



**GÜNEŞ PANELİ ÜRETİMİNDE
SİSTEM İYİLEŞTİRMESİ İÇİN
BİR SİMÜLASYON YAKLAŞIMI**

Raziye KILIÇ

**Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı
Doç. Dr. Burak ERKAYMAN**

2019

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ PANELİ ÜRETİMİNDE SİSTEM İYİLEŞTİRMESİ İÇİN
BİR SİMÜLASYON YAKLAŞIMI**

Raziye KILIÇ

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



TEZ ONAY FORMU

GÜNEŞ PANELİ ÜRETİMİNDE SİSTEM İYİLEŞTİRMESİ İÇİN BİR SİMÜLASYON
YAKLAŞIMI

Doç.Dr.Burak ERKAYMAN danışmanlığında, Raziye KILIÇ tarafından hazırlanan bu çalışma, 16/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (3./3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Dr.Öğr. Üyesi Halil İbrahim DEMİR

İmza :

Üye : Doç. Dr.Burak ERKAYMAN

İmza :

Üye : Doç. Dr.Elif KILIÇ DELİCE

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 18.07/2019 tarih ve ...29.../...72... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ PANELİ ÜRETİMİNDE SİSTEM İYİLEŞTİRMESİ İÇİN BİR SİMÜLASYON YAKLAŞIMI

Raziye KILIÇ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Burak ERKAYMAN

Teknolojinin her geçen gün hızla gelişmesi, dünya nüfusunun artması nedeniyle tüketim miktarları artmaktadır. Artan tüketim miktarları nedeniyle ürünlere, hammaddelere ve hizmete olan talepler artmaktadır. Taleplerin zamanında ve ürünlerin en kaliteli şekilde teslim edilmesi işletmeler için önem taşımaktadır. Bir işletmenin talepleri zamanında karşılaması, üretimin hızlı ve kaliteli olması kendi sektöründe rekabet gücünü de arttıracaktır. Rekabet gücünü arttırmak, kar marjlarını korumak ya da arttırmak için işletmeler üretim süreçlerini tekrar gözden geçirmelidir. İşletmedeki kayıp zamanları azaltmak, personel-makine kullanımlarını en üst düzeye çıkarmak zorundadır.

Yapılan çalışmada işletmedeki üretim süreçleri incelenmiştir. Üretim sürecinde montaj hatlarındaki tıkanıklığa ya da verimsizliğe neden olan noktalar tespit edilerek işletmedeki çıkan ürün sayıları iyileştirmeye çalışılmıştır. Bunu yaparken montaj hatlarındaki makine personel işlem süreleri incelenmiştir. Bu sürelerin Arena Input Analyzer programında hangi dağılımlara uyduğu tespit edilmiştir. Dağılımlar, Arena programında işletmenin mevcut ve revize model simülasyonu yapılarak kullanılmıştır. Mevcut model simülasyonu sonuçlarına göre revize modeller oluşturulmuştur. Revize modeller ile çıktı sayısı ve makine-personel kullanım oranları artırılması amaçlanmıştır. Böylece, riskin ve alınacak önlemin bilindiği belli durumlara sebep olan çelişkiler tespit edilmiş olacaktır.

2019, 98 sayfa

Anahtar Kelimeler: Montaj hatları, Simülasyon, Arena Rockwell, Sistem iyileştirmesi

ABSTRACT

MS Thesis

A SIMULATION APPROACH FOR SYSTEM IMPROVEMENT IN SOLAR PANEL PRODUCTION

Raziye KILIÇ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering
Industrial Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Burak Erkeyman

Consumption amounts are increasing due to the rapid development of technology and increasing population of the world. Demand for products, raw materials and services are increasing due to increased consumption. It is important for businesses to deliver the demands in a timely manner and with the highest quality products. If an enterprise meets the demands in a timely manner and the production is fast and high quality, it will increase its competitiveness in its sector. In order to increase competitiveness, maintain or increase profit margins, enterprises should review their production processes. It has to reduce the lost time in business and maximize personnel-machinery usage.

In this study, production processes in the enterprise are examined. In the production process, the points causing congestion or inefficiency in the assembly lines were identified and the number of products in the enterprise was tried to be improved. In doing so, the machine personnel processing times in the assembly lines were examined. It has been determined which distributions of these periods fit in Arena Input Analyzer program. The distributions were used in the Arena program by simulating the existing and revised model of the enterprise. Revised models were created based on the results of the current model simulation. The revised models aimed to increase the number of outputs and machine-personnel utilization rates. Thus, the contradictions that cause certain situations in which the risk and the precautions to be taken are known will be detected.

2019, 98 pages

Keywords: Assembly Line, Simulation, Arena Rockwell, System Optimization

TEŞEKKÜR

“Güneş Paneli Üretim Tesisinde Sistem İyileştirmesi İçin Bir Simülasyon Yaklaşımı” konulu tez çalışmam için konunun seçiminden sonuçlandırılmasına kadar olan her aşamada değerli bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, beni yönlendiren ve en önemlisi motive eden değerli danışman hocam Sayın Doç.Dr. Burak ERKAYMAN’a şükran ve saygılarımı sunmaktan mutluluk duyarım.

Çalışmam boyunca bana manevi destek olan bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca simülasyon çalışmasında programlama konusunda bana sabırla destek olan meslektaşım Sayın Can ŞANLI’ya yardımları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Her zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen beni her konuda destekleyen kıymetli babam, her koşulda beni cesaretlendiren ve her türlü fedakarlığı yapan canım annem ve değerli ablalarıma sonsuz teşekkür ederim.

Raziye KILIÇ

Haziran, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemi Literatür Taraması.....	3
2.2. Simülasyon Literatür Taraması	8
3. METOT	13
3.1. Montaj Hattı Kavramı	13
3.1.1 Montaj hatları ile ilgili terimler	15
3.2. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması	17
3.2.1. Ürün çeşitliliğine göre sınıflandırma.....	17
3.2.2. Görev sürelerinin değişkenliğine göre sınıflandırma	19
3.2.3. Atama kısıtlarının değişkenliğine göre sınıflandırma	20
3.2.4. İstasyon türlerine göre sınıflandırma.....	21
3.2.5. Yerleşim planına göre sınıflandırma	21
3.2.6. Amaca göre sınıflandırma	23
3.3. Montaj Hattı Dengeleme	24
3.3.1. Sezgisel yöntemler	24
3.3.2. Analitik yöntemler.....	25
3.3.3. Benzetim (Simülasyon)	26
3.4. Simülasyon Tanımı.....	26
3.5. Simülasyon Tarihi	28
3.6. Simülasyonun Amacı	29
3.7. Simülasyon Kullanımı	32
3.8. Simülasyon Uygulama Alanları	33

3.9. Simülasyon Modelleri Çeşitleri.....	33
3.9.1. Stokastik-deterministik modeller	34
3.9.2. Dinamik-statik modeller.....	35
3.9.3. Sürekli- kesikli modeller	35
3.10. Simülasyon Yazılımları.....	36
3.11. Simülasyon Modeli Aşamaları	37
3.11.1. Problem tanımlama.....	38
3.11.2. Amaçların belirlemesi	38
3.11.3. Veri toplama	39
3.11.4. Model tasarımı.....	41
3.11.5. Modelin kurulması	41
3.11.6. Modelin doğrulanması.....	41
3.11.7. Deneylerin yapılması.....	42
3.11.8. Uygulama	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	43
4.1. Arenada Kullanılan Temel Modüller	43
4.1.1. Create modülü	43
4.1.2. Proses modülü	44
4.1.3. Dispose modülü.....	45
4.1.4. Decide modülü	46
4.1.5. Assing modülü.....	47
4.1.6. Batch modülü	48
4.1.7. Seperate modülü	49
4.1.8. Record modülü	50
4.1.9. Station modülü	51
4.1.10. Access modülü	52
4.1.11. Convey modülü	53
4.1.12. Exit modülü	54
4.1.13. Start modülü	55
4.1.14. Stop modülü	56
4.1.15. Delay modülü	57
4.1.16. Hold modülü.....	58

4.2. İşletmenin Durum Analizi	59
4.2.1. Birinci kısım mevcut model	63
4.2.2. Birinci kısım revize model	67
4.2.2.a. Revize Model 1.....	67
4.2.2.b. Revize Model 2	70
4.2.3. İkinci kısım mevcut model	74
4.2.4. İkinci kısım revize model	77
4.2.5. Üçüncü kısım mevcut model	79
4.2.6. Üçüncü kısım revize model	82
5. SONUÇ	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	99

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

180D	180 Derece Panel Döndürme Konveyörü
90D	90 Derece Panel Döndürme Konveyörü
AT	Ayna Kontrollü Tek yönlü Tranfer Konveyörü
CY	Cam Yükleme Makinesi Konveyörü
ÇT	Çift Yönlü Transfer Konveyörü
EL	Elektrolüminesans
HT	Laminatör Öncesi Panel Hizalayıcı Tranfer Konveyörü
J.B	Junction Box
KT	Otomatik Kapılı Tek Yönlü Transfer Konveyörü
LK	Lay-Up Makinesi Konveyörü
LST	Laminatör Sonrası Panel Taşıma Konveyörü
TT	Tek Yönlü Transfer Konveyörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Montaj hattı genel işleyişi.....	14
Şekil 3.2. Örnek bir montaj hattı gösterimi.....	14
Şekil 3.3. Öncelik diyagramı gösterimi	16
Şekil 3.4. Tek modellenli montaj hatlarına bir örnek	18
Şekil 3.5. Çok modellenli montaj hatlarına bir örnek.....	19
Şekil 3.6. Düz montaj hattının şekilsel gösterimi	22
Şekil 3.7. U tipi montaj hattının şekilsel gösterimi.....	23
Şekil 3.8. Simülasyon Çalışma Şeması.....	26
Şekil 3.9. Simülasyonun modellerine göre sınıflandırılması	34
Şekil 3.10. Kesikli sistem durum değişkeni.....	36
Şekil 3.11. Sürekli sistem durum değişkeni.....	36
Şekil 3.12. Model verisi toplanması gösterimi	39
Şekil 4.1. Create modülü gösterimi	44
Şekil 4.2. Proses modülü gösterimi	45
Şekil 4.3. Dispose modülü gösterimi	46
Şekil 4.4. Decide modülü gösterimi.....	47
Şekil 4.5. Assing modülü gösterimi.....	48
Şekil 4.6. Batch modülü gösterimi.....	49
Şekil 4.7. Seperate modülü gösterimi	50
Şekil 4.8. Record modülü gösterimi	51
Şekil 4.9. Station modülü gösterimi.....	52
Şekil 4.10. Access modülü gösterimi.....	53
Şekil 4.11. Convey modülü gösterimi	54
Şekil 4.12. Exit modülü gösterimi	55
Şekil 4.13. Start modülü gösterimi	56
Şekil 4.14. Stop modülü gösterimi.....	57
Şekil 4.15. Delay modülü gösterimi	58
Şekil 4.16. Hold modülü gösterimi	59
Şekil 4.17. Birinci kısım mevcut makine düzeni	65

Şekil 4.18. Birinci kısım mevcut model Arena gösterimi.....	66
Şekil 4.19. Birinci kısım revize model arena gösterimi.....	69
Şekil 4.20. Birinci kısım revize model 2 Arena gösterimi.....	71
Şekil 4.21. İkinci kısım mevcut makine düzeni.....	75
Şekil 4.22. İkinci kısım mevcut model Arena gösterimi	76
Şekil 4.23. İkinci kısım revize model Arena gösterimi	78
Şekil 4.24. İkinci kısım gerçek makine düzeni.....	79
Şekil 4.25. Üçüncü kısım mevcut model Arena gösterimi	80
Şekil 4.26. Üçüncü kısım revize model 1 Arena gösterimi	83
Şekil 4.27. Üçüncü kısım revize model 2 Arena gösterimi	87
Şekil 4.28. Üçüncü kısım revize model 3 Arena gösterimi	90
Şekil 4.29. Üçüncü kısım revize model 4 Arena gösterimi	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Yapılan işlemler ve istatistik dağılımlar tablosu	61
Çizelge 4.2. Üretim hattındaki makine ve personel sayısı	62
Çizelge 4.3. Birinci kısım mevcut makine ve personel kullanım oranları	67
Çizelge 4.4. Birinci kısım revize model 1 makine ve personel kullanım oranları	68
Çizelge 4.5. Birinci kısım mevcut model ve revize model 1 kıyaslanması	70
Çizelge 4.6. Birinci kısım revize model 2 makine ve personel kullanım oranları	72
Çizelge 4.7. Birinci kısım mevcut model ve revize modellerin kıyaslanması	73
Çizelge 4.8. İkinci kısım mevcut makine kullanım oranları	77
Çizelge 4.9. İkinci kısım revize model makina kullanım oranları	77
Çizelge 4.10. Üçüncü kısım mevcut makine kullanım oranları	81
Çizelge 4.11. Üçüncü kısım revize model 1 makine kullanım oranları	82
Çizelge 4.12. Üçüncü kısım mevcut model ve revize model 1 kıyaslanması	84
Çizelge 4.13. Üçüncü kısım revize model 2 makine ve personel kullanım oranları	85
Çizelge 4.14. Üçüncü kısım mevcut model ve revize 2 model kıyaslanması	86
Çizelge 4.15. Üçüncü kısım revize model 3 makine ve personel kullanım oranları	88
Çizelge 4.16. Üçüncü kısım mevcut model ve revize model 3 kıyaslanması	89
Çizelge 4.17. Üçüncü kısım revize model 4 makine ve personel kullanım oranları	91
Çizelge 4.18. Üçüncü kısım mevcut model ve revize 4 model kıyaslanması	92

1.GİRİŞ

Çalışma yapılan işletme Antalya’da fotovoltaiik enerji üretim sektöründe faaliyet gösteren üretim ve hizmet firmasıdır. 2010 yılından bu yana faaliyetlerine bu alanda devam etmektedir. Firmada toplam 800 personel ile 3 vardiya sisteminde çalışmaktadır. Yıllık 750 megavat güneş paneli üretim kapasitesiyle Türkiye’nin ve Avrupa’nın en büyük güneş paneli üretim firmasıdır.

Müşteri taleplerinin zamanında karşılanması, istenilen özellik ve kalite de ürün üretilmesi için işletmeler üretim süreçlerinde iyileştirmeler yapmak zorundadır. Sadece ürünleri üretmek değil aynı zamanda üretimdeki esneklik, teslimat zamanları, kalite, üretim hızı gibi etmenler giderek önem kazanmıştır. İşletmeler, rekabet edebilmek için bütün süreçlerini en verimli şekilde kullanmak ve bunun için yenilikler yapmalıdır.

Çalışma yapılan işletmede fotovoltaiik güneş paneli üretimi yapılmaktadır. Fototovoltaik terimi “foto” ve “volta” kelimelerinden oluşmaktadır. Foto “ışık”, volta ise elektrik birimi olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaiik “güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirme” anlamına gelmektedir. Teknolojinin gelişmesi, sanayileşmenin artması ve dünya nüfusunun çoğalması nedeniyle enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Güneşten enerji elde edilmesi, güneş enerjisi santralleri ön plana çıkan bir sektör olmuştur. Güneş enerjisi kesintisizdir ve sonsuzdur. Bu da güneş paneline olan talebi arttırmaktadır. Güneş paneline olan talebin fazla olmasının sebepleri aşağıdaki gibi sıralanır.

- İstenilen yerde ve istenilen güçte kurulabilir.
- Kurulumu kolaydır.
- Çevreye zararı yoktur.
- Yıllık bakım maliyeti azdır.
- Sistemin ömrü en az 25 senedir. Kendini amorti etme süresi 6-7 senedir.
- Esnek sistemlerdir. Şebekeye bağlı ya da bağlı olmayabilir.

İşletme, güneş paneline olan talepleri karşılayabilmek için üretim miktarlarını arttırmak istemektedir. Panel üretimi esnasında hem makine hem de insan gücü kullanılmaktadır. İnsan gücünün yoğun kullanıldığı prosesler verimsizliğin en fazla olduğu yerlerdir. Çünkü insana bağlı olduğundan üretim hızı ve üretim verimliği işi yapan personelin bilgi ve becerisi göre değişkenlik göstermektedir.

Üretim hacmini arttırmak için kullanılan makineler ve personeller boş kalmamalıdır. Makineler tam kapasite ile çalışıyorsa yeni makine yatırımları yapılması gerekmektedir. Üretimi arttırmak için montaj hatlarında detaylı incelemeler yapılmalıdır. Dar boğaz olan istasyonlar belirlenmeli, istasyonların çevrim sürelerinin kısaltılmalıdır. Ancak bu şekilde üretim miktarlarında artış söz konusu olabilir.

Çalışmanın yapılmasındaki amaç güneş paneli üretim verimliliğinin ve dengeli bir hat oluşturulup oluşturulmadığını tespit etmektir. Verimli bir hat tasarımı için simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Bunun için işletmedeki prosesler incelenmiş, bütün proseslerde zaman ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçları Arena programındaki Input Analyzer'a girilerek proseslerin hangi dağılıma uyduğu elde edilmiştir. Elde edilen dağılımlar Arena programında kullanılmıştır. Bu sayede üretim hattındaki darboğazların belirlenerek, bu darboğaz kısımlarına konveyör, makine, personel ekleme, verimsizlik tespit edilen yerlerde ise konveyör, makine ve personel çıkarma kararları alınarak hattın dengelenmesi sağlanmıştır. Bunun için mevcut üretim sistemi simülasyonu yapılarak çıkan ürün sayılarına ve makine-personel kullanım oranlarına bakılmıştır. İşletmenin mevcut üretim hattı Arena programına aktarılmıştır. Çıkan sonuçlara ve işletmede yapılan gözlemlere göre darboğaz olan ya da verimsiz olan proseslere göre revize modeller tasarlanmıştır. Revize modeller ile, istasyonların daha verimli kullanıldığı yeni simülasyon modelleri oluşturulmuştur. Mevcut sistem ve revize modellerdeki ürün sayıları ve makine kullanım oranları karşılaştırılarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemi Literatür Taraması

Cengiz (2002), çalışmasında, katı yakıtlı kat kaloriferi üretimi yapan bir firmada benzetim yöntemi kullanarak hat dengeleme çalışması yapmıştır. Bu çalışma sonucunda gerekli kapasiteye ulaşılmış ve %91 doluluk oranını sağlamıştır.

Akın (2004), bir tekstil firmasının spor pantolon üreten üretim hattında montaj hattı dengeleme çalışması yapmıştır. Çalışmasında sezgisel yöntemlerden olan En Büyük Aday, Helgeson-Bimie, Kilbridge ve Wester, En Kısa İşlem Süresi ve En Az Takip Eden İş yöntemlerini kullanmıştır. Bu yöntemler arasında en iyi sonucu veren sezgisel yöntem Kilbridge ve Wester yöntemi olarak bulmuştur. Günlük üretim miktarını 500 adetten 552 adete çıkarmıştır. %71 olan üretim kapasitesini %78,79 a çıkarmıştır.

Eryürük (2005), çalışmasında montaj hatlarında dengeleme yapmak amacıyla sezgisel metotlar kullanmıştır. Beş farklı modelde, konum ağırlıklı ve probabilistik montaj hattı dengeleme yöntemleri kullanmıştır ve sonuçları karşılaştırmıştır. Bu yöntemlerden, konum ağırlıklı dengeleme yönteminin uygulama kolaylığı ve hat etkinliği açısından, probabilistik hat dengeleme yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini görmüştür.

Yılmaz (2006), montaj hattı dengeleme çalışmasını sezgisel metot kullanarak yapmıştır. İşlem sürelerinin standart olmamasından dolayı bulanık işlem süreleri kullanmıştır. Bu süreleri Java programında oluşturduğu algoritmalar vasıtasıyla kodlama yapmıştır. 178 adet alternatif çıktı elde etmiştir. Bunlar arasından hat verimliliği %83 olan alternatifi en sonuç olarak elde etmiştir.

Güden (2006), çalışmasında bir şirketin çok amaçlı çok modellen bir montaj hattı dengeleme problemini çözmeyi amaçlamıştır. Deterministik montaj hattı dengeleme problemini çözmek için meta-sezgisel bir yöntem geliştirmiştir. Koçanalı (2007), montaj

hattı dengelenmesini amaçlayan modeli, Automod simülasyon programını kullanarak geliştirmiştir. Sezgisel yöntem kullanarak montaj hattı dengelenmiş gibi görölse de, simülasyon yöntemi ile çözdüğünde sistemde hala kuyrukların ve atıl zamanın oluştuğunu görmüştür. Mevcut durumun bilgisayar ortamında görüldüğünden, eksikleri daha iyi ortaya koyduğu sonucuna varmıştır.

Bayraktaroğlu (2007), dinamik programlama ve dal sınır algoritmasını etkinlik bakımından en optimal sonuçları verdiği için montaj hattı dengeleme çalışmasında kullanmıştır. Kullanmak istediği bu metotlar ile ilgili literatürde yaptığı inceleme sonucunda, dal-sınır algoritmasının hesaplama süresi ve işlem yükü bakımından dinamik programlama ile kıyaslandığında daha iyi çalıştığını görmüştür.

Kurşun (2007), gömlek üretimi yapan bir işletmede, üretim hattını benzetim paket programı ile bilgisayar ortamında modellemiştir. Benzetim modeli oluştururken Enterprice Dynamics programını kullanmıştır. Montaj hattında darboğaz olarak belirlenen kısımlara iş istasyonu eklemesi yaparak birbirinden farklı stratejileri denemiştir. Denemesi sonucunda iş sayısı, bekleme süreleri ve tamamlanan iş sayısı, önceki stratejilerin sonuçları ile kıyaslanıp yeni darboğazların oluşup oluşmadığını incelemiş ve bunun sonucunda hangi noktalara yeni iş istasyonu ekleneceğine karar vermiştir.

Polat (2008), farklı kabiliyetleri olan işçi kaynakları ile iş istasyonlarındaki işlem sürelerini minimize etmek için çalışma yapmıştır. Bunun için matematiksel model tanımlamış ve probleminin sonuca ulaşması amacıyla iki aşamalı genetik algoritma modeli geliştirmiştir. Bu algoritmanın performansı üzerine etki eden parametreleri belirlemek için deney tasarımı gerçekleştirmiştir.

Hwang et all. (2008) makalesinde, U şeklindeki montaj hattı dengeleme problemini çözmek için çok amaçlı bir genetik algoritma sunmaktadır. Tam zamanında üretim, ilkesinin sunulmasının bir sonucu olarak, U şeklindeki montaj hattı sistemlerinin geleneksel düz hat sistemlerine göre birçok fayda sağladığı kabul edilmiştir. Deneylerin

sonuçları, önerilen modelin iş istasyonu entegrasyonunun iyi veya hatta daha iyi hat verimliliği olarak üretildiğini ve iş yükü çeşitliliğini geliştirdiğini göstermektedir.

Longo and Mirabelli (2009), araştırmasında iş ölçümü, hat dengeleme ve ergonomik problemleri göz önünde bulundurarak ısıtıcı üretimi için etkin bir montaj hattının tasarımının geliştirmişlerdir. Her iş istasyonuna farklı bir iş tahsisi, daha iyi bir hat dengeleme ve daha iyi bir ergonomik çözüm elde etmek amacıyla çoklu önlemler yaklaşımı önermiştir.

Saçlı (2010), işletmedeki montaj hatlarında, hat verimliliğini arttırmak amacıyla yeni bir paket program geliştirmiştir. Programın uygulanması sonucunda montaj hatlarının dengelenerek hat verimliliklerinin arttırılabileceği sonucunu elde etmiştir.

Kuvvetli (2010), çalışmasında standart bir montaj hattı dengeleme problemine ilave olarak işgücü etmenini ele almıştır. Karma modelli, deterministik işlem zamanlı ve çevrim zamanı belirli montaj hatları için, birden fazla iş yeteneğine sahip işgücü olması durumu için problem tanımlamıştır. Analitik çözüm yöntemleri üzerinde incelemeler yapmış ve tamsayılı programlama yöntemi ile problemleri çözmüştür. Oluşturulan modelin farklı şartlarda olması halinde, davranışlarını incelenmek için senaryo analizi oluşturmuştur. Çevrim zamanlarının ve işgücü yetenek grup sayısının modele etkisini senaryo analiziyle incelemiştir. Senaryo analizinde maliyet ve hat verimine göre anlamlı çıktılar elde etmiştir.

McMullen and Frazier (2010), araştırmasında iş istasyonlarının paralelleştirilmesine izin verildiğinde birden fazla nesnel problem için montaj hattı dengeleme problemini ele almak için simüle edilmiş bir Tavlama bazlı bir teknik sunmaktadır. Benzetilmiş Tavlama metodolojisi yedi problemde 23 hat dengeleme stratejisi için kullanılmaktadır. Her bir çözeltinin sonuçta ortaya çıkan performansı bir simülasyon deneyi ile incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, Simüle Edilmiş Tavlama yaklaşımlarının çevrim süresi performansında belirgin derecede daha iyi, fakat maliyet performansında ortalama çözümler ürettiğini göstermiştir.

Özkıran ve Düşünür (2011), bir montaj hattı dengeleme problemi üzerine çalışmıştır. Montaj hattında yaptığı gözlemleri desteklemek ve muhtemel iyileştirmenin elde edilmesi açısından simülasyon modeli kullanmıştır. Oluşturulan modelde gerçek sistem tasarımını yapmıştır. Simülasyon modeli sonuçlarına göre darboğaz tespit edilen noktalarda istasyon dengelemesi yapılmıştır.

Takçı (2013), İşletme kaynakların en yüksek kapasite ile ve en etkin şekilde kullanılmasını amacıyla montaj hattı dengeleme problemi üzerinde çalışma yapmıştır. Montaj hattı dengelemesi çalışmasında simülasyon yöntemi kullanmıştır. Fabrikada inceleme yaparak, istasyonların verimli çalışmasına engel olan darboğaz kısımları tespit etmiştir. Mevcut montaj hattı modeli ile yapılması düşünülen iyileştirmelerin olduğu modeli kıyaslamıştır. Mevcut durum simülasyonu ile iyileştirilmiş model simülasyonu yıllık üretim adetleri bakımından karşılaştırıldığında, iyileştirilmiş modelde %47lik bir artış elde etmiştir.

Kumar and Mahto (2013), makalesinde montaj hattı dengeleme alanındaki farklı çalışmaların incelemelerini sunar ve toplam ekipman maliyetini ve iş sayısını en aza indirmek için endüstrilerdeki mevcut en son gelişmeleri ve eğilimleri bulmaya çalışmışlardır.

Foroughi (2014), montaj hatlarında işgücü maliyetini hesaplamak için matematiksel bir model oluşturmuştur. Oluşturduğu modeli CPLEX yazılım programı ile çözmüştür. Fakat bu yazılım küçük ve orta boyuttaki problemler için uygundur. Büyük boyutlu problemin için genetik algoritma önermiştir. Genetik algoritma sonuçlarının daha iyi performansa sahip olduğunu elde etmiştir.

Muzoğlu (2014), Bir akü fabrikasında bulunan birbirine paralel, karışık modelli, deterministik üretim zamanlı, altı montaj hattındaki ürün modellerinin, montaj hattına giriş sıralarının belirlenmesi ve hat yeteneklerine göre hatların dengelenmesi problemi üzerine çalışmıştır. Model sıralama ve montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde tavlama benzetimi algoritması kullanmıştır. İstasyon sayısı en küçüklenmesi amacı

altında elde edilen sonuçlar teorik alt sınır değerleri ile karşılaştırmıştır. Operatör sayısında teorik hesaplanan %51 lik iyileşme elde etmiştir.

Tanrıverdiyev (2014), çalışmasında U-Tipi montaj hatları üzerine yapmıştır. Çalışmasında sezgisel bir yöntem oluşturmuştur. Tek modelli ve görev sürelerinin deterministik olduğu montaj hattında, istasyon sayılarını azaltmaya çalışmıştır. Oluşturduğu sezgisel yöntemi, genetik algortima, karınca kolonisi algoritması, bakteriyel besin arama algoritmasından elde ettiği sonuçlarla kıyaslamıştır. 64 deneme yapmıştır ve 57 tanesinde kısa sürede optimal sonuçlar elde etmiştir.

Delice (2014), İki farklı montaj hattı yapısının birleştirilerek yeni bir montaj hattı yapısının ortaya konduğu bu çalışmada çift-terafli montaj hatları ile U-tipi montaj hatlarının avantajlı yönlerinin bir araya getirilmesi amaçlamıştır. Geliştirilen Parçacık Sürü Optimizasyonu temelli bu sezgisele ait temel adımlar örnek bir çözüm üzerinde ayrıntılı bir biçimde açıklamıştır. Ayrıca bu yeni algoritmanın etkinliğini değerlendirebilmek için literatürde yer alan test problemleri kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar bu yeni Montaj hattı dengeleme modeli için geliştirilmiş olan değiştirilmiş-Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmasının etkin bir biçimde çalıştığını ortaya koymaktadır.

Yıldız (2015), montaj hattı dengeleme problemi üzerine çalışılmış ve mevcut yapılan çalışmaları inceleyerek literatürde olmayan bir konu olarak sıra bağımlı teslim zamanlı ve öğrenme etkili olarak geliştirmiştir. Sıra bağımlı olması montaj hatlarında, işlerin önceliklerinin olduğu anlamına gelmekte ve bunun üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu eklentilerin yapılmasının sebebi ise, gerçek hayat problemlerine daha yakın, özellikle teslim zamanı ile hattın bekleme zamanlarını da hesaba katarak çözümler yapılmaya çalışmıştır. Öğrenme etkileri ile sürekli tekrarlanan işlerin standart işlem sürelerinin azaldığı ve bu etkinin sürece dahil edildiği bir çalışma yapmıştır.

Doğan (2015), işlem sürelerinin belirsiz olduğu istasyonlarda montaj hattı gengelemsi yapmak amacıyla bir algoritma geliştirmiştir. Geliştirdiği algoritmada işlem sürelerini

iyimser-muhtemel ve kötümser durumları için en az çevrim sürelerini sürelerini verecek şekilde Lingo programında oluşturmuştur. Çıktılara göre %9455 hat verimliliği ile iyi bir alternatif elde etmiştir.

Biber (2018), bir otomotiv firmasında montaj hattı dengeleme çalışması yapmak amacıyla üç farklı sezgisel yöntem ve matematiksel model kullanmıştır. Kullandığı sezgisel yöntemler ve matematiksel model sonuçlarını, istasyon sayıları ve hat verimliliği bakımından karşılaştırmıştır. Sonuç olarak hangi yöntemin daha iyi olduğunu konusunda, sezgisel yöntemler problemlere daha hızlı çözüm bulduğunu fakat sonuçların optimuma yakın olduğuna, matematiksel modellerin ise karmaşık ve büyük üretim hatlarında daha yavaş çözüm bulduğu fakat sonuçların optimum olduğu yorumunu yapmıştır.

2.2. Simülasyon Literatür Taraması

Gerşil (2004) yaptığı çalışmada stotastik simülasyon modeli ile televizyon üretimi yapan bir tesisteki montaj hatlarından birisinde incelemeler yapmıştır. Montaj hattındaki çıktı miktarını arttırmak ve darboğaz sürecinin uygulanması ile kuyrukta bekleme süreleri ve toplam sistem zamanını azaltmayı hedeflemiştir. Arena kullanarak, montaj hattı modellemesini yapmış ve farklı işletim politikası önerilerini modele uygulamıştır. Sonuç olarak üretim hattındaki çıktı miktarında %10 artış elde etmiştir.

Sever (2004), talaşlı imalat bölümü mevcut haliyle ve esnek üretim sistemine dönüştürülmüş otomatik taşıma araçlı haliyle simülasyon çalışması yapmıştır. Mevcut durum simülasyonu sonucu imalat bölümü %83,3 verimle çalıştığını elde etmiştir. Yeni sistemle yapılan simülasyonda üretimde %35 lik bir artışın elde edileceğini bulmuştur.

Treadwell and Herrmann (2005), çalışmasında çekme üretimi kontrolünü modellemenin çeşitli yollarını açıklar ve bunları model yapımı ve uygulaması ile ilgili önlemler ile karşılaştırır. Bir kanban iş istasyonu modülü, hızlı gelişim olaylarında simülasyonu karar verme aracı olarak daha kullanışlı hale getiren bir çekme üretim modeli geliştirmek için gereken süreyi önemli ölçüde azaltmıştır.

Kılık (2005), çalışmasında kollektör imalatı yapan bir işletmenin mevcut durumu Arena 4.0 ve Promodel kullanarak modellemiştir. Darboğaz olan kısımları tespit etmiştir. Oluşan darboğazları ortadan kaldırmak ve sistem performansını arttırmak için hatlarda tezgah ve işçi ekleyerek yeni modeller oluşturmuştur. Örneğin panel bölümü için kurulan modellerde mevcut kapasite ile üretim miktarı 310 adetken, önerilen modelde sisteme eklenen kaynak makinesi ve işçi ilavesi ile kapasite arttırıldığında üretim miktarı 681'e çıkmıştır.

Wallace and Saltzman (2005), Çalışmasında iki farklı simülasyon programlama yöntemi kullanılarak beceri tabanlı bir yönlendirme çağrı merkezinin modellenmesi için C dili ve Arena yazılım paketi kullanılmıştır. Bu tür çağrı merkezinin özelliklerini inceledikten sonra, çağrı merkezinin modellenmesinde her yöntemin göze çarpan bileşenlerini açıklanmıştır. Her bir simülasyon programlama yaklaşımını bu bağlamda kullanmanın artı ve eksilerini karşılaştırılmıştır.

Coşkuntürk (2006), mevcut üretim adetleri satış miktarını karşılamayınca TV montajı yapan üretim fabrikasında kapasite arttırımı yapmak için Arena paket programı kullanmıştır. Mevcut durum modelleri ve yeni durum modellemesi yapmıştır. Simülasyon ile istenilen yıllık üretim kapasitesini sağlayabilen en düşük çalışan sayılarını belirlemiştir.

Aydın (2007), çalışmasında İstanbul şehir içinde etkinlik yapan deniz otobüsleri ve iskeleleri hakkında planlama yapmak için simülasyonun uygun bir yöntem olarak kullanılabilirliği üzerine çalışmıştır. Bunun için şehir içi bütün şebekeyi ele alacak şekilde Promodel simülasyon yazılımı ile bir model geliştirmiştir. Geliştirdiği modeli, daha önce yapılmış farklı senaryo analizinde kullanmıştır. Elde edilen sonuçları birbirleriyle kıyaslayarak durum tespiti yapmıştır. Deniz yolu taşımacılığı ile ileri dönemler için ilgili planlama yapma koşunda önerilerde bulunmuştur.

Karaca (2007), yapmış olduğu çalışmada mobilya üretimi yapan bir işletmede iş istasyonları kapasite kullanım oranları, iş istasyonlarının bekleme süreleri ve boş kalma

oranları gibi işletmeyi için önemli olan istatistikleri simülasyon yöntemi ile elde etmiştir. Bunun için Promodel programından faydalanmıştır.

Yalçın (2009), çalışmasını simülasyon üzerine yapmıştır. Simülasyonu optimizasyon teknikleri ile birleştirmiştir. Uygulamasını devlet hastesinin acil servis bölümündeki işleyiş üzerinde iyileştirme elde etmek amacıyla yapmıştır. Acil servislerdeki kısıtlı sağlık personeli, kısıtlı yatak sayısı ile hastaların hastanede geçirdikleri zamanı minimize etmek ve gerekli sağlık personeli, yatak sayısını bulmak istemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre hastane kaynaklarından faydalanılarak optimize edilmiş simülasyon modelinde hastaların hastanede geçen ortalama zaman da %28,27 azaltıldığını göstermiştir.

Özçift (2010), Otomotiv endüstrisinde yaptığı simülasyon çalışması ile, üretim içerisinde yer alan süreçleri iyileştirmeye çalışmıştır. Çalışmada, otomotiv endüstrisinde ara stok alanı yatırım kararı, Witness simülasyon program ile modellenmiştir. Oluşturulan model sayesinde, simülasyonu uygulayan kuruluş yatırım maliyetinde kazanç sağlayacağı sonucuna ulaşmıştır.

Aksoy (2011), denizyolu taşımacılığında yük ve dorselerin taşınması için oluşturulan RO-RO istasyonlarında yürütülen operasyonların işleyişi üzerine çalışma yapmıştır. Operasyonlar yapılırken olması muhtemel problemleri ve problemler için çözüm yöntemleri önermiştir. Bunun için bir simülasyon programı olan ARENA'dan faydalanmıştır. İncelemeleri esnasında araçların bekleme yerlerinde uzun kuyrukların oluştuğunu ve bu kuyrukların operasyon akışını etkileyecek biçimde darboğaz oluşturduğunu gözlemlemiştir.

Özellikle RO-RO terminalleri içerisinde araçların bekleme yaptıkları ve kuyruk oluşturdukları alanlarda operasyon akışını bozacak şekilde darboğazların oluştuğu gözlemlemiştir. Kapasitesinin üzerinde doluluk oranına sahip olan bekleme alanlarındaki yoğunluğun, kapasitesinin altında doluluk oranına sahip olan bekleme alanlarının paylaştırılmasıyla azaltılabileceği sonucunu elde etmiştir. Kapasitesi yüksek olan

bekleme alanları ile düşük kapasiteli bekleme alanları arasında yoğunluğun paylaştırılarak darboğazların önüne geçilebileceği sonucuna varmıştır.

Yılmaz (2013), çalışmasında simülasyon tekniği kullanarak, erkek gömleği üretimi yapan bir hazır giyim firmasında birden çok modelin aynı anda üretiminin yapılabilmesini sağlamak, üretim esnekliğini artırmak amacıyla yapmıştır. Simülasyon sonucunda, çalışan başına günde 17 adet olan üretim miktarı iyileştirme ile 20 adet/gün'e yükseltmiştir. Çalışan sayısı 5 kişi artmasına rağmen günlük toplam üretim adedinde %23'lük artış sağlamıştır. Üretim içerisinde stokların ve darboğazların giderilmesi sonucunda 18,3 gün olan toplam üretim süresi 6,1'e düşürmüştür.

Çörekçi (2014), çalışmasında atölye tipi üretim sistemlerinde bir problem olan üretim planlama ve iş çizelgeleme için simülasyon ile zamana duyarlı olarak, kendini sürekli yenileyen dinamik bir model geliştirmiştir. Yapmış olduğu bu modeller sayesinde dinamik olarak gelen siparişlerin anlık olarak sıralanması ve üretilmesi sağlamıştır.

Karaca (2015), etiket üretimi yapan bir şirkette simülasyon yöntemi kullanılarak darboğazları tanımlamak, hat dengeleme ve sistem verimini arttırmayı amaçlayan bir çalışma yapmıştır. Flexo hattında geciken iş emri oranının % 25'den % 10'a gerilediği, R200 hattında geciken iş emri oranının % 19'dan % 8'e gerilediği, ayrıca flexo işleri sistemde kalma sürelerinde % 24 oranında azalma, R200 işleri sistemde kalma sürelerinde %37 oranında azalma elde etmiştir. Simülasyon çalışmasında, yatırım yapmadan her süreçte yapılacak entegre planlama ile kalite anlamında gecikmeleri ve işlerin sistemde kalma sürelerini büyük bir oranda azalttığı ve tatmin edici bir düzeye çekildiği sonucuna ulaşmıştır.

Yetim (2016), çimento üretim maliyetine büyük derecede etki eden hammadde, yakıt, işçilik ile ilgili risklerin analizini simülasyon yardımı ile yapmıştır. Monte Carlo simülasyon tekniği kullanarak analizler yapmıştır. Bu analizlerin sonucunda üretim ve kalite risklerinin toplam risk maliyetinde önemli etkiye sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Tülü (2016), çalışmasında çok ürünlü üretim yapan bir işletmenin üretim faaliyetleri inceleyerek mevcut sisteme ait simülasyon modeli kurmuştur. Üretim stratejileri dahilinde, farklı senaryolar oluşturarak işletmenin hedefleri ve kısıtları doğrultusunda uygun strateji veya stratejiler belirlemiştir. Sonuç olarak üretimi karma bir yapıya sahip üretim tesislerinde, üretim planlama faaliyetlerinde işlerin sıralanmasında seçilen strateji kararlarının, verimliliği yaklaşık %30'lara varan oranlarda etkileyebileceğini gözlemlemiştir.

Snowdon *et al.* (2017) makalesinde artan yolcu trafiğinin neden olduğu havayolu yolcu uçağı tıkanıklığı, yetersiz müşteri hizmetleri seviyesi üzerine çalışma yapmıştır. Havayollarının ve havaalanlarının yolculara hizmetlerini iyileştirmek için ileri teknolojiyi kullanmalarına yardımcı olacak bir simülasyon modelleme aracı kullanmışlardır. En yaygın havayolu ve havaalanı sistem verilerini, mantığını ve işlemlerini temsil eden, özel olarak tasarlanmış, yeniden kullanılabilir modülleri kullanmışlardır. Bu yaklaşıma dayanan gerçek bir havayolu işletimi modeli tarif edilmiştir.

Kılınç (2018), batarya üretimi yapan bir tesiste ARENA programı kullanılarak mevcut sistem modellenmiştir. Sonuçlara göre darboğazları tespit edip, üretim hattında yeni modeller tasarlamıştır. Tespit edilen sorunların çözülmesine ilişkin iyileştirme önerilerini farklı senaryolarla modellemiş ve birikmeli bir iyileştirme eğilimi sağlamıştır. Denenen senaryolarda sırasıyla %24,81, %42,11, %15,42 iyileştirme sağlamıştır. Çalışma sonunda ise 1500 adetlik ürünün toplam üretim süresi 10,449 dakikadan 3,525 dakikaya inmiştir ve %66,26'lık bir iyileştirme elde etmiştir.

Özçetin (2019), çalışmasını mobilya üretimi yapan bir firmanın paketleme sahasında bekleyen işlerin azaltılması problemi için simülasyon çalışması yapmıştır. Arena Rockwell 14.7 simülasyon programından yararlanmıştır. Belirlenen dört ürüne ait 171 parça, 51 rota ve 43 tezgahtan oluşan üretim sistemi çalışma prensipleri dikkate alınarak simülasyon ortamına aktarmıştır. 7'si literatürde yer alan, 6'sı firmaya özgü olan toplam 13 adet sezgisel algoritma geliştirmiştir. En iyi sezgisel metot dikkate alındığında mevcut duruma kıyasla paketleme bölümünde ortalama bekleme süresini %37 oranında azaltmış

3. METOT

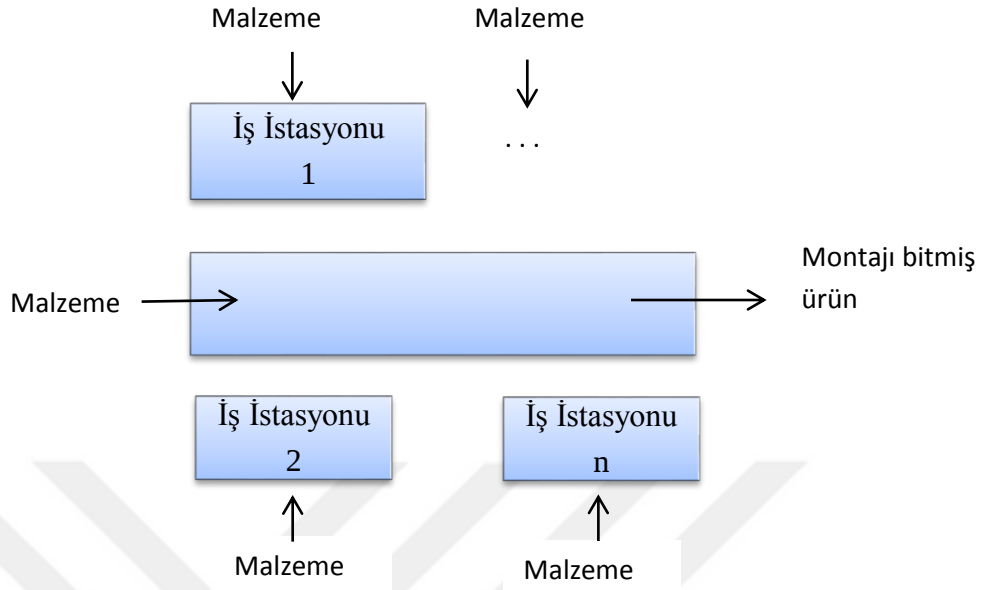
3.1. Montaj Hattı Kavramı

Montaj hattı; hammadde veya malzemelerin hat boyunca işgücü ya da otomatik olarak transfer edilerek, hattaki iş istasyonlarında sırayla parçaların işlem görmesidir. Montaj hattıları, bir ya da birden daha fazla makine ve işçileri içeren iş istasyonlarından oluşur. (Yılmaz 2006). Montaj işlemi yapılan ürün, üretim hattı boyunca her bir istasyonda işlem yapılarak hattın sonunda nihai ürün olarak sistemden çıkar.

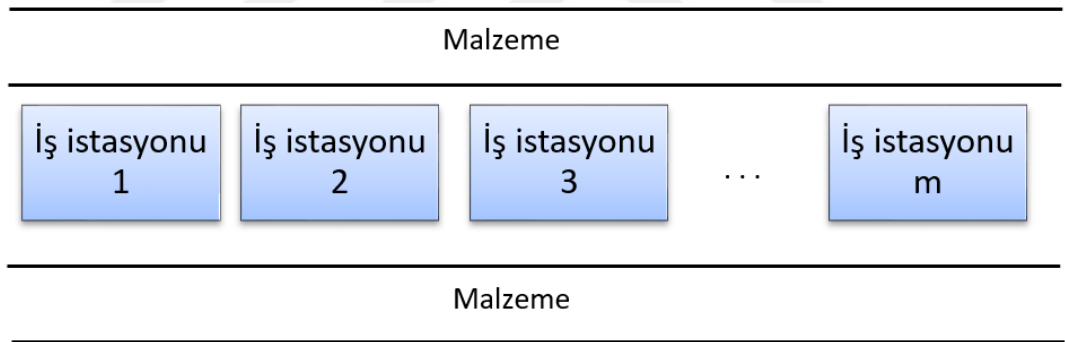
Montaj hattı tasarımı yapıldığında dikkat edilmesi gereken en önemli unsur iş istasyonlarındaki iş yüklerinin aynı olmasıdır. Böylece makine ya da personel işlem süreci boyunca boş kalmayacak, bekleme süreleri azalacağından üretim hattı daha verimli kullanılacaktır. Rekabet koşullarının gün geçtikçe arttığı bu yıllarda montaj hatları işletme sahipleri için oldukça hassas bir konu olmuştur. Kaliteli ve hızlı üretim yapılan montaj hatlarında istenilen ürüne olan talep ancak dengeli bir hat ile karşılanabilir.

Hat dengeleme, ürünün üretilirken istasyonlara öncelik sıralaması ve işlem süreleri tanımlanarak kayıp sürelerin minimize edilmesidir.

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 de Montaj hattının genel işleyişi gösterilmiştir. Malzemeler iş istasyonlarında işlem gördükten sonra bitmiş ürün olarak sistemden çıkmaktadır.



Şekil 3.1. Montaj hattı genel işleyişi



Şekil 3.2. Örnek bir montaj hattı gösterimi

Montaj hatları oluşturulurken bazı amaçları için kurulurlar. Bu amaçlar şu şekilde sıralanabilir. (Foroughi 2014)

- Malzeme akışını düzenlemek
- İşgücü ve iş istasyon kapasitelerinden maksimum seviyede yararlanmak
- İşlem sürelerini kısaltmak
- İş istasyonu sayısını azaltmak
- Atıl zamanları minimize etmek

- Atıl zamanları, iş istasyonlarına dağıtmak
- Üretim maliyetlerini minimize etmek

3.1.1 Montaj hatları ile ilgili terimler

1) Montaj:

Bitmiş ürün elde etmek amacıyla çeşitli parçaların bir araya getirilmesi işlemidir.

2) İş istasyonu:

Montaj hattında çeşitli işlerin, görevlerin yapıldığı çalışma kısımlarıdır. Bu çalışma kısımları otomatik makine ya da insan gücüne göre tasarlanabilir. Yapılan işin çeşitliğine göre makine ve personel sayısı değişkenlik gösterebilir.

3) İş istasyonu süresi:

İş istasyonunda ayrılan görevlerin toplam zamanıdır. Her görev atama işlemi, yeni atanmış görevin zamanını önceki atanmış görevlerin zamanına ekleyerek iş istasyonu süresi güncellenir.

4) Çevrim zamanı:

Ardışık ürünlerin tamamlanması arasındaki geçen süredir. Hızlandırılmış (tempolu) montaj hatları durumunda, döngü süresi bir ürünün (veya bir işin) gerekli bir istasyon tarafından işlenebileceği maksimum süreyi temsil eder. Standart tempolu akış hatlarında, döngü süresi, mümkün olan maksimum ortalama istasyon süresidir. Çevrim süresi istasyon süresini geçmemeli ve montaj hattındaki maksimum görev süresinden daha az olmamalıdır. Bekleme süresi, döngü süresi ile istasyon süresi arasındaki pozitif farktır. Hattaki tüm istasyonların boşa kalma sürelerinin toplamına gecikme süresi denir.

Planlama departmanı istenen döngü süresini sorar, ancak arızalar veya kurulum süreleri nedeniyle hattın çalışacağı gerçek döngü süresi etkili döngü süresidir.

C: Çevrim süresi

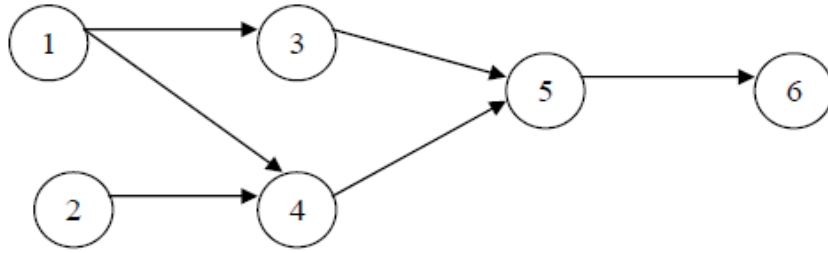
T: Üretim süresi

N: Günlük üretilmesi planlanan ürün sayısı

$C = T/N$ ile ifade edilebilir.

5) Öncelik Diyagramı:

Öncelik kısıtlamaları ile tanımlanan görev sırasının grafiksel bir gösterimidir. Görevlerin yerine getirilmesi gereken kısmi sıralama, bir öncelik grafiği ile gösterilmektedir. Düğümler, görevleri sembolize eder ve düğümleri birbirine bağlayan oklar, öncelik ilişkilerini gösterir. Dizi soldan sağa doğru ilerler. Örneğin, şekilde, görev 4'ün tamamlanabilmesi için görev 1 ve 2'nin görev 5'in tamamlanması için görev 3 ve 4'ün bitmiş olması gerekir. Şekil 3.3'de örnek bir öncelik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Öncelik diyagramı gösterimi

6) Denge Kaybı:

Görevlerin, istasyonlara ve personele dengesiz dağıtılmasından dolayı hattın verimsiz kullanılmasıdır.

7) Darboğaz:

Bir üretim hattındaki iş istasyonlarının sürelerinin eşit olmaması halinde üretim hızı hattaki en uzun çalışan iş istasyonuna bağlı olacaktır. Bu durumda en uzun çalışan iş istasyonunda yığılmalar meydana gelir. Bu yığılma noktasına darboğaz denir.

3.2. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

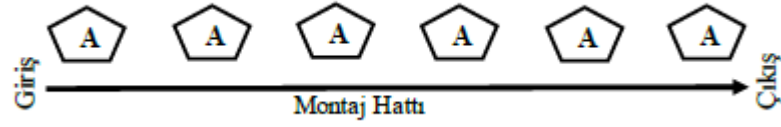
Montaj hatları sınıflandırılması genellikle aşağıdaki gibidir.

- Ürün çeşitliliğine göre
- Görev sürelerinin değişkenliğine göre
- Atama kısıtlarının değişkenliğine göre
- İstasyon türlerine göre
- Yerleşim planına göre
- Amaca göre
- Otomasyon türüne göre

3.2.1. Ürün çeşitliliğine göre sınıflandırma

Tek Modelli Montaj Hatları

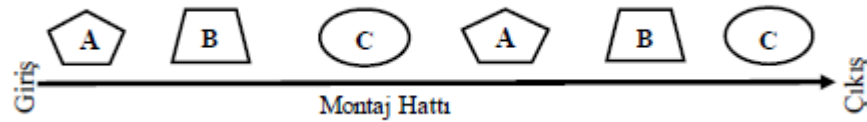
Üretim hattında yalnızca bir ürünün devamlı ve çok miktarda üretildiği hatlardır. Bütün iş istasyonlarında, parçalar üzerinde aynı işlemler tekrarlanarak üretim yapılır. Bütün istasyonların iş yükü aynıdır. Tek modellenli montaj hattına dair bir örnek Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Tek modelli montaj hatlarına bir örnek

Karışık Modelli Montaj Hatları

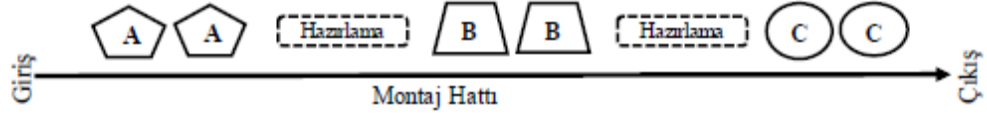
Üretim hattında bir ürünün farklı modellerinin aynı zamanda üretildiği hatlardır. Karışık modelli üretimin yapmanın yararı, müşteri taleplerine zamanında cevap verilmesidir. Bunun sonucu olarakta bitmiş ürün stoklarının daha azdır. Karışık modelli hatlarda tespit edilmiş olumsuzluk ise, ayrı iş parçalarının; dengeli olmayan iş süreçlerine, boş istasyon zamanlarına ve gereğinden fazla istasyon sayısına sebep olmasıdır. Bu tarz problemlerde dengeleme yapmak zordur. Bu yüzden iş istasyonlarda normalden fazla atıl zamanlar ve ara stoklar oluşmaktadır. (Polat 2008) Şekil 3.5'te karışık modelli montaj hatları için örnek bir gösterim sunulmuştur.



Şekil 3.5. Karışık modelli montaj hatlarına bir örnek

Çok Modelli Montaj Hatları

Üretim hattında birden fazla ürünün aynı ya da farklı modellerinin yüksek miktarlarda üretildiği hatlardır. Her bir ürün modeli partiler halinde üretimi yapılır. Parti büyüklüğü ne kadar artarsa hazırlık maliyeti bir o kadar düşer. Bu yüzden üretim yapılmadan önce üretilecek ürünün parti büyüklüğü belirlenmelidir. Üretim esnasında farklı modellerin birbirine karışmasını izin verilmez. Şekil 3.6'da çok modelli montaj hattı gösterimi mevcuttur.



Şekil 3.5. Çok modelli montaj hatlarına bir örnek

3.2.2. Görev sürelerinin değişkenliğine göre sınıflandırma

Operatör ve diğer bazı çevresel etmenlere bağlı olarak görev sürelerinde değişkenlik olabilmektedir. Basit işler için görev sürelerinin belirlenmesinin kolay olurken, işler karmaşıktıkça görev sürelerini belirlemekte zorlaşmaktadır. Özellikle emeğe dayalı işlerde, görevlerin işlem süreleri çalışanların psikolojik, sosyal ve fiziksel durumlarına bağlı olarak farklılık göstermesi olasıdır. Görev sürelerindeki farklılıklara bağlı olarak montaj hatları iki ana sınıfa ayrılabilir.

Deterministik Görev Süresi

Montaj hattında iş sürelerinin belli ve bu iş sürelerinin değiştirilmediği varsayılır. Teknolojinin gelişmesiyle makinelerin işlem sürelerindeki değişkenlik minimuma indirilmiştir. İnsan teknolojisi ile çalışılan hatlarda iş sürelerinin değişmemesi için üretim elemanlarının deneyimli, dikkatli ve disiplin içinde çalışması gerekmektedir.

Stokastik Görev Süreleri

İş sürelerinin belli olmadığı varsayılır. İnsan unsuru iş sürelerinin sabit olmamasına neden olmaktadır. İş süreleri tamamen personele bağlıdır. Personelin işe uygun olmaması, işin personele uygun olmaması, yorgunluk, dikkat dağınıklığı v.s gibi olumsuz durumlar değişkenliğin nedenleri arasında sayılabilir. Bu nedenle belirsiz olan görev süreleri belli bir istatistiksel dağılıma göre belirlenir.

3.2.3. Atama kısıtlarının değişkenliğine göre sınıflandırma

Üretim aşamasında bazı durumlarda öncelik diyagramının yanı sıra ekstra kısıtlamalar da uygulamak gerekebilmektedir. Bu duruma bağlı olarak geliştirilen kısıtlamalar aşağıda belirtilmiştir. (Şahin 2016).

Görev ilişkili kısıtlama

Bazı durumlarda iki işin aynı istasyona atanması istenebilir. Böylesi durumlarda görevlerin aynı istasyonlara atanması, iki görev arasında maksimum uzaklık (belirtilen maksimum uzaklık kısıtı zaman veya alan uzaklığı ile sağlanabilir) kısıtı eklenerek sağlanmaktadır. Bazı durumlarda ise görevlerin aynı istasyona atanması istenmeyebilmektedir. Bu durumda iki görevin aynı istasyona atanmaması minimum uzaklık kısıtı ile sağlanmaktadır.

İstasyon ilişkili kısıtlama

İstasyonlarda bulunan makine ve teçhizatlara bağlı olarak, bazı görevlerin belirli istasyonlara atanması gerekebilmektedir. Bu kısıtlar istasyon ilişkili kısıtlama olarak adlandırılmaktadır.

Pozisyon ilişkili kısıtlama

Montaj hattında büyük ürünlerin bulunması nedeniyle görevlerin yapıldığı pozisyon temeline dayalı kısıtlamalar olabilmektedir. Örneğin uçak, gemi gibi büyük ürünleri montaj hattında diğer istasyonlara taşımak mümkün olamamaktadır. Ancak bulundukları konumda kendi etrafında çevrilerek üretim yapılabilir.

Operatör ilişkili kısıtlama

Yapılacak işin karmaşıklığına bağlı olarak bazı görevleri her operatörün yapabilmesi mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda bazı görevlerin belirli operatörlere atanması gerekmekte olup, bu kısıtlama operatör ilişkili kısıtlama olarak adlandırılmaktadır.

3.2.4. İstasyon türlerine göre sınıflandırma

Manuel Montaj Sistemi

Manuel montaj sisteminde kullanılması kolay teçhizatlar, insan yeteneği ve becerileri ile birleştirilerek kullanılır. Burada personel performansına bağlı kalınır. Bütün işlemleri personel yapar. Genellikle elle montaj hatlarında çalışanlar işlerinde oldukça profesyonelleşmiştir. Çok karmaşık işlerin montajını kolaylıkla yapabilirler. Küçük parça işlemleri, tutulması zor parça işlemleri, büyük ve ağır parça işlemleri, yardım almadan yapılamayan işler yapılırken işlem süreleri işin zorluğu ve kolaylığa bağlı olarak değişir.

Otomatik ve Yarı Otomatik Montaj Sistemi

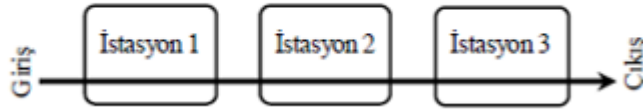
Otomatik montaj hatlarında bütün işlemler makineler tarafından yapılır. Bütün işlemler makineler tarafından yapılarak, maliyetler düşer, verimlilik artar, standart ürünler üretilir. Yarı otomatik montaj hatlarında ise işlemlerin bir kısmı insan bir kısmı makineler tarafından yapılır. Otomatik ve yarı otomatik montaj hatlarında genellikle büyük miktarda ürünler kısa sürelerde seri bir şekilde üretilir.

3.2.5. Yerleşim planına göre sınıflandırma

Yerleşim planları, montajı yapılacak olan işe, üretim yapılacak yerin durumuna göre değişkenlik gösterir. Montaj hatları, düz, değişik açılı, U-tipi, zig zag, dairesel gibi çeşitleri vardır.

Düz hatlar:

Montaj hatlarında en çok kullanılan hat türüdür. İstasyonlar düz bir hat üzerine kurulmuştur. Malzeme taşınması bant veya konveyörler vasıtasıyla yapılır. Basit ve sistemsiz olması, kolaylıkla yerleştirilebilmesi, hizmet verme olanağının kolay olması, konveyör sistemlerinin uygulanabilirliğinin artması ve maliyetlerinin düşmesi, ayrıca köşelerde meydana gelebilecek transfer zorluklarının ortadan kalkması gibi nedenlerle, montaj hatlarının yerleşiminde düz hatlar tercih sebebidir. (Saçlı 2010) Şekil 3.6'da düz montaj hattına ilişkin bir örnek bulunmaktadır.



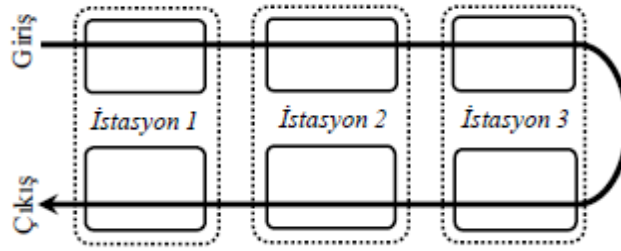
Şekil 3.6. Düz montaj hattının şekilsel gösterimi

U Tipi hatlar:

Üretimde hatlarında esnekliği artırmak amacıyla, istasyonlar arası haberleşmenin sağlanması ve operatör hareketlerinin kolaylıkla yapılabilmesi istenmektedir. Bu durumlarda montaj hattı U şeklinde tasarlanarak üretimde esneklik elde edilmektedir. Çoğunlukla tam zamanında üretim ve grup teknolojilerini kullanılan işletmelerde U-tipi montaj hatları kullanılmaktadır. Aynı zamanda görevlerin gerçekleştirilmesinde sırasında olması muhtemel tıkanıklık durumlarında, farklı istasyonlarda görev yapan operatörlerin, tıkanıklıkların gerçekleştiği istasyonlara müdahale etmesi kolaylaşmaktadır. Bu hatlarda bir operatör birden fazla istasyonda da görev yapabilir.

Ama aşağıda belirtilen bazı özel durumlarda, değişik şekillerde montaj hatlarının kullanımı söz konusu olabilir.

- Üretim hattının boyu uzunsa, vmevcut yere sığmıyorsa veya düz şekilde yerleştirildiği zaman boş alan fazla kalacaksa, U-şekilli ya da dairesel hat kullanılır.
- Tesisat bağlantıları, birden fazla istasyon için aynı kaynaktan sağlanıyorsa U-şekilli hatlar tercih edilir.
- Varolan alan uygun değilse ve çok bitişik düzenlemeler gerektiriyorsa, düz hat dışında kalan uygun bir hat şekli tercih edilir.
- Maliyeti fazla olan makinada, birbirinden farklı iki iş yaptırılması istendiği durumlarda, U-şekilli hatlar tercih edilir.
- Bir personel, farklı işlem sıralarındaki ve aynı hat üzerindeki birden çok makinada çalışması durumunda U-şekilli hat kullanılır. (Saçlı 2010) U tipi montaj hattı gösterimi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. U tipi montaj hattının şekilsel gösterimi

3.2.6. Amaca göre sınıflandırma

Tip 1: Çevrim süresi verilen iş istasyonu sayısını en aza indirilir.

Tip 2: Verilen iş istasyonu sayısının çevrim zamanını minimize eder. Gecikme zamanını en aza indirmek, hat verimliliğini en üst düzeye çıkarmak, envanteri en aza indirmek, maliyetleri en aza indirmek, kurulum süresini en aza indirmek, vb. gibi başka hedefler de uygulanabilir.

3.3. Montaj Hattı Dengeleme

Montaj hattı dengeleme yapılmasındaki ana nedenlerden biri her istasyona eşit ve dengeli miktarda iş dağıtımı yapılmasıdır. Eşit iş dağılımı da ancak hat dengeleme ile yapılabilir. Farklı istasyonlardaki işlem süreleri arasındaki en ufak farklılıklar bile düşünüldüğünde daha fazla kayıplara neden olur. İşlem süresi az olan istasyon işlem süresi fazla olan istasyonu bekler. Bu durumda istasyonlar arası tıkanıklar meydana gelir.

Montaj hattı dengelemede 3 yöntem kullanılır. Bunlar;

- Sezgisel Yöntemler
- Analitik Yöntemler
- Simülasyon

3.3.1. Sezgisel yöntemler

Montaj hattı dengeleme problemi çözülürken belirli varsayımlar ve kabuller yapılarak, belirli yöntemler kullanılır. Elde edilen sonuçlar yaklaşık sonuçlardır. Montaj hattı dengeleme de en iyi sonuç garantisi vermez.

Sezgisel Yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir.

- En kısa yol yöntemi
- Gruplama yöntemi
- Dinamik programlama yöntemi
- İki aşamalı dengeleme tekniği
- Comsoal tekniği
- Probabilistik hat dengeleme
- Aşamalı sıralamayla çözüm
- Konum ağırlıklı dengeleme tekniği

- Killbridge-Wester yöntemi
- Aday matrisle çözüm
- Raouf-Tsui-Elsayed yöntemi

3.3.2. Analitik yöntemler

Analitik yöntemler, matematiksel programlama yöntemleri veya optimizasyon yöntemleri olarak da anılan bu yöntemler montaj hattı dengelemede en optimal sonucu verirler. Bu yöntemlerin en önemli örneği, 1960'da E. H. Bowman'ın geliştirdiği doğrusal programlamayla çözümdür.

Bu yöntemde kısıt ve amaç fonksiyonları bulunur, işlem sayılarının arttığı durumlarda, çözüm bulma zorlaşmaktadır. Matematiksel modellerin işletme problemlerinde uygulanmasındaki ilk gelişmeler özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra olmuştur. Bu dönemden sonra, matematiksel olarak optimum çözüm olanağı veren modeller geliştirilmiştir. Matematiksel programlama yardımı ile karşılaşılan birçok probleme çözüm bulunabilmektedir. Matematiksel programlama modellerinin uygulamaları temelde birkaç ana model olduğunu göstermiştir. Diğer uygulamalar da bu ana modellerin kombinasyonu ya da değişik konularda uygulamalarıdır. (Takçı 2013)

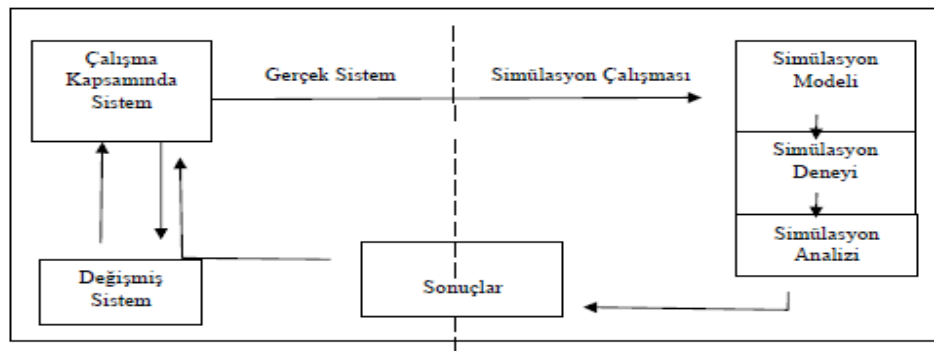
Matematiksel model kurulurken,

- *Karar değişkenleri
- *Amaç fonksiyonunu
- *Kısıtlar oluşturulur.

3.3.3. Benzetim (Simülasyon)

Benzetim (simülasyon) problem çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Bazı problemlerin sonuçlarına matematiksel yöntemlerle elde edilemez. Bu durumda benzetim teknikleri tercih edilmelidir.

Sistem işleyişini kavramak ya da sistemin işleyişi ile ilgili farklı stratejileri denemek için sistemin bilgisayar ortamında modellenmesi ve oluşturulan model ile farklı deneyler yapılmasına benzetim (simülasyon) denir. (Özkıran ve Düşünür 2011) Örnek bir simülasyon çalışma şeması gösterimi Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Simülasyon Çalışma Şeması (Takçı 2013)

3.4. Simülasyon Tanımı

Simülasyon, karmaşık sistemlerin modellenmesi ve çözümünde kullanılan, diğer analitik yöntemlere kıyasla daha başarılı analiz araçlarındandır. Kısacası simülasyon, bir sistemin işleyişinin taklit edilmesidir.

Simülasyon ile literatürde birçok tanım bulunmaktadır. Bu tanımlardan bazıları aşağıda gibidir.

Bir sistemin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar vasıtasıyla değerlendiren tekniğe simülasyon denir. Diğer deyişle, inceleme yapılan gerçek bir sistemin belirli bir zamandaki davranışlarını, belirlenmesi istenilen gerçek özelliklerini, sistem performansını tahmin etmek için, yeni bir model tasarımı yapılması, sistem performansı üzerinde farklı senaryoların denemesi yapmak için deneyin hazırlanması, çalıştırılması ve son olarak çıktılarının analizi sürecidir. (Türker 2011)

Simülasyon, sistemlerin çeşitli değişik durumlar karşısındaki davranışları üzerinde inceleme yapmak amacıyla model üstünde farklı denemeler yapmaktır. Gerçek hayattaki süreçlerin ve operasyonlarının zamana göre taklit edilmesidir. (Gündoğar 2017)

Benzetim, var olan bir sistemin modellenmesi ve modelin analitik olarak kullanılmasıdır. Modelin tasarlanması ve modelin bilgisayar ortamında çalıştırılması için mevcut sistem süreçlerini çok iyi anlamak gerekmektedir. Sistemle ilgili farklı durum sonuçlarını incelemek için tasarlanan modelde denemeler yapmaktır.

Simülasyon ile modelleme;

- * Sistem davranışını belirleme,
- *Teori ya da hipotez kurma,
- * Kurulan hipotezi sistemin gelecek zamandaki davranışlarını belirlemek amacıyla bir deneme ve uygulama yöntemidir. (Aksoy 2011)

Simülasyon, teorik ya da mevcut sisteme ait neden-sonuç ilişkisinin bilgisayar modeli vasıtasıyla gösterildiği, farklı koşullarda gerçek sistem davranışlarının bilgisayar modelinde izlenmesine yarayan modelleme yöntemidir. Ayrıca simülasyon, gerçekte var olan sistemlerin bilgisayar ortamına aktarılmasıyla, sanal ortamda daha iyi incelenip, deney yapılmasına imkan sağlar. (Korçak 2010)

Sistem simülasyonu, sistemi temsil edebilecek bir model ortaya koyma işlemidir. Oluşturulan model temsil ettiği sistemde yapılması oldukça pahalı olan ya da mümkün

olmayan işlemlerin yapılmasına imkan sağlar. Bu işlemlerin etkisinde model incelenir. Gerçek sistemin veya gerçek sistemin alt sistemlerin davranışları ile ilgili özellikler gözlemlenebilir. (Karaca 2015)

Geliştirilen ya da yeniden düzenlenen sürecin proses işlemlerini tamamlamada ve deneme çalışmalarını yürütmede ve süreçlerin hata zamanlarını tahmin etmek amacıyla yapılan deneysel çalışmaya simülasyon denir. (Kılık 2005)

3.5. Simülasyon Tarihi

Simülasyon kaynaklara göre Çin savaş oyunlarından 1780 yıllarına kadar sürmektedir. Roma imparatorluğu ordularını daha önce savaşmadıkları alanlarda nasıl savaşacaklarına dair eğitim verirdi. Leonarda Da Vinci projelerinin ve icatlarının nasıl çalışacağına dair görsel anlatımlar oluşturdu. Prusya ordusunu daha profesyonelleştirmek için kullandı. Genel olarak simülasyonun ilk yaygın kullanımı savaş oyunlarında değişik stratejikleri denemek içindir.

Ünlü matematikçi Jhon Van Neumann tarafından İkinci Dünya Savaşı sırasında, askeri ve operasyonel oyunlardan Monte Carlo Simülasyonunu geliştirmiştir. Los Alamos Scientific Laboratuvarında, nötronlarla çalışma yaparken, Van Neumann simülasyonu, elle ya da fiziksel modellerle analiz yapmanın karmaşık ve pahalı olduğu fizik problemlerini çözmede kullanmıştır. (Kılık 2005)

1950’li yıllar da bilgisayarla yeni metotların ve konseptlerin uygulanmaya başlanmasıyla simülasyon için modern dönem de başlamıştır. Bilgisayarların pahalı, yavaş olmalarına ve simülasyona yönelik uygulamalara sahip olmamalarına rağmen FORTRAN gibi diller kullanılarak çeşitli simülasyon modelleme teknikleri uygulanmıştır. 1960’lı yıllarda IBM şirketinden Geoffrey Gordon GPSS (General Prupose Simulation System) isimli bilgisayar dilini sundu ve bilgisayarda çalışan simülasyonlarla ilgili genel işlemleri (zamanlama mekanizmaları, kaynak gösterimi, varlıklar vb.) yönetmeyi amaçladı. 1967 yılında ilk Kış Simülasyon Konferansları (Winter Simulation Conference) düzenlendi. Bu

dönem sonuna doğru sunulan diğer önemli bir program ise sonradan SLAM (Simulation Language for Analogue Modeling) diline dönüştürülen GASP (Genometric Analysis Simulation Software) simülasyon diliydi. 1950 ve 1970 yılları arasındaki dönemde bilgisayar ile simülasyon uygulamaları yapmak zordu ve sonuçları elde etmek çok zaman almakta ayrıca yüksek ücretle çalışan deneyimli çalışanlar gerektirmekteydi. 1970'lerde donanım maliyetlerinin düşmesi ve bilgisayar işlem gücünün artmasıyla bir çok simülasyon programlama dili piyasaya girdi. IBM şirketi ilk çok yönlü simülasyon dili olan ve ilk GPSS dilin geliştirilmiş versiyonu olan GPSS/H dilini sundu.

1980'lerde kişisel bilgisayarların gelişmesiyle simülasyon piyasasında da büyük gelişmeler meydana geldi. Pritsker şirketi tarafından 1980 yılında SLAM (Simulation Language for Analogue Modeling) dili, 1983 yılında Systems Modeling Corporation tarafından SIMAN (Simulation Analysis) dili sunuldu. (Yılmaz 2013)

1990'lı yıllarda simülasyona etki eden önemli gelişmeler içinden kişisel bilgisayarların kullanımının artması, fiyatlardaki azalma, Windows teknolojisi ile internet kullanım oranındaki artış sayılabilir. Bu önemli gelişmeler simülasyonun özellikle bazı alanlarda gelişmesine neden olmuştur. Bunlar, görsel etkileşimli modelleme, simülasyon optimizasyonu, sanal gerçeklik, yazılım entegrasyonu ve servis sektöründe simülasyonun kullanımı olarak sıralanabilir. (Aydın 2007)

3.6. Simülasyonun Amacı

Gerçek hayat sistemini girdi ve çıktıları ile matematiksel açıdan tanımlamak, sistemi kurulan gerçek model üzerinden tanıyıp araştırmak, farklı karar ve stratejileri gerçek sistemde herhangi bir değişikliğe gerek kalmadan deneyebilmek simülasyonun amacıdır. (Koçanalı 2007)

Ayrıca simülasyon aşağıda verilen amaçları gerçekleştirmek için kullanılır.

- Modelin girdilere vereceği tepkiyi değerlendirmek
- Simülasyon modelinin alternatiflerini kıyaslamak
- Modelin performans kestirimini yapmak
- Modelde kritik noktaları belirlemek
- İstenilen sistemi anlatmak için eğitim aracı olarak

Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları

Simülasyon kullanmanın bazı güçlü sebepleri vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Avantajları (Türker 2011)

Gerçek hayattaki çoğu problem dinamik ve stokastiktir. Bu durumlarda problemin tam bir matematisel modeli oluşturulamadığından simülasyon yaklaşımıyla çözüm elde edilebilir.

- Elde edilmek istenilen bilgilerin, gerçek sistem üzerinde yapılacak deneylerden elde edilmesi yerine simülasyon modelinden elde edilmesi daha az maliyetli olup aynı zamanda zamandan da tasarruf sağlar.
- Simülasyon modellerinde ayrıntılı şekilde girdi ile çıktı arasındaki ilişkileri tanımlanabildiğinden, analitik modellere kıyasla daha anlaşılırdır.
- Simülasyon modelleri mevcut sistem özelliklerini istenilen ayrıntıda yansıtabilmektedir. Bu sayede analitik yöntemlerle çözüm esnasında olduğundan fazla varsayım yapılmasına gerek kalmaz.
- Simülasyon modelinde denemeler yapılarak, sistem performansını etki eden değişkenler belirlenebilir ve bu değişkenlerin nasıl kontrol altına alınabileceğine dair farklı stratejiler geliştirilebilir.
- Sistem üzerindeki işleyişe etki eden değişkenler ve darboğaz olan kısımların belirlenmesi ancak simülasyon modeli üzerinde uygulanacak deneylerle elde edilebilir.

- Gerçek sistemde herhangi bir değişiklik gerekmeksizin yeni strateji denemeleri yapılabilir. Yapılacak senaryolarda performans ölçütlerindeki değişiklikler önceden belirlenmiş olur.
- Yapılması planlanan teknolojik yatırımların sonuçlarının ne olabileceği simülasyon modeli ile incelenebilir ve bu yatırımın yapacağı katkı öngörülebilir. Bu sayede elde edilen sonuçlar ile alınan kararlar daha sağlıklı olur.
- Zaman, kullanıcı tarafından simülasyon modeli çalışması sırasında kontrol altındadır. Gerçek hayatta uzun zaman dilimleri, bilgisayar ortamında simülasyon modeli sayesinde çok kısa sürelerde gözlem yapılarak sonuçlara ulaşılabilir.
- Sistem analistinin denetiminde deney yapmasına imkan sağlar. İstenilen sayıda deney yapma olanak sağlayarak çok yönlü karşılaştırmaları mümkün kılar.
- Girdi değişkenlerini değiştirerek ya da sabit tutarak diğer değişkenlerin aralarındaki veya birlikte etkileşimlerini hesaplamamıza yardım eder. Duyarlılık analizi yapmak için modele değişken eklemek ya da çıkarma olanağı sağlar.
- Analitik çözümlerin doğruluğunun teyidinde kullanılabilir.
- Etkin bir eğitim aracıdır. Sistemin tümünü görme ve bileşenlerin birbiriyle olan ilişkilerini anlama imkânı sağlar.
- Simülasyon modeli oluşturulduktan sonra istenildiği kadar farklı analizler için kullanılabilir.
- Simülasyonu yapılan sistemin tüm yönleriyle incelenmesi sistemin daha anlaşılır, problemlerin ve eksiklerin net ortaya konulabilmesiyle daha etkin bir sistemin geliştirilmesine yardımcı olur.

Simülasyondan faydalanmanın yararları olduğu kadar eksik yönleri de bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralabilir.

Dezavantajları (Özçetin 2019)

- Kolay çözülebilecek küçük yapıdaki problemler simülasyon tekniği ile çözülmeye çalışıldığında zaman kayıplarına neden olabilmektedir.

- Simülasyon modelleri %100 gerçeği yansıtamamaktadırlar. Bazı durumlarda kabuller yapılması gerekebilir.
- Simülasyon yapabilmek kabiliyet ve tecrübe istemektedir.
- Simülasyonda kullanılan bazı parametre değerlerinin belirlenmesi zor, bazen imkansız olabilmektedir
- Modeller kişiler tarafından kurulduğundan kişilerin sistemleri anlamasına yönelik olarak doğru ya da yanlış olabilmektedir.
- Her sistemin kendine has özellikleri bulunduğundan bir problem için üretilen çözüm tekniği başka bir problemin çözümünde kullanılmayabilir. Her problemin çözümü kendine özgüdür.
- Problem tanımından sonra doğru veri toplayıcılığı yapılmaz ise model yanlış sonuçlar verebilir.

3.7. Simülasyon Kullanımı

- Problemin tam matematik formülasyonu bulunmuyorsa
- Matematik modelin çözümlenmesini sağlayacak analitik yöntemler ile çözülemiyorsa
- Analitik yöntemler ile çözümünün olduğu ama matematik çözümlemesinin karmaşık olduğu durumlarda
- Deneylerin yapılması ve olayların mevcut sınırları içerisinde gözlem yapılması mümkün değilse
- Sistemin uzun zaman diliminde incelenmesi gerektiği durumlarda

Simülasyon kullanımı fayda sağlayabilir.

Simülasyonun kullanılmaması gereken durumlar ise aşağıdaki gibidir.

- Analitik olarak modelin çözümü mümkünse
- Simülasyon yapılması durumunda elde edilecek fayda, simülasyon süreci boyunca yapılacak maliyeti karşılamıyorsa

- Sistem davranışı çok karmaşık ise
- Sistem modellenmesi çok zor ise
- Modelin doğruluğunun kontrolü mümkün değilse

Simülasyon tercih edilmemelidir.

3.8. Simülasyon Uygulama Alanları

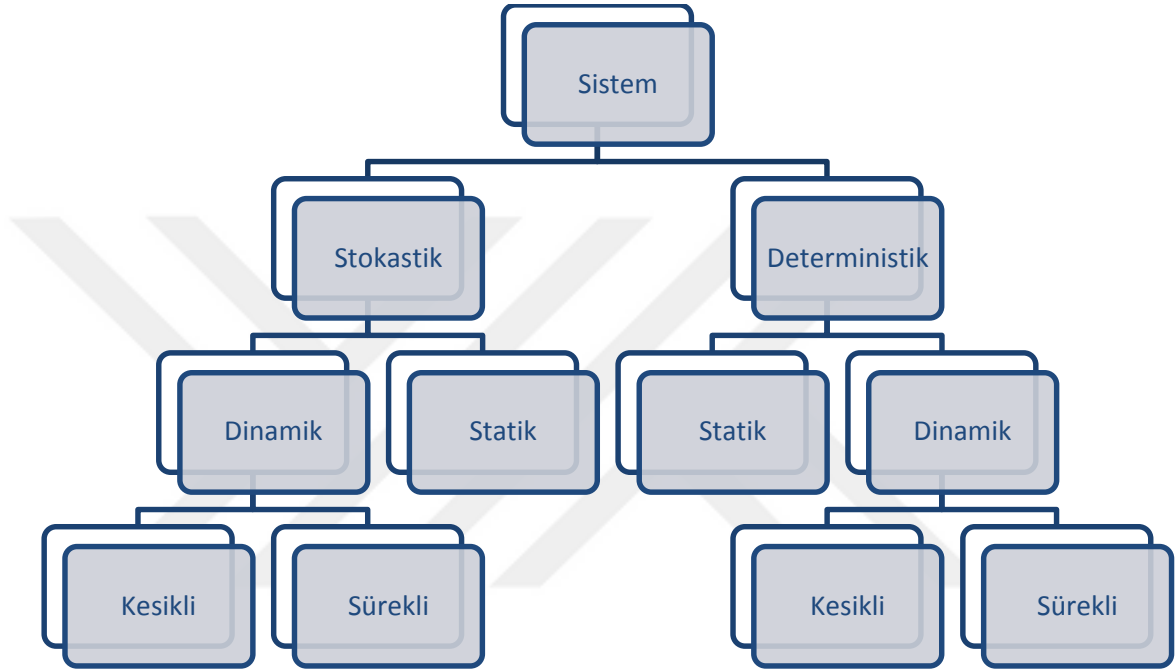
Simülasyonun uygulama alanı çok geniştir. Bunlarda bazıları aşağıdaki gibi listelenebilir.

- Üretim sistemlerinin tasarım ve analizi
- Montaj hattı dengeleme
- İşgücü planlaması
- Malzeme taşıma sistemleri
- Yeni askeri silah ve sistem taktiklerinin belirlenmesi
- Envanter sistemindeki sipariş planlarının değerlendirilmesi
- İletişim sistemlerinin ve bunlar için gerekli mesaj protokollerinin tasarımı
- Otoyollar, havaalanları, metrolar ve limanların tasarım ve işletimi
- Ambulans bulundurma yerlerinin ve araç sayılarının belirlenmesi
- Yangın söndürme istasyonlarının yerlerinin ve araç sayılarının belirlenmesi
- Finansal veya ekonomik sistemlerin analizi
- Dağıtım kanallarının tasarımı
- Bir bilgisayar sisteminin donanım ve yazılım ihtiyaçlarının belirlenmesi
- Riskleri en aza indirmek için uzay uçuş denemeleri
- Tamir-bakım sistemleri

3.9. Simülasyon Modelleri Çeşitleri

Simülasyon modelleri benzetimi yapılacak sistemin özelliklerine göre farklı sınıflandırılmıştır. Simülasyon modelindeki değişkenler rassallık (olasılık) içeriyorsa

Deterministik-Stokastik, sistem ya da modelin durumuna göre Dinamik-Statik, dinamik-statik modeller de değişkenlerin zaman içerisindeki devamlılık bakımından gözlemlenmesi durumunda Kesikli-Sürekli olarak sınıflandırılabilir. Simülasyon sınıflandırılması Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Simülasyonun modellerine göre sınıflandırılması

3.9.1. Stokastik-deterministik modeller

Simülasyonun en önemli özelliklerinden biri rastgele durumları ve değişkenleri modelleyebilmesidir. Üretim ve sistem modellerinin neredeyse hepsinde rastgele olaylar ve değişkenler söz konusudur.

Stokastik modellerin verileri rassal değişken içerirken deterministik model verileri bilinen verilerdir. Stokastik modellerin sonuçları, rassal verileri göre farklılık gösterirken, deterministik modellerin rassal veri içermediği için sonuçları aynıdır. Deterministik

modeller sistemdeki belirsizliği hesaplayamadığı için stokastik modeller gerçeğe daha yakın sonuçlar verir.

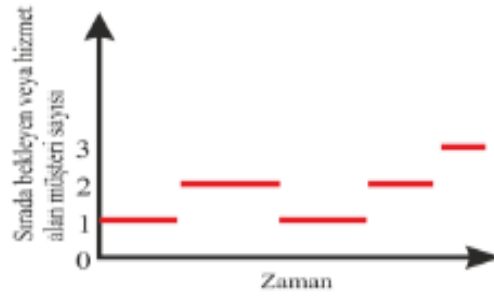
3.9.2. Dinamik-statik modeller

Zamana bağlı olmayan model Statik modeldir. Bu sebeple simülasyonda kullanılan zaman birimi önemli değildir. Saniye, dakika, saat, gün, gibi zaman birimleri modele etki etmez. Statik modeller sistemin belirli bir andaki durumuyla ilgilendiğinden, model zamana göre değişiklik göstermez. Monte Carlo simülasyonu bu modele örnektir.

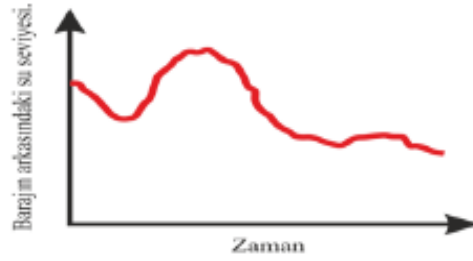
Dinamik model, zamandan etkilenir ve zamana bağlı rastsal değişkenler kullanılır. Bu modelde saniye, dakika, gün gibi zaman birimleri veya belirli bir zaman aralığı kullanımı model de önemlidir.

3.9.3. Sürekli- kesikli modeller

Sistemdeki değişkenlerin değerleri simülasyon süresi boyunca sadece belirli bir zaman noktalarında değişiyorsa kesikli simülasyon modeli, zamanın bir fonksiyonu olarak sürekli olarak değişiyorsa sürekli simülasyon modeli söz konusudur. Örneğin atölye simülasyonunda tezgah önünde bekleyen parçaların adedi belli zaman noktalarında değişip belli bir süre böyle devam etmektedir, bu durumda kesikli simülasyon modeli söz konusu iken, bir nehrin debisi ile ilgili simülasyon çalışması yapılıyorsa sürekli simülasyon modeli söz konusu olur. (Türker 2011) Kesikli system durum değişkeni ve sürekli system durum değişkeni ile ilgili gösterimler Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kesikli sistem durum değişkeni



Şekil 3.11. Sürekli sistem durum değişkeni

3.10. Simülasyon Yazılımları

Simülasyon son zamanlarda üretim ve servis sistemleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sebeple çeşitli alanlarda kullanılan simülasyon için özel programlar geliştirilmiştir. Bu programlar karşılaştırıldığında en iyisi budur demek doğru değildir. Her programın bir başka programa göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu bağlamda ihtiyaçlara göre simülasyon programı seçmek doğru olacaktır. İhtiyaca göre program seçerken detaylı bir araştırma yapılmalıdır.

Bazı simülasyon programları aşağıda verilmiştir.

- Arena
- Promodel
- Automod
- Simul8

- Flexcim
- Witness
- Extend
- Simprocess
- Enterprise Dynamics
- Emplant
- Quest
- Dynamo
- Siman
- Slam2
- Anylogic
- Simscript

Kullanılacak en uygun simülasyon dili için bazı kriterler vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Analiz yapan kişinin programlama dilini bilmesi
- Programlama dilinin öğrenme bakımından kolaylığı
- Modellenecek problemin yapısı
- Maliyet
- Problemi modelleme süresi
- Programın bilgiyarda kapladığı bellek
- Esneklik
- Planlanan simülasyon sayısı
- Evrak kalitesi

3.11. Simülasyon Modeli Aşamaları

Simülasyon modeli birkaç aşamadan oluşan bir süreçtir. Doğru bir simülasyon modeli kurmak için aşağıdaki aşamaları uygulamak gerekmektedir.

3.11.1. Problem tanımlama

Problem tanımı ile yapılacak simülasyon çalışmasının sorun olduğu düşünülen kısımlarının etkin bir şekilde incelenmesi ve tanımlama yapılması gerekir. Simülasyon modeli kurmak için en başta problemler doğru şekilde tanımlanmalıdır. Doğru tanımlanmayan problem istenilen modelin doğru kurulması ve model çalıştırıldığı zaman sonuçların yanlış yorumlanmasına neden olur.

Yapılacak çalışma, bir ihtiyacı gidermek amacıyla veya bir probleme çözüm bulacak biçimde hazırlanmamışsa çıkan sonuçlar anlamlandırılmaz. Çalışma sonucunda bir sonuca ulaşmak için olası problemlere sahip sistemin detaylı incelenmesi ve çözüme yönelik hazırlanması gerekir. Oluşturacak model, gelecekteki olası gereksinimleri hesaplayarak, sistem içindeki parçalarını da kolaylıkla kapsayacak şekilde tasarlanmalıdır. Tasarlanan modelde gereksiz ve işe yaramayan bilgilerin bulunduğu modeller, diğer modellere kıyasla yavaş çalışabilir ve maliyetinin yüksek olması muhtemeldir.

3.11.2. Amaçların belirlenmesi

Problem belirlendikten sonra ana amaç belirlenen problemin ortadan kaldırılmasıdır. Amaca ulaşmak için bir takım hedefler belirlenmelidir. Amaçlar oluşturulurken

- Neden simülasyon modeli oluşturuluyor?
- Modelden hangi bilgiler elde edilecek? gibi soruları sorulmalıdır.

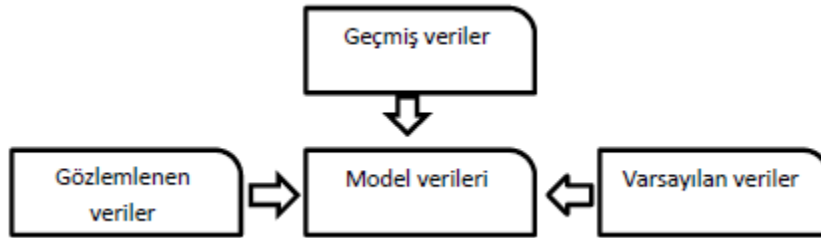
Ayrıca amaçlar belirlenir aşağıdaki bilgileri de dikkate almak gerekir.

- Amaçlar ölçülerek değerlendirilebilir olmalıdır. Amaca ulaşıp ulaşılamadığının anlaşılması için, amaç için belirlenmiş bir ölçü birimi tespit edilmiş olmalıdır.
- Belirlenen amaçların sayısı üç veya daha az olmalıdır. Belirlenen çok fazla amaç projenin odak noktasından uzaklaşmaya ve proje çerçevesinin gereksiz yere genişlemesine neden olmaktadır.
- Projenin çerçevesi dar tutulmalıdır. Bir simülasyon çalışması için genellikle tüm fabrikanın seçilmemesi bu nedendir. Bunun yerine çok farklı simülasyon modelleri birleştirilerek daha büyük bir model oluşturulabilir.
- Faydalı olabilmesi için bir projenin makul bir süre içinde bitirilmesi gerekir.
- Bir projenin büyüklüğü ile proje sonucu elde edilecek başarı veya başarısızlık ters orantılıdır. (Yalçın 2009)

3.11.3. Veri toplama

Simülasyon çalışmasının önemli adımlarından biri olan veri toplama aşamasında, öncelikli olarak modelde hangi verilerin kullanılacağını belirlemektir.

Simülasyon modelinde kullanılacak veri elemanları model kavramına, model yapısına ve elde edilmesi istenilen model çıktı ve istatistiklerine göre belirlenir. Model verisi toplanması özet olarak tabloda Şekil 3.12’de gösterilmiştir. (Şimşek 2016)



Şekil 3.12. Model verisi toplanması gösterimi

Simüle edilecek sistemle ilgili ne kadar çok veri toplanırsa gerçek sistem modeline o kadar yakın sonuçlar elde edilir. Ayrıca toplanan verilerin analizi için iyi derecede istatistik bilgisine gereksinim vardır.

Veri analizi için bir çok simülasyon paket programının da kullanmış olduğu genel prosedür şu adımlardan oluşmaktadır: (Karaca 2015)

Adım 1: Veri haritası oluşturmak

- Dağılımın genel niteliğini belirlemek için histogram veya özetleyen istatistikler kullanmak.

Adım 2: Dağılım grubunu seçmek.

- Adım 1'in sonuçlarını kullanarak uygun dağılımı seçmek.
- Her dağılımı gözlemlenmiş veriye uydurmak ve dağılım parametrelerini tahmin etmek.

Adım 3:En uygun dağılımı seçmek.

- Bir ya da birkaç uygun istatistik kullanarak uyumu yapılmış dağılımlar arasından gözlemlenmiş veriyi en iyi şekilde temsil edeni belirlemek.

Adım 4: Dağılım kalitesini kontrol etmek.

- Dağılımın uyum iyiliğini belirlemek
- Anderson–Darling testi
- Kolmogorov–Smirnov testi
- Ki-Kare testi

3.11.4. Model tasarımı

Bu aşamada model tasarımı yapılır. Model tasarlanırken doğru modelin kurulması önemlidir. Kurulan model ilk aşamada basit olabilir, zamanla model geliştirilebilir. Böylece eksikler ya da gereksiz kısımlar daha iyi görülebilir.

3.11.5. Modelin kurulması

Tasarlanan nihai modelim bilgisayara simülasyon programları kullanarak aktarılmasını aşamadır. Yani modelin kodlamasının yapılmasıdır. Modeli kuran kişinin hangi programı kullanacağı modelin ihtiyacına ve simülasyonu yapan kişinin yetkinliğine göre değişebilir.

Problemin çözümünde esnasında simülasyon paket programı kullanılması durumunda model geliştirme süreci zamansal açıdan kısaltacaktır.

3.11.6. Modelin doğrulanması

Model doğrulamada, gerçek sistem ile kurulan model sonuçları karşılaştırılır. Eğer model sonuçları gerçek sistem sonuçlarına yakın ise model doğru kurulmuş demektir. Sonuçlar gerçek sistemi yansıtmıyorsa model yanlış demektir. Bu durumda eldeki veriler tekrar kontrol edilmelidir. Veriler doğru istatistik dağılıma göre analiz edilmemiş olabilir, biraz daha veri toplanıp tekrar analiz yapılmalıdır. Model doğrulanmadan bir sonraki aşamaya geçmek doğru değildir.

Doğrulama süreci esnasında, modellemeyi yapan kişi model verileri ve mantığı ile ilgili istenmeden yapılan hataları tespit etmeye ve onları kaldırmaya çalışmaktadır. Aslında bu modeli hatadan ayıklama sürecidir. Model doğrulama tekniklerinden bazıları aşağıdaki gibidir.

- Model kodunu gözden geçirme,
- Kabul edilebilir çıktılarının kontrolü,
- Animasyonu izleme,
- İzleme(trace) ve hata ayıklama(debug) işlemlerinin kullanılması,
- Programın yapısal baştan sona gezilmesi,
- Ticari simülasyon programları kullanmak.

3.11.7. Deneylerin yapılması

Model kurucu modelin geçerli olduğuna karar verdikten sonra model performansını değerlendirmek, proje problemlerine çözüm bulmaya yardımcı olmak ve sistem davranışlarını detaylı olarak incelemek için simülasyon deneyleri gerçekleştirir. Model kurucu belirli bir sayıda senaryo belirler ve bu senaryoları çalıştırarak çalışmalarını için veriler toplar. Senaryolarla ilgili performans ölçümlerinin yeterli derece istatistiki güvenilirlik kazanması için her senaryo birçok kez çalıştırılmalı ve rassal sayıların farklı sıralarına bağlı olarak tekrar edilmelidir. (Yılmaz 2013)

3.11.8. Uygulama

Uygulama aşamasının başarısı, daha önce gerçekleştirilen aşamaların performansına bağlıdır. Model kullanıcısının, simülasyon modeli kurma sürecinin ne kadarına dahil olduğuyula da ilişkilidir. Model kullanıcısının, simülasyon modeli kurma sürecine yeteri kadar dahil olmuş, modelin yapısını ve çıktılarını yeteri kadar iyi anlamış ise başarılı bir uygulama gerçekleştirme olasılığı o kadar artmış demektir. Aksine model ve modelin temel varsayımları doğru tebliğ edilmemişse, uygulamanın modelin geçerliliğine bakılmaksızın başarılı olması zorlaşacaktır. (Karaca 2015)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Arenada Kullanılan Temel Modüller

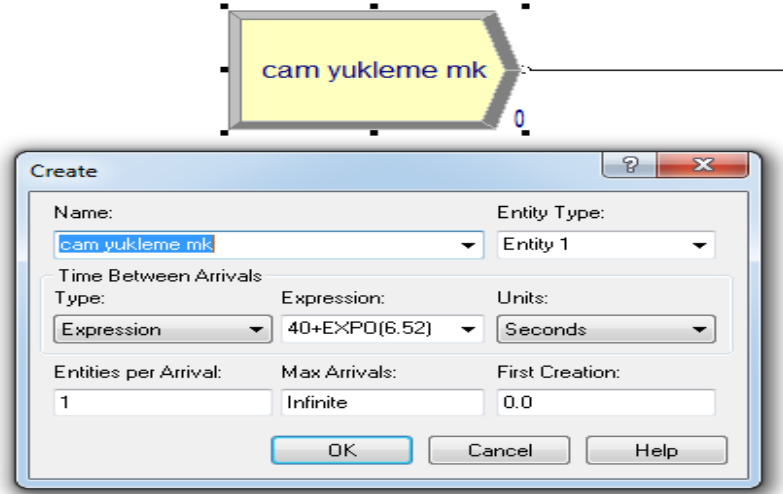
4.1.1. Create modülü

Bir simülasyon modeli oluşturulurken başlangıç modülüdür. Simülasyon modülünde gezen birimlerin/varlıkların oluşturulduğu kısımdır. Varlıkların tipi bu modülde belirlenir. Varlıklar belirlenen akışa ve her bir modülün işlevine göre sistemde hareket ederler. Varlıklar belli bir belirli bir çizelgeye ya da varışlar arası zamana göre de oluşturulabilirler.

Genel kullanım örnekleri,

- Bir imalat hattında bir parçanın üretiminin başlaması,
- Bir belgenin bir iş sürecine girmesi (örneğin; sipariş, kontrol, uygulama),
- Bir müşterinin bir hizmet işlemine gelmesi (örneğin; perakende mağaza, restoran, danışma masası).

Örnek bir Create modülü gösterimi Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Create modülü gösterimi

4.1.2. Proses modülü

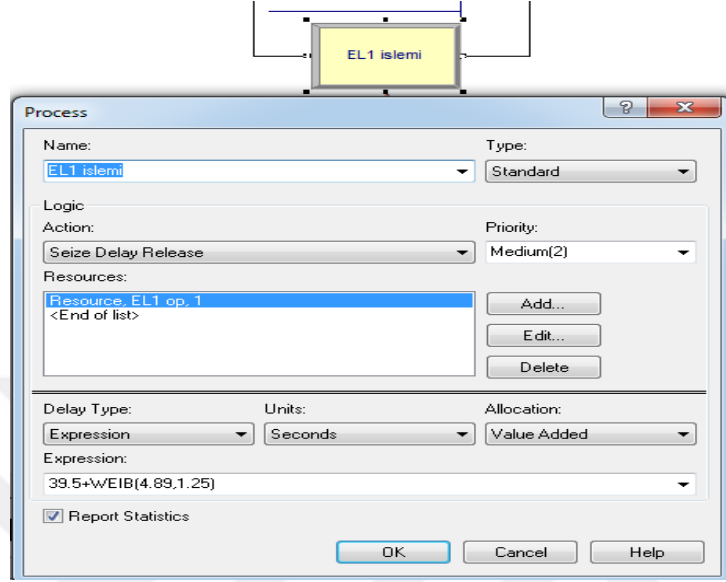
Bu modül simülasyondaki ana işleme yöntemi olarak tasarlanmıştır. Kaynak kısıtlamalarını yakalama ve serbest bırakma seçenekleri mevcuttur.

Varlıklar simülasyon modelinde bir noktada belli bir süre bekletilmesini veya kaynakta işlem göreceği ise kaynağın ve gezen birimin birlikte işlem süresi boyunca bekletilmesini sağlar. Varlık, kaynak kullanacaksa yani bu kaynaktan hizmet alacaksa işlem süresi kadar kaynağı meşgul duruma getirir. Kaynak meşgul iken başka varlık olursa, kuyrukta kaynağın boş konuma gelmesini bekler. Bunların yanı sıra, ana modelin çok karışması istenmez ise bu modül kullanılarak alt modeller oluşturulabilir. (Türker 2011)

Genel kullanım örnekleri,

- Bir parçanın işlenmesi,
- Bir belgenin eksiksiz olması için gözden geçirilmesi,
- Siparişleri yerine getirmek,
- Müşteriye hizmet vermek

Örnek bir Proses modülü gösterimi Şekil 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Proses modülü gösterimi

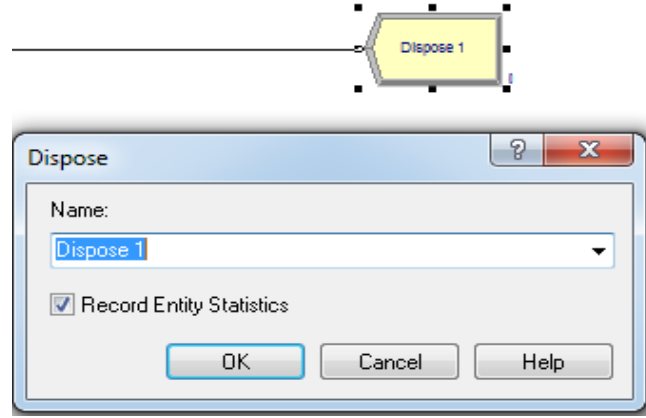
4.1.3. Dispose modülü

Simülasyon modelindeki varlıklar bu modül ile sistemi terk ederler. Varlıklar sistemden çıkarılmadan önce istatistikleri kaydedilebilir.

Genel kullanım örnekleri,

- Modellenmiş tesisten ayrılan parçalar,
- İş sürecinin sona ermesi,
- Mağazadan çıkış yapan müşteriler

Örnek bir Dispose modülü gösterimi Şekil 4.3 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Dispose modülü gösterimi

4.1.4. Decide modülü

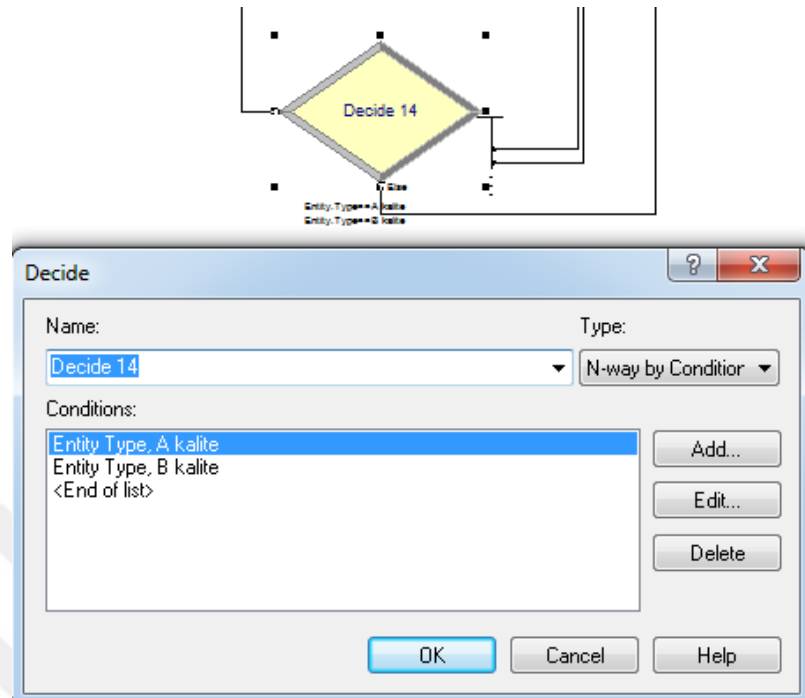
Bu modül sistemde karar verme süreçlerinde kullanılır. Bir veya daha fazla koşula veya bir veya daha fazla olasılığa (örneğin, % 60, doğru; % 40, yanlış) dayalı kararlar vermek için seçenekler içerir. Koşullar, nitelik değerlerine (örneğin, Öncelik), değişken değerlere (örneğin, Sayı Reddedildi), varlık türüne veya bir ifadeye (örneğin, NQ (ProcessA.Queue)) dayalı olabilir.

Belirlenen tür iki yönlü olduğunda karar modülünden iki çıkış noktası vardır. Doğru varlıklar için bir, yanlış varlıklar için bir çıkış noktası vardır. N-Way Chance veya Condition tipi belirtildiğinde, her koşul veya olasılık için birden fazla çıkış noktası ve tek bir "else" çıkışı gösterilir.

Genel kullanım örnekleri,

- Arızalı bir parçayı yeniden işleme için gönderme
- Öncelikli müşterileri özel bir sürece gönderme

Örnek bir Decide modülü gösterimi Şekil 4.4 de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Decide modülü gösterimi

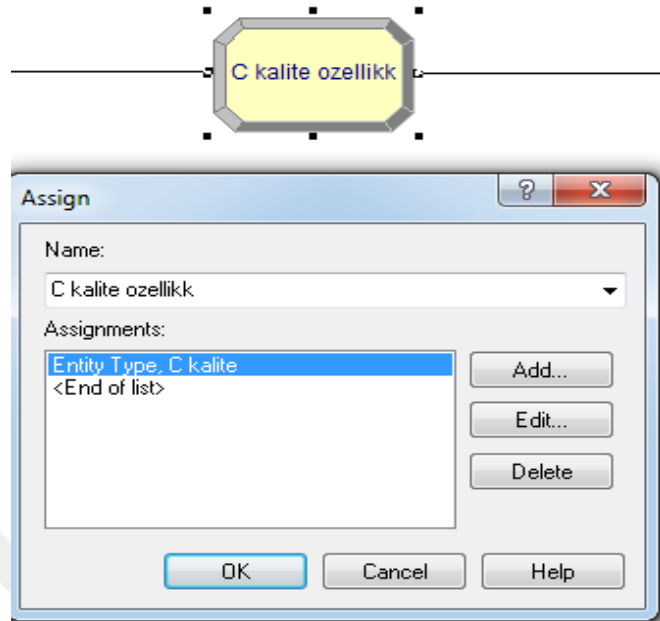
4.1.5. Assing modülü

Bu modül ile sistem değişkenlerine (variables), gezen birim özelliklerine (attributes), gezen birim tipine (entity types), gezen birim resmine (entity Picture) veya diğer sistem değişkenlerine veya gezen birim özelliklerine değer atayabilmek için kullanılır. Tek bir Assing modülü ile birçok farklı atama gerçekleştirilebilir. (Türker 2011)

Genel kullanım örnekleri,

- Müşteri, parça gibi varlıkların özelliklerini belirleme

Örnek bir Assing modülü gösterimi Şekil 4.5 de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Assing modülü gösterimi

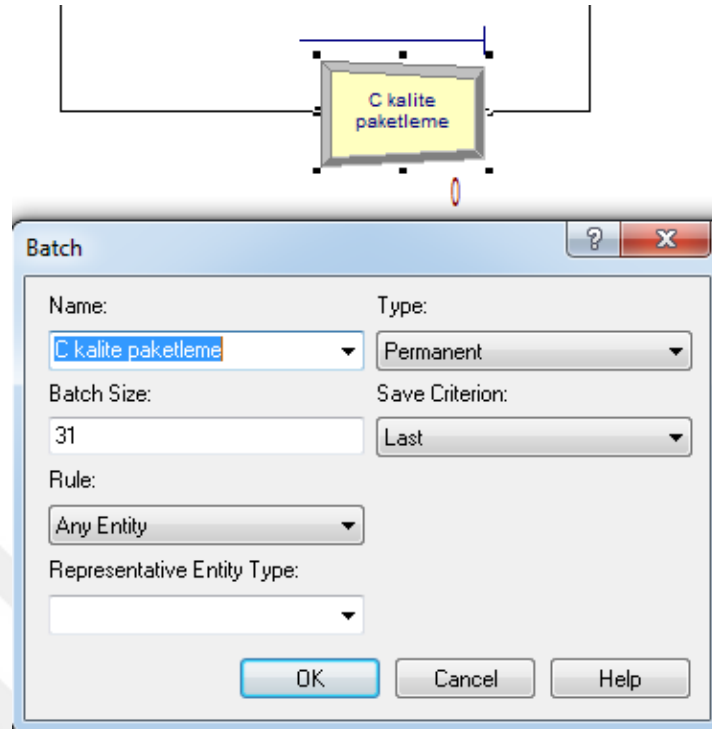
4.1.6. Batch modülü

Bu modül simülasyon modelinde gruplama mekanizması olarak tasarlanmıştır. Gruplar kalıcı veya geçici olarak gruplandırılabilir. Geçici gruplar daha sonra Seperate modülü kullanılarak bölünmelidir. Gruplama, belirli sayıda giriş yapan varlıklarla yapılabilir veya bir nitelik temelinde birlikte eşleştirilebilir. İş modülüne gelen varlıklar, gerekli sayıda varlık birikinceye kadar bir kuyruğa yerleştirilir. Gerekli sayıda biriken varlıklar sistemden çıkartılır, yeni bir grup varlık yaratılır.

Genel kullanım örnekleri,

- Herhangi bir proses başlamadan önce parçaların toplanması,
- İş istasyonları arası parçaların partiler halinde taşınması

Örnek bir Batch modülü gösterimi Şekil 4.6 da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Batch modülü gösterimi

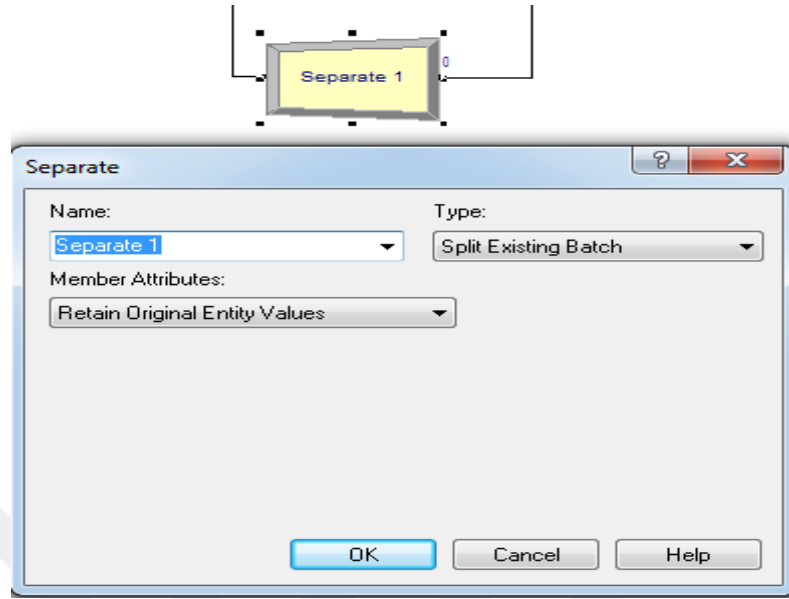
4.1.7. Seperate modülü

Bu modül, gelen bir varlığın birden fazla varlığa kopyalanması veya önceden bir toplu varlığın bölünmesi için kullanılabilir. Grupları bölerken, oluşturulan geçici temsilci varlık elden çıkarılır ve grubu oluşturan orijinal varlıklar geri kazanılır. Çoğaltılmış varlıklar için belirtilen kopya sayısı modülden yapılır ve gönderilir. Orijinal gelen varlık da modülü terk eder.

Genel kullanım örnekleri,

- Önceden toplanmış doküman setini ayırmada
- İşletmeye gelen ürün için dokümanların gerekli yerlere dağıtılması

Örnek bir Seperate modülü gösterimi Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Seperate modülü gösterimi

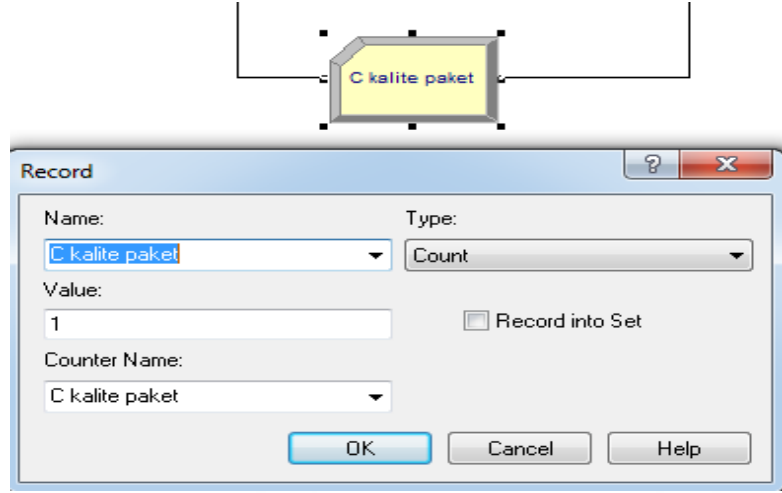
4.1.8. Record modülü

Bu modül simülasyon modelinde istatistik toplamak için kullanılır. Modülden çıkışlar arasındaki süre, varlık istatistikleri (zaman, maliyet, vb.), Genel gözlemler ve aralık istatistikleri (bir zamandan itibaren) dahil olmak üzere çeşitli gözlemsel istatistik türleri mevcuttur. Bir sayım istatistiği de mevcuttur. Tally ve Counter setleri de belirtilebilir.

Genel kullanım örnekleri,

- Her bir saatte tamamlanan iş sayısını belirleme,
- Geç kalmış siparişlerin karşılanmasının ne kadar gecikmiş olduğunu belirleme,
- Bir noktadan geçişler arası süreleri hesaplama

Örnek bir Record modülü gösterimi Şekil 4.8 de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Record modülü gösterimi

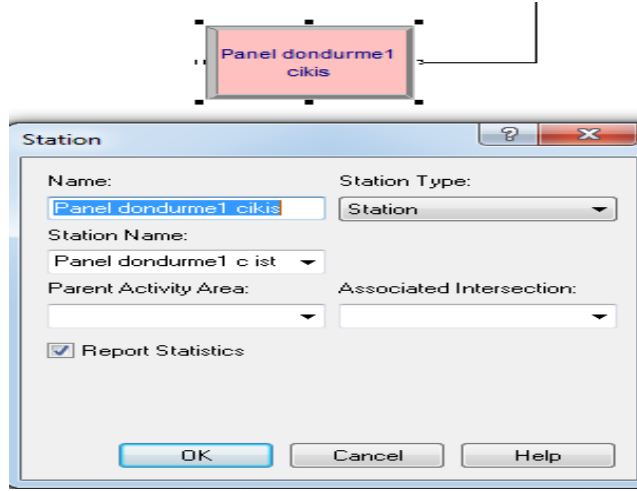
4.1.9. Station modülü

Station modülü kaynakların veya hareketli kaynakların olduğu bir alanı saptamak için kullanılır. Station modülü Route veya Transport modüllerinde gezen birimin gideceği yerleri tanımlamak için kullanılır.

Genel kullanım örnekleri,

- Bir torna tezgahı tanımlamak
- Gişe noktaları tanımlama
- Montaj istasyonları tanımlama

Örnek bir Station modülü gösterimi Şekil 4.9 da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Station modülü gösterimi

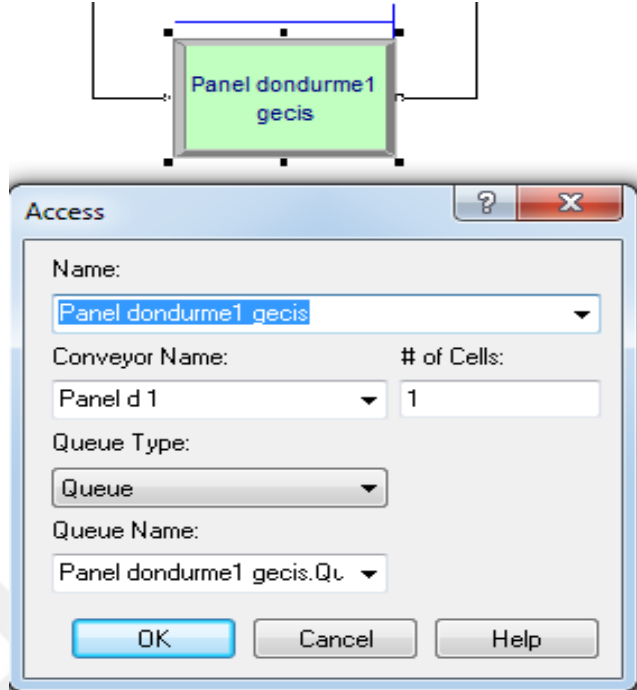
4.1.10. Access modülü

Access modülü bir ya da daha fazla hücreyi bir istasyondan diğerine hareket için bir varlığa tahsis eder. İşletme, taşıyıcı üzerindeki hücrelerin kontrolünü ele geçirdiğinde, bir sonraki istasyona taşınabilir. Bir varlık bir Access modülüne ulaştığında, konveyördeki uygun sayıda bitişik hücre boş ve işletmenin istasyon yeriyle aynı hizada olmasını bekler.

Genel kullanım örnekleri,

- Bir boya kabinine gönderilmek üzere bir taşıyıcıya erişen parçalar
- Bir kesme istasyonuna transfer edilecek bir taşıyıcıya erişen cam

Örnek bir Access modülü gösterimi Şekil 4.10 da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Access modülü gösterimi

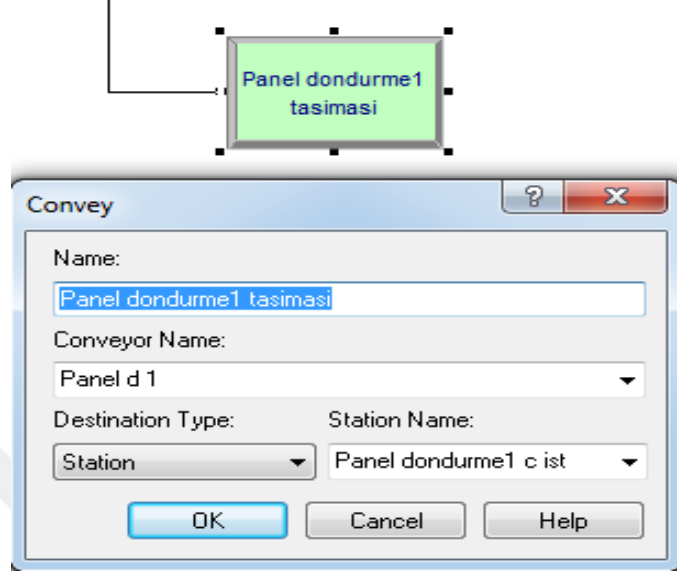
4.1.11. Convey modülü

Convey modülü, bir konveyördeki bir varlığı mevcut istasyon konumundan belirli bir varış istasyonuna taşır. Varlığın bir istasyondan diğerine taşınması için gecikme süresi, konveyörün hızına (Konveyör modülünde belirtilen) ve istasyonlar arasındaki mesafeye (Segment modülünde belirtilen) dayanmaktadır. Bir işletme bir Convey modülüne girdiğinde İstasyon özelliği (Entity.Station), hedef istasyona ayarlanır. Daha sonra varlık hedef istasyona taşınır. Hedef tipi Sıraya Göre olarak belirtilmişse, bir sonraki istasyon sıradaki varlığın Sıra ve İş Adımı tarafından belirlenir (sırasıyla Entity.Sequence ve Entity.Jobstep özel amaçlı nitelikler).

Genel kullanım örnekleri,

- Çantaları bir yerden bagaj talep alanına götürmek
- Bir yük istasyonundan işlem istasyonuna parçaları taşımak

Örnek bir Convey modülü gösterimi Şekil 4.11 de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Convey modülü gösterimi

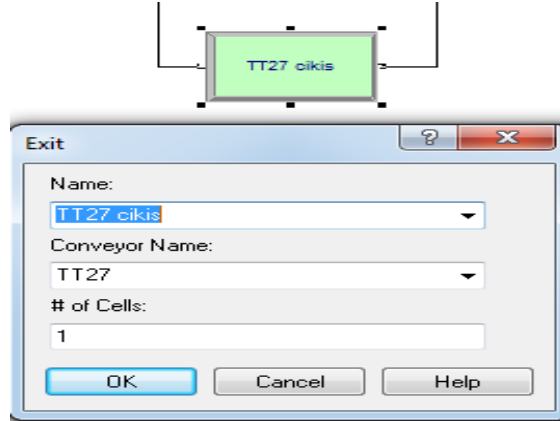
4.1.12. Exit modülü

Exit modülü, işletmenin belirtilen konveyördeki varlıkları serbest bırakır. Varlıklar serbest bırakıldığında aynı istasyondaki konveyör kuyruğunda başka bir varlık bekliyorsa, konveyöre erişebilir.

Genel kullanım örnekleri,

- Kutular paketleme için bir konveyörden çıkarılması
- Kötü parçalar konveyörden çıkarılması veya atılması
- Yolcular bagajları bagaj talep konveyöründen alması

Örnek bir Exit modülü gösterimi Şekil 4.12 de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Exit modülü gösterimi

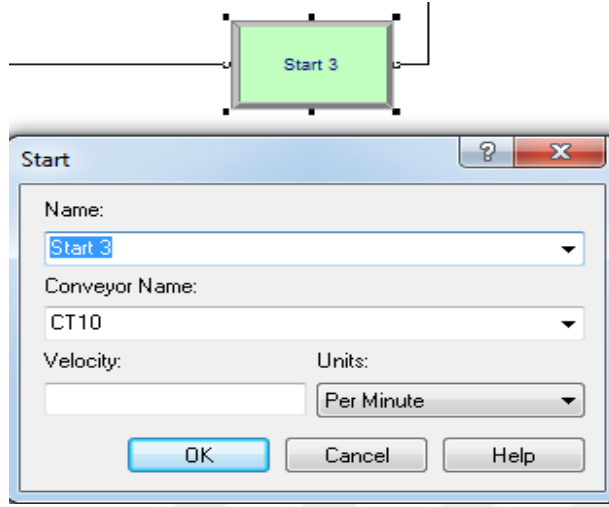
4.1.13. Start modülü

Start modülü bir konveyörün durumunu aktif değilden aktif duruma değiştirir. Konveyör Stop modülünden devre dışı bırakılmış veya başlangıçta simülasyonun başlangıcında etkin değil olarak ayarlanmış olabilir. Konveyörün hızı kalıcı olarak değiştirilebilir.

Genel kullanım örnekleri,

- Planlı bakımdan sonra bir proses için konveyörü başlatmak
- Çanta geldiğinde bir bagaj konveyörü talep etmek

Örnek bir Start modülü gösterimi Şekil 4.13 de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Start modülü gösterimi

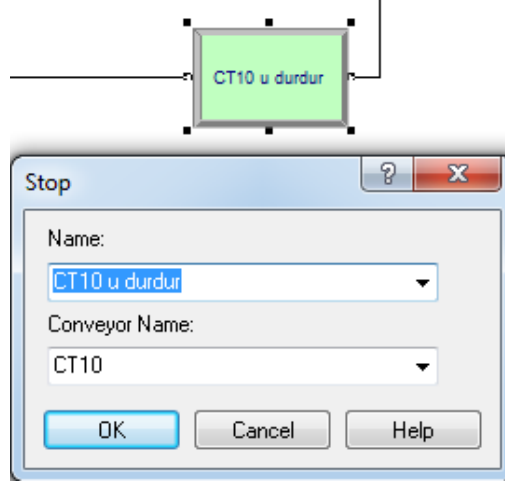
4.1.14. Stop modülü

Stop modülü, bir konveyörün çalışma durumunu etkin değil olarak ayarlar. Konveyör, Start modülünden ya da başlangıçta simülasyonun başlangıcında aktif olacak şekilde ayarlanır. İşletme Stop modülüne girdiğinde, konveyör türü veya o anda konveyör üzerinde bulunan varlıkların sayısına bakılmaksızın, konveyör derhal durur.

Genel Kullanım Örnekleri,

- Önceden belirlenmiş bir süreden sonra bagaj konveyörünü durdurmak
- Zamanlanmış bakım için bir konveyörü durdurmak

Örnek bir Stop modülü gösterimi Şekil 4.14 de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Stop modülü gösterimi

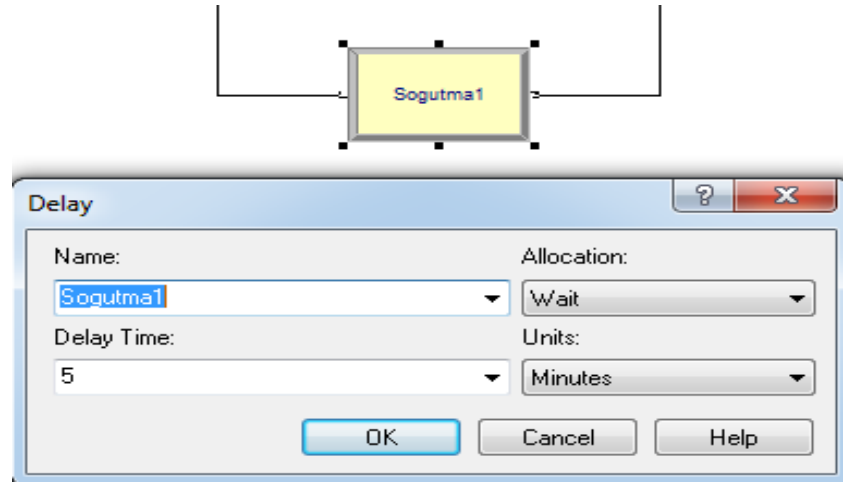
4.1.15. Delay modülü

Gecikme modülü, varlığı belirli bir süre geciktirir. Bir varlık Gecikme modülüne ulaştığında, zaman gecikmesi ifadesi değerlendirilir ve varlık sonuçta belirtilen süre boyunca modülde kalır. Zaman daha sonra işletmenin katma değer, katma değer olmayan, transfer, bekleme veya diğer zamanlarına tahsis edilir. İlgili maliyetler de hesaplanmış ve tahsis edilmiştir.

Genel Kullanım Örnekleri,

- Bir bankada çek işleme
- Makinede kurulum yapma
- Bir dokümanı başka bir departmana aktarma

Örnek bir Delay modülü gösterimi Şekil 4.15 de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Delay modülü gösterimi

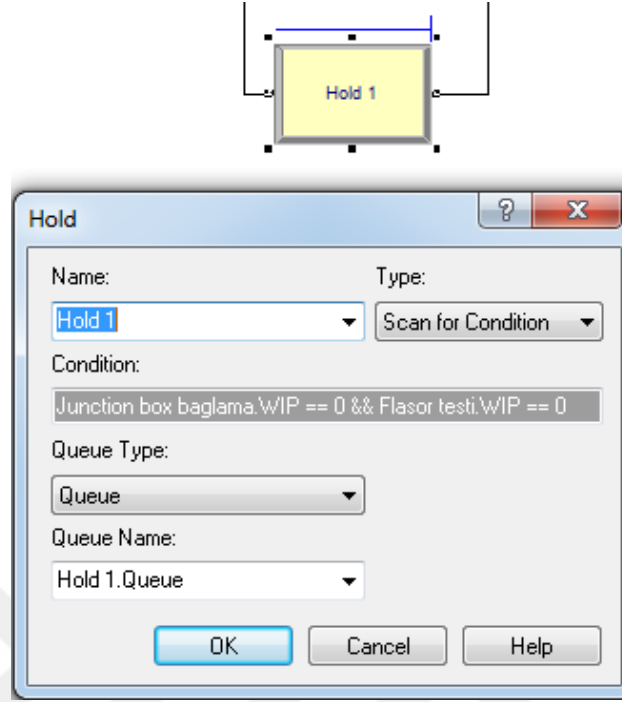
4.1.16. Hold modülü

Bu modül bir sinyali beklemek, belirtilen bir koşulun gerçekleşmesini beklemek (taramak) veya sınırsız olarak tutmak için (daha sonra Remove modülüyle kaldırılmak üzere) bir varlık bekler. Varlık bir sinyal için tutulursa Sinyal modülü, varlığın bir sonraki modüle geçmesini sağlamak için modelin başka bir yerinde kullanılır. Varlık belirli bir koşulun gerçekleşmesi için tutulursa, koşul (lar) doğru oluncaya kadar modülde (tanımlanmış veya dahili bir sırada) kalacaktır. Varlık sonsuz bir bekletmedeyken, Remove modülü varlığın işlemeye devam etmesine izin vermek için modelin başka bir yerinde kullanılır.

Genel Kullanım Örnekleri,

- Trafik ışığının yeşile dönmesi beklemek
- İşleme devam etmek için bir makine veya operatörün durumunu kontrol etme

Örnek bir Hold modülü gösterimi Şekil 4.16 da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Hold modülü gösterimi

4.2. İşletmenin Durum Analizi

Panel üretimi yapılan işletmenin iş akışının modellenmesi mevcut makine yerleşimine ve personele göre yapılmıştır. İşletmede proje bazlı üretim yapılmaktadır. Müşteri isteğine göre ürünler çeşitlilik göstermektedir. Ürünün çeşidine göre makine işlem süresi, işçilik süreleri, makine kullanımları değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada modellenmesi yapılan ürün grubu, en çok talep edilen 60 hücreli olarak adlandırılan ürüne göre yapılmıştır.

İşletmede makine ve konveyör sistemleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Modellemenin başlangıç noktası sisteme cam girişlerinin olmasıdır. Burada konveyör sistemi ürünler bir sonraki prosese taşınmaktadır. Eğer konveyörün önü dolu ise sistemde kuyruklar oluşmaktadır. Kuyruk oluşan kısımların çoğunlukla insan gücü ile yapılan ve işlem sürelerinin değişken olduğu proseslerde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca konveyörlerin belli bir taşıma kapasitesi olduğu için, diğer proseslerin işlem yapmasını engellenmektedir.

Üretim proseslerinin incelenmesi, üretim hattı iş akışının tespit edilmesini, mevcut üretim hattı yerleşim düzeninin incelenmesini ve zaman ölçümü çalışmalarını içeren üretim hattı analiz çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlarla üretim hattının bilgisayar ortamında simülasyonu yapılmıştır. Uygulama çalışmasına ait simülasyon çalışmasını gerçekleştirmek için “Arena” programı kullanılmıştır.

Arena programında simülasyon yapılırken makinelerin ve personelin çalışma süreleri kayıt altına alınmıştır. Bu süreler Arena Input Analyzer programı kullanılarak hangi dağılımlara uyduğu bulunmuştur.

Mevcut ve Revize Sistem Kısıtları.

- Konveyörlerin taşıma kapasitesi 1 adettir.
- Cam yükleme makinesinden sisteme her seferinde bir adet cam girişi olmaktadır.
- Herhangi bir konveyörün önündeki konveyör dolu ise konveyör önündeki işlem görmeden işleme alınamaz.
- El-1 ve El-2 makinesinin işlem kapasitesi birer adettir.
- Asansör kapasitesi onar adettir.
- Laminatör makinesinin işlem yapma kapasitesi dörder adettir.

İşletmede yapılan işlemler ve istatistiksel dağılım tablosu Çizelge 4.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Yapılan işlemler ve istatistik dağılımlar tablosu

Sıra	Yapılan İşlem	Açıklaması	İşi Yapan	Operasyon Süresi/Dağılımı
1	Cam yükleme	Camın konveyör sistemine girişi	Cam yükleme makinesi	40+EXPO(6.52)
2	Eva serme	Cam üzerine eva serilmesi	Personel	32+33BETA(0.398,0.582)
3	Lay-up dizileme işlemi	Evalı camın üzerine hücre dizilerinin yerleştirilmesi	Lay-up makinesi	NORM(142,5.84) NORM(205,20.5) NORM(222,16.1) NORM(310,91.3)
4	Lehimleme	Hücre dizilerinin birbiri ile lehim yapılarak birleştirilmesi	Personel	NORM(120,2.15)
5	Ayna kontrol	Hücre dizilerinin kontrolü	Personel	46.5+GAMM(1.63,2.97) 41.5+GAMM(6.24,2.34)
6	El-tester 1	Hücre dizilerinin elektriksel kontrolü	Personel + El tester makinesi	39.5+WEIB(5.46,1.95) 39.5+WEIB(4.89,1.25)
7	Laminasyon	Birleştirilmiş hücre dizilerinin laminasyonu	Laminasyon makinesi	NORM(1050,1.5)
8	Kenar Kesme	Laminasyon sırasında eriyen evanın camdan taşan kısımlarının kesilmesi	Personel	7,5+WEIB(3.61,1.6)
9	El-tester 2	Lamine olmuş camın elektriksel kontrolü	Personel + El tester makinesi	NORM(43.4,5.54) 35.5*ERLA(2.75,2)
10	Bant çekme	Camın kenarlarına bant çekilmesi işlemi	Personel	NORM(23.1,2.52) NORM(24.8,1.44)
11	Çerçeve çakma	Bant çekilen camın alüminyum çerçeve içine yerleştirilmesi	Personel + Makine	UNIF(58.5,69.5) TRIA(97.5,120,146)
13	Kalite kontrol	Panelin kalite grubuna ve kusurlarına göre ayrılması	Personel	TRIA(40.5,48,70.5)
14	J.B takma	Panele Junction box takılması işlemi	Personel	NORM(28.6,4.03)
15	Flaşör	Panelin istenilen güçte olup olmadığının kontrolü	Personel + makine	19+11*BETA(1.44,1.31)

Üretim hattı 3 ayrı bölüme ayrılarak simülasyon modellemesi yapılmıştır. Her kısmın çıktısı bir sonraki modelin girdisi olarak kullanılmıştır.

Üretimde kullanılan makineler aynı işlemleri yapmaktadır. Makine hızlarında değişkenlik olabilir. Aynı işi yapan personeller ise eşit kapasite de olduğu varsayılmıştır. Aşağıda makine ve personel sayılarını gösteren tablo verilmiştir.

Üretim hattındaki makine ve personel sayısını gösteren tablo Çizelge 4.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Üretim hattındaki makine ve personel sayısı

Yapılan İşlem	Personel Sayısı	Makine Sayısı
Cam yükleme	1	1
Eva serme	1	-
Lay-up dizileme işlemi	-	4
Lehimleme	12	-
Ayna kontrol	4	-
El-tester 1	2	2
Laminasyon	4	4
Kenar Kesme	2	-
El-tester 2	2	2
Bant çekme	2	-
Çerçeve çakma	4	2
Kalite kontrol	4	-
J.B takma	2	-
Flaşör	1	1
Kalite kontrol	1	-

4.2.1. Birinci kısım mevcut model

Sisteme girişler ve Lay-Up makine kısmı;

1.kısımda modelde Create modülü ile cam girişi yapılmaktadır. Cam yükleme makinesi ile sisteme giriş yapan cam konveyör ile taşınarak Eva serilmesi için operatörün önüne gelmektedir. İşlemine tamamlayan operatör önündeki konveyör dolu değilse camı CT1 konveyörüne gönderir. CT1 konveyörü dolu ise boşalmasını bekler.

CT1 konveyöründeki cam eğer TT1 konveyörü boş ise operatörün manuel taşıma yapması ile TT1 konveyörüne taşınır. TT1 konveyöründen Lay-up 4 makinesi müsaitse LK4 konveyörüne işlem görmek üzere giriş yapar. Lay-up 4 makinesinde işlem gören cam CT2 konveyörüne geçiş yapar. TT1 konveyörü dolu ise, CT1 konveyöründen cam TT2 konveyörüne taşınır. TT2 konveyöründen camın taşınması için iki seçenek vardır. Birincisi LK3 konveyörü diğeri TT4 konveyörüdür.

1. Lay-Up3 makinesi; TT2 konveyöründen Lay-up 3 makinesi boşsa yani LK3, makinede işlem görmek için Lay-up makinesine giriş yapar.
2. Lay-up3 makinesi dolu ise TT4 konveyörüne cam geçiş yapar.

Lay-up 3 makinesinde işlem gören cam boşsa TT3 konveyörüne geçer. TT4 konveyörüne geçen cam ise TT6 konveyörü boş ise TT6 konveyörüne geçiş yapar. TT6 konveyörüne gelen cam için yine iki durum söz konudur.

1. Lay-up 2 makinesi; TT6 konveyöründen Lay-up2 makinesi yani LK2 boş ise, makinede işlem görmek için Lay-up 2 makinesine (LK2 konveyörüne) giriş yapar.
2. Lay-up2 makinesi dolu ise TT7 konveyörüne cam geçiş yapar.

Lay-up 2 makinesinde işlem gören cam boşsa CT3 konveyörüne geçer.

TT7 konveyörüne geçen cam TT9 konveyörü boş ise TT9 konveyörüne geçiş yapar. TT9 konveyöründen sonra cam Lay-up 1 makinesine yani LK1 konveyörüne giriş yapar. Lay-up 1 makinesinde işlem gören cam boşsa ÇT4 konveyörüne geçiş yapar.

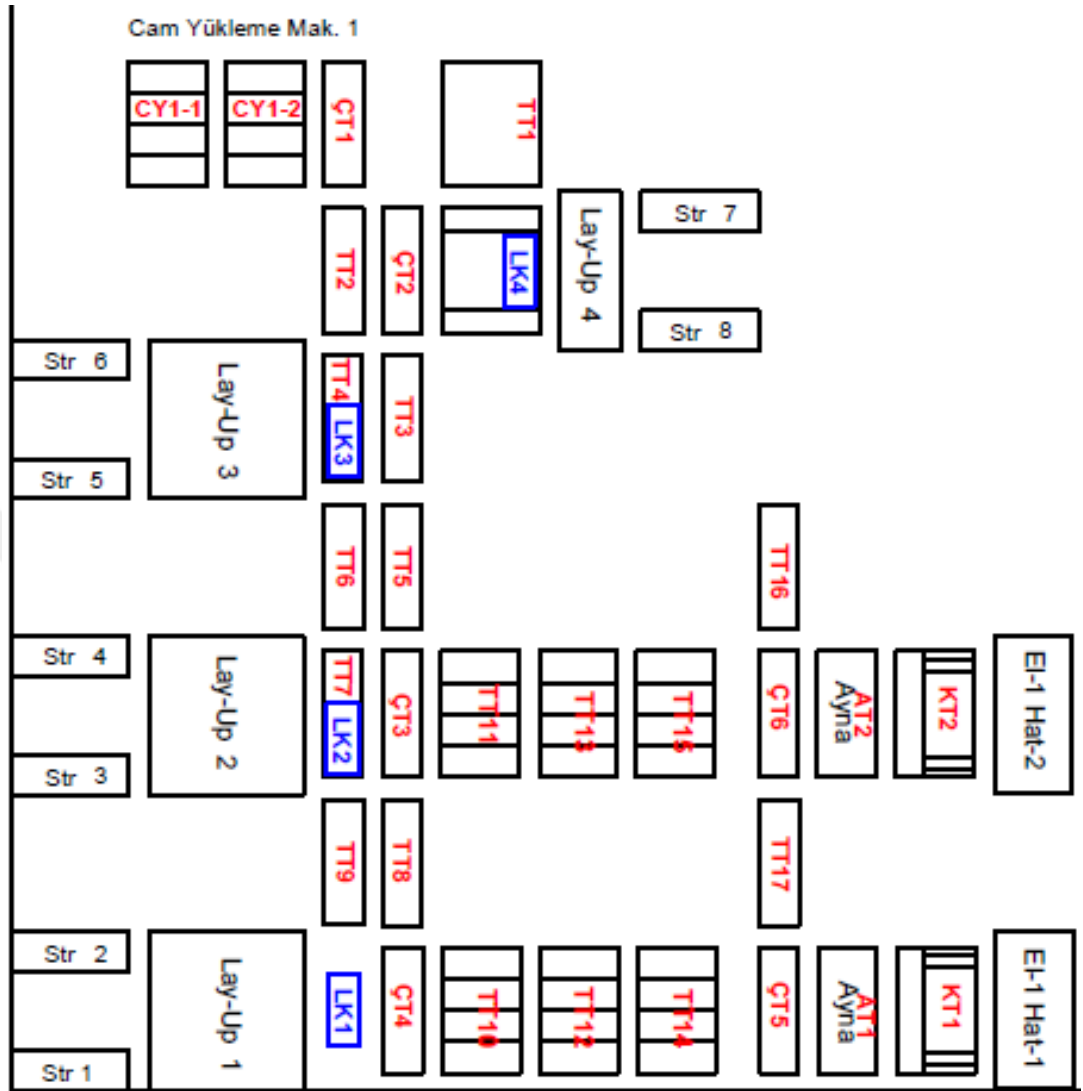
Lehim hattı 1 e camlar ÇT3 ve ÇT4 konveyörleri vasıtasıyla geçiş yapmaktadır. ÇT3 konveyörüne camlar LK2 ve TT5 konveyöründen gelmektedir. Lehim hattının boş olma durumuna göre ÇT3 konveyöründen lehim hattına giriş yapar. Eğer lehim hattı dolu ise ve TT8 konveyörü boş ise TT8 konveyörüne geçiş yapar.

Lehim hattı 2 ye camlar TT8 ve LK1 vasıtasıyla geçer. ÇT4 konveyörü boşsa ve önce hangi konveyörden cam gelirse onu alır ve lehim hattı 2 nin boş olma durumuna göre lehim hattı 2 ye camı gönderir.

Lehim hattı kısmı;

Camlar Lehim hattına ÇT3 ve ÇT4 konveyöründen giriş yapar. Mevcut sistemde Lehim hattında üçer adet konveyör bulunmaktadır. Her konveyörde iki adet işçi hücre dizilerine lehim işlemi yapmaktadır. Toplamda lehim hattında 12 adet işçi çalışmaktadır. Sistemde her işçinin eşit işlem yaptığı varsayılmıştır. Lehimleme işlemi yapılan camlar ÇT6 ve ÇT5 konveyörleri vasıtasıyla AT1 ve AT2 konveyörüne taşınır. AT1 ve AT2 konveyörlerinde ikişer adet işçi çalışmaktadır. Bu kısımda işçiler konveyörün altında bulunan ayna ile lehimleme yapılmış camın içinde yabancı madde olup olmadığını ve hücre dizilerinin aynı hizada olup olmadığını kontrolünü yapmaktadır. Görsel kontrolden sonra KT1 ve KT2 konveyörüne gönderilen camlar EL-1 hat1 ve EL-1 hat2 makinelerine taşınır. Bu makinelerde birer adet operatör çalışmaktadır. İşlemi tamamlanan paneller ÇT7 ve ÇT8 konveyörlerine gönderilir.

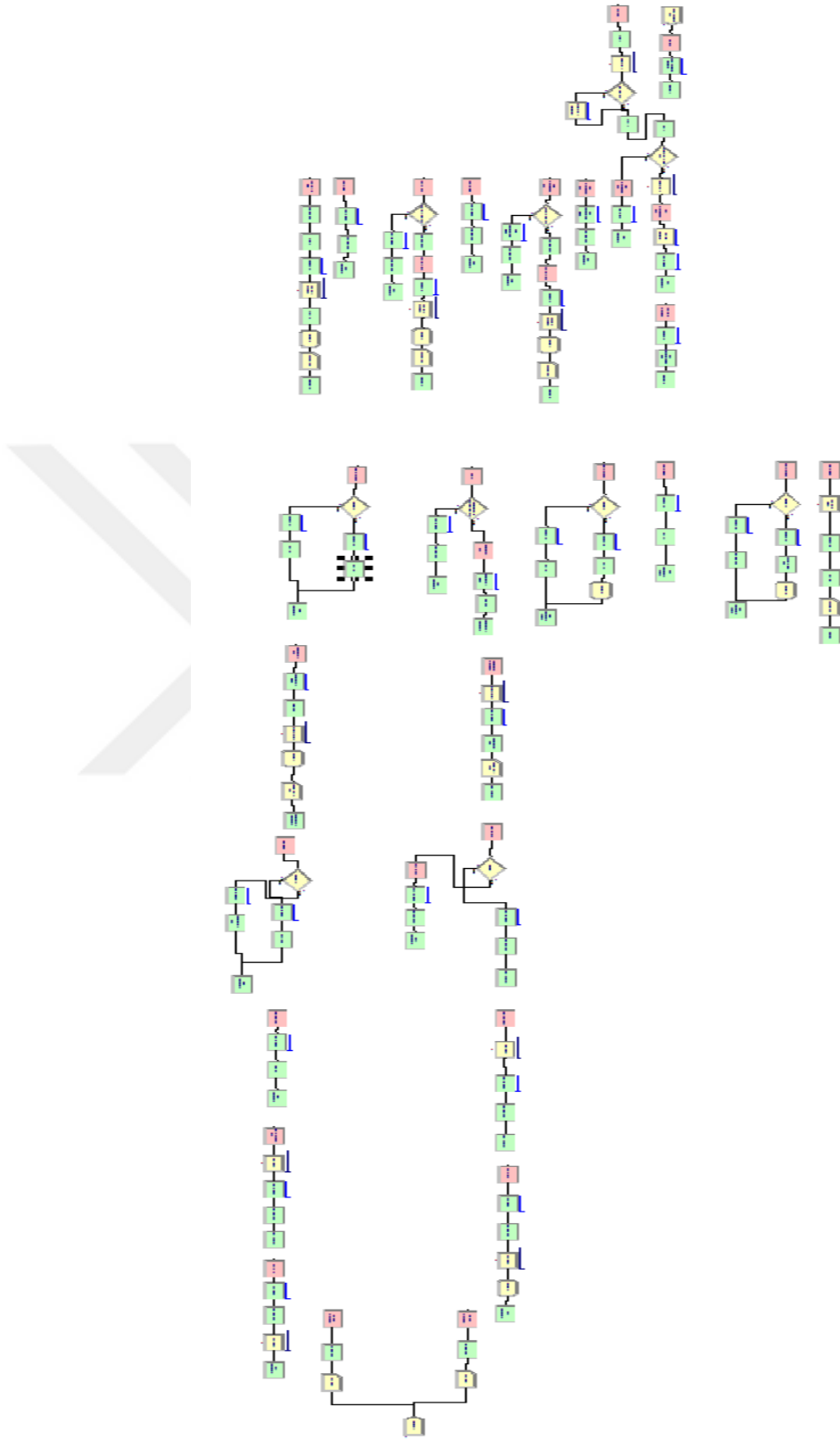
Birinci kısım gerçek makine düzeni ile ilgili gösterim Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Birinci kısım mevcut makine düzeni

EL tester1 kısmına kadar modellenen sistem için yapılan zaman ölçümü sonuçları kullanılmıştır. Zaman ölçümü çalışmaları Input analyzer da analiz edildi ve çıkan dağılımlar kullanılmıştır.

Birinci kısım mevcut model Arena gösterimi Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Birinci kısım mevcut model Arena gösterimi

Mevcut Model Sonuçları

Mevcut modeldeki 2 lehim hattı toplamda 6 konveyörlü sistem için 24 saatlik çıktı sonuçları Çizelge 4.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Birinci kısım mevcut makine ve personel kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	1 011 Adet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Operatör1	0,56
Operatör2	0,03
Lay-up 1 makinesi	0,98
Lay-up 2 makinesi	0,63
Lay-up 3 makinesi	0,61
Lay-up 4 makinesi	0,42
Lehimleme operatörleri 1	0,44
Lehimleme operatörleri 2	0,97
AT1 operatörü	0,45
AT2 operatörü	0,19
EL1-1 operatörü	0,35
EL1-2 operatörü	0,16

4.2.2. Birinci kısım revize model

4.2.2.a. Revize Model 1

Toplam çıktı sayısını ve kaynak kullanım oranları artırmak için oluşturulan revize model aşağıdaki gibidir.

Bu modelde TT5 konveyöründen yeni bir lehim hattı oluşturulmuştur. Toplamda 3 lehim hattı 5 konveyör kullanılmıştır.

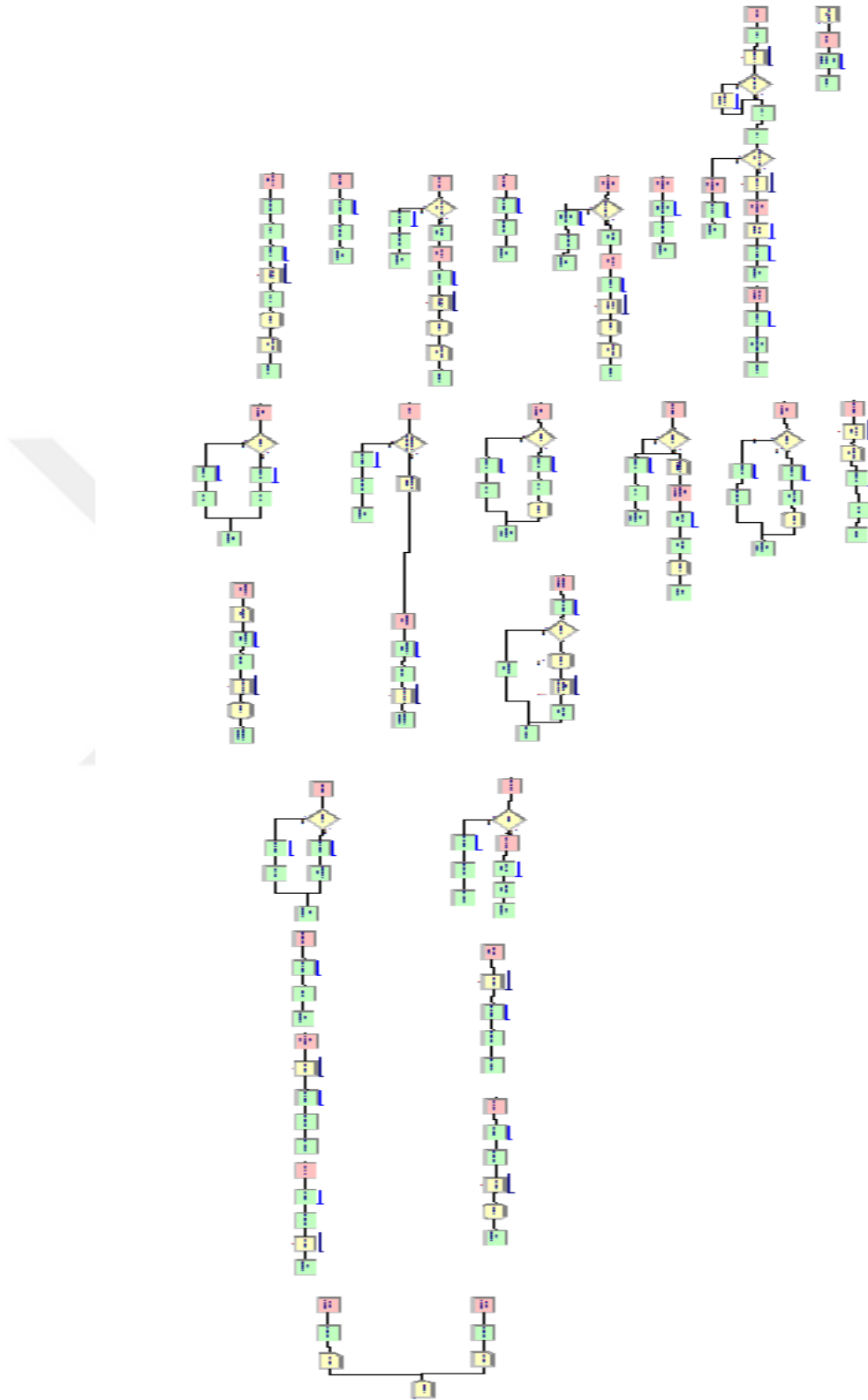
1. Lehim hattı 1 konveyör
2. Lehim hattı 1 konveyör
3. Lehim hattı 4 konveyör

Birinci kısım revize model 1 makine ve personel kullanım oranları Çizelge 4.4 deki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Birinci kısım revize model 1 makine ve personel kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	1 401 Adet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Operatör1	0,77
Operatör2	0,07
Lay-up 1 makinesi	0,98
Lay-up 2 makinesi	0,69
Lay-up 3 makinesi	0,67
Lay-up 4 makinesi	0,97
Lehimleme operatörü 1	0,99
Lehimleme operatörü 2	0,95
Lehimleme operatörleri 3	0,89
AT1 operatörü	0,35
AT2 operatörü	0,52
EL1-1 operatörü	0,27
EL1-2 operatörü	0,45

Birinci kısım revize model arena gösterimi Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Birinci kısım revize model arena gösterimi

Mevcut model ve revize model 1 kıyaslaması Çizelge 4.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Birinci kısım mevcut model ve revize model 1 kıyaslaması

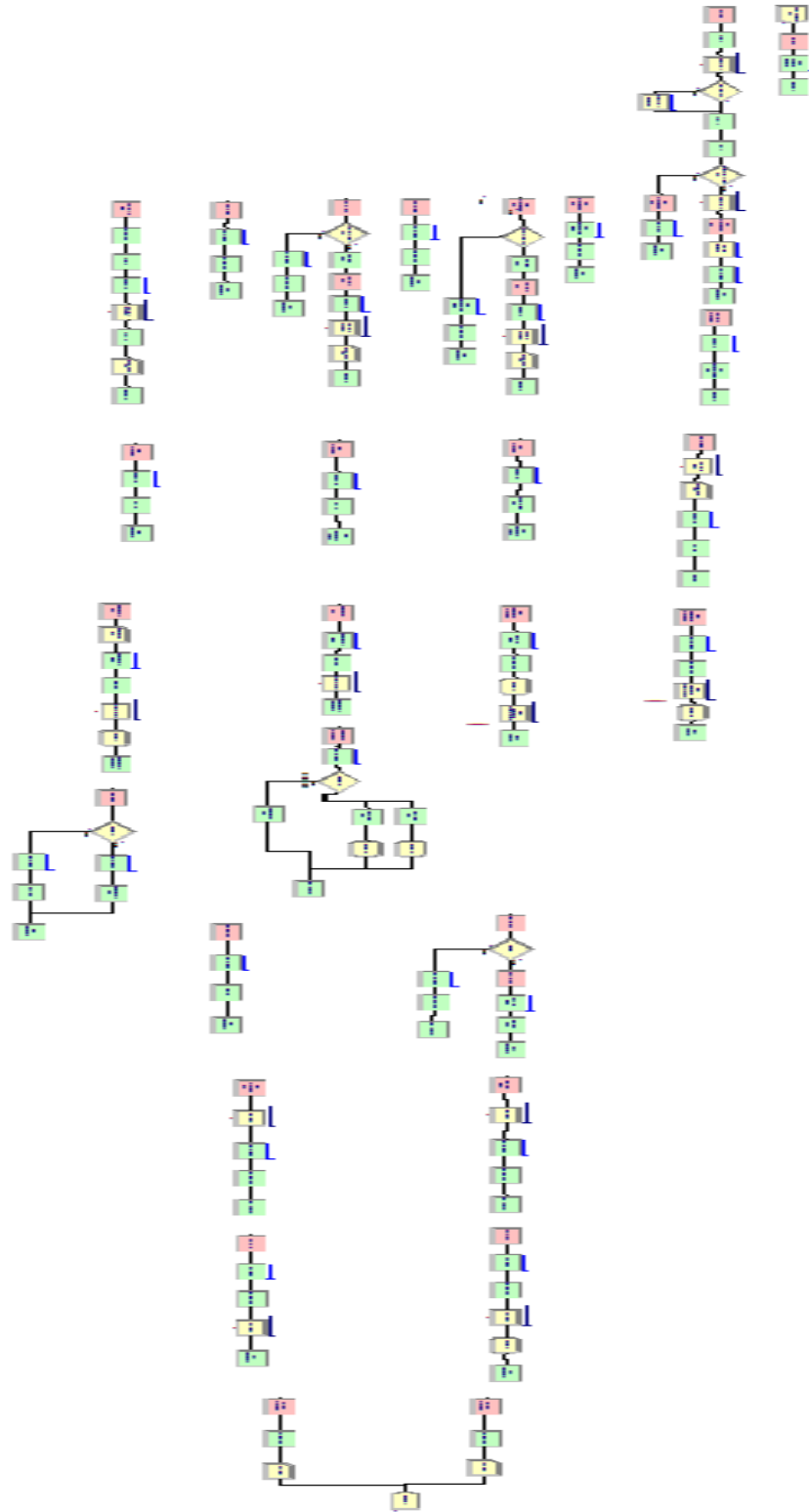
Toplam Çıktı Sayısı	1 011 Adet	Toplam Çıktı Sayısı	1 401 Adet
Kaynaklar	Kullanım Oranları	Kaynaklar	Kullanım Oranları
Operatör1	0,56	Operatör1	0,77
Operatör2	0,03	Operatör2	0,07
Lay-up 1 makinesi	0,98	Lay-up 1 makinesi	0,98
Lay-up 2 makinesi	0,63	Lay-up 2 makinesi	0,69
Lay-up 3 makinesi	0,61	Lay-up 3 makinesi	0,67
Lay-up 4 makinesi	0,42	Lay-up 4 makinesi	0,97
Lehimleme operatörleri 1	0,44	Lehimleme operatörü 1	0,99
Lehimleme operatörleri 2	0,97	Lehimleme operatörü 2	0,95
		Lehimleme operatörleri 3	0,89
AT1 operatörü	0,45	AT1 operatörü	0,35
AT2 operatörü	0,19	AT2 operatörü	0,52
EL1-1 operatörü	0,35	EL1-1 operatörü	0,27
EL1-2 operatörü	0,16	EL1-2 operatörü	0,45

İki sonuç kıyaslandığı zaman, revize modele eklenen üçüncü lehim hattı ile çıktı sayısının ve kaynak kullanım oranlarının arttığı aşikârdır. Revize modelde yeni bir makine sistemi kullanılmamıştır. Mevcut modeldeki 6 konveyörün yerleri değiştirilmiştir.

4.2.2.b. Revize Model 2

Toplam çıktı sayısını ve kaynak kullanım oranları artırmak için oluşturulan revize model aşağıdaki gibidir.

Birinci kısım revize model 2 Arena gösterimi Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Birinci kısım revize model 2 Arena gösterimi

Bu modelde her bir Lay- up makinesinin karşısına lehim hattı gelecek şekilde hat tasarlanmıştır. Mevcut modeldeki lehim hattı ile kıyaslandığında iki lehim hattı eklenmiştir. Toplamda 4 lehim hattı 6 konveyör kullanılmıştır.

- 1.Lehim hattı 1 konveyör
- 2.Lehim hattı 1 konveyör
- 3.Lehim hattı 1 konveyör
- 4.Lehim hattı 3 konveyör

Birinci kısım revize model 2 makine ve personel kullanım oranları ile ilgili tablo Çizelge 4.6 da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Birinci kısım revize model 2 makine ve personel kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	1 344 Adet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Operatör1	0,73
Operatör2	0,07
Lay-up 1 makinesi	0,98
Lay-up 2 makinesi	0,60
Lay-up 3 makinesi	0,61
Lay-up 4 makinesi	0,97
Lehimleme operatörü 1	0,98
Lehimleme operatörü 2	0,60
Lehimleme operatörü 3	0,61
Lehimleme operatörleri 4	0,97
AT1 operatörü	0,39
AT2 operatörü	0,44
EL1-1 operatörü	0,31
EL1-2 operatörü	0,38

Çizelge 4.7. Birinci kısım mevcut model ve revize modellerin kıyaslanması

Toplam Çıktı Sayısı	1 011 Adet	Toplam Çıktı Sayısı	1 401 Adet	Toplam Çıktı Sayısı	1 344 Adet
Kaynaklar	Kullanım Oranları	Kaynaklar	Kullanım Oranları	Kaynaklar	Kullanım Oranları
Operatör1	0,56	Operatör1	0,77	Operatör1	0,73
Operatör2	0,03	Operatör2	0,07	Operatör2	0,07
Lay-up1 makinesi	0,98	Lay-up 1 makinesi	0,98	Lay-up1 makinesi	0,98
Lay-up2 makinesi	0,63	Lay-up 2 makinesi	0,69	Lay-up2 makinesi	0,60
Lay-up3 makinesi	0,61	Lay-up 3 makinesi	0,67	Lay-up3 makinesi	0,61
Lay-up4 makinesi	0,42	Lay-up 4 makinesi	0,97	Lay-up4 makinesi	0,97
Lehimleme operatörleri 1	0,44	Lehimleme operatörü 1	0,99	Lehimleme operatörü 1	0,98
Lehimleme operatörleri 2	0,97	Lehimleme operatörü 2	0,95	Lehimleme operatörü 2	0,60
		Lehimleme operatörleri 3	0,89	Lehimleme operatörü 3	0,61
				Lehimleme operatörleri 4	0,97
AT1 operatörü	0,45	AT1 operatörü	0,35	AT1 operatörü	0,39
AT2 operatörü	0,19	AT2 operatörü	0,52	AT2 operatörü	0,44
EL1-1 operatörü	0,35	EL1-1 operatörü	0,27	EL1-1 operatörü	0,31
EL1-2 operatörü	0,16	EL1-2 operatörü	0,45	EL1-2 operatörü	0,38

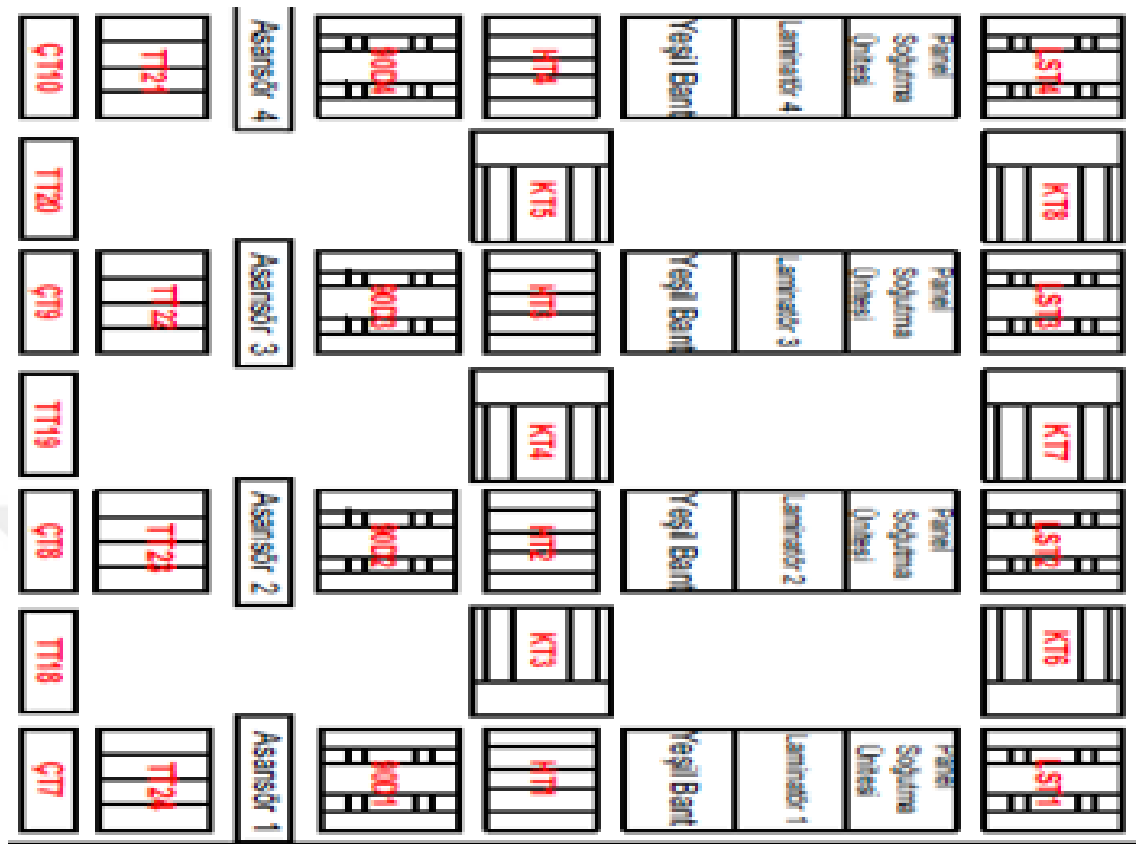
Birinci kısım mevcut model ve revize modellerin kıyaslanması ilgili tablo Çizelge 4.7 de gösterilmiştir.

Mevcut model ve 4 lehim istasyonlu model kıyaslandığı zaman, revize modele eklenen üçüncü ve dördüncü lehim hattı ile çıktı sayısının ve kaynak kullanım oranlarının arttığı aşikârdır. Revize modelde yeni bir makine sistemi kullanılmamıştır. Mevcut modeldeki 6 konveyörün yerleri değiştirilmiştir.

Mevcut model ve revize modeller kıyaslandığı zaman, birinci revize modelde çıktı sayısında %38,5, ikinci revize modelde %32,93 artış elde edilmiştir. Bu sonuçlar sadece üretim hattındaki konveyör sisteminde yapılan değişiklik ile elde edilmiştir. Konveyör yerleşimin yanlış tasarlanması mevcut modelde darboğazlara neden olarak çıktı sayısında ciddi azalmalara neden olmuştur. Birinci revize modelin kullanılması çıktı sayısı açısından daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

4.2.3. İkinci kısım mevcut model

EL1 makinelerinden çıkan paneller ÇT7 ve ÇT8 konveyörlerine taşınır. ÇT7 ve ÇT8 konveyörlerinden TT24 ve TT23 konveyörlerine paneller gelir. Eğer 90D1 ve 90D1 konveyörleri dolu ise, gelen paneller Asansör 1 ve Asansör 2 ye depolanır. Asansörlerin kapasitesi 10'ar adettir. 90D1 ve 90D2 boş ise HT1 ve HT2 gelen paneller laminatör makinelerinin önünde bulunan yeşil banta gelir. Laminatör3 ve Laminatör4 makinesi önündeki yeşil bantlara KT3, KT4 ve KT5 konveyörleri ile taşınır. Yeşil bant kapasitesi 4'er adettir. Asansör1 ve Asansör2 tamamen dolmadan paneller TT19 konveyörüne geçememektedir. İkinci kısım mevcut makine düzeni Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

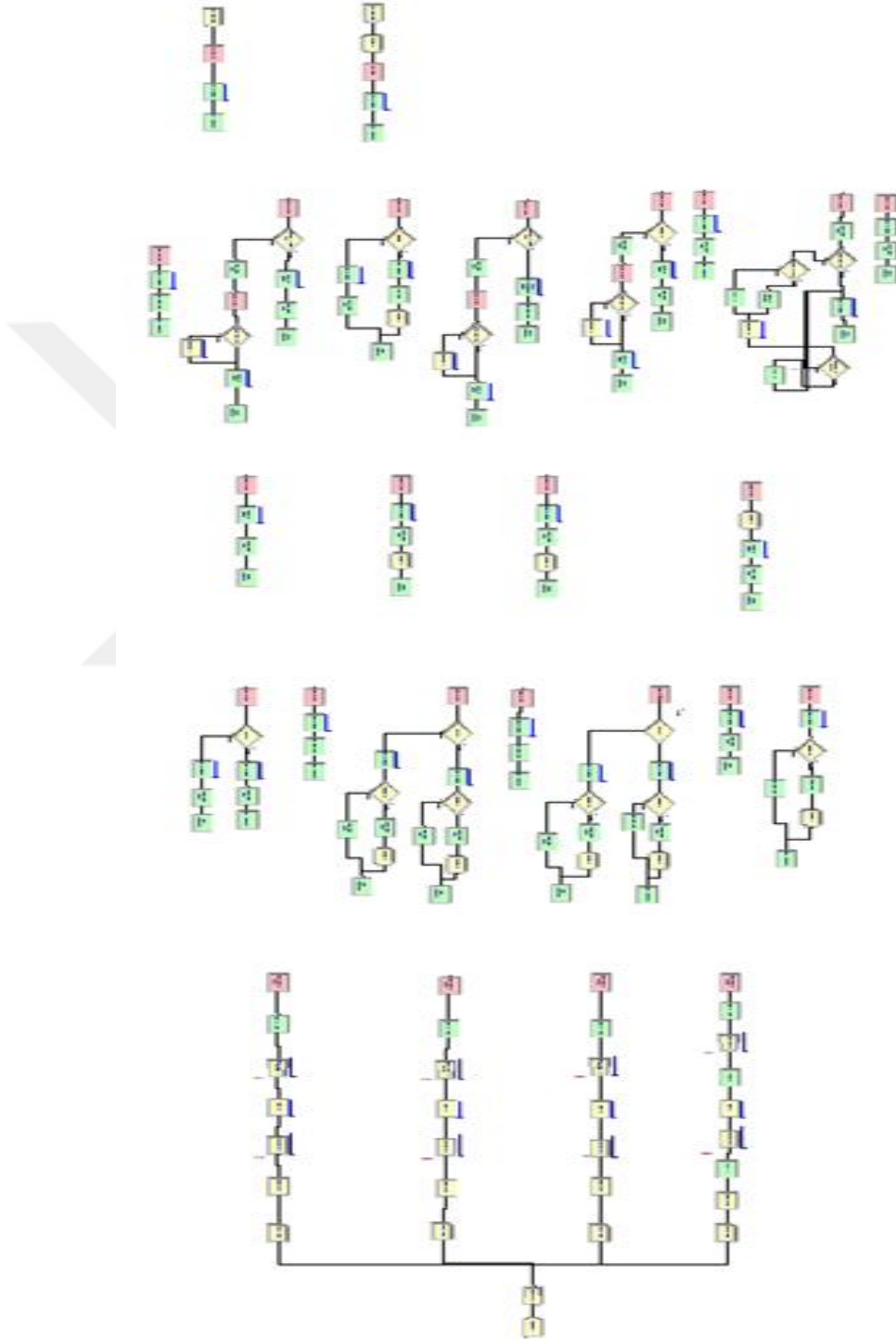


Şekil 4.21. İkinci kısım mevcut makine düzeni

Asansör1 ve Asansör2 tamamen dolduktan sonra paneller TT19 konveyörüne geçer. Buradan ÇT konveyörü vasıtasıyla TT22 konveyörüne gelir. 90D3 konveyörü boş ise 90D3 konveyörüne dolu ise Asansör3 e paneller gelir. 90D3 konveyöründen HT3 e gelen paneller laminatör3 makinesi önündeki yeşil bant boş ise giriş yapar. Asansör3 tamamen dolduktan sonra paneller TT20 konveyörüne geçebilir. TT20 konveyörüne gelen paneller TT21 konveyörü ile, boş ise 90D4 konveyörüne dolu ise asansörlerde depolanır.

Dört panel kapasiteli yeşil bantlar yine dört panel kapasiteli laminatörler müsaitse giriş yapar ve işlem görür. Lamintörden çıkan paneller yine dört panel kapasitesine sahip olan panel soğutma konveyörüne taşınır. Burada sıcak olan paneller soğuması için bir süre bekletilir.

İkinci kısım mevcut model Arena gösterimi Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. İkinci kısım mevcut model Arena gösterimi

Mevcut modele göre sonuçlar Çizelge 4.8 deki gibidir.

Çizelge 4.8. İkinci kısım mevcut makine kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	1 288 Adet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Laminatör1	1,00
Laminatör2	1,00
Laminatör3	1,00
Laminatör4	0,98

Sonuçlar 1. kısımdaki mevcut modele göre incelendiği zaman makine kapasiteleri yeterlidir. Fakat revize model sonuçlarına göre makine kapasiteleri yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden 2. Kısım için revize model tasarlanmıştır.

4.2.4. İkinci kısım revize model

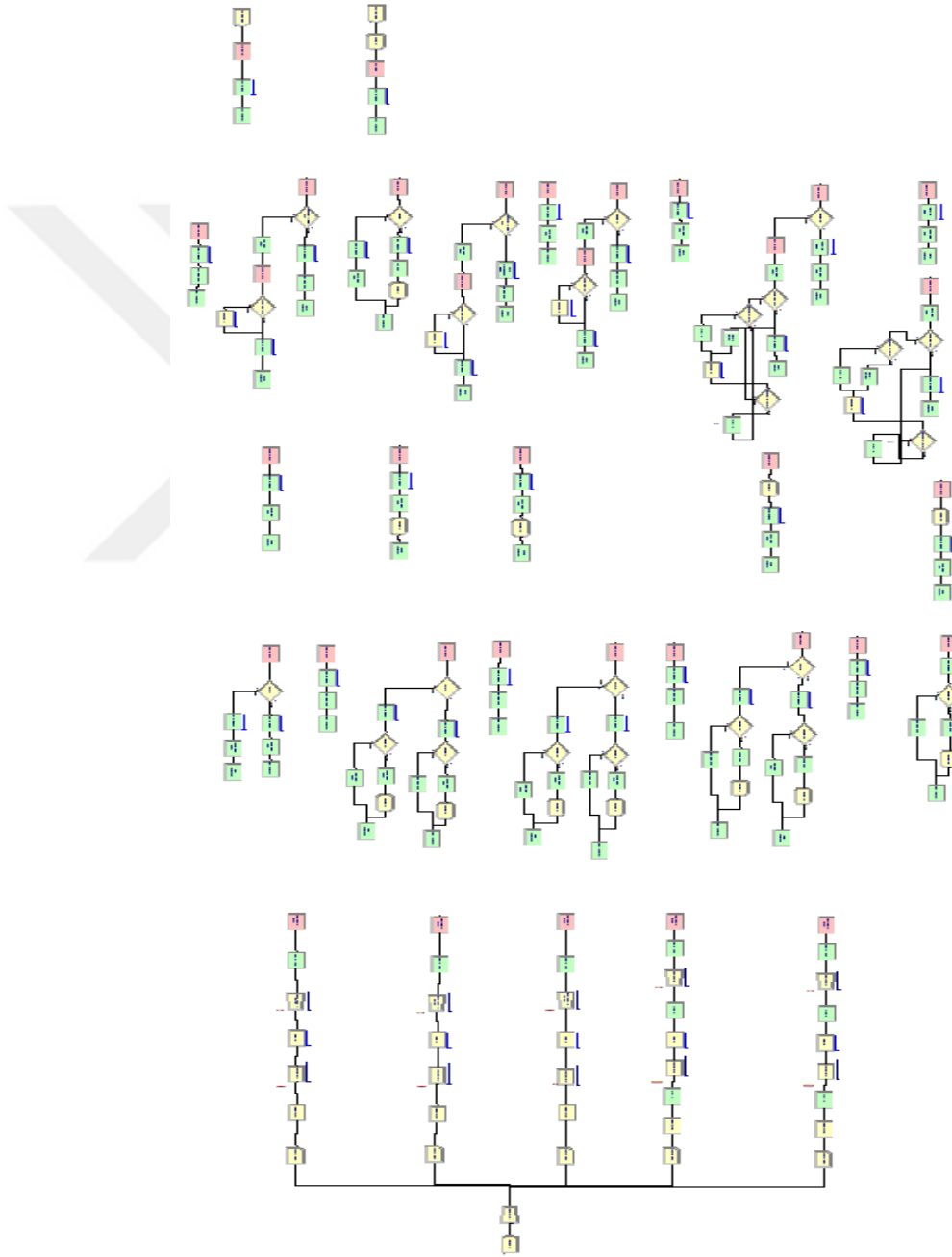
Revize modelde yeni bir laminatör makinesi eklenmiştir. Eklenen makine ile çıktı sayısını arttırmak amaçlanmıştır. İkinci kısım revize model makina kullanım oranları Çizelge 4.9 da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. İkinci kısım revize model makina kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	1 608 Adet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Laminatör1	1,00
Laminatör2	1,00
Laminatör3	1,00
Laminatör4	0,98
Laminatör5	0,97

Laminatör5 ile eklendikten sonra simülasyon modeline göre 1608 panel elde edilmiştir.

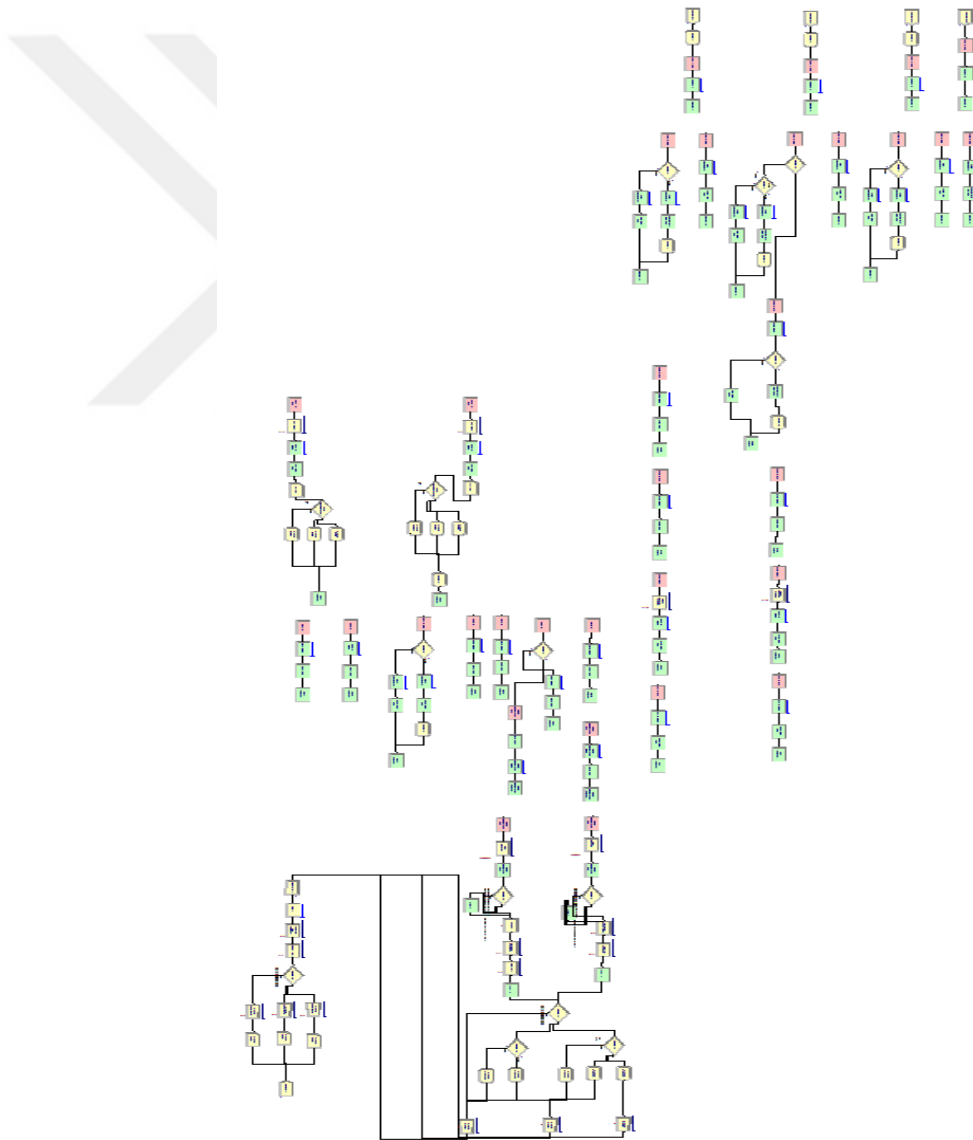
İkinci kısım revize model Arena gösterimi Şekil 4.23’de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. İkinci kısım revize model Arena gösterimi

180D1 ve 180D2 konveyörüne gelen paneller bant çekme, çerçeve çakma ve kontrol proseslerinden geçerek kalite sınıflarına ayrılır. 3 farklı kalite sınıfına ayrılan paneller, kalite sınıfına göre bir palette 31 adet olunca Junction Box bağlanmak üzere diğer prosese gönderilir. Junction box bağlanan paneller Flaşör işleminden geçerek, yine kalite sınıfına göre paletlere koyulur. 31 adet olan palet paketlenmek için sistemden çıkar.

Üçüncü kısım mevcut model Arena gösterimi Şekil 4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Üçüncü kısım mevcut model Arena gösterimi

Çizelge 4.10. Üçüncü kısım mevcut makine kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	38 Palet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Kenar kesme operatörü1	0,04
Kenar kesme operatörü2	0,13
El2-1 makinası	0,16
El2-2 makinası	0,49
Bant çekme operatörü1	0,18
Bant çekme operatörü2	0,19
Çerçeve makinası1	0,76
Çerçeve makinası2	0,52
Kontrol operatörü1	0,43
Kontrol operatörü2	0,33
Junction box takma operatörü	0,39
Flaşör makinası	0,34

Üçüncü kısım mevcut makine kullanım oranları Çizelge 4.10 da gösterilmiştir.

Sonuçlar incelendiği zaman 38 palet ürün çıkmıştır. Bir palette 31 adet ürün bulunduğu toplamda 1 178 panel bulunmuştur. Bu sonuçlara göre birkaç farklı revize model simülasyonu yapılmıştır. Bunlar;

4 adet laminatör makinesinden girişlerin olduğu kabul edildiği;

- EL2 makine grubunun olduğu hattın yerini değiştirerek tasarlanan model
- 1 adet kenar kesme operatörü ve 1 adet EL2 makinesinin kullanılarak tasarlanan model
- 1 adet kenar kesme operatörü, 1 adet EL2 makinası, 1 adet bant çekme operatörü, 1 adet Çerçeve makinesi ve 1 adet kalite kontrol operatörükullanılarak tasarlanan model

5 adet laminatör makinesinden girişlerin kabul edildiği;

- 1 adet kenar kesme operatörü, 1 adet EL2 makinesi, 1 adet bant çekme operatörü, 1 adet kontrol operatörü kullanılarak tasarlanan model

4.2.6. Üçüncü kısım revize model

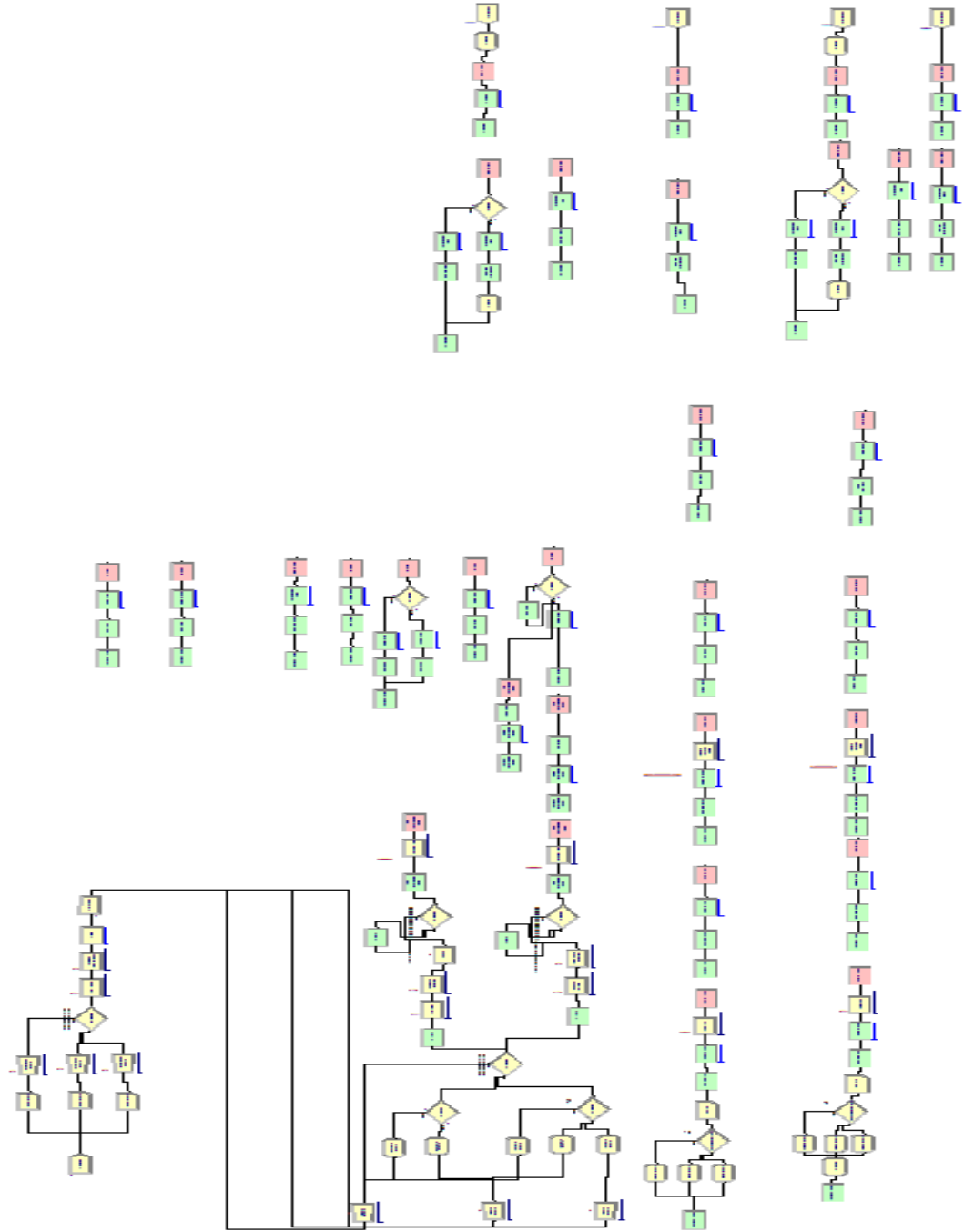
1) Birinci Revize Model

Bu modelde makine ve konveyör sistemlerinin yerleri değiştirilmiştir. Mevcut modelde LST2 konveyöründen 90D6 konveyörüne paneller taşınmaktadır. Bu modelde aynı makine grubu LST3 ile ÇT13 konveyörleri arasına alınmıştır. ÇT13 ün önünde bulunan makine grupları ise TT31 konveyörü önüne alınarak model simüle edilmiştir. Üçüncü kısım revize model1 makine kullanım oranları Çizelge 4.11 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Üçüncü kısım revize model 1 makine kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	39 Palet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Kenar kesme operatörü1	0,08
Kenar kesme operatörü2	0,09
EL2-1 makinası	0,31
EL2-2 makinası	0,33
Bant çekme operatörü1	0,15
Bant çekme operatörü2	0,21
Çerçeve makinası1	0,69
Çerçeve makinası2	0,57
Kontrol operatörü1	0,47
Kontrol operatörü2	0,30
Junction box takma operatörü	0,40
Flaşör makinası	0,35

Üçüncü kısım revize model 1 Arena gösterimi Şekil 4.26’da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Üçüncü kısım revize model 1 Arena gösterimi

Üçüncü kısım mevcut model ve revize model 1 kıyaslanması Çizelge 4.12 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Üçüncü kısım mevcut model ve revize model 1 kıyaslanması

Toplam Çıktı Sayısı	38 Palet	Toplam Çıktı Sayısı	39 Palet
Kaynaklar	Kullanım Oranları	Kaynaklar	Kullanım Oranları
Kenar kesme operatörü1	0,04	Kenar kesme operatörü1	0,08
Kenar kesme operatörü2	0,13	Kenar kesme operatörü2	0,09
El2-1 makinası	0,16	El2-1 makinası	0,31
El2-2 makinası	0,49	El2-2 makinası	0,33
Bant çekme operatörü1	0,18	Bant çekme operatörü1	0,15
Bant çekme operatörü2	0,19	Bant çekme operatörü2	0,21
Çerçeve makinası1	0,76	Çerçeve makinası1	0,69
Çerçeve makinası2	0,52	Çerçeve makinası2	0,57
Kontrol operatörü1	0,43	Kontrol operatörü1	0,47
Kontrol operatörü2	0,33	Kontrol operatörü2	0,30
Junction box takma operatörü	0,39	Junction box takma operatörü	0,40
Flaşör makinası	0,34	Flaşör makinası	0,35

Mevcut model çıktıları ile birinci revize model kıyaslandığı zaman çıktı sayısında 1 palet artış olmuştur. Makine kullanım oranlarında değişiklikler gözlenmiştir. Bu modelde personel sayısında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Makine ve personel sayısında herhangi bir değişiklik yapmadan sadece makine ve konveyörlerin yerleri değiştirilerek çıktı sayısında iyileşme elde edilmiştir.

2) İkinci Revize Model

Bu modelde 1 adet kenar kesme operatörü, 1 adet EL2 makinesi ve 1 adet çerçeve makinesi kullanılarak tasarlanmıştır.

Üçüncü kısım revize model 2 makine ve personel kullanım oranı sonuçlar Çizelge 4.13 deki gibidir.

Çizelge 4.13. Üçüncü kısım revize model 2 makine ve personel kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	40 Palet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Kenar kesme operatörü1	0,16
Kenar kesme operatörü2	
El2-1 makinası	0,62
El2-2 makinası	
Bant çekme operatörü1	0,11
Bant çekme operatörü2	0,25
Çerçeve makinası1	0,54
Çerçeve makinası2	0,65
Kontrol operatörü1	0,57
Kontrol operatörü2	0,23
Junction box takma operatörü	0,50
Flaşör makinası	0,36

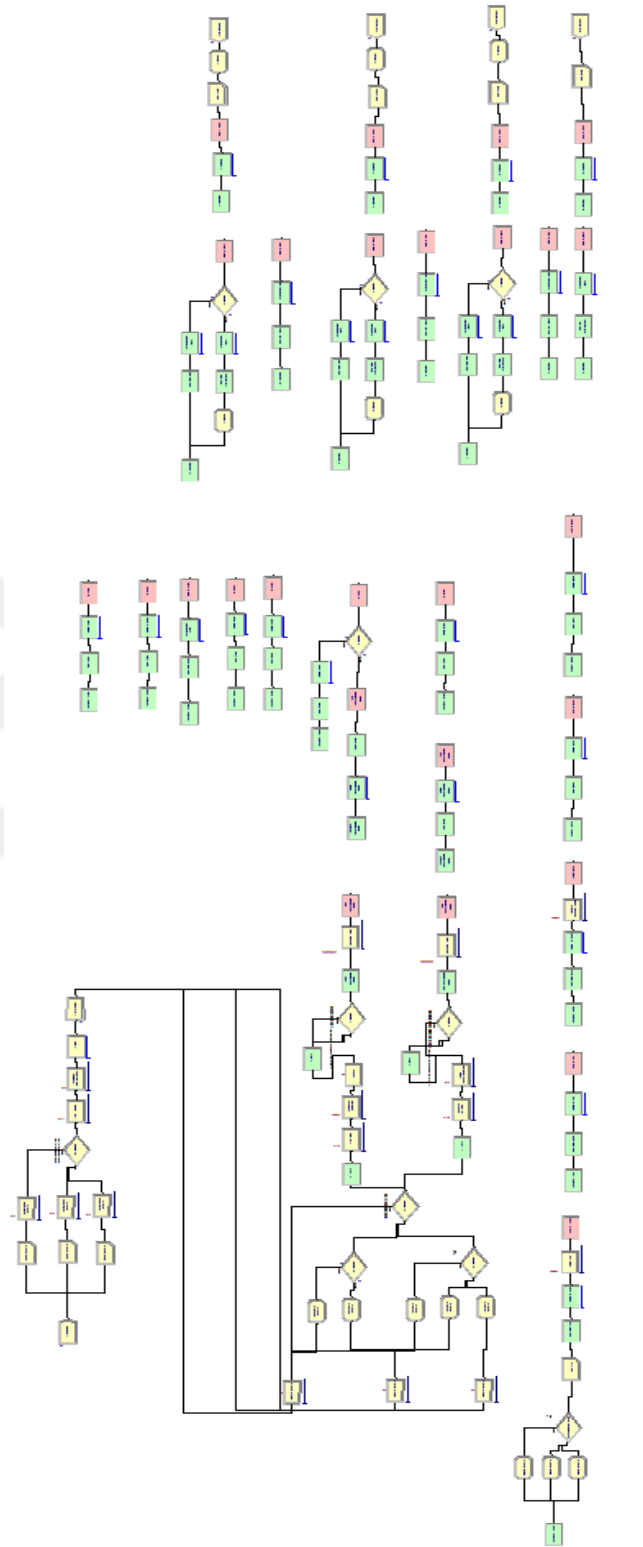
Çizelge 4.14 de mevcut model ve revize model kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.14. Üçüncü kısım mevcut model ve revize 2 model kıyaslanması

Toplam Çıktı Sayısı	38 Palet	Toplam Çıktı Sayısı	40 Palet
Kaynaklar	Kullanım Oranları	Kaynaklar	Kullanım Oranları
Kenar kesme operatörü1	0,04	Kenar kesme operatörü1	0,16
Kenar kesme operatörü2	0,13	Kenar kesme operatörü2	
El2-1 makinası	0,16	El2-1 makinası	0,62
El2-2 makinası	0,49	El2-2 makinası	
Bant çekme operatörü1	0,18	Bant çekme operatörü1	0,11
Bant çekme operatörü2	0,19	Bant çekme operatörü2	0,25
Çerçeve makinası1	0,76	Çerçeve makinası1	0,54
Çerçeve makinası2	0,52	Çerçeve makinası2	0,65
Kontrol operatörü1	0,43	Kontrol operatörü1	0,57
Kontrol operatörü2	0,33	Kontrol operatörü2	0,23
Junction box takma operatörü	0,39	Junction box takma operatörü	0,50
Flaşör makinası	0,34	Flaşör makinası	0,36

Sonuçlar kıyaslandığı zaman sistemden Kenar Kesme operatörü ve El2 makinesini çıkarıldığı zaman çıktı sayısında 2 palet artış olmuştur. Ayrıca makine kullanım oranları da artmıştır. Makineler çıkarıldığı için 2 personel çıkarılarak sistemde iyileştirme yapılmıştır. Sonuç olarak hem çıktı sayısı arttırıldı, hem de personel sayısı azaltılarak iyileşmeler elde edilmiştir.

Üçüncü kısım revize model 2 Arena gösterimi Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Üçüncü kısım revize model 2 Arena gösterimi

3) Üçüncü Revize Model

Bu modelde 1 adet kenar kesme operatörü, 1 adet EL2 makinesinin, 1 adet bant çekme operatörü ve bir adet kalite kontrol operatörü kullanılarak tasarlanan modeldir.

Üçüncü kısım revize model 3 makine ve personel kullanım oranı sonuçları Çizelge 4.15 deki gibidir.

Çizelge 4.15. Üçüncü kısım revize model 3 makine ve personel kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	40 Palet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Kenar kesme operatörü1	0,16
Kenar kesme operatörü2	
El2-1 makinası	0,62
El2-2 makinası	
Bant çekme operatörü1	
Bant çekme operatörü2	0,35
Çerçeve makinası1	
Çerçeve makinası2	0,97
Kontrol operatörü1	
Kontrol operatörü2	0,81
Junction box takma operatörü	0,50
Flaşör makinası	0,35

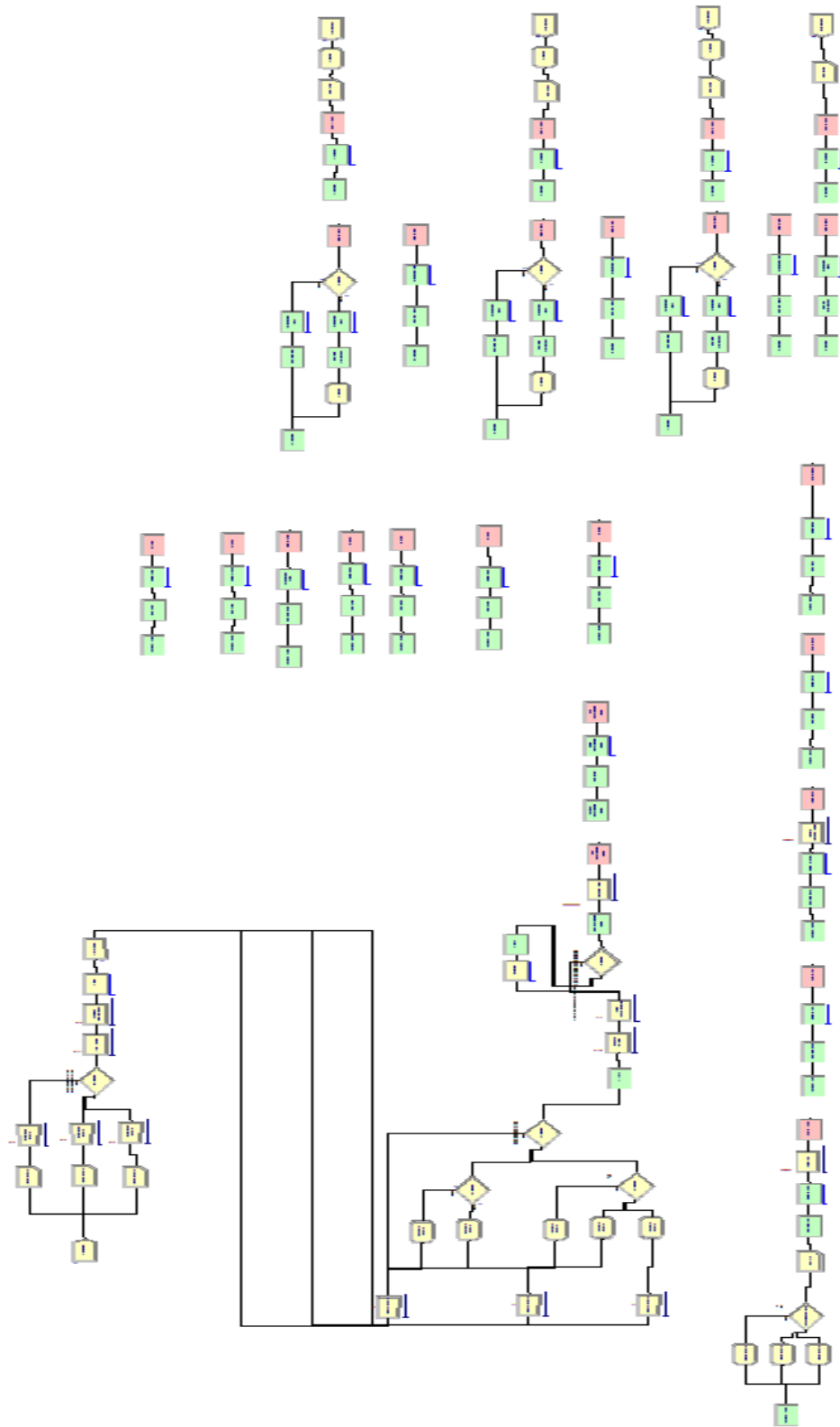
Çizelge 4.16 da mevcut model ve revize model 3 kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.16. Üçüncü kısım mevcut model ve revize model 3 kıyaslanması

Toplam Çıktı Sayısı	38 Palet	Toplam Çıktı Sayısı	40 Palet
Kaynaklar	Kullanım Oranları	Kaynaklar	Kullanım Oranları
Kenar kesme operatörü1	0,04	Kenar kesme operatörü1	0,16
Kenar kesme operatörü2	0,13	Kenar kesme operatörü2	
El2-1 makinası	0,16	El2-1 makinası	0,62
El2-2 makinası	0,49	El2-2 makinası	
Bant çekme operatörü1	0,18	Bant çekme operatörü1	
Bant çekme operatörü2	0,19	Bant çekme operatörü2	0,35
Çerçeve makinası1	0,76	Çerçeve makinası1	
Çerçeve makinası2	0,52	Çerçeve makinası2	0,97
Kontrol operatörü1	0,43	Kontrol operatörü1	
Kontrol operatörü2	0,33	Kontrol operatörü2	0,81
Junction box takma operatörü	0,39	Junction box takma operatörü	0,50
Flaşör makinası	0,34	Flaşör makinası	0,35

Sonuçlar kıyaslandığı zaman sistemden Kenar Kesme operatörü, El2 makinesi, bant çekme operatörü, çerçeve makinası ve 2 adet operatörü, kalite kontrol operatörü çıkarıldığı zaman çıktı sayısında 2 palet artış olduğu çıkmaktadır. Aynı zamanda makinelerin sistemden çıkarılmasından dolayı 6 adet personel de çıkarılarak sistemde iyileştirme yapılmıştır. Ayrıca bu makine ve operatörler sistemden çıkarıldığını zaman diğer makine operatörlerin kullanım oranların arttığı sonucu elde edilmiştir. Sonuç olarak hem çıktı sayısı arttırılmış hem de personel iyileştirme yapılarak personel maliyeti azaltılmıştır.

Üçüncü kısım revize model 3 Arena gösterimi Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Üçüncü kısım revize model 3 Arena gösterimi

4) Dördüncü Revize Model

Bu revize modelde ikinci kısımdaki yapılan revize modelin çıkışlar arası süresi alınarak sistemde 5 laminatörden girişlerin olduğu düşünülmüştür. Sistemden 1 adet kenar kesme operatörü, 1 adet EL2 makinesi ve operatörü, 1 adet bant çekme operatörü sistemden çıkarılarak sonuçlar mevcut model ile karşılaştırılmıştır. Üçüncü kısım revize model 4 makine ve personel kullanım oranları Çizelge 4.17 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Üçüncü kısım revize model 4 makine ve personel kullanım oranları

Toplam Çıktı Sayısı	50 Palet
Kaynaklar	Kullanım Oranları
Kenar kesme operatörü1	0,20
Kenar kesme operatörü2	
El2-1 makinası	0,78
El2-2 makinası	
Bant çekme operatörü1	
Bant çekme operatörü2	044
Çerçeve makinası1	0,60
Çerçeve makinası2	0,60
Kontrol operatörü1	0,50
Kontrol operatörü2	0,50
Junction box takma operatörü	0,51
Flaşör makinası	0,44

Çizelge 4.18 de mevcut model ve revize model kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.18. Üçüncü kısım mevcut model ve revize 4 model kıyaslanması

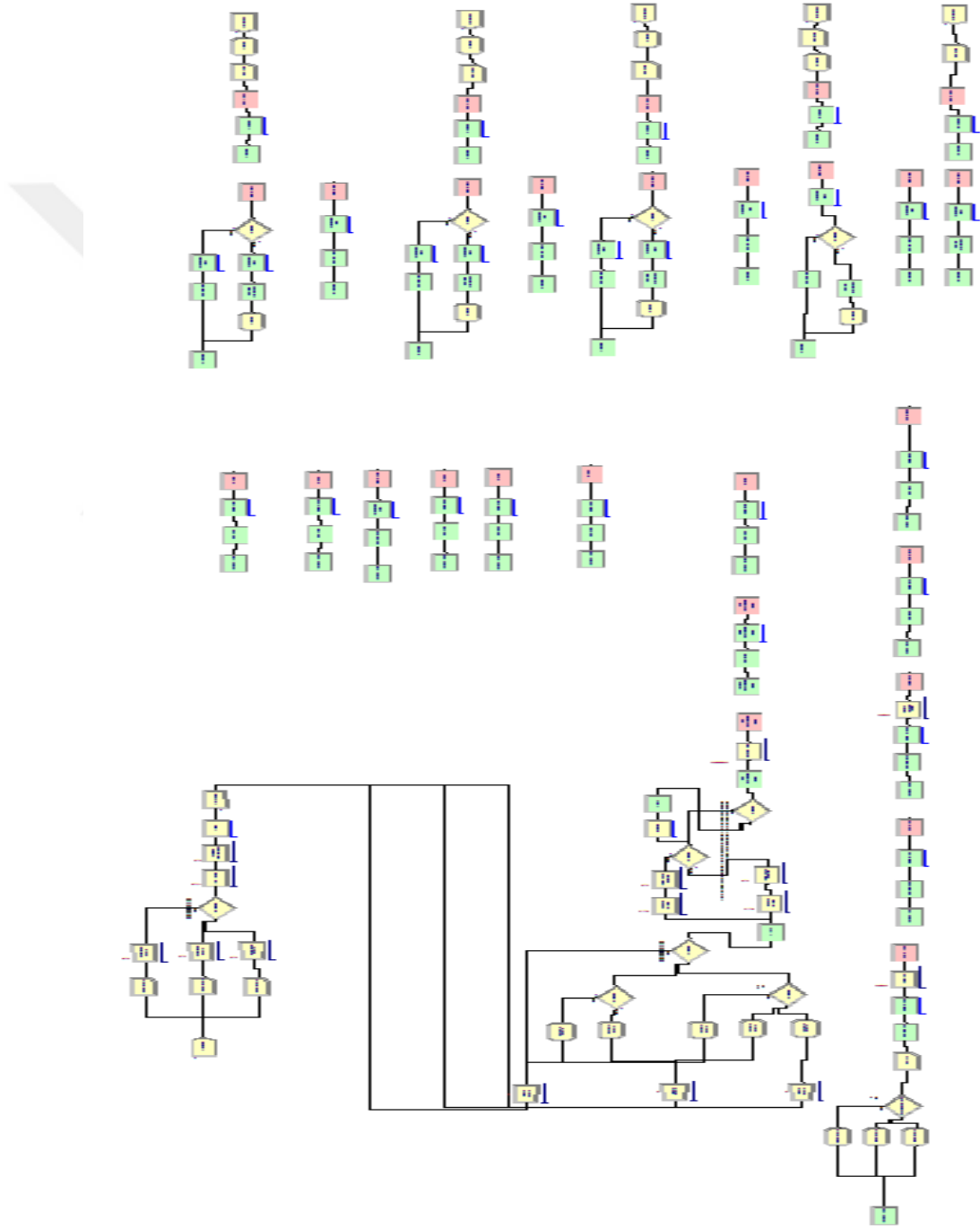
Toplam Çıktı Sayısı	38 Palet	Toplam Çıktı Sayısı	50 Palet
Kaynaklar	Kullanım Oranları	Kaynaklar	Kullanım Oranları
Kenar kesme operatörü1	0,04	Kenar kesme operatörü1	0,20
Kenar kesme operatörü2	0,13	Kenar kesme operatörü2	
El2-1 makinası	0,16	El2-1 makinası	0,78
El2-2 makinası	0,49	El2-2 makinası	
Bant çekme operatörü1	0,18	Bant çekme operatörü1	
Bant çekme operatörü2	0,19	Bant çekme operatörü2	0,44
Çerçeve makinası1	0,76	Çerçeve makinası1	0,60
Çerçeve makinası2	0,52	Çerçeve makinası2	0,60
Kontrol operatörü1	0,43	Kontrol operatörü1	0,50
Kontrol operatörü2	0,33	Kontrol operatörü2	0,50
Junction box takma operatörü	0,39	Junction box takma operatörü	0,51
Flaşör makinası	0,34	Flaşör makinası	0,44

Sonuçlar kıyaslandığı zaman; sisteme beşinci laminatörden çıkan panellerden dolayı mevcut modele oranla sisteme daha fazla panel girmektedir. Sisteme daha fazla panel girerken aynı zamanda Kenar Kesme operatörü, El2 makinesi, bant çekme operatörü çıkarıldığı zaman çıktı sayısında 12 palet artış olduğu çıkmaktadır. Modelden çıkarılan makine ve operatörler sistemden çıkarıldığını zaman diğer makine operatörlerin kullanım oranların arttığı sonucu elde edilmiştir. Sonuç olarak hem çıktı sayısı arttırılmış hem de personel iyileştirme yapılarak personel maliyeti azaltılmıştır.

Bu kısımda dört farklı senaryo düşünülmüştür. İlk üç revize model Create girişlerini 2. kısım mevcut model çıkış verileri alınarak, dördüncü revize model Create girişleri ise 2. kısım revize model sonuçlarına göre oluşturulmuştur. Sisteme eklenen herhangi bir makine ve ya personel olmamıştır. Birinci revize modelde çıktı sayısında %2,63 artış, ikinci revize modelde %5,26 artış ve 2 personel azaltılarak işçilik giderlerinde iyileştirme, üçüncü revize modelde %5,26 artış ve 7 personel azaltılarak işçilik giderlerinde

iyileştirme, dördüncü revize modelde %31,58 artış ve 3 personel azaltılarak işçilik giderlerinde iyileşme elde edilmiştir.

Üçüncü kısım revize model 4 Arena gösterimi Şekil 4.29 de gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Üçüncü kısım revize model 4 Arena gösterimi

5. SONUÇ

Müşteri taleplerinin zamanında karşılanamaması ve üretim giderlerinin yüksek olmasından kaynaklı rekabet gücü zayıflar. Bunun sonucunda verimlilik ve üretim miktarının az olması gibi sebepler ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada panel paneli üretim hattında iyileştirme yapılması ve israfların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla montaj hattı iyileştirmesi bu çalışmanın konusu olmuştur. Montaj hattı iyileştirmesi yapmak ve sonuçlarını görmek için gerçek hayatta üretim hattını değiştirmek çok zor olduğu için simülasyon yöntemi kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yaptığımız çalışmada güneş paneli üreten fabrikanın, üretim hattı bilgisayar ortamında modellenmiştir. Benzetim modelinin oluşturulmasında ARENA programı kullanılmıştır.

Benzetim modeli öncelikle mevcut sistemden alınan verilerden elde edilen dağılımlar kullanılarak çalıştırılmıştır. Modelin gerçek sistem verileriyle denemesi sonucunda, üretim hattındaki verimsizlik olduğu tespit edilen noktalara tezgâh eklenerek, tezgâhların yerleri değiştirilerek ya da tezgâhlar çıkartılarak oluşturulan farklı revize modeller oluşturulmuştur. Revize modeller ve mevcut model kıyaslanmıştır. Bunun sonucunda makine kullanım oranları ve nihai ürün sayısındaki değişiklikler tespit edilmiştir. Modelleme yapılırken üretim hattı üç kısma ayrılmıştır. Sonuçlar çıkan ürün sayısı açısından karşılaştırıldığında birinci kısımda %38,5, ikinci kısımda %24,84, üçüncü kısımda %31,58 artış elde edilmiştir.

Sonuçlar, sistemin tasarlanırken verimsiz tasarlandığını göstermiştir. Sistemin işletme kurulurken verimsiz tasarlanması makineleri sağlayan firma tarafından pazarlama strateji olup olmadığı konusu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca işletmenin sistem tasarımı yapılması sırasında sürecin tasarımını eksik ya da gözden kaçırılmış olabileceğini kanıtlamıştır. Üretim hattındaki iyileşme sonuçlarının yüksek çıkmasının nedeni olarak gereksiz makine ve konveyörlerin sistemde darboğazlara neden olduğu ve sistemden çıkarıldığı zaman çıkan ürün sayısının da arttığı yorumu yapılabilir.

Montaj hattında iyileştirme elde etmek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Arena programı sonuçlarına göre çıktı sayılarında ve makine kullanım oranlarında mevcut modele göre artış elde edilmiştir. Aynı zamanda tezgah çıkarılması yapılan revize modellerde personellere de ihtiyaç kalmadığından personel giderlerinde de tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca önerilen revize modeller sayesinde yönetime yatırım yapma ve üretim hattı revizyonu kararlarına yardımcı olacaktır.

İlerleyen çalışmalarda işletme, maliyetlerine katlanıp yeniden sistem tasarımı yapması düzeline maliyet çalışması yapılabilir. Yeni sistem tasarımı için malzeme ve depolama maliyetine katlanması, çıkan iyileştirme sonuçları ile karşılaştırılıp sistemin değiştirilip değiştirilmeyeceği kararı verilebilir.

KAYNAKLAR

- Akın, N.G., 2004. Montaj Hattı Dengeleme ve Bir Tekstil Fabrikasında Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Aksoy, S., 2011. RO-RO Terminalleri İçin Simülasyon Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın, K., 2007. İstanbul Deniz Otobüsleri Seferlerinin Simülasyon Yardımıyla Planlanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayraktaroğlu, A.E., 2007. Basit U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme Analitik Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Biber, A.E., 2018. Sezgisel Yöntemler ile Bir Montaj Hattı Probleminin Çözülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cengiz, K., 2002. Kesikli Seri Üretim Akış Sistemlerinde Montaj Hattı Dengeleme ve Benzetim Yaklaşımı ile Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coşkuntürk, A.H., 2006. TV Montaj Hatlarında Simülasyon Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çörekçi, C., 2014. Atölye Tipi Üretimde Simülasyon Teknikleri ile Dinamik Çizelgeleme ve Atölye Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Delice, Y., 2014. Çift Taraflı U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Sezgisel Bir Çözüm Yaklaşımı. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Doğan, A., 2015. Savunma Sanayiinde Bulanık İşlem Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Eryürük, S.H., 2005. Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Foroughi, A., 2014. Maliyet Tabanlı Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Modelleme Ve Çözüm Yaklaşımları. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gerşil, M., 2004. İmalatta Simülasyon Kullanımı ve Arena Dili ile Bir Uygulama. Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Manisa.
- Güden, H., 2006. An Adaptive Simulated Annealing Method For Assembly Line Balancing and a Case Study. MS Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Gündoğar, E., 2017. Endüstriyel Üretim Planlama ve Kontrol. Ankara, 303, Türkiye.
- Hwang R. K., Katayama H. and Gen M., 2008. U-Shaped Assembly Line Balancing Problem With Genetic Algorithm. International Journal of Production Research, 46:16.

- Karaca, S., 2007. Simülasyon Modellemesi İle Mobilya Üretiminde Sistem Analizi ve Optimizasyonu.Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Karaca, T.K., 2015. Ayrık Olay Simülasyonu Yöntemi Kullanarak Üretim Süreci Değerlendirme ve İyileştirme Olay: Etisan.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılık, F., 2005. Benzetim Modeli ve Programlaması Kullanılarak Kapasite Planlaması ve Metal Sanayide Bir Uygulaması.Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılınç, K. 2018. Yüksek Üretim Esnekliği Olan Bir Fabrikada Atölye Tipi Üretimden Hücresel üretime Geçiş: Bir Simülasyon Modeli.Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Koçanalı, F., 2009. Montaj Hattı Dengelemeye Yönelik Bir simülasyon Modeli Önerisi.Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Korçak, E.B., 2010. Otomatik Malzeme Taşıma Sistemi Tasarımı için Hibrit Yaklaşım.Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kumar, N., Mahto, D., 2013. Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application.Global Journal Of Research In Engineering, Vol 13, No 2-G.
- Kurşun, S., 2007. Tekstil Endüstrisinde Benzerim Tekniği İle Üretim Hattı Modellemesi ve Uygun İş Akış Stratejisinin Belirlenmesi.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuvvetli, Y., 2010. Karma Modelli Montaj Hattı Dengeleme ve İşgücü Atama Problemi İçin Yeni Bir Yaklaşım.Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Longo, F. and Mirabelli, G., 2009. Effective design of an assembly line using modelling and simulation, Journal of Simulation, 3:1, 50-60.
- McMullen P. R. and Frazier G.V., 1998. Using Simulated Annealing To Solve A Multiobjective Assembly Line Balancing Problem With Parallel Workstations. International Journal of Production Research, 36:10, 2717-2741,
- Muzoğlu, B., 2014. Paralel Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Problemi ve Bir İşletmede Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özçetin, K.N., 2019. Bir Mobilya Firmasında Paketleme Öncesi Üretim Hattının Simülasyon İle Verimliliğini Arttırılması.Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Özçift, A., 2010. Otomotiv Endüstrisinde Simülasyon Çalışması.Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Özkıran, A. ve Düşünür, H., 2011. Otomotiv Sektöründeki Bir İşletmede Montaj Hattının Analizi ve Dengeleme Çalışması. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- Polat, O., 2008. Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalarla Çözülmesi.Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

- Saçlı, C., 2010. Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Yeni Modeller ve Panel Mobilya Üreten İşletmelerde Uygulamalar. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Sever, L., 2004. Esnek Üretim Sistemlerine Geçiş Süreci ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Snowdon, J. L., MacNair, E., Montevecchi, M., Callery, C.A., El-Taji, S., and Miller, S., 2000. IBM Journey Management Library: An Arena System For Airport Simulations. Journal of the Operational Research Society, 51:4, 449-456.
- Şahin, M., 2016. U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinde Üretim Oranının Arttırılmasına Yönelik Yeni Çözüm Yaklaşımları. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şimşek, G., 2016. Üretim Süreçlerinin Simülasyon Yöntemi ile Yeniden Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Takçı, E., 2013. Bir İmalat İşletmesinde Simülasyon Yardımıyla Süreç İyileştirme Uygulaması: Kayseri Gürkar Tekstil Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Nevşehir.
- Tanrıverdiyev, M., 2014. Tek Modelli Deterministik U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Değişken Komşu Arama Yöntemi ile Çözümü. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Treadwell, M.A. and Herrmann, J.W., 2005. Kanban Module For Simulating Pull Production In Arena. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, Orlando, FL, USA.
- Tülü, G., 2016. Çok Ürünlü Bir Üretim Tesisinde Üretim Planlama Faaliyetlerinin Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Türker, A.K., 2011. Simülasyon ve Arena. Kırıkkale, 254, Türkiye.
- Wallace, R.B. and Saltzman, R.M., 2005. Comparing Skill-Based Routing Call Center Simulations Using C Programming And Arena Models. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, Orlando, FL, USA.
- Yalçın, M., 2009. Acil Servis Simülasyonu: Karşıyaka Devlet Hastanesi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Yetim, E., 2016. Tedarik Sürecinde Monte Carlo Simülasyonu Kullanılarak Riskin Azaltılması. Yüksek Lisans Tezi, Yaşar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Yıldız, Y., 2015. Sıra Bağımlı Teslim Zamanlı Öğrenme Etkili Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Yılmaz, A., 2013. Hazır Giyim Sanayiinde Üretim Esnekliği Sağlamak Amacıyla Üretim Süreçlerinin Simülasyon Yöntemi ile Yeniden Düzenlenmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, M.M., 2006. Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Raziye KILIÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : 27.08.1991 ISPARTA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : raziyekilic@gmail.com

**ÖĞRENİM
DURUMU**

Derece	Alan	Okul/Üniversite	
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Atatürk Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	Antalya Lisesi (Anadolu)	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016-...	CW ENERJİ MÜHENDİSLİK	ÜRETİM PLANLAMA UZMANI