunu etkileyen değişkenlerin zaman içerisinde değerleri sürekli değişkenlik göstermesi durumudur.

3.2.3. Simülasyonun kullanıldığı alanlar

Simülasyon çeşitli işlemler için kullanılabilir. Bu çalışmada iş gücü verimliliğini ve üretim kapasitesini artırmaya yönelik olarak kullanılacaktır. Önceki çalışmalara bakıldığında çoklukla aşağıdaki sistemlerle ilgili araştırmalar yapıldığı görülmektedir.

- Üretimde kullanılan makinelerin işlemlerinde
- Üretimde esnasında yapılan montaj işlemlerinde
- Taşıma ve transfer sistemlerinde
- Depolama operasyonlarında

Üretimdeki işlemler makine veya el yardımıyla yapılıyor olabilir. Montaj operasyonları ise üretim bandı üzerinde makinelerle, iş gücü ile veya her iki kaynağı kullanarak parçaların birleştirilmesi şeklinde yapılan işlemlerdir. Taşıma sistemleri ise üretim alanında taşıma işlemlerinin yapıldığı her türlü araç ve makinenin araştırılması için kullanılır. Depolama işlemlerinde ise depoya yapılan her türlü giriş ve çıkış ve stoklama işlemi için simülasyon kullanılır.

4. ARASTIRMA BULGULARI ve TARTISMA

Bu tez kapsamında Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren bir ayakkabı işletmesi için belirlenen bir dikim bandında zaman etüdü yöntemiyle işlemlerin standart süreleri hesaplamıştır. Üretim süresince personellerin yapılan işe uyum sağlamalarına bağlı operasyon sürelerindeki iyileşme çıktı miktarlarına etki etmektedir. Dolayısıyla operasyonlara öğrenme etkisi eklendikten sonra dikim bandının darboğaz proseslere göre montaj hattı dengelemesi yapılmıştır. Önerilen yöntemlerin çıktılarını değerlendirmek adına simülasyon yardımıyla karşılaştırılmaları yapılmaktadır. Çalışmada darboğaz noktalar simülasyon yardımıyla analiz edilerek çözüm önerileri geliştirilmiştir.

4.1. Uygulama Yapılan Sektörün İş Akışı

Sektör yaptığı numune modeller için malzeme satın alımları yaparak işe başlamaktadır. Bu modeller daha sonra;

- Kesim,
- Dikim,
- Monta,

İşlemlerinden geçerek nihai ürüne dönüşmektedir. Aşağıda ayakkabı üretimine ait sürecin görsellerine yer verilmiştir.



Şekil 4. 1. Ayakkabı bilgisayarlı kesim işlemleri



Şekil 4. 2. Ayakkabı rekapta kesim işlemleri



Şekil 4. 3. Ayakkabı saya dikim işlemleri-1



Şekil 4. 4. Ayakkabı saya dikim işlemleri-2



Şekil 4. 5. Ayakkabı montaj işlemleri-1



Şekil 4. 6. Ayakkabı montaj işlemleri-2

4.1.1. Kesim

Ayakkabının üst kısmında kullanılacak malzemeler işletme olanaklarına göre bilgisayarlı kesim veya gezer kafa denilen preslerde katlı kesimler yapılarak dikim öncesi yapılan hazırlık aşamasıdır. Şekil 4.1. ve Şekil 4.2. de gösterilmiştir.

4.1.2. Rekapta

Ayakkabının üst kısmında kullanılan fakat iç kısmında kullanılan takviye malzemelerin gezer kafa preslerde katlı kesim yardımıyla yapılan işlemlerdir. Kesim ve Rekapta birimlerinde parçalar model üzerindeki görsel hazırlık için kample, serigrafı, frekans vb. işlemler için ara hazırlık aşamalarından geçtikten sonra saya dikim bölümünün girdisi olarak kullanılmaktadır.

4.1.3. Saya

Ayakkabı üretimden dikilmiş üst kısmın yapıldığı birimdir. Burada modele ait parçalar traş, çizgi ve dikiş makineleri yardımıyla saya üretim teknikleri kullanılarak parçaların birleştirilmesi sağlanır. Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. de verilmiştir.

4.1.4. Saya Kontrol

Dikim işlemi tamamlanan üst kısmın kalite ve adet olarak kontrol edildiği kısımdır. Görselde müşterinin dikkat edebileceği hata parça, dikim hataları kontrol edilerek kabul ve ret işlemi yapılmaktadır.

4.1.5. Saya Hazırlık

Kalite bakımından onaylan ürünler monta işlemi yapılmadan önce ayakkabının burun ve arka kısmında kullanılan takviye malzemelere form vermek amacıyla sıcak ve soğuk işlemlerin uygulandığı birimdir.

4.1.6. Monta

Dikimi tamamlanan üst kısmın kalıp yardımıyla montaj işlemi yapıldıktan sonra taban kısmına kimyasal yapıştırıcılar fırça yardımıyla uygulanmaktadır. Taban ve kalıba montajı yapılan saya el yardımıyla tabanla birleşimi sağlanır. Soğuk uygulama yapıldıktan sonra kalıptan çıkartılmaktadır. Şekil.4.5. ve Şekil.4.6. da verilmiştir.

4.1.7. Finisaj

Montajı tamamlana ürünler paketlenip kutuya konulmadan önce marka kıstasına göre içi tabanı takılmaktadır. Temizleme işlemi yapılan ürünler marka bilgilerini taşıyan kullanma kılavuzu fiyat etiketi işlemleri tamamlandıktan sonra kutularak koliye alınmaktadır.

4.2. Mevcut Durum Zaman Etüdü

Çalışma işletmenin darboğaz üretiminin olduğu dikim bölümünde yapılmaya karar verilmiştir. Bu nedeni ise ayakkabı üretiminde bu bölümde modele göre yerleşim düzeni sürekli değişmektedir. Bu yerleşim düzeninde montaj hattında operasyonların standart süreleri ve darboğaz noktalarının tespit edilmesi gereklidir. Darboğaz noktalar belirlendikten sonra buralara gerekli müdahaleler yapılmalıdır. İşletmede üretimi zor olan ürün grubu seçilmiştir. Bu ürün grubuna ait detay veriler toplanarak standart süreler tespit edilmiştir.

Operasyon süreleri tespit edilen işlemler, birim işlem süresine göre kapasiteleri hesaplanmıştır. Hatta hiçbir personel boşta kalmayacak şekilde hedef üretim miktarı tespit edilmiş kapasite fazlalıklarının nasıl kullanılacağıyla ilgili yol gösterici bir tablo elde edilmiştir. Alınan süreler hat kurulumu tamamlandıktan sonraki ilk günün verilerine aittir. Standart süre hesaplamalarında dağılım ve dinlenme payları dikkate alınmıştır. İşlerin zorluk derecelerine göre dinlenme payları değişkenlik gösterebilmektedir. Kapasite boşlukları olan personeller makine işlemleri benzer makine işlemleri ve tezgâh işlemlerine yardımcı olabilirken tezgâh işlemleri sadece kendi benzer üretim grubuna yardımcı olabilirler.

Bu hesaplamalardan personellerin kendi işlem süresine göre üretmeleri gereken miktar kontrol edilebilir. Fazla kapasite boşlukları da başka operasyonlarda kullanılmak üzere değerlendirmesi yapılabilir.

Çizelge 4.1. de çalışmada ele alınan operasyonlara giren parça sayıları belirtilmiştir.

Çizelge 4. 1. Operasyon işlemleri ve parça sayıları

No	Operasyonlar	Parça Sayısı
1	Lateks	6
2	Çizim	4
3	Tıraş	8
4	M.Hotmelt-1	6
5	(Tek İğne) Arka fort küçük alt göz parça dikimi)	2
6	M.Hotmelt-2	8
7	Zikzak Mak.	6
8	Parçaları astara yapıştırma	4
9	(Tek İğne) Gamba baskılı parça sol+ üst T parça	2
10	(Tek İğne) Gamba baskılı parça) sağ+ üst T parça	2
11	(Tek İğne) gamba kelebek parçası dikme	2
12	(Tek İğne) gamba kelebek parçası dikme	2
13	(Çift İğne) Çember dikme	2
14	(Tek İğne) Bağcık dikimi	2
15	Gamba zikzak	2
16	Yüz ara iş+(Tek İğne) Arka çatım	2
17	Flota	8
18	Flota2	4
19	(Tek İğne) Flota dikme	2
20	(Tek İğne) astar Tulum dikme	2
21	(Tek İğne) Tulum Pedi dikme	2
22	Fort takma+çevirme+tuluma solüsyon sürme yardım	2
23	Tulum (solüsyon+açma)	4
24	Tulum çevirme	2
25	(Delme Mak.) Bağcık yerleri delme+Buruna ilaç sürme(tranta)	4
26	(Tek İğne) Dil köprü dikme	2
27	(Tek İğne) Dil tulum dikişi+Dil çevresi dikme	4
28	(Tek İğne) Alt dikiş çevre +dili yüze dikme+Dil ara işi+ dil çevresi	4
29	Dil pedi yapıştırma+Dil tulum çevirme+ (Tek İğne) Gamba astarı boş dikiş	6
30	Temizleme+Paketleme	4

Çizelge 4.2. de ise operasyonların zorluk derecelerine göre dağılım ve dinlenme payları verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Operasyonlara ait dağılım payları

NO	Operasyonlar	Dağılım Payı	Dinlenme Payı
1	Latex (dil pedi)+ 4 parça sağ-sol ayırma	0,1	0,11
2	Latex (dil)	0,1	0,11
3	Latex (tulum astarı)	0,1	0,11
4	Çizim (dil)+takım ayırma	0,1	0,09
5	Çizim (ayna)	0,1	0,09
6	Tıraş (dil)	0,1	0,09
7	Tıraş (ayna)	0,1	0,09
8	Tıraş (gamba küçük parça(2))	0,1	0,09
9	Tıraş (gamba yan parça(2))	0,1	0,09
10	(M.Hotmelt) Takviye	0,1	0,09
11	Yüz çemberine takviye yapıştırma	0,1	0,09
12	Etiket Yapıştırma	0,1	0,09
13	(Tek İğne) Arka fort küçük parça dikimi)	0,1	0,11
14	(M.Hotmelt) Gamba(2))	0,1	0,11
15	(M.Hotmelt) Ayna	0,1	0,11
16	(M.Hotmelt) Fort küçük parça	0,1	0,11
17	(M.Hotmelt) Fort bombe	0,1	0,11
18	(Zikzak Mak.) Burun+Kesme	0,1	0,11
19	Buruna bant yapıştırma	0,1	0,09
20	Bağcık altı takviye yapıştırma	0,1	0,09
21	Parçaları astara yapıştırma (alt)	0,1	0,09
22	Parçaları astara yapıştırma (üst)	0,1	0,09
23	(Tek İğne) Gamba baskılı parça sol	0,1	0,11
24	(Tek İğne) Gamba baskılı parça sağ	0,1	0,11
25	(Tek İğne) Bağcık gamba parçası dikme	0,1	0,11
26	(Tek İğne) Bağcık gamba parçası dikme	0,1	0,11
27	(Çift İğne) Çember dikme	0,1	0,14
28	(Tek İğne) Bağcık dikimi	0,1	0,11
29	(Zikzak Mak.) Gamba zikzak+kesme	0,1	0,11
30	Yüz ara iş+(Tek İğne) Arka çatım+kesme	0,1	0,09
31	Flota kesme	0,1	0,09
32	Flota çizme	0,1	0,09
33	Flotaya ilaç sürme	0,1	0,09
34	Flota yerine ilaç sürme	0,1	0,09
35	Flota katlama	0,1	0,09

Çizelge 4. 3. Operasyonlara ait dağılım payları (Devamı)

No	Operasyonlar	Dağılım Payı	Dinlenme Payı
36	Flota yapıştırma	0,1	0,09
37	(Tek İğne) Flota dikme	0,1	0,11
38	(Tek İğne) Tulum dikme	0,1	0,11
39	(Tek İğne) Tulum Pedi	0,1	0,11
40	Fort bombe takma+çevirme+tuluma solüsyon sürme	0,1	0,09
41	Tuluma solüsyon	0,1	0,09
42	Tulum açma	0,1	0,09
43	Tulum çevirme	0,1	0,09
44	(Delme Mak.) Bağcık yerleri delme	0,1	0,09
45	Buruna ilaç sürme	0,1	0,09
46	(Tek İğne) Dil köprü dikme	0,1	0,11
47	(Tek İğne) Dil tulum dikişi	0,1	0,11
48	(Tek İğne) Dil çevresi	0,1	0,09
49	(Tek İğne) Alt dikiş+dili yüze dikme+dil etrafı yard.	0,1	0,11
50	Dil ara işi	0,1	0,09
51	Dil Pedi Yapıştırma	0,1	0,09
52	Dil tulum çevirme	0,1	0,09
53	(Tek İğne) Gamba astarı boş dikiş	0,1	0,11
54	Temizleme	0,1	0,09
55	Paketleme	0,1	0,09

Çizelge 4.3. de modele ait operasyonların normal ve standart zaman hesaplarına yer verilmiştir. Norman zaman formül 3.1'den, Standart zaman formül 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 4. Mevcut durum standart süre hesaplanması

No	Operasyonlar	Normal Zaman (Sn/Çift)	Standart Zaman (Sn/Çift)
1	Lateks	25	30
2	Çizim	34	40
3	Traş	29	34
4	M.Hotmelt-1	45	53
5	(Tek İğne) Arka fort küçük alt göz parça dikimi)	23	28
6	M.Hotmelt-2	30	36
7	Zikzak Mak.	41	49
8	Parçaları astara yapıştırma	60	71
9	(Tek İğne) Gamba baskılı parça sol+ üst T parça	31	37
10	(Tek İğne) Gamba baskılı parça sağ+ üst T parça	28	34
11	(Tek İğne) gamba kelebek parçası dikme	24	29
12	(Tek İğne) gamba kelebek parçası dikme	29	35
13	(Çift İğne) Çember dikme	32	39
14	(Tek İğne) Bağcık dikimi	41	50
15	Gamba zikzak	20	25
16	Yüz ara iş+(Tek İğne) Arka çatım	40	48
17	Flota	32	38
18	Flota2	24	28
19	(Tek İğne) Flota dikme	27	32
20	(Tek İğne) astar Tulum dikme	24	29
21	(Tek İğne) Tulum Pedi dikme	22	27
22	Fort takma+çevirme+tuluma solüsyon sürme yardım	30	36
23	Tulum (solüsyon+açma)	36	43
24	Tulum çevirme	31	37
25	(Delme Mak.) Bağcık yerleri delme+Buruna ilaç	20	24
26	(Tek İğne) Dil köprü dikme	20	24
27	(Tek İğne) Dil tulum dikişi+Dil çevresi dikme	35	42
28	(Tek İğne) Alt dikiş çevre +dili yüze dikme+Dil araiş	38	46
29	Dil pedi yapıştırma+Dil tulum çevirme+ (Tek İğne) Gamba astarı boş dikiş	42	50
30	Temizleme+Paketleme	35	41

Çizelge 4.4. de birim işlem sürelerine göre günlük üretim kapasiteleri ve hedef üretim miktarına göre gerekli hedef adam miktarları verilmiştir. Operasyon kapasiteleri günlük çalışma süresinin işlem süresine bölünmesiyle hesaplanmıştır. Hedef adam hesabı ise hedef üretim miktarının kapasiteye oranlanmasıyla tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 5. Operasyonlara ait kapasite ve hedef adam hesapları

No	Operasyonlar	Kapasitesi (Çift)	Hedef Adam
1	Lateks	1071	0,57
2	Çizim	801	0,77
3	Traş	945	0,65
4	M.Hotmelt-1	610	1,00
5	(Tek İğne) Arka fort küçük alt göz parça dikimi)	1154	0,53
6	M.Hotmelt-2	893	0,69
7	Zikzak Mak.	660	0,93
8	Parçaları astara yapıştırma	908	1,35
9	(Tek İğne) Gamba baskılı parça sol+ üst T parça	878	0,70
10	(Tek İğne) Gamba baskılı parça sağ+ üst T parça	943	0,65
11	(Tek İğne) gamba kelebek parçası dikme	1106	0,55
12	(Tek İğne) gamba kelebek parçası dikme	923	0,66
13	(Çift İğne) Çember dikme	829	0,74
14	(Tek İğne) Bağcık dikimi	650	0,94
15	Gamba zikzak	1313	0,47
16	Yüz ara iş+(Tek İğne) Arka çatım	674	0,91
17	Flota	862	0,71
18	Flota2	1154	0,53
19	(Tek İğne) Flota dikme	999	0,61
20	(Tek İğne) astar Tulum dikme	1135	0,54
21	(Tek İğne) Tulum Pedi dikme	1217	0,50
22	Fort takma+çevirme+tuluma solüsyon sürme yardım	908	0,68
23	Tulum (solüsyon+açma)	748	0,82
24	Tulum çevirme	873	0,70
25	(Delme Mak.) Bağcık yerleri delme+Buruna ilaç	1361	0,45
26	(Tek İğne) Dil köprü dikme	1339	0,46
27	(Tek İğne) Dil tulum dikişi+Dil çevresi dikme	770	0,80
28	(Tek İğne) Alt dikiş çevre +dili yüze dikme+Dil ara işi	700	0,88
29	Dil pedi yapıştırma+Dil tulum çevirme+ (Tek İğne) Gamba astarı boş dikiş	644	0,95
30	Temizleme+Paketleme	782	0,78

4.3. Öğrenme Etkisi

Bu çalışmada öğrenme etkisi mevcut durumdaki standart sürelerle etki ettirilerek kullanılmaya çalışılmıştır. İşletmenin üretim yaptığı ürün grupları incelenerek Basit, Orta ve Zor gruplara ayrılmıştır. Ürün gruplarına ait veriler öğrenme oranları Çizelge 4.5. de verilmiştir. Grup tanımları model parça sayısı ve işlem zorluklarına göre ayrılmıştır. Bu gruplarda öğrenme etkisi ayrı ayrı hesaplanmaya çalışılmıştır. Öğrenme etkisi operasyonlarda sürekli artış eğiliminde değildir. Belli üretim/gün sonra etkisi değişmemektedir. Bu çalışmada seçilen modelin ilk 5 günde öğrenme etkisinin değişimi gözlenirken diğer günlerde elle tutulur fark meydana gelmemiştir. Çizelge 4.6. da senaryolarda kullanılan modele özel öğrenme oranı verilmiştir. Modeller zorlaştıkça öğrenme etkisi artmaktadır. Çizelge 4.7. de ise ilk 5 güne ait üretim farkları verilmiştir. Bu çalışmada zor model grubuna ait öğrenme etkisi ve tespit edilen standart süreler beraber kullanılarak çıktı miktarlarındaki etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4. 6. Grupların öğrenme oranları

Model Türü	Model Sayısı	Veri Miktarları	Öğrenme Oranları	Öğrenme Eğrisi Eğimi	Aritmetik ort.	Standart Sap.
Basit	10	141	0,937	-0,094	-9,076	104,6
Orta	44	625	0,943	-0,085	-24,41	204,1
Zor	9	146	0,955	-0,068	3,433	74,5

Çizelge 4. 7. Öğrenme oranı verileri

Vardiya Süresi	Öğrenme Oranı	Log Oranı
540	0,972	-0,0401

Çizelge 4. 8. Öğrenme oranı verileri-2

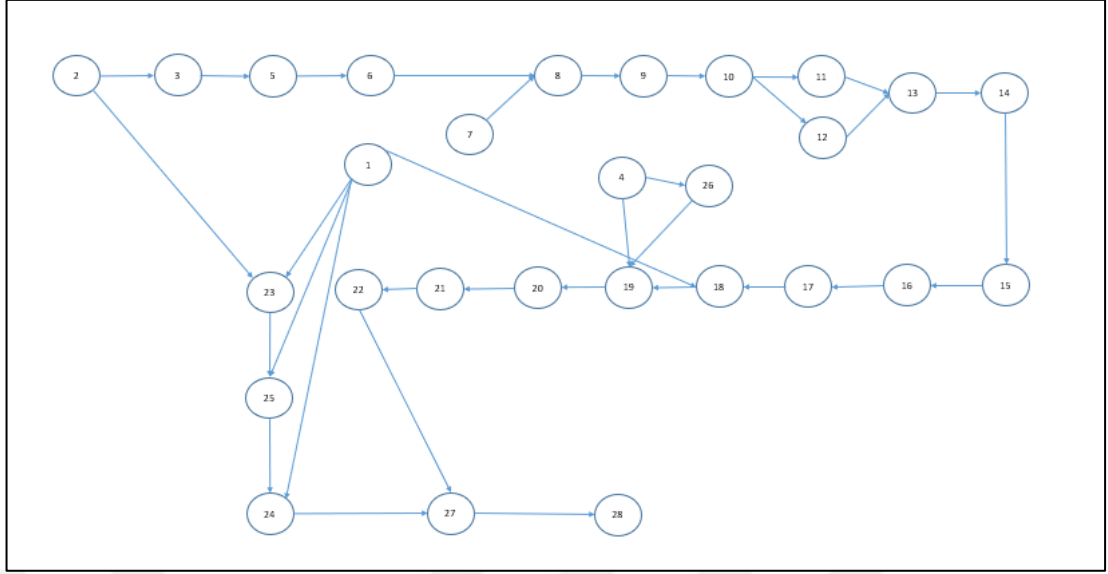
TARİH	Süre Log Oranı	Olması Gereken Süre	Tahminlenen Üretim	Gerçekleşen Üretim	Fark
2.03.2021	1,0	1,4	400	400	0
3.03.2021	0,8	1,1	509	440	69
4.03.2021	0,8	1,0	524	500	24
5.03.2021	0,7	1,0	534	540	-6
8.03.2021	0,7	1,0	541	600	-59

4.4. Montaj Hattı Dengeleme

Çalışmadaki montaj hattı dengeleme problemi için konum ağırlıklı çözüm yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak işler arasındaki operasyon öncelikleri belirlenerek en büyük konum ağırlığına sahip işlerin istasyona ataması yapılır. Bu işlem son istasyon ataması yapılana kadar devam eder. Çalışmaya ait operasyon öncelikleri Çizelge 4.8. de verilmiştir.

Çizelge 4. 9. Mevcut durum operasyon öncelikleri

No	İş Ögesi Adı	Zaman	Bağlantı1	Bağlantı2	Bağlantı3
1	Lateks	30			
2	Cızım	40			
3	Tras	34	2		
4	Hotmelt	53			
5	Tek Igne Ford Alt Dıkım	28			
6	Hotmelt2	36	3	5	
7	Jarsey Zig._ Kapsul Alt. Tak	49			
8	Uste Atma	30,5	6	7	
9	Uste Atma2	30,5	6	7	
10	T Parca Dıkım	36	8		
11	T Parca Dıkım2	36	8		
12	Kelebek Parca Dıkım	32	9		
13	Kelebek Parca Dıkım2	32	9		
14	Cember Dıkme	39	10		
15	Bagcık Parca Dıkım	50	10		
16	Arka Catım Dıkım	48	11	12	
17	Gamba Zigzag	25	13		
18	Fileto Kesme Cızme Yapıs.	38			
19	Fileto Katlama Yapıstırma	28	15		
20	Serit Dıkme	32	16		
21	Tulum Dıkme	29	1	17	
22	Tulum Pedı Dıkme	27	18		
23	Tulum Solusyon Acma	43	19		
24	Tulum Cevırme	37	20		
25	Bagcık Delme	24	21		
26	Kopru Dıkme	24	1	2	
27	Dil Tulum Dıkme	42	1	23	
28	Dil Ped Yapıstırma Cevırme	50	1	24	
29	Ford Takma	36	6	19	
30	Dil Yuze Dıkme	50	17	21	25
31	Tezmızleme	41	27		



Şekil 4. 7. Mevcut durum öncelik diyagramı

Şekil 4.7. de çalışmaya ait şebeke diyagramı verilmiştir. Bu şebeke diyagramı üzerinden operasyon öncelikleri daha net görülebilmektedir.

Çizelge 4.9. da konum ağırlıklı dengeleme yöntemi kullanılmadan önce mevcut durum öncelik matrisi oluturuşturuldu. Bu öncelik esaslarına göre konum ağırlıkları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10. da öncelik matrisine göre konum ağırlıkları hesaplanan operasyonlar büyükten küçüğe sıralanmıştır. Bir sonraki aşamada ise istasyonlar belirlenme aşamasıdır. Burada operasyonlar çevrim süresini geçmeyecek şekilde birleştirilmeye çalışılmaktadır.

Çizelge 4. 10. Mevcut durum öncelik matrisi

No	İş Ögesi Adı	Zaman	Lateks	Cizim	Tras	Hotmelt	Tek İgne For	Hotmelt2	Jarsey Zigza	Uste Atma	T Parca Dik	Kelebek Par	Cember Dikr	Bagcık Parc	Arka Catım	Gamba Zigz	Fileto Kesme	Fileto Katlar	Şerit Dikme	Tulum Dikm	Tulum Ped	Tulum Solus	Tulum Çevir	Bagcık Delim	Köprü Dikme	Dil Tulum Di	Dil Ped Yapı	Ford Takma	Dil Yuze Dik	Temizleme	Rpw	
1	Lateks	30																		1	+	+	+	+	+	1	1	1	+	+	290	
2	Cizim	40		1			+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	+	+			+	+	905
3	Tras	34					1	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	841
4	Hotmelt	53																			1	+	+	+				1	+	+	53	
5	Tek İgne Ford Alt Dik.	28						1		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	835
6	Hotmelt2	36								1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	807
7	Jarsey Zigzag_ Kapsul Altı Takv.	49								1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	820
8	Uste Atma	31									1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	548,5
9	Uste Atma2	31									1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	389,5
10	T Parca Dikm	36										1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	315
11	T Parca Dikm2	36											1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	203
12	Kelebek Parca Dik.	32												1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	199
13	Kelebek Parca Dik.	32													1	1	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	160
14	Cember Dikme	39														1	+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	39
15	Bagcık Parca Dik.	50															1	+	+	+	+	+	+	+						+	+	240
16	Arka Catım Dikm	48																			1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	167

Çizelge 4. 11. Mevcut durum öncelik matrisi (Devamı)

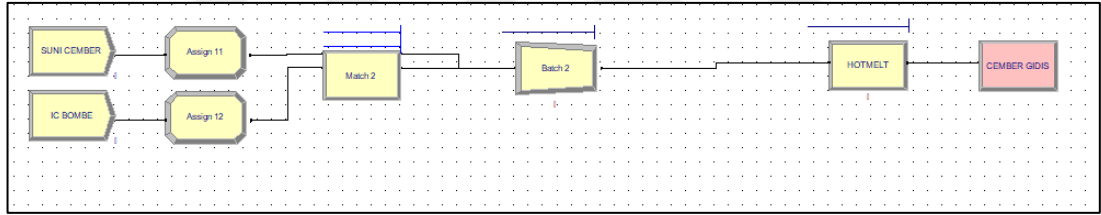
No	İş Ögesi Adı	Zaman	Lateks	Cizim	Tras	Hotmelt	Tek İgne For	Hotmelt2	Jarsey Zigza	Uste Atma	T Parca Dik	Kelebek Par	Cember Dikr	Bagcık Parc	Arka Catım	Gamba Zigz	Fileto Kesme	Fileto Katlar	Şerit Dikme	Tulum Dikm	Tulum Ped	Tulum Solus	Tulum Çevir	Bagcık Delim	Köprü Dikme	Dil Tulum Di	Dil Ped Yapı	Ford Takma	Dil Yuze Dik	Temizleme	Rpw	
17	Gamba Zig	25															1	+	+	+	+	+	+	+						+	+	128
18	Fileto Kes.	38																1	+	+	+	+	+	+						+	+	65
19	Fileto Kat. Yapış.	28																	1	+	+	+	+	+						+	+	190
20	Şerit Dik.	32																		1	+	+	+	+						+	+	119
21	Tulum Dik.	29																			1	+	+	+						+	+	103
22	Tul. P. Dik.	27																				1	+	+						+	+	27
23	Tu. Sol. Aç.	43																					1	+						+	+	126
24	Tul. Çev.	37																						1						+	+	87
25	Bağ. Del.	24																											1	+	74	
26	Köprü Dik.	24																								+	1		+	+	24	
27	Dil T. Dik.	42																											1	+	83	
28	Dil P. Yap.	50																								1			+	+	50	
29	Ford Tak.	36																				1	+	+	+				+	+	36	
30	Dil Y. Dik.	50																											1	+	50	
31	Temizleme	41																														41

Çizelge 4. 12. Konum ağırlıklı dengeleme sonuçları

No	İş Ögesi Adı	Zaman	Bağlantı1	Bağlantı2	Bağlantı3	RPW	İstasyon No	İstasyon Zamanı
2	Cızım	40				905	1	40
3	Tras	34	2			841	2	34
5	Tek Igne Ford Alt Dıkım	28				835	3	28
7	Jarsey+ Kapsul Altı Tak.	49				820	4	49
6	Hotmelt2	36	3	5		807	5	36
8	Uste Atma	30,5	6	7		548,5	6	30,5
9	Uste Atma2	30,5	6	7		389,5	7	30,5
10	T Parca Dıkım	36	8			315	8	36
1	Lateks	30				290	9	30
26	Kopru Dıkme	24	1	2		24	9	54
15	Bagcık Parca Dıkım	50	10			240	10	50
11	T Parca Dıkım2	36	8			203	11	36
12	Kelebek Parca Dıkım	32	9			199	12	32
19	Fileto Katlama Yapıstırma	28	15			190	13	28
16	Arka Catım Dıkım	48	11	12		167	14	48
13	Kelebek Parca Dıkım2	32	9			160	15	32
21	Tulum Dıkme	29	1	17		103	16	29
17	Gamba Zigzag	25	13			128	16	54
23	Tulum Solusyon Acma	43	19			126	17	43
20	Serit Dıkme	32	16			119	18	32
24	Tulum Cevırme	37	20			87	19	37
27	Dıl Tulum Dıkme	42	1	23		83	20	42
25	Bagcık Delme	24	21			74	21	24
18	Fileto Kesme Cızme Yapıstırıcı	38				65	22	38
4	Hotmelt	53				53	23	53
28	Dıl Ped Yapıstırma Cevırme	50	1	24		50	24	50
30	Dıl Yuze Dıkme	50	17	21	25	50	25	50
31	Tezmızleme	41	27			41	26	41
14	Cember Dıkme	39	10			39	27	39
29	Ford Takma	36	6	19		36	28	36
22	Tulum Pedit Dıkme	27	18			27	29	27

4.5. Simülasyon

Uygulama çalışmasında bazı çözüm yöntemleri denenmiştir. Fakat bu yöntemlerden hangisinin daha verimli ve ekonomik olduğu simülasyon yardımıyla karşılaştırılmıştır. Simülasyonda yerleşim, operasyon öncelikleri ve süre bakımından mevcut durum birebir aktarılmıştır. Simülasyona ait genel görünüm EK.1’de verilmiştir. Bir günlük üretim süresi 540 dakika olarak alınmıştır. Simülasyonun gelişler arası süre dağılımı $0,36+LOGN(0,0838,0,046)$ olarak hesaplanmıştır. Mevcut durum için yapılan simülasyon sonucunda üretim miktarı 559 çift olarak elde edilmektedir. Gerçekleşen üretim miktarları ile yapılan Tek örneklem t testine göre p değeri 0,220 olarak hesaplanmıştır. p değeri $\alpha=0,05$ değerinden büyük olduğu için simülasyon sonucu ile gerçekleşen üretimler arasında anlamlı farklılık olmadığı anlaşılmaktadır. Bu durumda simülasyonun gerçek durumla tutarlı olduğu söylenebilir. Arena’da kullanılan gelişler arası süreler EK.2’de verilmiştir.



Şekil 4. 8. Uygulamada kullanılan arena modülleri

Uygulama esnasında Arena programına ait kullanılan modüller Şekil 4.8. de gösterilmiştir.

- **Create:** Sisteme parça yaratıp daha sonra bunları üretim proseslerine gönderen modüldür
- **Assign:** Sisteme gönderilen parçaların proseslerde parça ait özel işlem ve sürelerin tanımlandığı modüldür.
- **Match:** Proseslere gelen parçaları gruplayan ve proseste tek parça gibi işlem görmesinde kullanılan modüldür.
- **Batch:** Gruplanmış parçaları sistemden çıkana kadar kalıcı olarak tek parçaymış gibi işlem görmesini sağlar.

- **Process:** Montaj hattında parçaların sanal olarak işlem gördüğü sistemde geciktirildiği modüldür.

4.5.1. Mevcut durum çıktıları

Mevcut durum için yapılan simülasyon sonucunda üretim miktarı 559 çift olarak elde edilmektedir. Gerçekleşen üretim miktarları ile yapılan Tek örneklem t testine göre p değeri 0,220 olarak hesaplanmıştır. p değeri $\alpha=0,05$ değerinden büyük olduğu için simülasyon sonucu ile gerçekleşen üretimler arasında anlamlı farklılık olmadığı anlaşılmaktadır. Bu durumda simülasyonun gerçek durumla tutarlı olduğu söylenebilir. Test sonuçları Çizelge 4.11. de verilmiştir.

Çizelge 4. 13. Simülasyon modelinin doğrulanması

Test of mu = 559 vs not = 559							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
Üretim	32	571,22	55,20	9,76	(551,32; 591,12)	1,25	0,220

Simülasyon modelinde replikasyon sayısı 30 olarak belirlenmiştir. Mevcut durumun verileri Arena 10.0'a girilerek sürecin anahtar performans göstergelerine (KPI) göre çıktıları değerlendirilmiştir. Çalışma öncelikle seçilen ürün grubuna ait sahadan bant yerleşim planı ve üretim süreleri alınmıştır. Bu yerleşim ve süreler gerçeğine yakın olarak simülasyon ortamında modellenmiştir. Mevcut durumun simülasyon çıktılarına bakıldığında, personelin üretim boyunca kapasitesinin ne kadar kullanıldığını ortaya çıkmaktadır. Buradan yola çıkılarak kapasitesi fazla olan iş istasyonları tespit edilir, iş istasyonlarının hangi iş istasyonlarla birleştirilebileceği kanısına varılabilir.

Sistem üretim süresini tamamlayınca süre yetmediğinden hat içerisinde parçalar kalabilmektedir. Çizelge 4.12. de mevcut durumun simülasyon sonuçları verilmiştir. Çıkan sonuçlarda ortalama kaynak kullanım oranı %60 civarlarındadır. Bu oran hattın dengeli kurulmadığını göstermektedir.

Modelin üretiminde kullanılan parçalar sistem içerisinde çok fazla beklemeye neden olmaktadır. Hattın dengeli kurulmadığına dair diğer bir kanıt ise kuyrukta beklemelerin fazla olmasıdır.

Çizelge 4. 14. Mevcut durum arena çıktıları

Senaryo	Ç.M (Çift)	K.S	K.B.Ü	K.K.O	K.B.S (sn)	Ç.S (sn)	T.İ.S (sn)	H.E
Mevcut Durum	559	31	18	59,97%	43,5	58	1032	57%

4.5.2. Mevcut durumun öğrenme etkili senaryo çıktıları

Öğrenme etkisi hesaplanırken üretimin ilk 5 günlük öğrenme oranı dikkate alınmıştır. Mevcut süreler yerine simülasyona öğrenme oranı etkili süreler giriş yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.13. de verilmiştir.

Öğrenme etkisi belli üretim gün süresinden sonra değişkenlik göstermemektedir. Belli gün sonrasında çıktı miktarlarındaki oluşabilecek değişimler makine arızası, iplik değişimi, kişisel ihtiyaçları için ayrılan sürenin gereğinden fazla kullanılmasından kaynaklanabilir. Ayrıca personel işe gelmemesinden dolayı farklı personele iş yaptırılmasından da farklar oluşabilmektedir.

Öğrenme etkili senaryonun simülasyon çıktılarına bakıldığında mevcut duruma göre çıktı miktarı ve kişi başına düşen üretim miktarında olumlu yönde artış meydana gelmiştir. Öğrenme etkisinden dolayı operasyon sürelerinde iyileşme olmasına rağmen ortalama kaynak kullanım oranında önemli ölçüde değişim meydana gelmemiştir. İlk 5 günlük öğrenme oranına göre gerçekleşen üretim süreleri Çizelge 4.14. de verilmiştir.

Çizelge 4. 15. Öğrenme etkili simülasyon çıktıları

Senaryo	Ç.M (Çift)	K.S	K.B.Ü	K.K.O	K.B.S (sn)	Ç.S (sn)	T.İ.S (sn)	H.E
Mevcut Durum+ Öğrenme	584	31	18,8	60,18%	16,8	55,5	1032	60%

Çizelge 4. 16. Operasyonların öğrenme oranlı süreleri

Operasyon	Operasyon süresi	Öğrenme sürelı
LATEKS	5	4,9
CIZIM1	8	7,8
CIZIM2	12	11,8
TRAS1	2,7	2,6
TRAS2	9,2	9,0
TRAS3	1,4	1,4
TRAS4	1	1,0
HOTMELT	12	11,8
TEK IGNE FORD ALT DIKIM	14	13,7
HOTMELT21	2,4	2,4
HOTMELT22	4,2	4,1
HOTMELT23	2,4	2,4
HOTMELT24	2,4	2,4
JARSEY ZIGZAG_ KAPSUL ALTI TAKVIYE	23	22,5
USTE ATMA	17,8	17,4
T PARCA DIKIM	17	16,7
KELEBEK PARCA DIKIM	16	15,7
CEMBER DIKME	19,5	19,1
BAGCIK PARCA DIKIM	24	23,5
ARKA CATIM DIKIM	24	23,5
GAMBA ZIGZAG	12,5	12,3
FILETO KESME CIZME YAPISTIRICI	19	18,6
FILETO KATLAMA YAPISTIRMA	14	13,7
SERIT DIKME	16	15,7
DIL ETIKETI YAPISTIRMA	5,4	5,3
TULUM DIKME	14,5	14,2
TULUM PEDI DIKME	13,5	13,2
TULUM SOLUSYON ACMA	21,5	21,1
TULUM CEVIRME	18,5	18,1
BAGCIK DELME	12	11,8
KOPRU DIKME	12	11,8
DIL TULUM DIKME	21	20,6
DIL PED YAPISTIRMA CEVIRME	24	23,5
USTE ATMA2	17,8	17,4
T PARCA DIKIM2	18	17,6
KELEBEK PARCA DIKIM 2	16	15,7
FORD TAKMA	18	17,6
DIL YUZE DIKME	23	22,5
TEZMIZLEME	20,5	20,1

4.5.3. Mevcut durumun öğrenme etkisi ve konum ağırlıklı dengeleme senaryo çıktıları

Çalışmada montaj hattı dengeleme problemlerimden konum ağırlıklı çözüm yöntemiyle operasyon öncelikleri dikkate alınarak çözüldüğünde 2 operasyonda birleştirme sağlanmıştır. Personel sayısında azalmayla beraber çıktılardaki sonuçlar Çizelge 4.15. deki gibidir. Konum ağırlıklı dengeleme yönteminde operasyon öncelikleri olmasından kaynaklı iş istasyonlarında boşa kalma durumuna göre yardımlaşma sağlanmamıştır.

Konum ağırlıklı dengelemede personel sayısı azaltılınca kişi başı üretim artmıştır. Fakat kaynak kullanım oranında ve çevrim süresinde istenilen düzeyde gelişme meydana gelmemiştir. Modeli detaylıca inceleyecek olursak parça sayısı fazla, işlem süreleri oldukça küçüktür. Bundan dolayı bant kurulumunda kaynak kullanım oranını arttırmak için personele birden fazla iş verilebilmektedir. Burada personelin tecrübesi ve farklı operasyonları da yapabiliyor olması dikkate alınması gereken bir konudur.

Çizelge 4. 17. Öğrenme etkili konum ağırlıklı dengeleme çıktıları

Senaryo	Ç.M (Çift)	K.S	K.B.Ü	K.K.O	K.B.S (sn)	Ç.S (sn)	T.İ.S (sn)	H.E
Mevcut Durum+Öğrenme+ Konum Ağırlıklı Dengeleme	584	29	20,1	64,63%	18,9	55,5	1032	64%

4.5.4. Mevcut durumun öğrenme etkisi ve konumdan bağımsız dengeleme senaryo çıktıları

Bu senaryoda boşta kalan personelleri iş grubuna göre yardımlaşmalı çalışması ön görülmüştür. Senaryoda yardımlaşmayı taşıma yoluyla sağlayacak 1 adet personel kullanılmıştır. Taşımayı yapan personel sadece kişi başı üretimde maliyet bakımından hesaplanmış olup simülasyonda yer almamaktadır.

Bu senaryoda mevcut durumun operasyon öncelikleri dikkate alınmıştır. Fakat mevcut durumda boş kalan personelleri eksiltmek veya yardım etmek yoluyla iş istasyonlarının birleştirilmesi sağlanmıştır. Birleştirilmeler esnasında aynı makine kullanımına yakın personellerin birleştirilmesine dikkat edilmiştir.

Senaryonun iş istasyonları birleştirildikten sonraki çıktıları Çizelge 4.16. da verilmiştir. Bu senaryo sonunda da kapasite kullanım oranı ve hat etkinliği %75'lerde kalmıştır. Darboğaz operasyonlar giderilmiştir. Daha fazla iş istasyonunun birleştirilmesi ise gerçek problemden uzaklaşmaya neden olacağından birleştirmeler yapılmamıştır.

Çizelge 4. 18. Öğrenme etkili konumdan bağımsız dengeleme çıktıları

Senaryo	Ç.M (Çift)	K.S	K.B.Ü	K.K.O	K.B.S (sn)	Ç.S (sn)	T.İ.S (sn)	H.E
Mevcut Durum+Öğrenme+ Konumdan Bağımsız Dengeleme	599	25	24	74,94%	3,8	54,1	1032	76%

Şekil 4.9. da önerilen durumun operasyon önceliklerine ait diyagrama yer verilmiştir. Bu diyagram konum ağırlıklı dengeleme yöntemi uygulandıktan sonra

Çizelge 4.17. de çalışmada kullanılan senaryoların çıktılarının performans kriterlerine göre karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 4. 19. Senaryoların karşılaştırılması

Senaryo	Çıktı Miktarı (Çift)	Kişi Sayısı	Kişi Başı Üretim	Kaynak Kullanım Oranı	Kuyrukta Bekleme Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Toplam İş Süresi (sn)	Hat Etkinliği	Maliyet	Çift Maliyeti
Mevcut Durum	559	31	18	59,97%	43,5	58	1032	57%	13.020 ₺	23,29 ₺
Mevcut Durum+Öğrenme	584	31	18,8	60,18%	16,8	55,5	1032	60%	13.020 ₺	22,29 ₺
Mevcut Durum+Öğrenme+Konum Ağırlıklı Dengeleme	584	29	20,1	64,63%	18,9	55,5	1032	64%	12.180 ₺	20,86 ₺
Mevcut Durum+Öğrenme+Konumdan Bağımsız Dengeleme	599	25	24	74,94%	3,8	54,1	1032	76%	10.500 ₺	17,53 ₺

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ayakkabı imalat sektörü, ithalat ve ihracat bakımından Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Sektörün kurumsal yapıya sahip işletmelerin azlığı, plansız büyüme, verimsiz çalışma ve kalite problemlerine neden olmaktadır. Bunlarda maliyet bakımından işletmelerin rekabet etme gücünü tehdit etmektedir.

Günümüzde pazarlama kanallarının artmasıyla beraber rekabet gücü yüksek olan Uzak doğu ülkeleri Ar-Ge ve maliyetler bakımından Türkiye'deki ayakkabı imalat sektöründen önce gelmektedir. Fakat Türkiye'deki ayakkabı imalat sektörü yakın zamanda Ar-Ge faaliyetleri bakımından hız kazanmaya başlasa da işçilik maliyetleri bakımından geride kalmaktadır. Ayakkabı imalat süreçlerindeki kaynakların etkin kullanılamaması, üretim hatlarında darboğazlara neden olmaktadır. Emek yoğun sektörde kaynakların verimsiz kullanılması üretim akışını etkilemekle beraber kalite problemlerine de yol açmaktadır. Bu durum müşteri memnuniyetini ve rekabet etme gücünü de olumsuz yönde etkilemektedir.

Çalışma yöntem, uygulama ve sonuçlar bakımından ayakkabı imalat sektörü için birden fazla verimlilik konusunu içermektedir. Çalışma üretime başlanmadan önce etraflıca ele alınacak olursa maliyet ve verimlilik bakımında birçok kolaylık sağlayacaktır. Süreç iyileştirme için öncelikli olarak mevcut durumun tespit edilmesi gereklidir. Mevcut durumun sistem performanslarını değerlendirmek için öncelikli olarak zaman etüdü çalışması yapılarak standart sürelerin tespit edilmiştir. Personellerin işi zamanla daha iyi kavramasıyla standart sürelerdeki değişimler öğrenme etkisi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sonrasında konum ağırlıklı hat dengeleme çalışmalarının senaryoları simülasyon yardımıyla değerlendirilerek uygun yöntem tespit edilmiştir. Uygulama sonucunda hedef üretimin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç olan personel ve ekipman sayısı tespit edilmiştir. Operasyon öncelikleri tespit edilerek geriye üretim akışının olmadığı personel makine yerleşimi önerilmiştir.

Hat dengelemede kullanılan konum ağırlıklı dengeleme yönteminin sonuçlarına göre kaynak kullanım oranı incelendiğinde gelişime açık oldu gözlemlenmiştir. Fakat operasyon önceliklerinden dolayı istasyon birleştirme yapılamamıştır. Bu yüzden konum ağırlıklı yöntemle düzenlenen hat üzerine ortacı diye tabir edilen yardımcı personellerle malzeme taşınması yapılarak kaynak kullanımları artırılmaya çalışılmıştır. Önerilen konumdan bağımsız hat dengeleme senaryosunda darboğazların giderildiği kaynak kullanım oranlarının %60'tan %74'e çıktığı çıktı miktarının 559 çiftten 599 çifte çıktı görülmüştür. Diğer performans kriterleri olan kişi başı üretim 18 çiften 24 çifte çıktığı hat etkinliğinin %57'den %76'a çıkmıştır. Çevrim süresinde %6,8 iyileşme meydana gelmiştir.

Bu uygulama çalışmasında üretim hattı için birden fazla senaryo düşünülmüştür. Bu senaryoların verilerde yapılan değişikliklerin sistemi nasıl etkilediğiyle ilgili karşılaştırılması için simülasyon kullanılmıştır. Karşılaştırma için sistemin performansını etkileyecek kritik göstergeler kullanılmıştır. Bu göstergeler verimlilik ve maliyeti direkt etkileyen kriterlerdir.

Senaryolar karşılaştırılırken aşağıdaki göstergeler kullanılmıştır;

- Çıktı miktarı
- Kişi başına düşen üretim miktarı
- Kaynak kullanım oranı
- Kuyrukta bekleme süresi
- Hat etkinliği
- Toplam işçilik maliyeti
- Çift başına düşen birim maliyet

Çalışma sonucunda, mevcut durum ve konumdan bağımsız dengeleme durum senaryoları karşılaştırılınca üretim bandından günlük 2.520 TL kazanç sağlanacaktır. Bu modelin üretim gün süresince toplamda 80.640 TL kazanç elde edilecektir.

Çalışma çıktıları karşılaştırıldığında üretim kapasitesini arttırmak için personel veya makine kaynağı arttırmak her zaman iyi sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle standart süreleri tespit edilen operasyonlarda verimsiz kullanılan personeller darboğaz operasyonlara yönlendirilebilir. Çalışmada ise personellerin yardımlaşması ve istasyon sayısı düşürülerek hattın etkin kullanılması dolayısıyla çıktı miktarının arttırılması sağlanmıştır.

Gelecekte bu konuda çalışma yapacak araştırmacılar için şunlar önerilebilir;

- Hat dengelemede sezgisel yöntemlerden yararlanılabilir.
- Önerilen yöntem sektörde pratik uygulama metodolojisine dönüştürülebilir.
- Uygulama metodolojisinde, veriler sisteme girildikten sonra uygun yöntem önerisinde bulunulabilir.
- Personelin hatlarda uygun işlere atanması konusunda operasyonel yetkinlik matrisleri oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

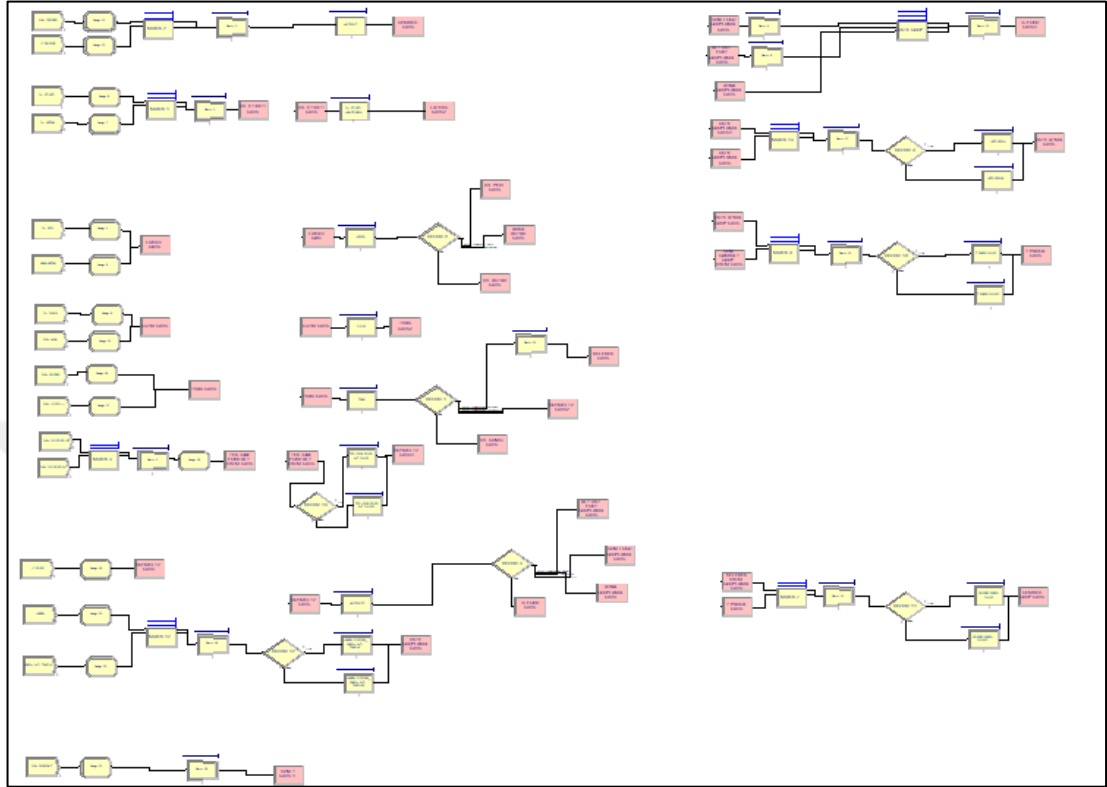
- AKIN, N. G., 2004. Montaj Hattı Dengeleme ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama. Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 123 s.
- AKIN, N. G., 2015. Kanepe Montaj Hattının Dengelenmesi ve Benzetim Yöntemi İle Sınanması. Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi, 5(1), 95-120.010
- Ali, N., 2018. Case Study in Productivity Improvement in Footwear Industry, Bangladesh University, Department Of Industrial & Production Engineering, Master Thesis, Dhaka, 67 s.
- BAYKAL, P. D., ve TUNÇ, M., 2011. Bornoza Dikiminde Üretim Yönetimi Üzerine Bir Çalışma. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, (26).2: 9-17.
- BON, A. T., and SHAHRIN, N. N., 2016. Assembly Line Optimization Using Arena Simulation. in Proceedings Of The 2016 International Conference On Industrial Engineering and Operations Management, 8-10 March, Kuala Lumpur, Malaysia , pp. 2225-2232.
- BRICIU, S., and OFILEANU, D., 2015. Value Stream Mappingin The Romanian Footwear Industry. SEA-Practical Application of Science, (7), 121-128.
- BÜYÜKSAATÇI, S., TÜYSÜZ, F., and BİLEN, K., 2015. Balancing And Simulation Of Assembly Line in An LCD Manufacturing Company. in: 2015 6th International Conference On Modeling, Simulation, And Applied Optimization (ICMSAO). IEEE, 2015. p. 1-5.
- CHEN, J. C., PUTRA, A. P., ANGGONO, N., CHEN, J., and SU, Y. S., 2014. Simulation Modeling and Analysis For Stitching Line Of Footwear Industry. In International Conference On Industrial Engineering and Operations Management (pp. 1099-1106).
- COVAS, J., 2014. Production Line Balancing Simulation: A Case Study in The Footwear Industry. Porto University, Department of Engineering, Master Thesis, Porto, 72 s.
- DAYAN, T. A., ve FIĞLALI, A., 2015. Hata Türü Etkileri Analizi Ve Kalite Araçları Kullanılarak Bakır Profil Üretim Verimliliğinin Artırılması. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(2), 67-76.
- DOĞAN, N. Ö., ve TAKÇI, E., 2015. Bir Tekstil İşletmesinde Simülasyon Yardımıyla Süreç İyileştirme. Ege Academic Review, 15(2), 185–195.
- DOĞU AKDENİZ KALKINMA AJANSI, 2014. Ayakkabıcılık Sektör Raporu. “https://www.dogaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/wwwdogakagovtr_522_cs1_n16kj_ayakkabıcılık-sektor-raporu-2014.pdf”. Erişim:18.03.2022.
- DEMİRBAŞ, Z., 2019. Üretim Hat Dengelemesinde Konfeksiyon Sektörüne Uygun Algoritmaların İncelenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 115 s.
- EREN, M. C., 2019. Benzetim Yoluyla Montaj Hattı İyileştirme Uygulaması, Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s. 162.
- ÇETİNER, E., ve MİKAIL, E., 2008. Öğrenme ve Öğrenmenin Maliyet Düşürmede Araç Olarak Kullanılması ve Ampirik Bir Çalışma. Yönetim Bilimleri Dergisi, 6(1), 121-128.

- ÇALIŞKAN, G.,2020. Bir Tekstil İşletmesinde Simülasyon-Optimizasyon Yaklaşımı ile Hat Dengeleme Çalışması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Deniz, s. 121.
- ERYURUK, S. H., KALAOĞLU, F., and BASKAK, M., 2008. Assembly Line Balancing in A Clothing Company. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, (1 (66)), 93-98.
- ERYÜRÜK, H., 2005. Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.222.
- ERYÜRÜK, S. H., 2012. Clothing Assembly Line Design Using Simulation and Heuristic Line Balancing Techniques. *Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon*, 22(4).
- ERYÜRÜK, S. H., KALAOĞLU, F., ve BASKAK, M., 2014. Etek Üretimi Yapan Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme Çalışması. 2014 (Cilt: 21), 2014, 96.
- FACCIO, M., GAMBERI, M., PERSONA, A., REGATTIERI, A., and SGARBOSSA, F., 2013. Design and Simulation Of Assembly Line Feeding Systems in The Automotive Sector Using Supermarket, Kanbans And Tow Trains: A General Framework. *Journal Of Management Control*, 24(2), 187-208.
- FORNASIERO, R., et al., 2009. How To Increase Value in The Footwear Supply Chain. in: *Working Conference On Virtual Enterprises*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 527-536.
- GERMANES, J. S., PUGA, M. F., SABIO, R. B., SANCHEZ, E. M., and HUGO, J. C., 2017. Improving Efficiency of Shoe Manufacturer through the Use of Time and Motion Study and Line Balancing. *Journal of Industrial and Intelligent Information Vol*, 5(1).
- GÜNDAY, G. G., 2012. Öğrenme Eğrisinin Yeni Ürün Geliştirme Sürecindeki Etkisini Benzetim Modeliyle Araştırılması . Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, s.120
- GÜNER, M. G., and ÜNAL, C. 2008. Line Balancing in The Apparel Industry Using Simulation Techniques. *Fibres & Textiles İn Eastern Europe*, 16(2), 75-78.
- GÜNEŞ, R., 2002. Öğrenme Eğrilerinin Yönetim Kararlarında Kullanılması Açısından Genel Bir Değerlendirme. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2002, 7.2.
- HEIZER, J., and RENDER,B., 1999.*Operation Management*. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall(6th ed), p.837.
- YILDIRIM, S. K., ve ÇALMAŞUR, G., 2021. İşgücü Verimliliği ve Öğrenen Örgüt İlişkisi: Otomotiv Sektöründe Bir Araştırma. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2), 299-315.
- KAYAR, M., and AKALIN, M., 2015. Comparing The Effects Of Automat Use On Assembly Line Performance in The Apparel Industry By Using A Simulation Method. *Fibres & Textiles İn Eastern Europe*.
- KAYAR, M., and AKALIN, M., 2016. Comparing Heuristic and Simulation Methods Applied To The Apparel Assembly Line Balancing Problem. *Fibres & Textiles İn Eastern Europe*, (2 (116)), 131-137.
- KUMAŞ, Z., SABIR, E. C., ve BAYKAL, P. D., 2016. Konfeksiyon İşletmesinin Verimliliği için İş Etüdü Tekniği Kullanımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31.1: 175-190.

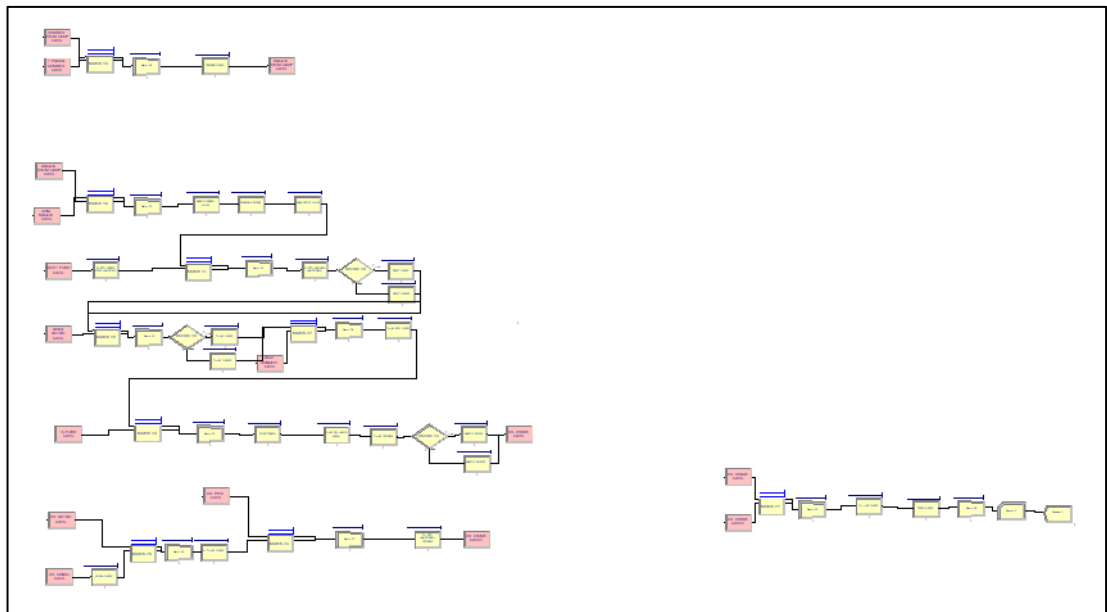
- KURSun, S., and KALAOGLU, F., 2009. Simulation Of Production Line Balancing in Apparel Manufacturing. *Fibres & Textiles In Eastern Europe*, 17(4), 75.
- ÖZÇETİN, N. K., 2019. Bir Mobilya Firmasında Paketleme Öncesi Üretim Hattının Simülasyon ile Verimliliğinin Arttırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, s.106.
- MIA, A. S., NUREALAM, M. D., and UDDIN, M. K., 2017. Court Shoe Production Line: Improvement OF Process Cycle Efficiency BY USING Lean Tools. *Revista de Pielărie Încălțăminte*, 2017, 17: 3.
- MULUGETA, N., 2011. Assembly Line Modeling and Simulation of Footwear Manufacturing (a Case Study on Ramsey Shoe Factory (Doctoral dissertation, Addis Ababa University).
- NAGİ, M., CHEN, F. F., and WAN, H. D., 2017. Throughput Rate İmprovement in A Multiproduct Assembly Line Using Lean And Simulation Modeling and Analysis. *Procedia Manufacturing*, 11, 593-601.
- SABAN, M., ve KÖSE, Y., 2003. Öğrenmenin Maliyet Davranışı Üzerine Etkisi ve Öğrenme Eğrisi Maliyet Dağıtım Modeli.2003, *Muhasebe ve Denetime Bakış* 3 (9), 39-53.
- TUNÇBİLEK, O., 2019. İş ve Zaman Etüdünün Verimliliğe Etkisi ve Bir Mobilya Fabrikasında Uygulamalı Çalışma. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, s.105.
- UMARANI, P., and VALASE,K., 2017. Assembly Line Balancing in Textile Industry.
- WUBE, W., 2019. Reduction Of Production Disturbances Of A Shoe Making Industry Through Discrete Event Simulation Approach. *Journal Of Industrial And Systems Engineering*, 12(1), 215-243.
- YÜCEL, H. E., ve DİLİK, T., 2021. Zaman Etüdü ve Ahşap Kent Mobilyasında Bir Uygulama Örneği. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 61-68.

EKLER

EK 1. Simülasyon modeline ait Arena 10.0 görünümü



EK 1. Simülasyon modeline ait Arena 10.0 görünümü (Devamı)



EK 2. Simülasyon modeline ait gelişler arası sürelerin Arena görünümü

Create - Basic Process								
	Name	Entity Type	Type	Expression	Units	Entities per Arrival	Max Arrivals	First Creation
1	DIL PEDI	DIL_PEDI	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
2	DIL ASTARI	DIL_ASTARI	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
3	DIL SUNISI	DIL_SUNISI	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
4	SUNI AYNA	SUNI_AYNA	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
5	SUNI KELEBEK	SUNI_KELEBEK	Expression	0.18 + LOGN(0.0419, 0.0203)	Minutes	1	Infinite	0.0
6	SUNI LOGOLU	SUNI_LOGOLU	Expression	0.18 + LOGN(0.0419, 0.0203)	Minutes	1	Infinite	0.0
7	SUNI GAMBA T	SUNI_GAMBA T	Expression	0.18 + LOGN(0.0419, 0.0203)	Minutes	1	Infinite	0.0
8	SUNI DIS FORD UST	SUNI_DIS_FORD UST	Expression	0.18 + LOGN(0.0419, 0.0203)	Minutes	1	Infinite	0.0
9	SUNI DIS FORD ALT	SUNI_DIS_FORD ALT	Expression	0.18 + LOGN(0.0419, 0.0203)	Minutes	1	Infinite	0.0
10	IC FORD	IC_FORD	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
11	SUNI BAGCIK	SUNI_BAGCIK	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
12	SERIT FORD	SERIT_FORD	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
13	KAPSUL ALTI TAKVIYE	KAPSUL_ALTI TAKVIYE	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
14	AGIZ SUNGERI	AGIZ_SUNGERI	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
15	ARKA ASTAR	ARKA_ASTAR	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
16	DIL ETKETI	DIL_ETKETI	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
17	JARSEY	JARSEY_	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
18	SUNI CEMBER	SUNI_CEMBER	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0
19	IC BOMBE	IC_BOMBE	Expression	0.36 + LOGN(0.0838, 0.0406)	Minutes	1	Infinite	0.0