



T.C.

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Yüksek Lisans Programı

**MONTAJ HATTI SİSTEMLERİNİN YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE ÇÖZÜMLENEREK HAT
DENGELENMESİ VE UYGULAMA**

Yüksek Lisans Tezi

Atakan TAHSİN

KABUL VE ONAY

Atakan TAHSİN tarafından hazırlanan “Montaj Hattı Sistemlerinin Yapay Sinir Ağları ile Çözümlenerek Hat Dengelenmesi ve Uygulama” başlıklı bu çalışma, Savunma Sınavı tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Tezin Türü olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Kenan Özden (Danışman)

Üye: Yrd. Doç. Dr. Volkan Çakır

Üye: Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim Özdemir

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet Mete TAPAN

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve şekillerin kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Montaj Hattı Sistemlerinin Yapay Sinir Ağları ile Çözümlenerek Hat Dengelenmesi ve Uygulama” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

[Tarih ve İmza]

Atakan TAHSİN

ONAY

Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece İstanbul Arel yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin/Raporumun ...2...yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

[Tarih ve İmza]

Atakan TAHSİN

ÖZET

MONTAJ HATTI SİSTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ÇÖZÜMLENEREK HAT DENGELENMESİ VE UYGULAMA

Atakan Tahsin

Yüksek Lisans Tezi,

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi

Danışman: Prof. Dr. Kenan Özden

Haziran, 2017 – 143 sayfa

Montaj hattı sistemleri insanoğlunun giderek artan gereksinimlerini karşılamak için geliştirilmiş üretim sistemleridir. Üretim talebi yüksek ürünlerin, en kısa sürede, en verimli bir şekilde, ucuz ve istenen kalitede üretilmesini sağlamak için geliştirilmişlerdir.

Bu çalışmada birbirleriyle etkileşim halindeki montaj hattı sistemlerinde meydana gelen hataları azaltmak, kalitesizliği önlemek ve üretim süresini azaltmak hedeflenmiştir. Çalışma son yıllarda sıkça kullanılan yapay zekâ ürünü olan Yapay Sinir Ağları kullanılarak montaj hattında meydana gelen hatayı tahmin etme amaçlı kullanılmıştır. Hata oranı tahmin edildikten sonra hata oranının yüksek olduğu kabul edilen üretim aşamasındaki ürünlere iyileştirme çalışması yapılmıştır. Bu iyileştirme çalışması başka bir montaj hattı sisteminde dengesizlik yarattığı düşünüldüğü için bahsedilen hatta dengeleme çalışması yapılmıştır.

Çalışmada yer alan uygulamada Avrupa kökenli çok sayıda firmaya kot (denim) pantolon üreten bir tekstil işletmesinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Yapay sinir ağları uygulaması ile bulunan sonuçlar Matlab yardımıyla çok katmanlı algılayıcı, yapay sinir ağı modeliyle modellenmiştir. Modelleme işleminden hemen sonra aynı işletme için işlem sürelerinin değişken olduğu ve iş ögesi sürelerinin μ ortalamalı ve σ standart sapmalı bir normal dağılıma uydukları kabul edilen El-Sayed ve Boucher tarafından geliştirilen

Probabilistik Hat Dengeleme Tekniği kullanılarak hat dengelenme çalışması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Montaj Hattı Dengeleme, Yapay Sinir Ağları, ok Katmanlı Algılayıcı Model, Probabilistik Hat Dengeleme Yöntemi, Tekstil İşletmesinde Verimliliği ve Kaliteyi Arttırma.



ABSTRACT

ANALYSIS OF ASSEMBLY-LINE SYSTEMS WITH NEURAL NETWORKS AND LINE BALANCING

Atakan Tahsin

Master's Thesis,

Department of Industrial Engineering, Engineering Management

Supervisor: Prof. Dr. Kenan Özden

June, 2017- 143 page

Assembly line systems are the production systems developed to meet the increasing requirements of the human being. They have been developed to ensure that high demand products are produced in the shortest time, in the most efficient way, cheaply and in the desired quality.

In this study, it is aimed to reduce the mistakes that occur in the assembly line systems interacting with each other, to prevent poor quality and to reduce the production time. The study was used to estimate the error rate in the assembly line by using Artificial Neural Networks, which are artificial intelligence products frequently used in recent years. After the error rate has been estimated, improvement work has been carried out on the products at the production stage, which are considered to have a high error rate. Since this improvement work is considered to create an imbalance in another assembly line system, the mentioned line balancing work has been done.

In the study, the data obtained from a textile operation which produces jeans (denim) trousers for a number of European based companies was used. The results obtained by application of artificial neural networks are modeled by multi-layered sensor, artificial neural network model with the aid of Matlab. Immediately after the modeling, a line balancing study was carried out using the Probabilistic Line Balancing Technique developed by ElSayed and Boucher, where the processing times for the same operation are variable, and normalized

distributions with μ average and σ standard deviation of work item durations are considered.

Key words: Assembly Line Balancing, Artificial Neural Networks, Multilayer Perceptron Model, Probability Line Balancing Method, Textile Product Efficiency and Quality Improvement.



TEŞEKKÜR

Bilimsel anlamda, akademik kariyere attığım adımın ilk meyvelerinden birisi olmaya aday olarak nitelendirilebilecek ve öyle olmasını temenni ettiğim bu çalışmada, öncelikle beni her zaman büyük bir sabır ve gayretle dinleyen, yönlendiren, motive eden, ufkumu genişleten, sürekli yanımda olan çok değerli hocam Prof. Dr. Kenan Özden'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Başta Yrd. Doç. Dr. Volkan Çakır ve Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim Özdemir olmak üzere bölümdeki tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bugünlere gelmemi sağlayan, beni her konuda destekleyen, bana güvenen, her zaman yanımda olan annem Belgin Tahsin ve babam Ayhan Tahsin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımnda sürekli yanımda olan ve manevi desteğini sürekli hissettiren kardeşim Aylin Tahsin'e teşekkürü bir borç bilirim.

İstanbul-2017

Atakan Tahsin

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
KISALTMALAR LİSTESİ	xiv
TABLolar LİSTESİ	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Önemi	1
--------------------------------------	---

2. BÖLÜM

MONTAJ HATTI Dengeleme

2.1. Üretim Sistemleri ve Çeşitleri	5
2.1.1. Siparişe Göre Üretim	6
2.1.2. Parti Tipi Üretim.....	6
2.1.3. Seri (Akış Tipi) Üretim.....	7
2.1.3.1. Sürekli Üretim	7
2.1.3.2. Kesikli Seri (Akış Hattı) Üretim.....	7
2.2. Montaj Hattı.....	7
2.2.1. Montaj Hattı Çeşitleri	8
2.3. Montaj Hattı Dengeleme Problemleri.....	10
2.4. Montaj Hatlarının Dengelemesinde Kullanılan Temel Kavramlar.....	11
2.5. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması.....	15
2.6. Montaj Hattı Dengeleme için Literatür Araştırması.....	19
2.6.1. Tek Modelli Montaj Hatlarının Dengelenmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	19
2.6.2. Çok ve Karışık Modelli Montaj Hatlarının Dengelenmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar	26

3. BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI

3.1. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı	31
3.1.1. Biyolojik Sinir Ağları	32
3.1.2. Yapay Sinir Hücresi.....	33
3.2. Yapay Sinir Ağının Yapısı	38
3.3. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	39
3.3.1. Yapay Sinir Ağlarının Bağlantı Yapılarına Göre Sınıflandırması..	40
3.3.2. Yapay Sinir Ağlarının Öğrenme Şekillerine Göre Sınıflandırması	42
3.4. Yapay Sinir Ağı Tasarımı.....	44
3.4.1. Ağ Yapısı Seçimi.....	45
3.4.2. Katman Sayısının Belirlenmesi	47
3.4.3. Girdi ve Çıktı Nöron Sayısının Belirlenmesi	47
3.4.4. Gizli nöron sayısının Belirlenmesi	47
3.4.5. Fonksiyon Seçimi	48
3.4.6. Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi ve Testi.....	48
3.4.7. Veri Normalleştirme	49
3.4.8. Yapay Sinir Ağı Performansının Belirlenmesi.....	49
3.4.9. Durdurma Kriterinin Belirlenmesi.....	50
3.5. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi.....	50
3.6. Yapay Sinir Ağları için Literatür Araştırması	52

4. BÖLÜM

UYGULAMA YAPILAN FİRMANIN TANITILMASI VE ÖN HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

4.1. Firmanın Tanıtılması	56
4.2. Kot Pantolon Üretim Aşamaları	56
4.3. Firma İçerisinde Oluşan Problemlerin Tanıtılması ve Çözülmesi.....	60
4.4. Yapay Sinir Ağları ile Tahminleme Yapılması	62
4.4.1. Çok Katmanlı Algılayıcılar	63
4.4.1.1. Geri Yayılım Öğrenme Algoritması	63
4.4.1.2. Levenberg-Marquardt Algoritması.....	68
4.5. Montaj Hattı Dengeleme Yöntemi Seçimi	71
4.5.1. Probabilistik Hat Dengeleme Yöntemi.....	71

5.BÖLÜM

MONTAJ HATTI SİSTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ÇÖZÜMLENEREK HAT DENGELENMESİ VE UYGULAMA

5.1. Yapay Sinir Ağları ile Hata Oranı Tahmini.....	77
5.1.1. Verilerin Toplanması	77
5.1.2. Çalışmada Kullanılan Ağ Mimarisi	79
5.1.2.1. Ağ Mimarisinin Tasarlanması	79
5.1.2.2. Tahmin İşleminin Tasarlanması ve Uygulanması	83
5.2. Dikim Hattı Dengeleme.....	84
5.2.1. Klasik 5 Cepli Kot Pantolon Dikim Hattı.....	85
5.2.2. Birinci Kot Modeli için Probabilistik Hat Dengeleme	86
5.2.3. İkinci Kot Modeli için Probabilistik Hat Dengeleme	99

6. BÖLÜM

SONUÇLAR

6.1. Değerlendirmeler	106
6.2. Öneriler	113
KAYNAKÇA.....	115
EKLER	125
EK-1. Matlab Ortamında Oluşturulan Kodlar.....	125
EK-2. Uygulamanın Girdi ve Çıktı Değerleri.....	126
EK-3. Normal Dağılım Tablosu.	140
EK-4. Standart 5 Cepli Model için Yapılan İş Etüdü Çalışması Değerleri.....	141
ÖZGEÇMİŞ	143

KISALTMALAR LİSTESİ

ART	: Adaptif Rezonans Teorisi Modelleri
ÇKA	: Çok Katmanlı Algılayıcı
ÇMD	: Çok veya Karışık Modelli Deterministik
ÇMS	: Çok veya Karışık Modelli Stokastik
LM	: Levenberg-Marquardt
LVQ	: Vektör Kuantizasyon Modelleri
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata Değeri
MHD	: Montaj Hattı Dengeleme
PNN	: Olasılıklı Sinir Ağları
R	: Karekök Ortalama Hata Kareler Değeri
R²	: Ortalama Hata Kareler Değeri
RBF	: Radyal Tabanlı Fonksiyon Sinir Ağları
TKA	: Tek Katmanlı Algılayıcılar
TMD	: Tek Modelli Deterministik
TMS	: Tek Modelli Stokastik
YSA	: Yapay Sinir Ağları

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Sinir Sistemi ile Yapay Sinir Ağlarının Benzerlikleri.....	33
Tablo 3.2. Literatürde Kullanılan Diğer Toplama Fonksiyonları.....	36
Tablo 3.3. Bazı Aktivasyon Fonksiyonları.....	37
Tablo 3.4. Öğrenmelerine Göre Sınıflandırılmış Başarılı Ağ Türleri.....	45
Tablo 3.5. Yapılarına Göre Sınıflandırılmış Başarılı Ağ Türleri.....	46
Tablo 3.6. Kullanım Amacına Göre Başarılı Olan Ağ Türleri.....	46
Tablo 4.1. Üretimde Meydana Gelen Hatlar ve Hata Oranları.....	60
Tablo 4.2. Görev Süreleri ile İlgili Ortalama ve Standart Sapma Değerleri....	73
Tablo 4.3. Örneğe İlişkin P ve F Matrisleri.....	74
Tablo 4.4. Örneğin Çözümü.....	76
Tablo 5.1. Denye Numaralarına Göre İplik Değerleri.....	79
Tablo 5.2. En Uygun ÇKA Modelini Belirlemek İçin Yapılan Çalışmalar.....	81
Tablo 5.3. ÇKA Ağının Gerçek ve Tahmin Verileri.....	82
Tablo 5.4. Tahmin İşlemi Yapılacak Modellerin Verileri.....	84
Tablo 5.5. Birinci Kot Modeli için Probabilistik Hat Dengelemede Verileri..	88
Tablo 5.6. Birinci Model için Probabilistik Hat Dengeleme Sonuçları.....	97
Tablo 5.7. İkinci Kot Modeli için Probabilistik Hat Dengelemede Verileri..	101
Tablo 5.8. İkinci Model için Probabilistik Hat Dengeleme Sonuçları.....	103

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması.	5
Şekil 2.2. Öncelik Diyagramı.	13
Şekil 2.3. Öncelik Matrisi.....	13
Şekil 2.4. Ürün Sayısı ve Türüne Göre Montaj Hatları: Tek Modelli, Karışık Modelli ve Çok Modelli Montaj Hatları.....	15
Şekil 2.5. Yerleşime Göre Montaj Hattı Türleri: Düz ve U-Tipi Hatlar.	16
Şekil 2.6. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması.	17
Şekil 3.1. Biyolojik Sinir Hücresi.	32
Şekil 3.2. Bir Yapay Sinir Temel Hücresinin Yapısı.	33
Şekil 3.3. Yapay Sinir Ağının Genel Yapısı.	39
Şekil 3.4. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.	40
Şekil 3.5. İleri Beslemeli Bir Yapay Sinir Ağı Yapısı.	41
Şekil 3.6. Geri Beslemeli Bir Yapay Sinir Ağı Yapısı.	41
Şekil 3.7. Danışmanlı Öğrenme Yapısı.	42
Şekil 3.8. Danışmansız Öğrenme Yapısı.....	43
Şekil 3.9. Takviyeli Öğrenme Yapısı.	44
Şekil 4.1. Kot Pantolon Üretim Aşamaları.....	57
Şekil 4.2. Spreyleme İşlemi.....	59
Şekil 4.3. Örneğe İlişkin Öncelik Diyagramı.	73
Şekil.5.1. Eğitim Sırasında Elde Edilen R Değeri ve Çıkış-Hedef Grafiği.....	83
Şekil 5.2. Klasik 5 Cepli Modelin Dikimi için Gereken Parçalar.	85
Şekil 5.3. Birinci Kot Modeli için Öncelik Diyagramı	87
Şekil 5.4. Birinci Modele Atanan İstasyonların Diyagramda Gösterimi.....	98
Şekil 5.5. İkinci Kot Modeli için Öncelik Diyagramı	100
Şekil 5.6. İkinci Modele Atanan İstasyonların Diyagramda Gösterimi	104

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Önemi

Üretimin insanın varoluşuyla birlikte başladığını söylemek yanlış değildir. İlk çağlardan bu yana insanoğlu, yaşamak için üretmek zorunda kalmıştır. Ancak, bugünkü anlamında üretimin doğuşu, insanlık tarihi kadar eski değildir. On yedinci yüzyılın sonlarından başlayan endüstri devriminin, insanlığın eğitim ve sosyal alanda gösterdiği ilerlemeler ve yönetim yeteneğinin gelişmesinin, üretimin bugünkü durumuna ulaşmasında (endüstrileşmesinde) büyük katkıları olmuştur (Özden, 1989:2).

Endüstrileşme sürecinde, toplam işin öğelerine (parçalarına, modüllerine) ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı, kitlesel (seri) ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden malzemelerin geçirilmesi yoluyla yapılır. Malzemelerin, akış hattı boyunca işgücü veya donanımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturulan istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sistem, montaj hattıdır. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler, ürün durumuna getirilecek yarı ürün önlerinden geçerken, kendilerine ait iş öğeleriyle ilgili bir veya birkaç işlemi yaparlar. Bu işlem sonucunda, hatta giren parça ve yarı ürünler, gereken tüm işler yapılmış şekilde, hattın sonundan ürün olarak çıkarlar (Özkan, 2003).

Bir veya birkaç ürün için yapılacak montaj hattı üretimi tasarlandığında; üretim hattındaki iş istasyonlarına ilişkin işlem sürelerinin dengelenmesi sorunu ortaya çıkar. Bundaki amaç; kurulan montaj hattının, verimli olarak çalışabilmesi için; üretim süresi içinde her bir montajcıya, çok az boş süre bırakılacak veya hiç boş süre bırakılmayacak şekilde işlemlerin istasyonlara

dağıtılması, yâni var olan kısıtlar altında işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olmasından dolayı iş istasyonları arasındaki işlem süresi farkları toplamının en küçüklenmesidir. Sorunun bu noktasında, sürekli üretim yapan sistemlerin yerleşim düzeninin kurulmasında, hat dengeleme problemi ortaya çıkar. Ürün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp süreleri en aza indirecek şekilde atanması olayına, bir başka tanımla iş öğelerinin iş duraklarına özgülenmesine, Montaj Hattı Dengeleme (MHD) ya da kısaca hat dengeleme olarak tabir edilir (Özkan, 2003).

İnsanlığın doğayı araştırma ve taklit etme çabalarının en son ürünlerinden bir tanesi Yapay Sinir Ağları (YSA) teknolojisidir. YSA, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini simüle etmek için tasarlanan programlardır. Simüle edilen sinir hücreleri (nöronlar) içerirler ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifadeyle, YSA, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir (Kubat, 2015:668).

Dördüncü sanayi devrimi yani Endüstri 4.0 olarak tabir edilen geleceğin akıllı üretim teknolojisinin, şu an ki üretimin yapısını tamamıyla değiştireceği düşünülmektedir. Geleceğin dünyasında küresel rekabette önde olmak isteyen işletmeler, üretim ve dağıtım süreçlerinde çalışacak akıllı robotlar; Ar-Ge, satış, pazarlama ve yönetim süreçlerinde yapay zekâ sistemlerini kullanacaklardır. Artan bir şekilde daha fazla kişi tarafından tartışılan ve Dördüncü Endüstri Devrimi olarak nitelenen bu kurgu dünya ile rekabette Türkiye için hayati önemdedir. Türkiye açısından Endüstri 4.0 yaklaşımı, üretim ekonomisinde rekabet gücü, sürdürülebilirlik, katma değeri yüksek ürün ve hizmet üretmek anlamına gelmektedir. Türkiye'deki üretim sektörlerinin verimlilik artışının yüzde 4 -7 arasında olacağı tahmin edilmektedir (<http://www.fortuneturkey.com>, b.t.).

Bu çalışmanın amacı dördüncü sanayi devriminin etkisiyle gelecekteki ve günümüzdeki üretimde, meydana gelecek değişimlerin odak noktası olan yapay zekâ kullanılarak üretim planlamanın ve üretimin yönlendirilmesidir. Çalışmada, bir yapay zekâ ürünü olan YSA'nın kullanılmasının nedeni ise, veriler arasındaki ilişkilerin bilinmediği karışık durumlarda gerçeğe yakın en iyi değerler vermesidir. Üretimle ilişkilendirme kısmında ise dengesi bozulan montaj hattının yeniden dengelenmesi hedef alınmıştır.

Tezin, uygulama çalışmasında kot (denim) pantolon üreten bir tekstil işletmesinde, YSA ile tahminleme çalışması yapılacaktır. Tahminleme çalışmasından yararlanarak, iyileştirme çalışması yapılıp yapılmamasına karar verilecektir. İyileştirme çalışması, montaj hattının dengesini bozduğundan MHD çalışması yapılacaktır.

YSA uygulamasıyla, son işlemlerin yapıldığı montaj hattındaki robot otomatlarda meydana gelen hatayı önceden görüp önlem almak amacıyla hata oranı tahminlemesi hedeflenmiştir. Tahminleme işlemi yapılırken YSA modeli olarak Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) modeli tercih edilmiştir. YSA işleminden sonra, hatanın azaltılması için ağ, yan ve pens kısımlarına daha kaliteli ve dayanıklı ipliklerle ek dikim işlemi yapılmasına karar verilmiştir. Bu da dikim hattını etkilediğinden Probabilistik Hat Dengeleme yöntemiyle, hat dengeleme çalışması yapılmıştır. Uygulama işlemi sonucunda karlılığı arttırmak, verimsizliği azaltmak, kalitesizliğin önüne geçmek ve daha kısa zamanda daha fazla ürün üretmek hedeflenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde üretim ve üretim sistemleri ile giriş yapılarak, MHD hakkında temel bilgiler verilmiştir. MHD yöntemleri için Literatür çalışması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, YSA ve sınıflandırılması hakkında bilgi verilmiştir. Ağ yapısı seçimi anlatılmış ve bu konu ile ilgili Literatür çalışması yapılmıştır.

Dördüncü bölüm, Uygulama için ön hazırlık bölümüdür. Uygulama yapılan firma, firmada ortaya çıkan problem ve problemi çözüme ulaştırmak amacıyla Literatür çalışmalarıyla seçilen ÇKA ve Probabilistik Hat Dengeleme hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölüm, uygulamanın yapıldığı ve sonuçlandığı bölümdür.

Altıncı ve son bölümde ise tez üzerine sonuçlar, değerlendirmeler ve karşılaştırmalar yer almaktadır.



2. BÖLÜM

MONTAJ HATTI DENGELEME

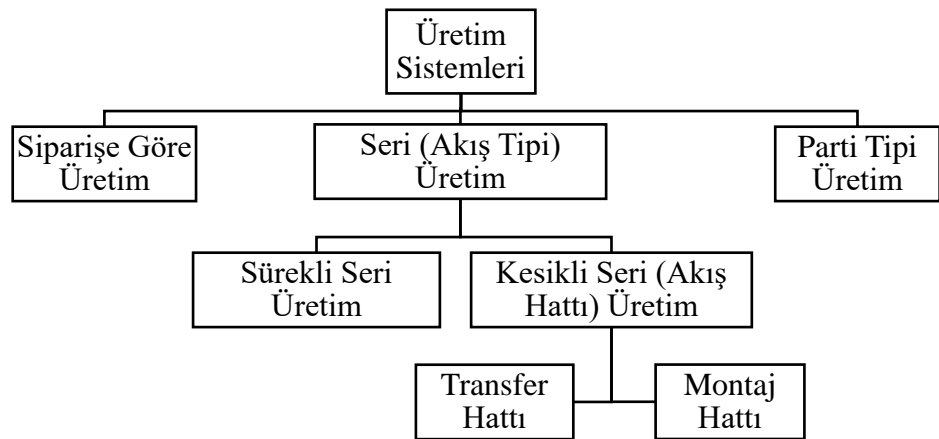
2.1. Üretim Sistemleri ve Çeşitleri

Üretim, insan gereksinimlerinin doğa tarafından tam olarak karşılanamaması sonucu ortaya çıkan beşerî bir faaliyettir. Üretimin temel amacı bir mamul ve/veya hizmet yaratmaktır.

Tanım olarak üretim, ekonomistler ve mühendisler tarafından ayrı biçimde ortaya atılır. Ekonomistler üretimi, “yarar yaratmak” şeklinde tanımlarlar. Mühendisler ise, fiziksel bir varlık üzerinde, onun değerini arttıracak bir değişiklik yapmayı veya hammadde ya da yarı ürünleri, kullanılabilir bir ürüne dönüştürmeyi üretim sayarlar (Kobu, 2014: 3).

Üretim sistemleri ise hammadde ve/veya yarı mamullerin bir dönüşüm süreci ile ürün haline getirildiği sistem olarak tanımlanabilir (Gökçen,1994).

Üretim sistemlerini genel olarak üç başlık altında toplamak mümkündür. Şekil 2.1' de üretim sistemlerinin sınıflandırılması gösterilmektedir (Gökçen,1994).



Kaynak: Doğan, 2004

Şekil 2.1. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması.

2.1.1. SipariŖe Göre retim

SipariŖe göre üretim, ürün eŖitlilięinin pazar koŖullarından daha çok mŖterinin isteğine bağlı olarak deęiŖtięi; çok fazla sayıda ürün eŖidinin bulunduğu, mŖteri odaklı yapılan üretimden ve mŖteri isteklerinin sık sık deęiŖmesinden dolayı esnek iŖgc, tezgâh ve materyal kullanımını zorunlu kılan; üretim tahminlerinin mŖteri taleplerine dayanılarak yapıldığı, uzun dönemli üretim planlarının yapılamadığı; fiyatın ve teslim süresinin mŖteri ile birlikte belirlendiği üretim tipidir. SipariŖe dayalı üretimde ilk olarak mŖteriden talep gelir ve sonra talebin özellikleri belirlenerek üretim planlama yapılır. SipariŖe dayalı üretimde bütün hammaddeler, yarı mamuller ve bileŖen ürünleri mŖterinin sipariŖine göre temin edilmek zorundadır. MŖteri sipariŖleri, kurum içinde yapılacak olan üretimde bileŖen parçaları ve hammaddelerin tedarik edilmesi aŖamasında tedarik zinciri hareketlerini baŖlatır ve gerekli girdiler temin edilir. Artan rekabet koŖulları, firmaları, mŖteri isteklerini eksiksiz yerine getirmeye zorlamaktadır. MŖterinin talep ettiği hizmet veya ürünü, istenen kalite düzeyinde, dŖk maliyetle ve talep edilen zamanda teslim etmek olarak özetlenebilecek bu istekleri eksiksiz karŖılamak firma açısından yerine getirilmesi g bir koŖuldur (GmŖoęlu ve diğerleri, 2014).

2.1.2. Parti Tipi retim

Parti tipi üretim, özel bir sipariŖi veya sürekli bir talebi karŖılamak amacıyla belli bir mamul grubunun belirli miktarlardan oluŖan partiler halinde üretilmesidir. Bu tip üretimde oldukça eŖitli ürünlerin, deęiŖik miktarlarda ve genellikle orta büyüklükte ki iŖletmelerin partiler halinde üretildiği söylenbilir. Bu sistemlerin en büyük özelliği bir parti bitmeden diğerinin üretimine geilmemesidir. Talep süreklidir ve sipariŖ tipi üretimde olduğu kadar deęiŖken değildir (Bali, 2009).

2.1.3. Seri (Akış Tipi) Üretim

Seri Üretim, Aynı tip bir ürünün sürekli olarak yüksek miktarlarda üretildiği üretim sistemidir. Sürekli Üretim ve Kesikli Seri (Akış Hattı) üretim olarak iki çeşidi vardır.

2.1.3.1. Sürekli Üretim

Sürekli Üretim, büyük miktarda benzer özelliklere sahip ürünlerin, sabit iş ve malzeme akışı adımları ile seri halde üretilmesidir. Üretim alanının yalnız bir ürünün üretimine tahsis edildiği üretim şeklidir. Bir mamulden çok büyük miktarlarda ve uzun süre imal edilir.

2.1.3.2. Kesikli Seri (Akış Hattı) Üretim

Kesikli Seri Üretim, benzer ya da farklı cinsten ürünlerin belli bir siparişi ya da sürekli talebi karşılamak üzere partiler halinde üretilmesidir. Transfer ve Montaj Hattı olmak üzere iki çeşittir.

Transfer hatları, transfer makinaları olarak da bilinirler. Büyük ve karmaşık makinalardan oluşan üretim sistemleridir. Transfer donanımı ile birbirine bağlanmış otomatik imalat makine serilerinin oluşturduğu üretim hatları, transfer hatları olarak adlandırılır (Erkut ve Baksak, 1997: 351).

Montaj Hatlarının, en belirgin özelliği, malzemelerin bir hat boyunca işgücünden yararlanılarak transfer edilmeleri ve parça üzerindeki işlemlerin de yine bir hat boyunca sıralanmasıdır (Erkut ve Baksak, 1997: 351).

2.2. Montaj Hattı

Montaj hatları günümüz endüstrisinde önemli bir yeri olan kitle üretim yöntemlerinden birisidir. Bir üretim sisteminde üretilmesi amaçlanan ürün ve/veya yarı ürünlerin belirlenen bir üretim hattında bir araya getirilerek birleştirilmesi ve son aşamada amaçlanan ürün ve/veya yarı ürünlerin elde edilmesine montaj, bu üretim hattına da montaj hattı denir (Bali, 2009).

Çeşitli tipte montaj hatları vardır ve bu hat tipleri arasındaki bazı farklılıklar şöyle sıralanabilir (Chase ve diğerleri, 2001:181):

- Malzeme taşıma aygıtları (kayış veya rulo konveyör, baş-üstü vinç)
- Hat konfigürasyonu (u-şekilli, düz, kollara ayrılan)
- Yürüyüş (mekanik, insan),
- Ürün karışımı (tek ürün veya çok ürün)
- İstasyon karakteristiği (işçiler oturabilir, ayakta durabilir, hat ile yürüyebilir veya hattı yürütebilir)
- Hattın uzunluğu (birkaç işçi veya birçok işçi)

2.2.1. Montaj Hattı Çeşitleri

Montaj Hattı Çeşitleri çeşitli özelliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar (Alağaç, 2012):

Yapısına göre montaj hatları:

1. **Manüel montaj hatları:** İstasyonlar arası taşımalar manüel olarak yapılmaktadır.
2. **Otomatik montaj hatları:** İstasyonlar arası taşımalar konveyör gibi taşıyıcılar ile yapılmaktadır.

Üretilen model çeşitlerine göre montaj hatları:

1. **Tek modelli montaj hatları:** Bu tip montaj hatlarında tek çeşit ürün üretilmektedir.
2. **Çok modelli montaj hatları:** Birden fazla tip ürün üretilen hatlardır.
3. **Karışık modelli montaj hatları:** Birden fazla tip ürünlerin karışık olarak üretildiği hatlardır.

Fiziksel yerleşimlerine göre montaj hatları:

Düz, dairesel, u-tipi, zikzak, değişik açılı gibi yerleşim tiplerine ayrılmaktadır.

Gecikmeli ve gecikmesiz montaj hatları:

1. **Gecikmeli Montaj Hattı:** Bu tip hatlarda, bir istasyonda işi biten parça eğer bir sonraki istasyonda işlenen parça var ise ara stoklarda beklemeye başlar. Bir diğer özelliği ise işi biten istasyon bekleyen parça yok ise ve diğer istasyonda parçanın işi bitmemiş ise boş beklemektedir. Bu durumlardan dolayı istasyonlar boş bekleyebilmekte veya dar boğazlar oluşabilmektedir.
2. **Gecikmesiz Montaj Hattı:** Bu hat tipinde ise istasyonların belirlenen çevrim süresini aşmasına izin verilmemektedir. Çevrim süresi dolduğunda parçalar diğer istasyona geçmektedir. Tamamlanamayan görevler ise hat dışında bir istasyonda tamamlanmaktadır. İstasyonlar arasında parçaların taşınması sabit hızla hareket eden bir konveyör ile veya kesikli olarak hareket eden bir taşıma sistemi ile yapılmaktadır.

İşlem sürelerine göre montaj hatları:

1. **Deterministik işlem süreli montaj hatları:** İşlem sürelerinin sabit olduğu, işlem sürelerinde değişkenliğin olmadığı montaj hatlarıdır.
2. **Stokastik işlem süreli montaj hatları:** İşlem sürelerinin belirli bir olasılık dağılımına göre değişkenlik gösterdiği montaj hatlarıdır.

Çift ve tek taraflı montaj hatları:

Montaj hattında istasyonlar hattın bir tarafına kurulmuş ise tek taraflı, hattın iki tarafına kurulmuş ise çift taraflı montaj hattı olarak adlandırılır (Alağaç, 2012).

2.3. Montaj Hattı Dengeleme Problemleri

MHD problemi, klasik bir Endüstri Mühendisliği problemidir. Problemin temel yapısı, üretim sistemlerinin tasarımı ile ilgilidir (Nahmias, 2005:439).

MHD'deki en önemli unsur, hat üzerinde aynı işlem zamanına sahip iş istasyonu sayısını ya da çevrim süresini en küçüklemektir. Hat dengelemenin temel amacı istasyonlardaki zaman fazlalıklarını azaltmak için hattaki mevcut toplam iş yükünü her bir istasyona eşit dağıtmaktır. Bu amaçla iş elemanları, birbirleri ile öncelik ilişkilerine ve istasyon boş sürelerine göre iş istasyonlarına atanır. Bu problem literatürde MHD problemi olarak adlandırılır (Kılınçcı, 2004).

Üretim sürecinde, üretilecek olan ürünün birden fazla iş ögesine ayrılmasıyla ve bu iş ögelerine ait işlemlerin ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı ve ucuz üretim yapılabileceği anlaşılmıştır. Bunun sonucu olarak iş ögelerine ait işlemler, üzerinde birden fazla iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinde yapılmaya başlanmıştır. Bu hat üzerinde işlem görecektir olan parçaların her biri, aralarında öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmekte ve bunun sonucunda iş istasyonları oluşmaktadır (Kalender, 2008).

Bir hat dengeleme işlemi sonunda ulaşılmak istenen amaçlar aşağıdaki gibidir (Tanyaş ve Baksak, 2003:33):

- Düzenli bir malzeme akışını sağlamak.
- İnsan gücü kullanımını en üst düzeye ulaştırmak.
- Makine sığalarını en üst düzeyde kullanmak.
- İşlemler için en az süreyi kullanmak.
- İşlemler için en az miktarda malzeme kullanmak.
- Boş zamanları veya dengeleme kayıplarını en küçüklemek.
- İş istasyonu sayısını en küçüklemek.
- Denge kayıplarını, iş istasyonları arasında düzgün şekilde dağıtmak.
- Var olan tüm kısıtları, sınırları zorlamadan sağlamak.

Hat dengelemenin amaçları birbirleriyle çelişebileceği, hepsini birden en üst düzeye ulaştırmak olası olmayabilir. Dengelemede ana amaç, bu çelişkilerin göz önüne alınarak en uygun çözüme ulaşılmasıdır. Bu yapılırken maliyetinin de en küçük olması sağlanmalıdır. Dengeleme işleminde hesaba katılan etmenler içinde, maliyeti etkileyen en önemli değişken, işgücüdür (Tanyaş ve Baksak, 2003:33).

2.4. Montaj Hatlarının Dengelemesinde Kullanılan Temel Kavramlar

MHD problemlerini daha iyi anlayabilmek için bazı kavramların açıklanmasında fayda bulunmaktadır. Aşağıda bu kavramlar kısaca açıklanmaktadır.

Montaj: Tamamlanmış bir ürün oluşturmak amacıyla değişik parçaların bir araya getirilip birleştirilme işlemidir. Ürünü oluşturan parçalar, parçaların montaj sıraları ve parçaları birleştirmek için gerekli süreler öncelik diyagramları ile gösterilir (Özgörmüş, 2007).

Denge: Hattaki ardışık işlemlerin çıktılarının nitelikçe birbirlerine eşit olmasıdır (Özden, 2016:293).

İş Ögesi/ Operasyon/ İşlem/ Görev: Bir montaj işlemi sürecinde bölünemeyen en küçük parçasıdır.

İş İstasyonu: Üretim hattı üzerinde verilen bir işin, işçi/ işçiler tarafından yapıldığı alandır. Her istasyonda bir işçinin, bir işlem için gerekli araçlarla çalıştığı varsayılır. Genellikle iş istasyonu (work station), bir işçi tarafından doldurulan yer olarak düşünülür. Bir üretim hattının en az istasyon sayısının, MHD çalışması sırasında saptanan gerekli istasyon sayısı kadar istasyona sahip olması gerektiği gibi kısıtlar vardır (Wee ve Magazine, 1982).

Toplam iş süresi: Montaj hattında üretilecek bir ürünü oluşturan tüm iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır. Toplam iş süresi t_{top} olarak belirtilir.

N: Montaj hattındaki iş öğesi sayısı

t_i : i no.'lu iş öğesinin standart işlem süresi (bir iş ölçümü yöntemiyle belirlenmiş süre) olmak üzere şu şekilde hesaplanır:

$$t_{top} = \sum_{1}^N t_i \quad 2.1$$

İş istasyonu süresi: Bir iş istasyonunda yapılacak iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır (Eryürük,2005).

İstasyon Boş Süresi: Her bir iş istasyonunda geçen süre ile çevrim süresi ile arasındaki farkıdır.

Çevrim süresi: Çevrim süresi, bir iş istasyonundaki işçinin o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için gerekli olan süre olarak tanımlanabilir. Çevrim süresi; bir adet ürünün, üretimi sırasında süreçteki tüm iş istasyonları içinde en büyük işlem süresine sahip iş istasyonunun işlem süresidir.

Çevrim süresi (C) şu şekilde yazılabilir:

$$C = T / \text{ÜS} \quad 2.2$$

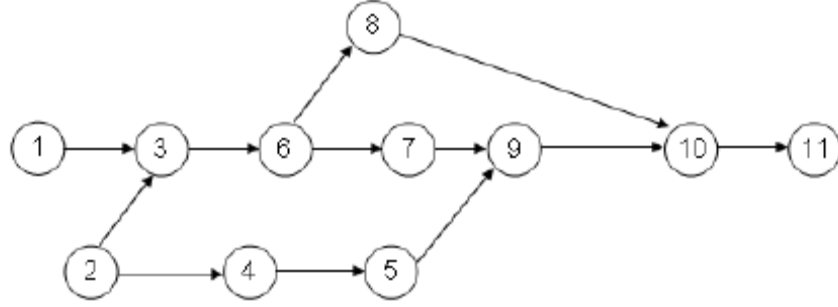
T: Kullanılabilir üretim süresi

ÜS: Üretilmek istenen ürün sayısı

Ortalama iş istasyonu süresi: C^* ortalama iş istasyonu süresi ve n dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısı olmak üzere aşağıdaki eşitlik yazılabilir (Eryürük,2005):

$$C^* = \sum_{1}^N \frac{t_i}{n} \quad 2.3$$

Öncelik ilişkileri: Ürünün üretiminde gerçekleştirilmesi gereken görevlerin teknolojik, iş akışı gibi nedenlerle birbirlerinden önce veya sonra tamamlanması gerekliliğidir. Öncelik ilişkileri diyagram veya matris yoluyla ifade edilebilirler (Küçükkoç, 2011). Aşağıdaki 2.2’de bir modelin önceliğinin diyagram halinde gösterimi verilmiştir.



Kaynak: Yılmaz, 2010

Şekil 2.2. Öncelik Diyagramı.

Öncelik matrisi ise öncelik diyagramındaki ilişkilerin matris vasıtasıyla açıklandığı bir üst üçgen matristir. Öncelik diyagramında, i görevini j görevi takip ediyorsa, i. satır j. sütun 1, aksi halde 0 yazılarak oluşturulur. Şekil 2.2’de gösterilen öncelik diyagramı için oluşturulan öncelik matrisi Şekil 2.3’te verilmiştir (Yılmaz, 2010).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
2		-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3			-	0	0	1	1	1	1	1	1
4				-	1	0	0	0	1	1	1
5					-	0	0	0	1	1	1
6						-	1	1	1	1	1
7							-	0	1	1	1
8								-	0	1	1
9									-	1	1
10										-	1
11											-

Kaynak: Yılmaz, 2010

Şekil 2.3. Öncelik Matrisi.

Esneklik oranı: Esneklik oranı, bir montaj sürecinde elde edilebilen uygun sıraların sayısının bir ölçüsüdür.

E: Esneklik oranı

Y: Öncelik matrisinde sıfır (0) değerine sahip göz sayısı olmak üzere şu ifade yazılabilir:

$$E = (2 \times Y) / [N \times (N-1)] \quad 2.4$$

Denge kaybı: Her istasyonda, birim üretim için ayrılan toplam etkin ve geçen süre arasındaki farkın, ayrılan süreye oranıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D (\%) = \frac{[(n \times C) - \sum ES_i]}{n \times C} \times 100 \quad 2.5$$

ES_i: i. İstasyonunun etkin süresi

Düzensizlik indeksi: İşlerin istasyonlar arasında düzensiz, orantılı dağıtılıp dağıtılmadığını kontrol eder. Düzensizlik indeksinin küçük olması hat dengelemesinin iyi olduğu anlamına gelir. Düzensizlik indeksi şu şekilde hesaplanır (Eryürük, 2005):

Dİ: Düzensizlik indeksi

t_{enb}: İş istasyonu sürelerinin en büyüğü

t_i: i. iş istasyonu süresi olmak üzere hesaplamada şu formül kullanılır:

$$Dİ(\%) = \frac{(\sum (t_{enb} - t_i)^2)^{\frac{1}{2}}}{n * C} \times 100 \quad (i = 1, 2, 3 \dots n) \quad 2.6$$

Hat Etkinliği: İstasyonlardaki toplam etkin (geçen) sürenin, üretim süresine oranıdır. Hat etkinliği, ES_i, i. İstasyonunun etkin süresi olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$HE(\%) = \frac{\sum ES_i}{n * C} \times 100 \quad 2.7$$

Bu ölçek, montaj hatları için önemlidir. Üretim hattındaki toplam işgücünün ne kadarlık bir yüzdesinin kullanıldığını gösterir (Erkut ve Baksak, 1997: 360).

2.5. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

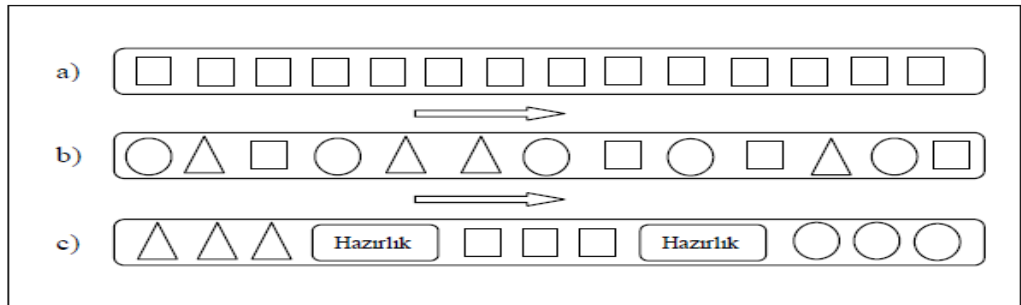
MHD problemlerinin tümünde, her iş ögesinin bir tek istasyona atandığı, öncelik kısıtlarının ve başka var olan kısıtların dikkate alındığı olurlu bir hat dengesine ulaşmak amaçtır (Becker ve Scholl, 2006).

MHD problemleri, ürün çeşitliliğine, hattın şekline, görev zamanlarının durumuna ve problemin performans ölçütüne göre farklı durumlarda sınıflandırılabilir. Aşağıda MHD problemlerinin bir sınıflandırması verilmiştir.

Ürün çeşitliliğine göre;

- **Tek Modelli MHD Problemi**, tek çeşit ürün üretilen montaj hatlarının dengelenmesi problemidir.
- **Çok / Karışık Modelli MHD Problemi**, farklı ürünlerin veya aynı ürünün farklı modellerinin üretildiği montaj hatlarının dengelenmesi problemidir (Tanrıverdiyev, 2014).

Aşağıda Şekil 2.4’de, ürün çeşitliliğine göre montaj hatlarının sınıflandırılması gösterilmiştir.



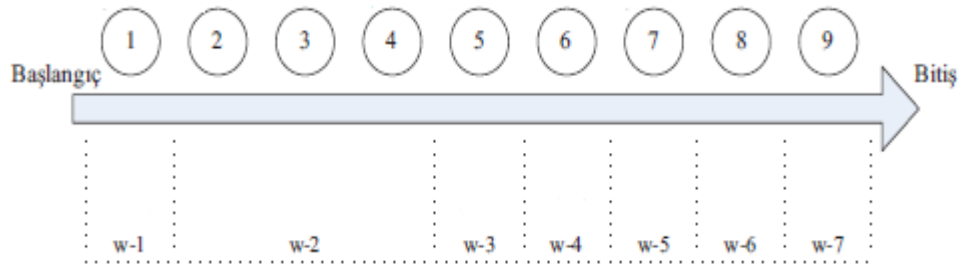
Kaynak: Becker ve Scholl, 2006

Şekil 2.4. Ürün Sayısı ve Türüne Göre Montaj Hatları: Tek Modelli, Karışık Modelli ve Çok Modelli Montaj Hatları.

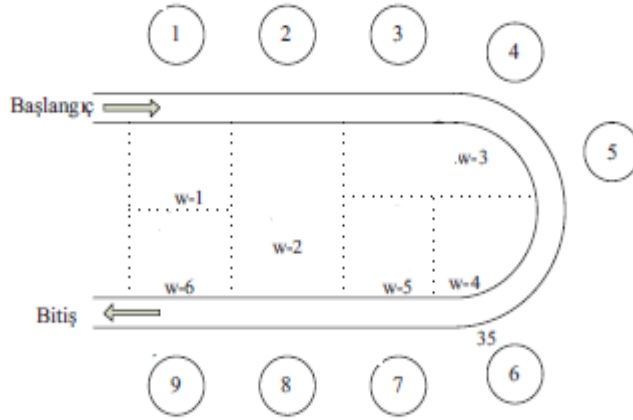
Yerleşim Yerlerine göre:

- **Düz MHD Problemi**, düz bir çizgi şeklinde yerleştirilmiş montaj hatlarının dengelenmesi problemidir.
- **U-Tipi MHD Problemi**, U şeklinde yerleştirilmiş montaj hatlarının dengelenmesi problemidir (Tanrıverdiyev, 2014).

Geleneksel düz ve U-Tipi montaj hattı yerleşimleri Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Kaynak: Küçükkoç, 2011

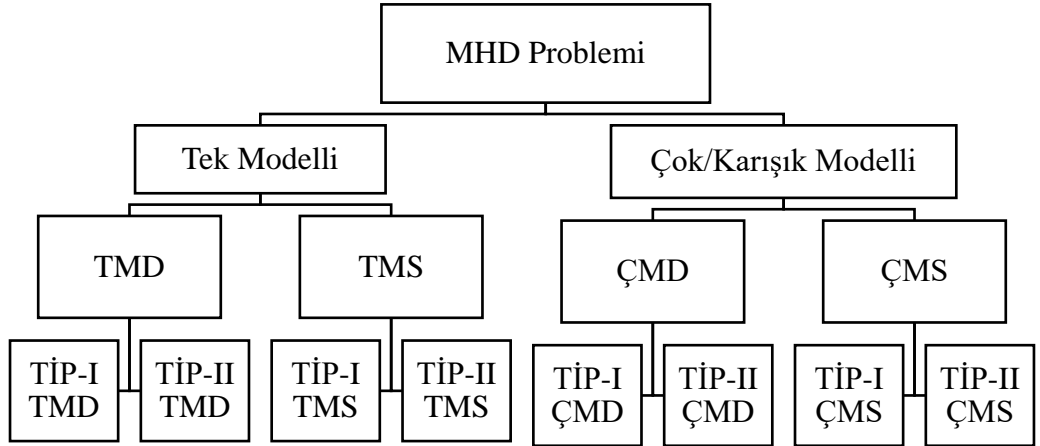
Şekil 2.5. Yerleşime Göre Montaj Hattı Türleri: Düz ve U-Tipi Hatlar.

Görev zamanlarının durumuna göre;

- **Deterministik MHD probleminde**, görev zamanlarının bilindiği ve bu zamanların sabit olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayım, montaj hattında makinelerin ve robotların kullanıldığı hatlarda geçerli olmakla birlikte insanların çalıştığı hatlarda çok geçerli olmamaktadır (Çakır, 2006).
- **Stokastik MHD probleminde**, ise görev sürelerinin kesin olarak bilinmediği varsayılmakta, ancak operasyon süreleri olasılık dağılımlarıyla tahmin edilebilmektedir (Özgörmüş, 2007). Operasyon sürelerindeki değişiklik nitelikli olmayan çalışanlardan, çalışanların motivasyon eksikliğinden, eğitim eksikliğinden veya makine aksamalarından gerçekleşmektedir (Rekiek ve Delchambre, 2006: 20).

Yukardaki temel sınıflandırmalar dışında kalan ve/veya onların birleşimi olan MHD problem gruplandırmaları aşağıda açıklanmıştır.

MHD problemlerinin genel olarak sınıflandırılması Şekil 2.6'da verilmiştir.



Kaynak: Doğan, 2004

Şekil 2.6. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması.

Tek modelli deterministik (TMD) hat dengeleme problemleri, ürünün üretilmesi için gerekli olan işlerin sürelerinin değişken olmadığı, her tekrarda aynı sürede gerçekleştirildiği durumları içerir. İşler, öncelik ilişkileri sağlanacak ve belirli bir performans ölçütü en iyilenecek şekilde iş istasyonlarına atanırlar. Bu tip problemlerde en sık kullanılan performans ölçütü istasyon sayısının en küçüklenmesidir. Bunun dışında toplam boş zamanın en küçüklenmesi, verilen istasyon sayısı için çevrim zamanının en küçüklenmesi ve denge gecikmesinin en küçüklenmesi gibi performans ölçütleri de bu tip problemlerde kullanılmaktadır (Gökçen,1994).

Tek Modelli Stokastik (TMS) hat dengeleme problemleri, tek tip ürün veya modelin üretildiği hatlarda işlerin gerçekleşme sürelerinin özellikle işgücü performansının değişkenliğinden kaynaklanan farklılaşmaların meydana geldiği durumları içerir. İşlerin gerçekleşme sürelerinin değişkenliğinin sebepleri arasında yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikli işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler ve araç/gereç bozulmaları sayılabilir (Erel ve Gökçen, 1999). Bu tip problemlerde amaç toplam işgücü ve toplam beklenen tamamlanmama maliyetinden oluşan toplam sistem maliyetinin en küçüklenmesidir (Gökçen,1994).

Çok veya Karışık Modelli Deterministik (ÇMD) hat dengeleme problemi, işlerin yapılış sürelerinin her tekrarda aynı olduğu durumları içerir. Fakat bu problemlerde tek modelli hatlarda yapılan çalışmaların yanı sıra model seçimi, model sıralaması, model parti büyüklükleri gibi kriterlerin de belirlenmesi gerekmektedir. Model sıralama probleminde tezgâh hazırlama maliyetlerini en çok azaltan sıralamanın seçilmesi için geliştirilmiş yöntemlerden yararlanılır (Ghosh ve Gagnon, 1989).

Çok veya Karışık Modelli Stokastik (ÇMS) hat dengeleme problemi, işlerin yapılış sürelerinin değişkenlik gösterdiği durumları içerir. Bu problemlerin çözümünde öğrenme etkisi, işçilerin yetenek düzeyleri, işlerin yapılış sürelerindeki değişkenlik gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak bu analizlerin farklı modeller için yapılacak olması problemin çözümünü zorlaştırmaktadır (Ghosh ve Gagnon, 1989).

Çok modelli hatlarda yapılan dengeleme işlemleri karışık modelli hatlarda yapılan işlemlerden daha kolaydır. Çünkü bu hatlarda yapılan üretimlerde benzer imalat gereksinimleri olduğundan hattın bir model için dengelenmesi (tasarlanması) ve elde edilen sonuçlardan yararlanılarak hat üzerinde gerekli düzenlemelerin yapılmasıyla diğer modeller için de uygun bir hale getirilmesi mümkündür. Çok modelli ve karışık modelli hatların dengelenmesi probleminin çözümünde yaşanan zorluklar nedeniyle bu tip problemler için en iyi çözümü veren kesin çözüm yöntemleri yerine sezgisel yöntemlerden yararlanılır (Tanrıverdiyev, 2014).

Performans ölçütüne göre;

TİP – I MHD Problemi, problemin amacı, belirli bir çevrim zamanı için hat boyunca açılan istasyon sayısını en küçükmektir.

TİP – II MHD Problemi, problemin amacı belirli bir istasyon sayısı için hattın çevrim zamanını en küçükmektir.

2.6. Montaj Hattı Dengeleme için Literatür Araştırması

MHD konusunda 1950'li yılından günümüze kadar problemin çözümü için çeşitli birçok çalışma ve araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar Tek ve Çok Modelli olarak sınıflandırılarak, ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

2.6.1. Tek Modelli Montaj Hatlarının Dengelenmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar

Tek modelli montaj hatlarının dengelenmesi konusunda çok fazla çalışma olduğundan, bu çalışmalar TMD ve TMS olarak incelenecektir.

TMD hat dengeleme konusunda yapılan araştırmalardan bazıları şunlardır:

MHD problemi ilk olarak 1954 yılında Bryton tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmada Bryton, iş istasyonu sayısının sabit, iş istasyonu sürelerinin tüm istasyonlar için eşit olduğunu ve iş öğelerinin bu istasyonlar arasında hareket ettiklerini kabul etmiştir (Bryton, 1954).

Montaj hattı dengelenme problemi konusunda yayınlanan ilk makale 1955 yılında Salveson tarafından yapılmış ve ilk kez matematiksel olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada problemin çözümü için, 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir (Salveson, 1955). Üretimde yaşanan farklılıkların ve ihtiyaçların etkisiyle, teknolojik gelişmelerle birlikte MHD konusunda farklı çözüm yollarını ve matematiksel modelleri içeren pek çok sayıda çalışma yapılmasına öncülük ettiği düşünülmektedir.

Bowman, 1960 yılında, MHD problemini, aynı görevlerin (operasyonların) bir kısmının bir istasyonda, diğer kısmının başka bir istasyonda yapılması sorununu, 0-1 tam sayılı programlama formunda formüle ederek çözmüştür. Çözüm Yönteminin çok ayrıntılı ve karışık hesaplamalarından dolayı, uygulama kısmı zayıf kalmıştır. Ancak akademik bilgi açısından önemli bir değere sahiptir (Bowman, 1960).

Kilbridge ve Wester, 1961 yılında geliştirdikleri basit yöntemde, ilk aşamada bir atama tablosu oluşturmuş, daha sonra öncelik ilişkileri ve çevrim süresini dikkate alarak, istasyonlara gerekli görev kaydırmalarını yapmışlardır (Kilbridge ve Wester, 1961).

Helgeson ve Birnie, 1961 yılında konum ağırlıklı dengeleme tekniğini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde, her bir görev için, kendi süresi ve bir görev bitirilmeden diğer görev başlanamayacak şekilde işlemlerin süreleri toplanarak "konum ağırlığı" denilen bir değer atanır. Görevleri, çevrim süresi ve öncelik diyagramı kısıtları da dikkate alınarak, en büyük konum ağırlığına sahip işlemde başlanarak iş istasyonlarına atanırlar. Özellikle stokastik süreli MHD problemlerinde de iyi sonuçlar alınabilmektedir (Helgeson ve Birnie, 1961).

Hoffman, 1963 yılındaki çalışmasında öncelik matrisini kullanarak, sıralamaya dayalı bir MHD yöntemi geliştirmiştir. Çalışmada, çevrim süresi aşılmadan, öncelik matrisi kullanılarak elde edilen bir kod numarası dizisi ile atamaların yapılması sağlanır (Hoffman, 1963).

Held ve diğeri, 1963 yılında iş sıralama problemine dinamik programlama yöntemiyle yaklaşmışlardır. Öncelik ilişkilerini kullanarak, MHD problemine dinamik programlama yaklaşımını uygulayarak formülize etmişlerdir (Held ve diğeri, 1963).

Dar-El, 1973 yılında TMD montaj hatları için, MALB-A adı verilen bir sezgisel yöntem geliştirmiştir (Dar-El, 1973).

Raouf ve diğeri, 1980 yılındaki çalışmalarında kritik yol adı verilen yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde amaç, belirli bir çevrim süresi için gerekli en az iş istasyonu sayısını elde etmektir (Raouf ve diğeri, 1980).

Agrawal, 1985 yılında "en büyük küme" kuralı olarak adlandırılan bir görev dağıtma yöntemi geliştirmiştir. Bu kurala göre her görev ilişkili olduğu görevlere göre dağıtılır (Agrawal, 1985).

Dectro, 1989 yılında çevrim süresi ve istasyon sayısını aynı anda dikkate alarak, tek amaca bağlı düz hatlı sistemler için bir maliyet modeli sunmuştur (Dectro, 1989).

Bard, 1989 yılında paralel iş istasyonlu bir MHD problemi için dinamik programlama algoritması kullanmıştır (Bard, 1989).

Klein ve Scholl, 1996 yılında yaptıkları çalışmada, TİP-II basit MHD problemi için sınır ve dal yöntemini açıklamışlardır. Açıklanan dal ve sınır kuralları ve türetilen yeni sayım tekniğinin kullanımıyla problemin çözümü yapılabilmektedir (Klein ve Scholl, 1996).

Uğurdağ ve diğeri, 1997 yılında TİP-II problemlerinin çözümü ve montaj hattı tasarımı için iki aşamalı bir çözüm prosedürü geliştirmişlerdir. Çalışmada çevrim süresini minimize edilmesi ve iş yükü dağılımının düzgünleştirilmesi amaçlanmıştır. Simpleks algoritmasına benzeyen yeni bir sezgisel yaklaşım önermişlerdir (Uğurdağ ve diğeri, 1997).

Rekiek ve diğerkleri, 1999 yılında TİP-II problemlerinde farklı iş istasyonları için işlem zamanlarının eşit olduğu kabulünü yapmışlardır. Öncelik ilişkilerine ek olarak, görevleri ayırmak ve gruplamak için bazı öncelik ilişkisi kısıtlarını algoritmaya dâhil ederek genetik algoritma tabanlı çözüm metodu geliştirmişlerdir (Rekiek ve diğerkleri, 1999).

Ağpak ve Gökçen, tarafından 2002 yılında yapılan çalışmada, basit U tipi MHD problemleri için bir bulanık tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Amaç çevrim zamanı, istasyon sayısı ve iş yükü gibi değışkenlerin belirsiz olduğu durumlarda, karar vericiye çözüm sunabilmektir. Bu çalışma, U tipi montaj hattı literatüründeki ilk bulanık tam sayılı programlama çalışmasıdır (Ağpak ve Gökçen, 2002).

Fleszar ve Hindi, 2003 yılında yaptıkları çalışmada, TİP-I MHD problemi için yeni bir sezgisel algoritma ve indirgeme yöntemi sunmuşlardır. Geliştirilen bu yeni metot Hoffman sezgiseli olarak bilinir ve en iyi seçimi yapabilmek için Hoffman 0-1 öncelik matrisini ve oluşturdukları indirgeme tekniklerini kullanmışlardır. Bu indirgeme teknikleri, önceliklerin değılendirilmesi, işlemlerin birleştirilmesi ve istasyondaki yararsız zamanları en küçüklemeyi hedefler (Fleszar ve Hindi, 2003).

Ağpak ve Gökçen, 2004 yılında yaptıkları çalışmada, geleneksel MHD problemine yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yaklaşımın temel amacı en az sayıda iş istasyonu oluşturarak hattı dengelenmeye çalışmaktır. Çözüme ulaşmak için 0-1 integral programlama modeli geliştirerek, GAMS-CPLEX matematiksel programlama modelini kullanmışlardır (Ağpak ve Gökçen, 2004).

Liu ve diğerkleri, 2005 yılında TİP-II problemi için stokastik görev zamanlı durumda bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Bunun için üç aşamalı bir yöntem uygulamışlar, birinci aşamada ileri veya geri yönlü olarak görevler iş istasyonlarına atanmış, ikinci aşamada görevler, istasyonlar arasında değıştirilerek düzgünlük sağlanmış ve son olarak da ikinci aşamadan elde edilen çevrim zamanı üst sınırı düşürülerek en düşük çevrim zamanı elde edilmiştir (Liu ve diğerkleri, 2005).

Pastor ve Ferrer, 2009 yılında çalışmalarında daha etkin yeni bir matematiksel model önermişlerdir. Bu modele göre görevlerin atanabileceği iş istasyonları, iş istasyonlarının üst sınırı veya çevrim sürelerinin üst sınırına göre belirlenmektedir. Yeni modelden elde edilen sonuçları literatürde bulunan diğer modellerle karşılaştırmışlardır (Pastor ve Ferrer, 2009).

Wei ve Chao, 2011 yılında çalışmalarında TİP-I ve TİP-II problemlerinin birleşiminden oluşan bir problem için hat etkinliğini artırmayı amaçlayan bir model önermişlerdir. Modelde çevrim zamanını minimize ederken istasyon boş zamanlarını azaltmayı hedeflemişlerdir. Önerilen modelde verilen çevrim süresi üst sınırına göre minimum değişken, kısıt ve hesaplama zamanına göre en iyi çözümü bulmaktadır (Wei ve Chao, 2011).

Nourmohammadia ve Zandieh, 2012 yılında önerdikleri metotta MODEA olarak adlandırdıkları bir çözüm yöntemini geliştirmişlerdir. MODEA yönteminde montaj hattının çevrim süresinin ve düzgünlük endeksinin birlikte minimize edilmesi amaçlamışlardır. Genetik algoritma kullandıkları çalışmalarında, alternatif atamalar arasında seçim yapmak için TOPSIS ve pareto analizine dayalı geliştirme şemasını kullanmışlardır. Aynı zamanda faktörler arasında önem derecesini belirlemek için Taguchi metodunu kullanmışlardır (Nourmohammadia ve Zandieh, 2012).

TMS hat dengeleme konusunda yapılan araştırmalardan bazıları şunlardır:

Modie ve Young, 1965 yılında görev tamamlanması için verilen belirli bir güven aralığı sağlanacak şekilde görev zamanlarının değişkenliğini göz önüne almışlardır. Bu çalışmada görev zamanlarının olasılık dağılımı için normal dağıldıkları varsayımı yapılmıştır (Modie ve Young, 1965).

Mansoor ve Ben-Tuvia, 1966 yılında normal dağılıma uyan görev süreleri ve istasyon sayısı belirli olan dengelenmiş hatların en iyi çevrim süresini belirlemeye çalışmışlardır (Mansoor ve Ben-Tuvia, 1966).

Moberly ve Wyman, 1973 yılında TMS MHD problemi için benzetim çalışması yapmışlardır (Moberly ve Wyman, 1973).

Kottas ve Lau, 1973 yılında çevrim süresi belirli olan montaj hattı için, işlerin tamamlanamaması durumunda toplam işgücü maliyetlerini en küçükleyen sezgisel yöntem geliştirmişlerdir (Kottas ve Lau, 1973).

Kao, 1979 yılında yaptığı çalışmasında, stokastik görev sürelerine sahip MHD probleminin çözümü için, öncelik sıralına ve dinamik programlama algoritmasına sahip programlama kodları geliştirmiştir. Çalışmasının amacı elliden az işlem içeren problemlerin bilgisayar yardımı ile kolay ve net çözüme ulaşmaktır (Kao, 1979).

Wee ve Magazine, 1982 yılında geliştirdikleri dal-sınır algoritması ile dört değişik arama metodunu TİP I ve II problemlerinin çözümü için kullanmışlardır (Wee ve Magazine, 1982).

Henig, çalışmasında çevrim zamanının, istasyon sayısının en küçüklenmesi ve istenilen güven seviyesinin en olması için dinamik programlama modelleri geliştirmiştir (Henig, 1986).

Wilson, 1986 yılında yaptığı çalışmasında, 0-1 tam sayılı programlamayı, istasyonlara görev atanması ve etkin üretim hattı oluşturabilmesi gibi sorunların tek bir çözümü üzerinde çalışmıştır (Wilson,1986).

Betts ve Mahmoud, 1989 yılında, dal-sınır algoritmasını, öncelik matrisi ile birlikte kullanarak MHD probleminin çözümü için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir (Betts ve Mahmoud, 1989).

Shin, istasyon zamanlarına bağlı bir maliyet fonksiyonu geliştirmiş ve toplam maliyeti en küçükleyen çevrim zamanını bulmayı amaçlayan bir sezgisel önermiştir. Sezgisel aynı zamanda her bir iş istasyonunun belirli çevrim zamanı ve değişkenliği için gerekli emniyet zamanlarını da araştırmaktadır (Shin, 1990).

Hong ve Seong, 1993 yılında yaptığı çalışmada, stokastik işlem süreli MHD problemleri için, güvensizlik analizi algoritması geliştirmişlerdir (Hong ve Seong, 1993).

Suresh ve Sahu, tavlama benzetimi kullanarak stokastik MHD problemi için hat durmasının en küçüklenmesini amaçlamışlardır. Böylece yüksek görev sayısına sahip hat problemlerine uygun çözümler üretmeye çalışmışlardır (Suresh ve Sahu, 1994).

Sarin ve diğerleri tarafından, 1999 yılında yaptıkları çalışmada; tek modelli, stokastik MHD probleminde, belirli olan çevrim süresi içerisinde tamamlanamayan işlerden kaynaklanan maliyetleri tahmin etmek ve toplam işçilik maliyetini azaltmak için bir metot geliştirilmiştir. Yöntem, dal-sınır yöntemi prosedürlerinin kullanılarak geliştirilmesi temeline dayanır (Sarin ve diğerleri, 1999).

Ağpak ve diğeri, 1999 yılında yaptıkları çalışmada, görev zamanlarının normal dağılımla ifade edildiği U tipi MHD problemi için COMSOAL sezgisel metodunu temel alarak yeni bir sezgisel yöntem önermişlerdir (Ağpak ve diğerleri, 1999).

Ağpak ve Gökçen, 2007 yılında yayınladıkları çalışmalarında düz ve u-tipi montaj hatlarının dengelenmesinde şans kısıtlı yaklaşımı önermişlerdir. Görev sürelerinin stokastikliğinden kaynaklanan sistem güvenilirliğini artırmak için amaç programlama yaklaşımını kullanmışlardır (Ağpak ve Gökçen, 2007).

Ayazi ve diğerlerinin, 2011 yılındaki çalışmalarında stokastik montaj hatları için çok amaçlı bir yaklaşım üzerine çalışmışlardır. Bu amaç; çevrim süresinin, istasyon sayısının ve iş yüklerinin sapmalarının minimize edilmesidir. Problemin matematiksel modelini oluşturmuşlar ve problemi çözmek için genetik algoritmayı kullanmışlardır (Ayazi ve diğerleri, 2011).

2.6.2. Çok ve Karışık Modelli Montaj Hatlarının Dengelenmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar

Karışık modelli montaj hatları ile ilgili ilk çalışma 1961 yılında Kilbridge ve Wester tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmada, modellerin sıralanması problemi ele alınmıştır. Litaritürde sonuca ulaştıkları çözüm yöntemleri Kilbridge ve Wester yöntemi olarak geçmektedir (Kilbridge ve Wester, 1961).

Arcus, 1966 yılında yaptığı çalışmasında, COMSOAL adı verilen bir teknik geliştirmiştir. Çalışmada, veri örnekleme için sayısal bilgisayar ve benzetim tekniği kullanılarak, iş istasyonlarına atanabilir durumdaki iş öğeleri için uygun sıralar üretilmesi sağlanmaktadır (Arcus, 1966).

Thomopoulos, 1967 yılında yaptığı çalışmada, Kilbridge ve Wester tarafından kullanılan yöntem geliştirilerek, iş öğeleri çevrim süresine göre değil, çalışma devresi göz önüne alınarak istasyonlara atanmasını sağlamıştır (Thomopoulos, 1967).

Dar-El ve Cother, 1975 yılında yaptıkları çalışmada, toplam hat uzunluğunun operatör boş süresi sıfır olacak şekilde en küçüklenmesi amacıyla, hat dengelenmesi ve modellerin sıralanması için algoritmalar geliştirmişlerdir (Dar-El ve Cother, 1975).

Dar-el ve Cucuy tarafından, 1977 yılında yapılan çalışmada, montaj hattı istasyonları her model için dengelendiğinde oluşan karışık modelli sıralama problemini çözmek için algoritma tanımlanmışlardır (Dar-el ve Cucuy, 1977).

El-Sayed ve Boucher, 1985 yılında yayınladıkları kitabında, iş öğesi sürelerinin ortalama ve standart sapma değeri belli herhangi bir dağılıma uyduğu MHD problemleri için bir yöntem geliştirmişlerdir (El-Sayed ve Boucher, 1985:43).

Celano ve diğerleri, 1991 yılında karışık modelli bir montaj hattının probleminin çözümü için, hat duruş zamanlarını minimize etmenin yanı sıra, bileşen kullanımını da kolaylaştıran çok amaçlı bir genetik algoritma ileri sürmüşlerdir (Celano ve diğerleri, 1991).

Carlson ve Yao, 1992 yılında yapmış oldukları çalışmada düşük hacimli ve ileri teknoloji içeren, her bir istasyon için çevrim süresi kısa olan üretim sistemleri için JIT yöntemi geliştirmişler ve uygulama yapmışlardır. Oluşturdukları bu yöntemde; boş zamanı azaltmak, üretimde çevrim zamanını düşürmek, kaliteyi ve market payını arttırmak amacındadırlar (Carlson ve Yao, 1992).

Berger ve diğerleri, 1992 yılında yaptıkları çalışmada dal-sınır yaklaşımı geliştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, çok ürünlü bir montaj hattında belirli bir çevrim süresi için en az iş istasyonu sayısını elde etmektir (Berger ve diğerleri, 1992).

Zhuqi ve Shusaku, 1994 yılında yaptıkları çalışmada, karışık modelli montaj hattında ürün sıralama problemi üzerinde durulmaktadır. Bu çalışmada, karışık modelli montaj hattında, montaj hattındaki her bir istasyondaki iş yükünü aynı seviyeye getiren ve önceki işlemlerindeki her bir parçada sabit bir oran elde etmeyi amaçlamışlardır. Çözüm için matematiksel bir yöntem sunulmuş ve sıralama metodu verilmiştir (Zhuqi ve Shusaku, 1994).

McMullen ve Frazierb, 1997 yılındaki çalışmalarında, iş istasyonları işlemleri paralel olan, stokastik zamanlı ve karışık modelli MHD probleminin çözümü için simülasyon yollu yaklaşım tanımlamışlardır (McMullen ve Frazierb, 1997).

Gökçen ve Erel 1997 yılında yaptıkları çalışmada, karışık modelli MHD problemi için, Binary Hedef Programlama modeli geliştirmişlerdir (Gökçen ve Erel 1997). 1998 yılında yaptıkları başka bir çalışmada ise karışık modelli montaj hattı dengelemesi için Binary tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir (Gökçen ve Erel 1998). Birleştirilmiş öncelik diyagramı, karar değişkenleri ve kısıtlamaların sayısındaki artışı sınırlayan bazı değişkenler kullanılarak, modelin büyüklüğü küçültülmeye çalışılmıştır. Erel ve Gökçen, tarafından 1999 yılında yapılan bir çalışmada, karışık modelli sistemi, tek modelli sisteme, birleştirilmiş öncelik diyagramı kullanarak dönüştüren bir algoritma üzerinde çalışmışlardır (Gökçen ve Erel, 1999).

Baksak, 1998 yılında yaptığı çalışmada, çok modelli MHD problemi ile ilgili literatürdeki çalışmaları geliştirerek yeni bir yöntem geliştirmiş ve uygulamasını yapmıştır. Yeni yöntemde her model, kendi teknolojik öncelik diyagramına göre dengelenmekte ve modeller arası geçiş için ayrılan hazırlık süresi içinde iş istasyonları arasında iş ögesi değişimine olanak tanınmaktadır (Baksak,1998).

Matanachai ve Yano 2001 yılında karışık modelli montaj hatlarının dengelenmesinde, işlemlerin istasyonlara atanmasında stabil iş yükünü gerçekleştiren günlük iş düzeninin yapılmasının ve istasyonlar arasında iş yükünün sağlanmasını sağlayan yeni bir hat dengeleme yaklaşımı geliştirmişlerdir (Matanachai ve Yano, 2001).

Bukchin ve diğerleri, 2002 yılında siparişe göre üretim yapan karışık modelli bir montaj hattının tasarım problemi üzerinde durmuşlardır. Seçilen modelle, geleneksel modeller arasındaki farklılıkları dikkate alan, matematiksel bir formül geliştirilmişlerdir. Önceden belirlenmiş çevrim süresine göre istasyon sayısının küçükleyen ve üç aşamalı sezgisel yöntem sunmuşlardır (Bukchin ve diğerleri, 2002).

Karabatı ve Sayın 2003 yılında yaptıkları çalışmada, periyodik sıra yaklaşımı altında işleyen, karışık modelli MHD problemi üzerinde durmuştur. Bu çalışmada özellikle, görevlerin istasyonlar arasında senkronize transferi olan bir ortamdaki montaj hattı problemi üzerinde çalışmışlardır. MHD problemine periyodik sıra bilgisi de dâhil edilerek, toplam çevrim süresinin en küçüklenmesi hedefi ile formülize edilmiştir (Karabatı ve Sayın, 2003).

Bock ve diğerleri tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada, çok modelli montaj hattının dengelenmesi problemi, geliştirilen gerçek-zaman oryantasyonlu kontrol yaklaşımı önerilerek incelenmiş ve matematiksel bir model geliştirilmiştir (Bock ve diğerleri, 2004).

Vilarinho ve Simaria, 2004 yılında yaptıkları çalışmada, matematiksel bir programlama modeli ve genetik-algoritma tabanlı programlama kullanılarak, daha önceden belirlenmiş sayıdaki operatörün, üretim oranını arttırmak amacıyla deterministik TİP-II karışık modellenmiş bir MHD problemini, paralel istasyonlardan yararlanılarak dengelemeye çalışmıştır (Simaria ve Vilarinho, 2004).

Eryürük ve diğerleri, tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, çok modellenmiş bir konfigürasyon işletmesinde iki farklı model için dikim bölümü montaj hattı dengelemesi yapılmıştır. Çalışmada Helgeson ve Birnie tarafından geliştirilen konum ağırlıklı hat dengeleme yöntemi ile El-Sayed ve Boucher tarafından geliştirilen probabilistik hat dengeleme tekniği kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın amacı kullanılan yöntemlerin MHD probleminin çözümünde verdikleri sonuçların karşılaştırılmasıdır. Sonuç olarak, konum ağırlıklı dengeleme yöntemi, uygulama kolaylığı ve hat etkinliği açısından probabilistik hat dengeleme yöntemine göre daha etkin sonuçlar vermiştir. Ancak probabilistik yöntemde iş öğeleri iş istasyonlarına daha hassas bir şekilde atanmakta ancak daha fazla istasyon açmak gerektiğinden, hat etkinliği konum ağırlıklı yöntemine göre daha düşük olmaktadır (Eryürük ve diğerleri, 2008).

Özcan ve diğerleri, 2010 yılında karma modellenmiş paralel MHD problemini ele almışlardır. Tavlama benzetimi temelli bir çözüm yaklaşımı sunulan çalışmada model sıralama problemi için en küçük parça kümesi yaklaşımı kullanılırken, hat dengesinin en büyüklenmesi ve iş yüklerinin düzgün dağıtılması amaçları gözletilmiştir (Özcan ve diğerleri, 2010).

Başak ve diğerlerinin, 2011 yılında, yaptıkları çalışmada daha önce Eryürük ve diğerleri (2008) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak, MHD problemi daha geniş kapsamlı incelenerek beş farklı model için MHD problemi üzerinde durulmuştur. Çözüm yöntemi olarak El-Sayed ve Boucher tarafından geliştirilen “Probabilistik Hat Dengeleme Yöntemi” kullanılmış ve en yüksek hat etkinliği konusunda elde edilen sonuçlar üzerinde çalışılarak kullanılan yöntemin etkinliği ve denge kaybına neden olan etmenler daha geniş kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Probabilistik hat dengeleme yönteminde, işlem sürelerinin deterministik olmadığı (değişken olduğu) ve iş öğesi sürelerinin μ

ortalamalı ve σ standart sapmalı bir normal dağılıma uydukları kabul edildiğinden, iş öğelerinin iş istasyonlarına hassas bir şekilde atanmasına olanak sağlamakta ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Hat dengelemesi sırasında en çok zaman kaybına neden olan etmenler incelendiğinde, iş öğesi standart süresinin büyük olmasından kaynaklanan tek bir istasyona tek bir işlem atanması, elle yapılan işlemlerin olması, işlem aralarında özel işlem gerektiren makine kullanılmasının gerekliliği ve öncelik ilişkileri gibi nedenlerden kaynaklandığı görülmektedir. (Başkak ve diğerleri, 2011).

Mosadegh ve diğerleri, 2012 yılında meta sezgisel yöntemler kullanarak karışık modelli montaj hattı dengelemesi ve bir sıralama problemine çözüm getirmiştir. Bu çalışmada tavlama benzetimi ve genetik algoritma kullanılmıştır (Mosadegh ve diğerleri, 2012).

Alağaç ve diğerleri, 2013 yılındaki çalışmalarında stokastik işlem süreli TİP-II MHD problemi için bir model önermişlerdir. Modelde görevlerin istasyonlara atanmasında kısıt programlama kullanmışlardır. Bulunan atama kombinasyonları için kapalı kuyruk ağı modelini kullanarak çıktı hızı değerlerini bulmuşlardır. En büyük çıktı değerine sahip olan atamayı optimum atama olarak belirlemişlerdir (Alağaç ve diğerleri, 2013).

Akpınar ve Baykasoğlu, 2014 yılında karışık modelli dengeleme problemleri içerisinde, iki görev arasındaki sıra bağımlı hat dengeleme problemine yer vererek; model değişim süresini ele alan çalışma yapmışlardır (Akpınar ve Baykasoğlu, 2014).

3. BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI

3.1. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı

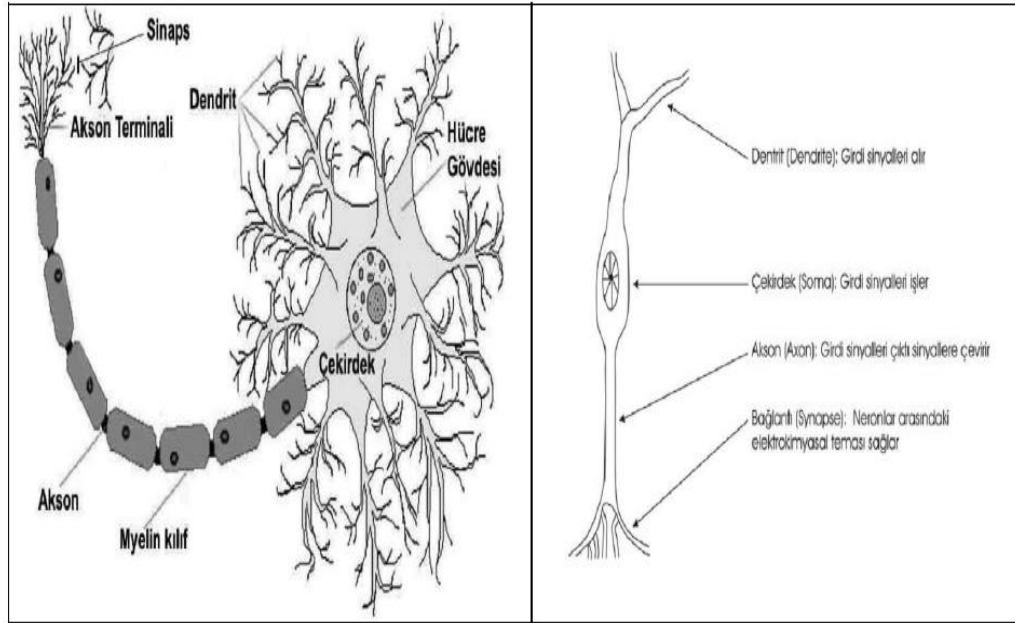
YSA, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zor ve/veya mümkün değildir. O nedenle, YSA'nın, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bilim dalı olduğu söylenebilir (Öztemel, 2012:29).

Başka bir tanımda ise YSA, insan beyninin çalışma mekanizmasını taklit ederek geliştirilen ve biyolojik olarak insan beyninin yaptığı temel işlemleri belirli bir yazılımla gerçekleştirmeyi amaçlayan mantıksal bir programlama tekniğidir. Bilgisayar ortamında beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritma (Özdemir, 2013) olarak tanımlanabilir.

YSA ile ilgili çalışmaların temel amaç olarak biyolojik sinir sistemlerinin anlaşılmasına ve matematiksel olarak modellenmesine yönelik çabaları içermesi, öncelikle YSA'nın tarihi gelişimine ve biyolojik sinir ağlarının fizyolojik yapılarının anlaşılmasını gerektirmektedir (Terence, 1999:10). Bu nedenle izleyen başlıklarda, YSA'nın biyolojik sinir sistemleri ile benzerliğini ifade etmek için biyolojik sinir ağlarının fizyolojik yapısı ve YSA'nın tarihi gelişimi ele alınmıştır.

3.1.1. Biyolojik Sinir Ağları

İnsan sinir sistemi çok kompleks bir ağıdır. Beyin bu sistemin merkezi elemanıdır ve birbirlerine alt ağlarla bağlı yaklaşık 10^{10} adet nöron (sinir hücresi) ve bunların da 6×10^{13} ten fazla sayıda bağlantısının olduğu tahmin edilmektedir. Sinir hücreleri elektrokimyasal bir işlemle bilgi taşımak için özelleşmiş hücrelerdir. Bu sinir hücreleri değişik şekil ve büyüklükte dirler. Bazıları sadece 4 mikron (4/1000 milimetre) genişliğinde iken 100 mikron genişliğinde olanlar da vardır. Her ne kadar değişik tipteki sinir hücrelerinin şekil ve işlev açısından farklılıkları bulunsa da Şekil 3.1’de gösterildiği gibi hepsi, dentrit (dendrite), çekirdek (soma), akson (axon) ve bağlantı veya sinaps (synapse) olmak üzere 4 farklı bölgeden oluşmaktadır (Anderson ve McNeill, 1992: 3).



Kaynak: Anderson ve McNeill, 1992: 3

Şekil 3.1. Biyolojik Sinir Hücresi.

Nöronlar arasındaki iletim kısaca şöyle açıklanabilmektedir. Şekilde görülen kısa ve dallanmış olan dentrit, giriş sinyallerini (bilgilerini) diğer nöronlardan alır. Alınan bu sinyaller, dentritler arasındaki sinaptik boşluklardan iletilen elektrik tepkileridir. Uzun ve tek olan akson ise çıkış sinyallerini diğer nöronlara taşır. Akson ile dentritin birleşim yerine sinaps adı verilir. Bunlar nöronlardan aldığı sinyalleri değerlendirir ve eşik değeri üzerinde bir giriş varsa bir sonraki hücreye iletirler (Arıkan Kargı, 2015:36).

Bilim insanları biyolojik hücrelerin oluşturduğu sinir ağlarının yapısından ve özelliklerinden yararlanarak YSA'nı geliştirmişlerdir ve aralarında yapısal olarak bazı benzerlikler bulunmaktadır. Bu benzerlikler Tablo 3.1'de verilmiştir.

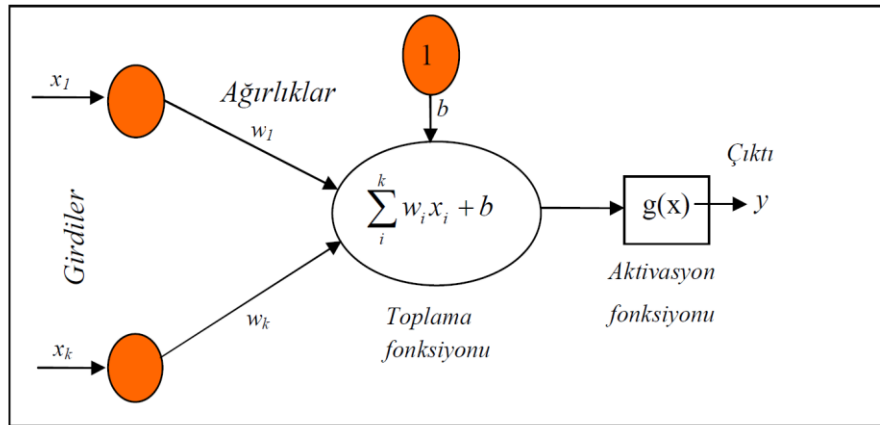
Tablo 3.1. Sinir Sistemi ile Yapay Sinir Ağlarının Benzerlikleri.

Biyolojik Sinir Sistemi	YSA
Nöron	İşlemci eleman (Girdi)
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Yapay nöron çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Kaynak: Sağiroğlu ve diğerleri, 2003:25

3.1.2. Yapay Sinir Hücresi

Yapay sinir hücreleri (nöron), YSA'nın çalışmasının temelini oluşturan en küçük bilgi işleme birimidir. Bir yapay nöronun temel yapısı, genel haliyle, Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Arıkan Kargı, 2015:38).



Kaynak: Es, 2013

Şekil 3.2. Bir Yapay Sinir Temel Hücresinin Yapısı.

Şekil 3.2'den de anlaşıldığı gibi bir yapay sinir hücresi temel olarak girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış olmak üzere beş kısımdan oluşmaktadır.

Aşağıda bu kısımlar tanımlanmaya ve açıklanmaya çalışılmıştır;

Girdiler: Girdiler, yapay sinir hücresine dışarıdan alınan verilerdir. Bu veriler, ağırlık öğrenmesi istenen örnekler tarafından sağlandığı gibi başka bir sinir hücresinden veya yapay sinir hücresinin kendisinden de gelebilir.

Girdiler (x), k elemanlı sütun vektörü olarak gösterilir (Arıkan Kargı, 2015:39).

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad 3.1$$

Ağırlıklar: Bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Ağırlıkların büyük ya da küçük olması önemli veya önemsiz olduğu anlamına gelmez. Bir ağırlığın değerinin sıfır olması o ağ için en önemli olay olabilir. Eksi değerler de önemsiz demek değildir. O nedenle artı veya eksi olması etkisinin pozitif veya negatif olduğunu gösterir. Sıfır olması ise herhangi bir etkinin olmadığını gösterir. Ağırlıklar değişken veya sabit değerler olabilir (Öztemel, 2012:49).

Ağırlıklar, k elemanlı satır vektörü olarak düzenlenir.

$$w = [w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_k] \quad 3.2$$

Toplama (birleştirme) fonksiyonu: Bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmakla birlikte en yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece net gelen girdi bulunmuş olur. Ancak bazı durumlarda toplama fonksiyonu bu kadar basit bir işlem olmayabilir. Bunun yerine, en az (min), en çok (max), mod, çarpım, çoğunluk veya birkaç normalleştirme fonksiyonu gibi çok daha karmaşık olabilir. Girdileri birleştirecek olan algoritma, genellikle seçilen ağ mimarisine de bağlı olarak belirlenir. Bu fonksiyonlar farklı şekilde değerler üretebilir ve bu değerler ileri

doğru gönderilir. Herhangi bir nöronunun toplam girdisi, diğer nöronlardan gelen değerlerin ağırlıklı toplamı ile eşik değerinin toplamına eşittir (Kamruzzman ve diğerleri, 2006:3).

$$NET = w_{ji} x_i + b_j \quad 3.3$$

Biçiminde ifade edilen toplama fonksiyonunda;

NET: nöronunun net girdisini,

w_{ji}: j ve i nöronları arasındaki bağlantının ağırlığını,

x_i: i nöronunun çıktısını,

b_j: bias (eşik) değerini ifade etmektedir.

Bir problem için en uygun toplama fonksiyonunu belirlemek için bulunmuş bir formül yoktur. Genellikle deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir. Ayrıca bir yapay sinir ağındaki bütün işlemci elemanların aynı toplama fonksiyonuna sahip olması gibi bir zorunluluk da yoktur. Bazen aynı yapay sinir ağı içindeki işlemci elemanların bazıları aynı toplama fonksiyonunu, diğerleri ise başka fonksiyonları kullanabilirler. Bu tamamen tasarımcının kendi kararına bağlıdır (Öztemel, 2012:49).

Tablo 3.2’de literatürde yapılan araştırmalarda kullanılan değişik toplama fonksiyonları verilmektedir.

Tablo 3.2. Literatürde Kullanılan Diğer Toplama Fonksiyonları.

Toplama İşlemi	Açıklama
Çarpım Net girdi= $\prod_i x_i w_i$	Önce girdiler ve ağırlıklar, sonra da bu değerler birbirleriyle çarpılır.
Maksimum (En çok) Net girdi= $\text{Max} (x_i w_i)$ $i=1,2, 3 \dots N$	N adet girdi ve ağırlıklar birbiriyle çarpıldıktan sonra en büyük değer net girdi olarak kabul edilir.
Minimum (En az) Net girdi= $\text{Min} (x_i w_i)$ $i=1,2, 3 \dots N$	N adet girdi ve ağırlıklar birbiriyle çarpıldıktan sonra en küçük değer net girdi olarak kabul edilir.
Çoğunluk Net girdi= $\sum_i \text{sgn}(x_i w_i)$	N adet girdi ve ağırlıklar birbirleriyle çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif olanların sayısı bulunur. Bunlardan büyük olan net girdi olarak alınır.
Kümülatif Toplam Net girdi= Net(eski)+ $\sum_i (x_i w_i)$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır ve daha önce gelen bilgilere eklenerek hücrenin net girdisi bulunur.

Kaynak: Öztemel, 2012:50

Aktivasyon (Transfer) fonksiyonları: Öğrenme eğrisi olarak da adlandırılmaktadır. Aktivasyon fonksiyonları bir YSA'da nöronun çıkış genliğini, istenilen değerler arasında sınırlar. Bu değerler çoğunlukla [0,1] veya [-1,1] arasındadır. Ayrıca, yapay sinir ağına bir kutuplaşma bias (eşik) değeri uygulanarak aktivasyon fonksiyonu artırılabilir. YSA'nda kullanılacak olan fonksiyonların türevi alınabilir ve süreklilik arz etmesi gerekmektedir. Yapay ağın kullanım amacına uygun olarak tek ya da çift kutuplu aktivasyon

fonksiyonları kullanılabilir. Doğrusal olan veya olmayan transfer fonksiyonlarının yapay sinir ağlarında kullanılması karmaşık problemlere uygulanmasını sağlamıştır (Gülbağ, 2004). En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları ve matematiksel gösterimi Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Bazı Aktivasyon Fonksiyonları.

Aktivasyon Fonksiyonu	Matematiksel Gösterimi	Matematiksel Gösterimi
Lineer Fonksiyon	$F(\text{NET}) = \text{NET}$	
Step Fonksiyonu	$F(\text{NET}) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } \text{NET} \geq \theta \\ 0 & \text{eğer } \text{NET} < \theta \end{cases}$	
Sigmoid Fonksiyonu	$F(\text{NET}) = \frac{1}{1 + e^{-\text{NET}}}$	
Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu	$F(\text{NET}) = \frac{e^{\text{NET}} + e^{-\text{NET}}}{e^{\text{NET}} - e^{-\text{NET}}}$	
Eşik Değer Fonksiyonu	$F(\text{NET}) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } \text{NET} \leq 0 \\ \text{NET} & \text{eğer } 0 < \text{NET} < 1 \\ 1 & \text{eğer } \text{NET} \geq 1 \end{cases}$	

Kaynak: Demuth ve Beale, 2002:14-15,14-16

Bir problem için en uygun transfer fonksiyonunun bulunması, ağın tasarımcısının denemeleri sonucunda belirleyebileceği bir durumdur. Uygun fonksiyonu gösteren bir formül henüz bulunmuş değildir (Öztemel, 2003:50). Ancak çoğu araştırmacıya göre Sigmoid ve Tanjant fonksiyonlarının diğer fonksiyonlardan daha iyi sonuç verdiği yönündedir.

Çıktı: Transfer fonksiyonundan elde edilen değer yapay sinir hücresinin çıktısını oluşturur. Bu çıktı değeri, başka bir yapay sinir hücresine girdi olarak veya dış ortama gönderilebilir (Arıkan Kargı, 2015:43).

3.2. Yapay Sinir Ağının Yapısı

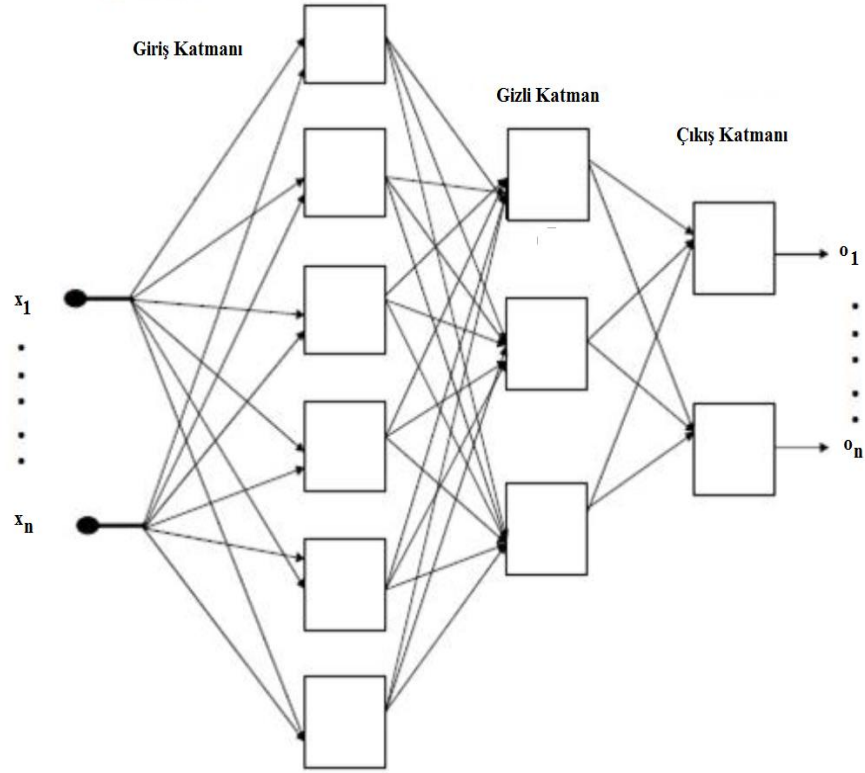
Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağlarını oluştururlar. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesi de rastgele olmaz. Genel olarak hücreler üç katman (girdi katmanı, ara (gizli) katmanlar, çıktı katmanı) halinde ve her katman içinde paralel şekilde bir araya gelerek ağı oluştururlar (Öztemel, 2012:52). Bu üç katman ve paralel şekilde gelen yapı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Girdi katmanı: Girdi katmanı, dışarıdan girdileri alan nöronları (sinirleri) içerir. Girdi katmanındaki nöronların girdi değerleri üzerinde herhangi bir işlem olmaz. Sadece söz konusu katman girdi değerlerini bir sonraki katmana iletir (Arıkan Kargı, 2015:43). Kısaca dışarıdan girdilerin ağa alınmasını sağlayan hücrelerin bulunduğu ilk katmandır.

Ara (Gizli) katmanlar: Girdi katmanına gelen verilerin işlenerek çıktı katmanına gönderilmesini sağlarlar. Bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda sağlanmaktadır. Bir ağın içerisinde birden fazla katman olabilir (Öztemel, 2012:52).

Gizli katman sayısı ve katmandaki nöron sayısı ağ tasarımcısının kontrolünde olup probleme göre değişir. Gizli katmanda gereğinden daha az nöron kullanılması, ağın mevcut çıktılarının tahmin doğruluğunu azaltır. Gerektiğinden daha çok sayıda nöron kullanılması da yeni girdi değerleri için yapılacak çıkış tahminlerinin doğruluk oranını azaltır (Arıkan Kargı, 2015:43).

Çıktı katmanı: Ağın en uç katmanıdır. Gizli katmandan aldığı veriyi ağın kullandığı fonksiyonla işleyerek ara katmandan gelen çıktıları dış ortama veya başka bir ağa ileten nöronları içeren katmandır (Arıkan Kargı, 2015:43).

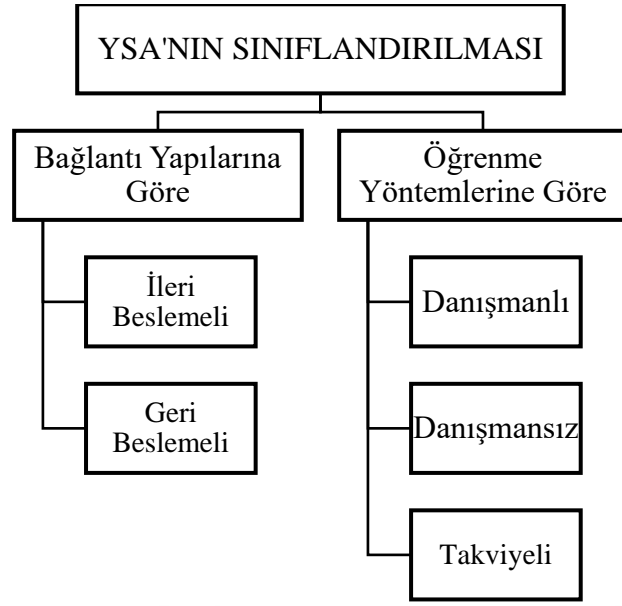


Kaynak: Kılıç, 2015

Şekil 3.3. Yapay Sinir Ağının Genel Yapısı.

3.3. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

YSA pek çok farklı durumuna göre sınıflandırılabilir. Ancak YSA'nı, katman sayılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması daha genel bir yaklaşım olacaktır. Şekil 3.4'te bu sınıflandırılma gösterilmektedir.



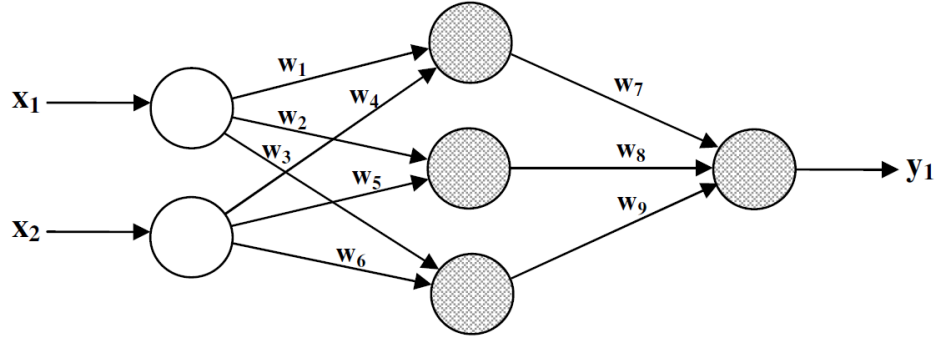
Kaynak: Es, 2013

Şekil 3.4. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.

3.3.1. Yapay Sinir Ağlarının Bağlantı Yapılarına Göre Sınıflandırması

YSA yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

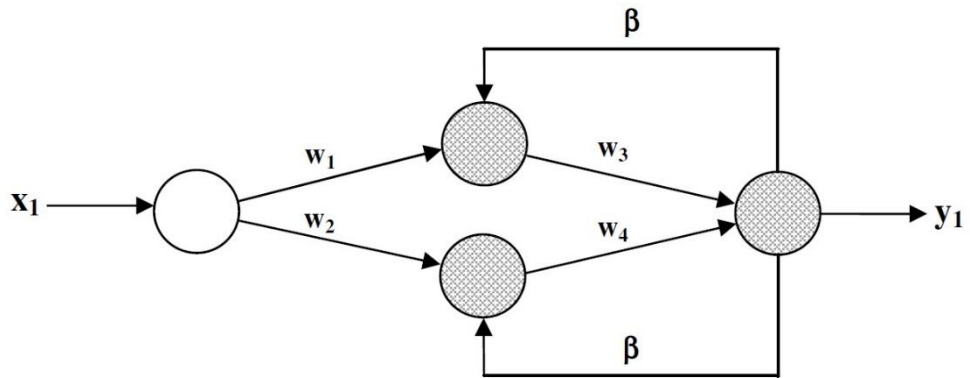
İleri beslemeli (feed forward): Ağda nöronlar, genellikle katmanlara ayrılmıştır. Her bir katmandaki nöronlar bir sonraki katmandaki nöronlar ile bağlantı ağırlıkları vasıtasıyla ilişkilidir. Ancak tabakaların kendi aralarında herhangi bir bağlantısı yoktur. İleri beslemeli ağlarda bilgi akışı, girdi katmanından çıktı katmanına doğru geri besleme olmaksızın tek yönde yapılmaktadır (Zhang, 2004, 4-5). Buna aktivasyon yönü de denilir. Bu tür yapay sinir ağına örnek olarak tek ve çok katmanlı perceptron (algılayıcı) verilebilir. Bu tür ağlar, danışmanlı öğrenme tekniği kullanılarak eğitilirler (Karacameydan, 2009). Şekil 3.5'te, ileri beslemeli bir YSA yapısı gösterilmektedir



Kaynak: Savaş, 2010

Şekil 3.5. İleri Beslemeli Bir Yapay Sinir Ağı Yapısı.

Geri beslemeli (recurrent): Bir ağda, çıktı katmanı ve gizli katmanlardaki çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanların geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Bu ağda nöronlar arasında dönüşler veya geri besleme bağlantıları bulunmaktadır ve bundan dolayı da dinamik hafızaya sahip oldukları söylenir. Geri beslemeli ağlarda herhangi bir hücrenin çıktısı direkt olarak girdi katmanına gönderilerek tekrar girdi olarak kullanılabilir (Zhang, 2004, 5). Geri besleme, bir tabakadaki hücreler arasında olduğu gibi, tabakalar arasındaki nöronlar arasında da olabilir. Geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterirler. Şekil 3.6’te, geri beslemeli bir YSA yapısı gösterilmektedir (Karacameydan, 2009).



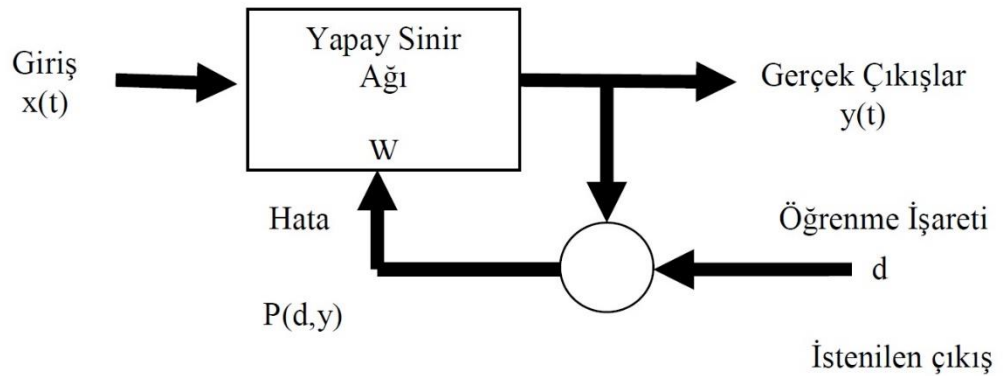
Kaynak: Savaş, 2010

Şekil 3.6. Geri Beslemeli Bir Yapay Sinir Ağı Yapısı.

3.3.2. Yapay Sinir Ağlarının Öğrenme Şekillerine Göre Sınıflandırması

YSA'nda öğrenme, başlangıçta rastgele olarak ağa atanan ağırlık değerlerini belirleme işlemidir. Öğrenme bir bakıma, ağa verilen örnekler yolu ile sağlanmaktadır. Ağ gördüğü her örnek için önce bilgi edinir ve bu işlem ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşması, bir başka deyişle, örneklerin temsil ettiği olayla ilgili genelleme yapabilecek duruma gelmesi ile son bulur. Bu işlemin matematiksel karşılığı, birtakım yöntem, kural ve algoritmalar yardımıyla ağdaki işlemci elemanlar arasındaki bağlantı ağırlıklarının sürekli yenilenerek değiştirilmesidir (Arıkan Kargı, 2015:65). Yapay sinir ağlarında öğrenme temel olarak üçe ayrılabilir. Bunlar; danışmanlı (öğretmenli), danışmansız (öğretmensiz) ve takviyeli öğrenmedir.

Danışmanlı Öğrenme: Ağ eğitilirken, çıktılarının istenen değerleri ağa tanıtılabiliyorsa, bu tip öğrenmeye danışmanlı öğrenme adı verilir. Girdi ve çıktı kümeleri ağa verilir. Ağ, girdiyi süreçten geçirerek kendi çıktısını üretir ve gerçek çıktı ile karşılaştırır. Öğrenme sayesinde, mevcut hatayı en aza indirmek için bağlantılardaki ağırlıklar yeniden düzenlenir. Bu işlem, hata seviyesi kabul edilebilir seviyeye ulaşıncaya kadar devam eder (Olgun, 2009). Şekil 3.7'de Danışmanlı Öğrenme yapısı gösterilmektedir.

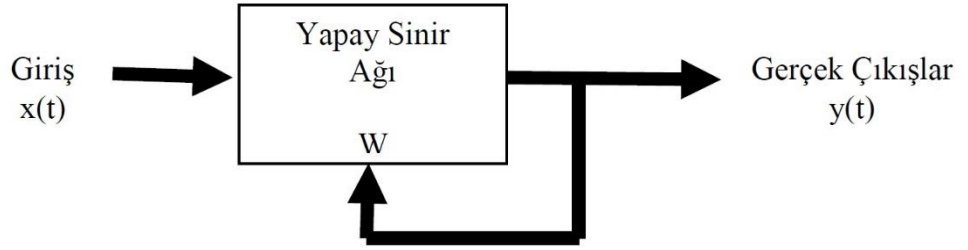


Kaynak: Olgun, 2009

Şekil 3.7. Danışmanlı Öğrenme Yapısı.

Bu öğrenme yapısında, ağ tarafından üretilen çıkış değeri istenilen gerçek çıkış değeri ile karşılaştırılır. Başlangıçta ağırlıklar rastgele bir şekilde belirlenir, bir sonraki yineleme değerleri göz önüne alınarak ağırlıklar yeniden ayarlanır ve böylelikle istenilen ve hesaplanan çıkış değerlerinin birbirine yaklaşması ve tüm işlem elementlerindeki hatanın mümkün en küçük değerine ulaşması amaçlanır (Olgun, 2009).

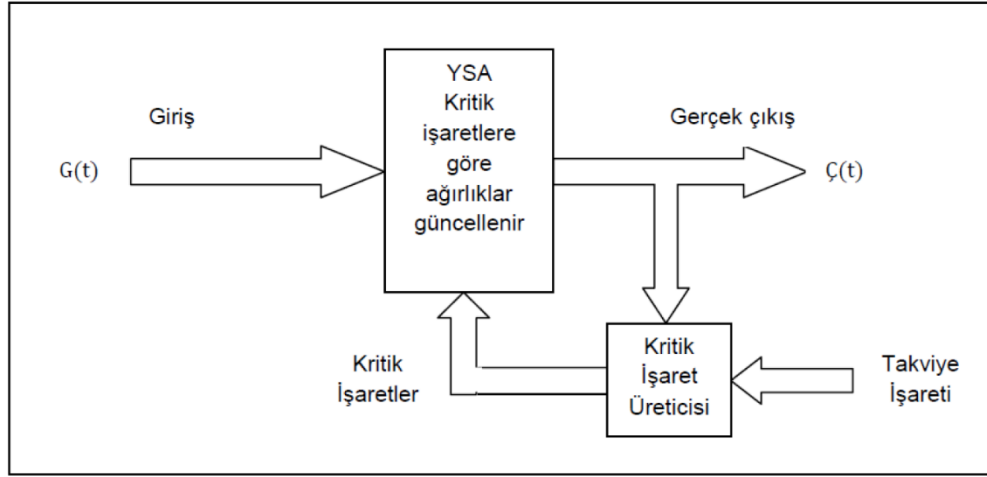
Danışmansız öğrenme: Ağa sadece girdiler verilmekte, ulaşılması gereken beklenen çıktılar verilmemektedir. Girişte verilen örnek değerlere bakarak yapay sinir ağı, parametreler arasındaki ilişkileri kendi kendine öğrenir. Yapay sinir ağı daha sonra bağlantı ağırlıklarını aynı özellikleri gösteren örüntüler (patterns) oluşturmak üzere ayarlar. Danışmansız öğrenme genellikle sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Baş, 2006). Şekil 3.8’de danışmansız öğrenme gösterilmektedir.



Kaynak: Olgun, 2009

Şekil 3.8. Danışmansız Öğrenme Yapısı.

Takviyeli öğrenme: Danışmanlı öğrenmede, ağı davranışının uygun olup olmadığını belirten bir öz yetenek bilgisi gerekmektedir. Bu bilgiye göre ağırlıklar ayarlanır. Gerçek zamanda öğrenme yöntemi olup deneme yanılma esasına göre sinir ağı eğitilmektedir. Bu yöntem genelde danışmanlı öğrenme yöntemine benzer ama ağa hedef çıktılar yerine ağın çıktılarının ne ölçüde doğru olduğunu belirten bir derece verilir. Performans bilgisi genellikle iki sayıdır ve denetim hareketlerinin başarısını göstermektedir. Boltzman kuralı, takviyeli öğrenmeye örnek verilebilir (Sarı, 2016). Şekil 3.9’da takviyeli öğrenme gösterilmektedir.



Kaynak: Yazıcı, 2010

Şekil 3.9. Takviyeli Öğrenme Yapısı.

3.4. Yapay Sinir Ağı Tasarımı

Bir sinir ağı modelini oluşturmak için nöronların bağlanması sonucu oluşan topolojisi, işlemci elemanların kullandıkları toplama ve transfer fonksiyonları, kullanılacak öğrenme yöntemi, öğrenme kuralı ve algoritması belirlenmelidir. Eldeki veriye ve ağdan yapılmak istenen uygulamanın şekline göre model tasarlanır. Kurulan modelin başarısı modelin şeklinin doğru oluşturulması ile yakından ilgilidir. Bunun için YSA tasarımcısının, ağın yapısına ve işleyişine ilişkin aşağıdaki kararları vermesi gerekmektedir (Arıkan Kargı, 2015:70).

- Ağ şeklinin seçimi ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi (katman sayısı ve katmandaki işlemci eleman sayısı gibi),
- İşlemci elemanların kullandığı fonksiyonların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi,
- Öğrenme algoritması ve parametrelerinin belirlenmesi,
- Eğitim ve test setinin (kümesinin) oluşturulması.

Bu kararların doğru verilmesi, yapay sinir ağının daha hızlı ve daha başarılı sonuçlar üretmesini sağlar (Arıkan Kargı, 2015:71). Bu nedenle ağ tasarımı YSA problemlerini anlamada ve çözmede önemli rol oynamaktadır.

3.4.1. Ağ Yapısı Seçimi

YSA'nın tasarımı sırasında, ağ yapısının seçilmesi, çözülecek olan uygulama problemine bağlı olarak seçilmelidir. Hangi problem için hangi ağ yapısının uygun olacağını bilmesi gerekmektedir. Bu durum, elde edilecek sonuçların başarısı için önemlidir. Uygun yapay sinir ağı yapısının seçimi, önemli ölçüde ağda kullanılması düşünülen öğrenme algoritmasına da bağlıdır. Ağda kullanılan öğrenme algoritması seçildiğinde, bu algoritmanın gerektirdiği mimari de zorunlu olarak seçilmiş olacaktır (Çanakçı, 2006). Öğrenme durumlarına göre sınıflandırılmış ve başarılı olan ağ türleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Aynı zamanda öğrenme algoritmaları ile yapılarının bilinmesi ağ yapısı seçimi için önemli bir faktör oluşturmaktadır. Yapılarına göre sınıflandırılmış ve başarılı olan ağ türleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Öğrenmelerine Göre Sınıflandırılmış Başarılı Ağ Türleri.

Danışmalı Öğrenme	<ul style="list-style-type: none"> • Tek Katmanlı Algılayıcılar (TKA'lar) • ÇKA'lar • Geri Yayılım Ağı • Daha Yüksek Düzeyli Sinir Ağı • İşlevsel Bağ Ağı
Danışmasız Öğrenme	<ul style="list-style-type: none"> • Hopfield Ağı • Olasılıklı Sinir Ağları (PNN) • Uyarlanır Rezonans Ağı • Öz örgütlemeli Harita Ağı • Boltzmann Makinesi • Hamming Ağı • Geri yayma İçine Öz örgütlemeli Harita Ağı • İki Yönlü Çağırışım Belleği • Yığın Ağı • Karşı Yayma Ağı • Vektör Kuantizasyon Modelleri (LVQ) • Rekabetçi Öğrenme Ağları
Takviyeli öğrenme	<ul style="list-style-type: none"> • Boltzmann Makinesi • LVQ

Kaynak: Kılıç, 2015

Tablo 3.5. Yapılarına Göre Sınıflandırılmış Başarılı Ağ Türleri.

İleri Beslemeli Ağlar	<ul style="list-style-type: none">• TKA• ÇKA• Radyal Tabanlı Fonksiyon Sinir Ağları (RBF)
Geri Beslemeli Ağlar	<ul style="list-style-type: none">• Rekabetçi Ağlar• Kohenen Ağı• Hopfield Ağı• Adaptif Rezonans Teorisi Modelleri (ART)

Kaynak: Kılıç, 2015

Kullanım amacına göre başarılı olan ağ türleri incelendiğinde ise Tablo 3.6'deki gibi bir yapı ortaya çıkar.

Tablo 3.6. Kullanım Amacına Göre Başarılı Olan Ağ Türleri

Kullanım Amacı	Ağ Türü	Ağın Kullanımı
Tahmin	<ul style="list-style-type: none">• ÇKA• RBF	Ağın girdilerinden bir çıktı değerinin tahmin edilmesi.
Sınıflandırma	<ul style="list-style-type: none">• LVQ• ART• PNN• Counterpropagation	Girdilerin hangi sınıfa ait olduklarının belirlemesi.
Veri Şekillendirme	<ul style="list-style-type: none">• Hopfield Ağları• Boltzman Makinesi• Bidirectional Associative Memory	Girdilerin içindeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması.

Kaynak: Öztemel, 2012:207

3.4.2. Katman Sayısının Belirlenmesi

Yapay sinir ağ tasarımıının bir diğer adımı ise, ağdaki katman sayısına karar vermektir. İşlemci elemanların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle katmanlar oluşmaktadır. Katman sayısını belirlemenin en iyi yolu, birkaç deneme yapılarak ağın performansına bağlı olarak en uygun katman sayısına karar vermektir. Çoğu problem için iki veya üç katmanlı bir ağ istenilen sonuçları üretebilmektedir (Arıkan Kargı, 2015:73).

3.4.3. Girdi ve Çıktı Nöron Sayısının Belirlenmesi

YSA'nda, sebep-sonuç ilişkisine dayalı olarak yapılan tahmin problemlerinde, girdi nöron sayısını belirlemek kolaydır. Bu tür çalışmalarda girdi nöronu sayısı, girdi vektöründeki değişken sayısına bağlı olarak belirlenir. Yani bu durumda girdi nöronu sayısı, değişken sayısına eşittir. Ancak tahmin problemlerinde ise girdi nöron sayısı, gecikme sayısı ile ilişkilidir. Bu durumun neye göre belirleneceği konusunda kesin bir yol bulanmamaktadır. Çıktı nöron sayısını belirlemek, diğer tabakalardaki nöron sayılarını belirlemeye göre daha kolaydır (Çanakcı, 2006). Problemden eğer tek çıkış varsa tek nöron belirlenir. Çıkış sayısı arttıkça nöron sayısı da buna bağlı olarak artmaktadır.

3.4.4. Gizli nöron sayısının Belirlenmesi

Gizli katmanlardaki nöron sayısının belirlenmesinde sabit bir kural yoktur. Genel olarak şunu söylemek gerekir: az sayıda gizli nöron veri yapısındaki ilişkiyi öğrenmede başarısız olabilir, çok sayıda gizli nöron ise ağın öğrenmesi yerine ezberlemesine sebep olur. En uygun gizli nöron sayısını belirlemek için, deney tasarımı yapılabilir, ya da az sayıda gizli nöron ile başlayıp doğrulama kümesi için ağın performansı bozuluncaya kadar gizli nöron sayısı artırılır (Es, 2013). Performans bakımından en iyi olan değere karşılık gelen gizli nöron sayısı kabul edilir.

3.4.5. Fonksiyon Seçimi

YSA tasarımıında alınacak en önemli kararlardan biride fonksiyon seçimidir. Toplama fonksiyonunun ve transfer fonksiyonunun seçimi büyük ölçüde verilerin özelliklerine ve ağdan öğrenilmesi istenen verinin türüne ve yapısına bağlıdır. Transfer fonksiyonları içinde en çok kullanılanlar, sigmoid, hiperbolik tanjant ve doğrusal fonksiyondur. Eğer ağın, bir modelin ortalama davranışını öğrenmesi isteniyorsa sigmoid, ortalamadan sapmasını öğrenmesi isteniyorsa hiperbolik tanjant fonksiyonlarının kullanılması önerilir (Arıkan Kargı, 2015:73).

3.4.6. Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi ve Testi

YSA'nda nöronların bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine “ağın eğitilmesi” denir. Başlangıçta bu değerler rastgele atanır. Ağlar kendilerine örnekler gösterildikçe bu ağırlık değerlerini değiştirirler. Amaç ağa gösterilen örnekler için doğru çıktılar üretecek ağırlık değerlerini bulmaktır (Öztemel, 2012:55).

YSA tasarım aşmasında örnek veri seti, ağın eğitim ve test işlemleri için iki veri setine ayrılır. Verileri ayırma işleminde genel bir kural yoktur. Ancak veri tipi, veri miktarı ve problemin karakteristiği veri setini ayırma işleminde önemli etkenlerdir. Eğitim ve test veri setinin seçimindeki yanlışlıklar ağın performansını etkileyecektir. Literatürde eğitim ve test setlerinin belirlenmesine yönelik az da olsa bir öneri bulunmaktadır. Birçok araştırmacı veri sayısının %90'ını eğitim veri seti olarak kullanırken, geriye kalan %10'luk kısmı ise test veri seti olarak kullanmaktadır. Aynı şekilde %80, %20 ya da %70, %30 oranları da verileri dönemlere ayırmak için literatürde sıklıkla kullanılan oranlardır (Zhang, 1998). Bu kurala göre ayrılan verilerden eğitim örnekleri yapay sinir ağı modelini geliştirmek için kullanılırken, test örnekleri ise geliştirilen modelin tahmin yeteneğinin değerlendirilmesinde kullanılır (Karacameydan, 2009).

3.4.7. Veri Normalleştirme

YSA'nın en önemli özelliklerinden olan doğrusal olmama özelliğini anlamlı kılan yaklaşım, verilerin normalleştirme işlemine tabi tutulmasıdır. Verilerin normalleştirilmesi için seçilen yöntem, yapay sinir ağının performansını doğrudan etkileyecektir. Veri normalleştirme, işlem süreci sırasında kullanılan verilerin kümülatif toplamların oluşturacağı olumsuzlukların engellenmesini sağlar. Veri normalleştirme işlemi, eğitim süreci başlamadan yapılır. Veri normalleştirme yaklaşımlarında, sıklıkla aşağıdaki formüller kullanılmaktadır (Çanakcı, 2006).

- $[0,1]$ Aralığına doğrusal dönüşüm: $x_n=(x_0-x_{min})/(x_{max}-x_{min})$
- $[a,b]$ Aralığına doğrusal dönüşüm: $x_n=(b-a)(x_0-x_{min})/(x_{max}-x_{min})+a$
- Basit normalizasyon: $x_n=(x_0/x_{max})$
- İstatistiksel normalizasyon: $x_n=(x_0-x_{ort})/s$

Hedef ve girdi verilerinin normalleştirme aralığının seçilmesi, çıktı nöronlarının aktivasyon fonksiyonuna bağlıdır. Eğer sigmoid fonksiyonu kullanılmış ise, normalleştirme aralığı $[0,1]$, hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılmış ise normalleştirme, $[-1,1]$ aralığında yapılır. Ağdan alınan sonuçların yorumlanması, çıktının orijinal aralığa tekrar dönüştürülmesinden sonra olabilir. Ağın ürettiği değerlerin doğruluğu, orijinal veri kümesi temel alınarak hesaplanmalıdır. Performans ölçütüde çıktıların orijinal aralığa dönüştürülmesinden sonra hesaplanmalıdır (Çanakcı, 2006).

3.4.8. Yapay Sinir Ağı Performansının Belirlenmesi

Bir modelin performansının belirlenmesi demek, öngörü modellemesinin doğruluğunu ölçmek demektir. İyi öngörüler iyi kararlar alınmasına yol açmaktadır. Bir yapay sinir ağının performansı denilince de öğrenme yeteneğinin ölçülmesi anlaşılır. Başka bir deyişle, yapay sinir ağ modelinin verileri iyi öğrenip öğrenmediği ölçülmektedir. En çok kullanılan öngörü doğruluk ölçütleri aşağıdaki gibidir (Karacameydan, 2009);

$$\text{Ortalama Mutlak Hata (MAE, MAD)} = \sum |e_t|/N, \quad 3.4$$

$$\text{Hata Kareleri Toplamı (SSE)} = \sum (e_t)^2, \quad 3.5$$

$$\text{Ortalama Hata Kareler (R}^2\text{) (MSE)} = \sum (e_t)^2/N, \quad 3.6$$

$$\text{Karekök Ortalama Hata Kareler (R) (RMSE)} = \sqrt{MSE} \quad 3.7$$

$$\text{Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)} = (1/N) \sum |e_t/y_t| (100), \quad 3.8$$

Burada;

e_t , gerçek değer ile tahmin edilen değerler arasındaki fark (tahmin hatası),

y_t , gözlem değerini,

N ise hata terimleri sayısını ifade etmektedir.

Bu öngörü doğruluk ölçütleri içinde en yaygın şekilde kullanılan R^2 (MSE)'dir. Bu ölçütün önemli bir özelliği, öngörü hatasının varyans toplamına ayrıştırılabilmesidir (Zhang, 1998).

3.4.9. Durdurma Kriterinin Belirlenmesi

Durdurma kriteri, hatanın belirli bir değerin altına düşmesi ya da araştırmacıya göre belirlenen kabul edilebilir bir hatanın altına düşmesi durumunda ve ağırların belirlenen iterasyon sayısını tamamlaması durumunda ağırların eğitiminin durdurulması biçiminde olmak üzere iki şekilde belirlenebilir (Karacameydan, 2009).

3.5. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

YSA'nın tarihçesi nörobiyoloji konusuna ilgi duyulması ve elde edilen bilgilerin bilgisayar bilimine uyarlanması ile başlamaktadır. YSA'larına ilişkin çalışmalar incelendiğinde, yapılan araştırmaların çoğunun birbirinin devamı niteliğinde olduğu görülmektedir (Öztemel, 2012, 37). Birbirinin devamı olan bu çalışmalar kronojik olarak aşağıda sıralanmıştır.

Hazırlanan bu kronojik sıralamada literatürde önceden bu konuda çalışma yapmış olan Öztemel (2012), Arıkan Kargı (2015), Olgun (2009) ve Baş (2006) kaynakları incelenerek hazırlanmıştır. YSA'nın tarihsel gelişimi ile ilgili aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir.

- YSA ile ilgili ilk çalışmalar 1943 yılında başlamıştır. İlk olarak McCulloch ve Pitts bir yapay sinir hücresi modeli geliştirmişlerdir.
- 1949 yılında psikolog olan Donald Hebb, "The Organization of Behaviour" isimli kitabında, yapay hücrelerden oluşan bir YSA'nın ağırlık değerlerini geliştiren bir öğrenme kuralı geliştirmiştir.
- 1950'li yılında bilgisayarların gelişmesiyle birlikte, insanın düşünce yapısıyla ilgili teorilerin temellerinin modellenmesi olanaklı hale gelmiştir. 1951 yılında ise ilk yapay sinir ağı temelli bilgisayar olan SNARC, MIT'de Minsky ve Edmons tarafından üretilmiştir.
- 1954 yılında Farley ve Clark, rassal ağlar ile adaptif tepki üretme kavramını ortaya koymuşlardır. Bu kavram 1958 yılında Rosenblatt ve 1961 yılında Caianiello tarafından geliştirilmiştir. Özellikle Rosenblatt tarafından geliştirilen basit algılayıcı modeli YSA çalışmalarında devrim niteliğinde olmuştur. Çünkü bu model, daha sonra geliştirilecek olan ÇKA'nın temelini oluşturmuştur.
- 1959 yılında Bernard Widrow ve Marcian Hoff, ADALINE (Adaptive Linear Elements) ve MADALINE (Multiple Adaptive Linear Elements) olarak isimlendirdikleri algılayıcıya benzeyen iki model geliştirmişlerdir
- Marvin Minsky ve Seymour Papert tarafından 1969 yılında yapılan çalışmalar "Perceptrons (Algılayıcılar)" isimli kitapta meşhur XOR probleminin algılayıcı ile çözülemeyeceğini matematiksel olarak kanıtlamışlardır. Algılayıcıların karmaşık mantıksal işlemler için kullanılamayacağını ispatlamışlardır. Bu durum yapılan yapay sinir ağları çalışmalarının duraklama dönemine girmesine neden olmuştur.
- 1976 yılında Grossberg ve Carpenter tarafından geliştirilen, ART modeli, öğretmensiz öğrenme konusunda zamanın geliştirilmiş en karmaşık yapay sinir ağı olmuştur.

- 1982 yılında bir fizikçi olan Hopfield, YSA'nın geleneksel bilgisayar programlama ile çözülmesi zor olan problemlere bile çözüm üretebileceğini göstermiştir. Hopfield, tekli doğrusal algılayıcılar ile çözülemeyen XOR problemini ÇKA ile çözerek YSA'nın işe yaradığını söyleyen tezlerin çürütülmesini sağlamıştır. Aynı zamanda Touretzky ve Pomerlau 1989'da XOR probleminin YSA'larında gizli nöronlar kullanılarak yani çok katmanlı ağlar yardımıyla aşılabildiğini göstererek tezlerin çürütülmesini ve çok katmanlı ağlara dikkat çekilmesini sağlamıştır.
- 1986 yılında Rumelhart, halen en çok kullanılan ağ eğitme yöntemlerinden birisi olan Geriye Yayılım Algoritmasını geliştirmiştir.
- 1988 yılında ÇKA modellere alternatif olarak, Broomhead ve Lowe, RBF modelini geliştirmişler ve özellikle filtreleme problemlerine oldukça başarılı sonuçlar üretmişlerdir. Daha sonra Specht, bu ağların daha gelişmiş şekli olan PNN modelini ve Genel Regresyon Ağları (GRNN) geliştirmiştir.
- 1990'lı yılların başlarından itibaren sayısız çalışma ve uygulamalar geliştirilmiştir. Özellikle YSA'nı eğitmek, daha verimli öğrenme algoritmaları geliştirmek ve zamana bağlı olarak değişen modellere karşılık verebilen ağlar yapılan araştırmaların en önemli amaçlarını oluşturmaktadır.
- Günümüzde, bilgisayarların işlemcilerinin ve kapasitesinin geliştirilmesi ile birlikte, YSA teorik bir çalışma olmaktan çıkmıştır. Hemen hemen her alanda kullanılmaya başlanmıştır ve pratik olarak insanlara faydalı olmaya başlamıştır.

3.6. Yapay Sinir Ağları için Literatür Araştırması

Özellikle 2000'li yıllardan sonra YSA konusunda pek çok farklı alanda ve farklı konuda sayısız çalışma yapılmıştır. Bu konuda geniş, kapsamlı bir literatür çalışmasının imkanı görülmektedir. Ancak uygulama kısmında bir Tekstil işletmesinde YSA ile hata oranı tahminlemesi yapılacağından ve oluşturulacak ağ ileri beslemeli, danışmalı öğrenme yapısına uygun olduğundan son yıllarda bu konularda yapılan önemli görülen çalışmalar ele alınacaktır.

Zhang ve diğerlerinin, 2002 yılında yaptıkları çalışmalarında çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısını kullanarak polyamid 4.6 kompozitler için ölçülen veri tabanından yararlanarak spesifik dayanma oranı ve sürtünme katsayısı tahmin edilmiştir. 103 veriden oluşan modelin rassal olarak seçilen ve 88'i eğitim için kullanılırken 15'inde test için kullanılmıştır. Burada spesifik dayanma oranı eğitim kümesindeki veriler için %99 tahmin yapılırken test kümesi verileri için %87 iyi tahmin ile sonuçlanmıştır (Zhang ve diğerleri, 2002).

Zeng ve diğerlerinin, 2005'te yaptıkları çalışmalarında simülasyon ve yapay sinir ağ modeli yöntemlerini kullanarak iplik makinesinde üretilen ipliklerin mukavemet özelliklerini tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada ağ modeli olarak ÇKA kullanılmıştır. Kullanılan ağ modeli beş girdi, iki gizli katman ve bir çıktı nöronuna sahiptir. Yazılım olarak ta Matlab 6.5 kullanılmıştır. Programda öğrenme oranı 0,01 alınmış ve 4000 iterasyon sonucunda en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda korelasyon katsayısı 0,98 olması da tahmin değerlerinin iyi ölçüde olduğunu göstermiştir (Zeng ve diğerleri, 2005).

Beltran ve diğerlerinin 2006' da yaptıkları çalışmalarında, lif, iplik ve kumaşın özelliklerinin boncuklanma (pilling) eğilimi üzerine tahmine dayanmaktadır. YSA modeli olarak, ÇKA kullanılmıştır. Kullanılan ağ modeli 17 girdi, tek gizli katman ve bir çıktı nöronundan oluşmuştur. Gizli katmanda ve çıkış nöronunda sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Geliştirilen bu model çoklu doğrusal regresyon modeli ile karşılaştırılmış ve ÇKA modelinin performansının daha iyi sonuçlar verdiği karar verilmiştir (Beltran ve diğerleri, 2006).

Oğulata ve diğerlerinin, 2006' da yapmış oldukları çalışmalarında dokuma kumaşlar için elastikiyet ve uzama özelliklerini, ÇKA ve çoklu doğrusal regresyon modeli kullanarak tahmin etmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde ÇKA ile yapılan tahmin daha başarılı olmuştur (Oğulata ve diğerleri, 2006).

Gharehaghaji ve diğerlerinin 2007' de yapmış oldukları çalışmalarında naylon özlü pamuk kaplamalı ipliklerin mukavemet özelliklerini ÇKA ve çoklu doğrusal regresyon modeli kullanarak tahmin etmişlerdir. Geliştirilen modellerde test verilerinin tahmini RMSE ve MSE ile doğrularak değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın sonunda ÇKA ile yapılan tahmin daha başarılı olmuştur. (Gharehaghaji ve diğerleri, 2007).

Bahadır ve diğerlerinin 2012'de yaptıkları çalışmalarında geri yayımlı yapay sinir ağ modelini kullanarak örme kumaşlarının patlama mukavemeti tahmin edilmiştir. Modellenen ağ modelinde üç girdi, bir çıktı nöronuna sahiptir. Gizli katmandaki nöron sayısı da deneme yanılma yöntemiyle ağ performansının en iyi olmasına dayalı olarak seçilmiştir. Ağ dokuz nöron olduğunda en iyi ağ modeline ulaşılmıştır. Eğitim için verilerin için %80 test içinde verilerin %20'si ayrılmıştır. Eğitim işlemi için 1000 iterasyon ve her biri beş kez çalıştırılmıştır. Öğrenme için transfer fonksiyonu tanjant hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır ve performans değerlendirmesi için MSE dikkate alınmıştır (Bahadır ve diğerleri, 2012).

Arıkan Kargı, 2014 yılında yaptığı çalışmada kumaş üretiminde ortaya çıkan atkı hatalarını önceden tahmin etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmektedir. Bu tahmin için ÇKA model ve çoklu doğrusal regresyon model teknikleri kullanılmıştır. Çalışmada ÇKA model çözümleri için Matlab R2010b programı, çoklu doğrusal regresyon model çözümü için SPSS 13 paket programı kullanılmıştır. YSA'nın eğitimi için verilerin %80'i eğitim verileri, geri kalanı ise test verileri olarak kullanılmıştır. Eğitim verilerinin %25'i doğrulama verileri için ayrılmıştır. Oluşturulan ağda girişte toplam 13 nöron, çıkışta tek nöronlu olarak modellenmektedir. Kaç tane nöronun gizli katmana dâhil edileceğini belirlemek için, 1 ila 50 arasında değerler verilerek en iyi modelin belirlenmesi yapılmıştır. Modelde girdi katmanı ile gizli katmanlar arasında hiperbolik teğet sigmoid (tansig) aktarım fonksiyonu kullanılmıştır. Gizli ve çıktı katmanları arasında doğrusal (pureline) bir aktarım fonksiyonu kullanılmış. En uygun modeli belirlemek için, veri eğitimi için Levenberg-Marquardt (LM) algoritması olarak bilinen geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Eğitim aşamasında, maksimum iterasyon (epoch) sayıları 1000, zaman kısıtlaması

yoktu. Performans ölçütleri olarak MSE, RMSE ve MAE kullanılmıştır. Öğrenme katsayısı 0.001 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda iki model kıyaslanmış ve en uygun modelin ÇKA model olduğu belirlenmiştir (Arıkan Kargı, 2014).

Arıkan Kargı, 2015 yılında yayınlamış olduğu kitapta 2014 yılındaki çalışmasına ek olarak RBF modeli oluşturmuştur. Çalışmanın sonunda çoklu doğrusal regresyon, ÇKA ve RBF karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ÇKA ile yapılan tahmin daha başarılı olmuştur (Arıkan Kargı, 2015).

Erenler ve Oğulata, 2015 yılındaki çalışmada kapsamında giysi amaçlı dokunmuş kumaşlarda farklı üretim parametrelerinin kumaş konfor özellikleri üzerine etkileri istatistiksel olarak incelenmiş, üretim parametrelerinden yola çıkılarak kumaş konfor özelliklerinin tahmin edilmesine çalışılmıştır. YSA modellerini Matlab paket programı kullanılarak kurulmuştur. Sonuç olarak; her bir konfor özelliği için ayrı ayrı kurulan istatistiksel modellerin $p < 0.0001$ değeri ile istatistiksel olarak anlamlı oldukları görülmüştür. Ayrıca çalışma kapsamında incelenen üretim parametrelerinin incelenen konfor özellikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı oldukları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kurulan YSA modelleri yardımıyla kumaş konfor özelliklerinin üretim öncesinde başarılı bir şekilde tahminlenebileceği ortaya konulmuştur (Erenler ve Oğulata, 2015).

Türker, 2017 yılında yapmış olduğu çalışmada ileri yayımlı geri beslemeli YSA yazılımı geliştirilerek Microsoft Visual Basic programlama dili kullanmıştır. Dokuma Kumaş Özelliklerinin tahmini ve yazılımın işe yararlılığı iki farklı kumaş gurubu ile test edilmiştir. Aynı zamanda oluşturulan sinir ağı, lineer regresyon ile kıyaslanmıştır. Araştırmanın sonunda her iki durum içinde değerlerin birbirine yakın olduğu belirtilmiştir (Türker, 2017).

4. BÖLÜM

UYGULAMA YAPILAN FİRMANIN TANITILMASI VE ÖN HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

4.1. Firmanın Tanıtılması

Uygulama Yapılan Firma, 1998 yılında kurulmuş Türkiye'deki küresel lider kot (denim) pantolon üreticilerinden biridir. Dünyaca ünlü büyük giyim markalarıyla çalışmaktadır. İspanya başta olmak üzere İngiltere, İtalya, Fransa ve Almanya gibi ülkelere ihracat yapmaktadır.

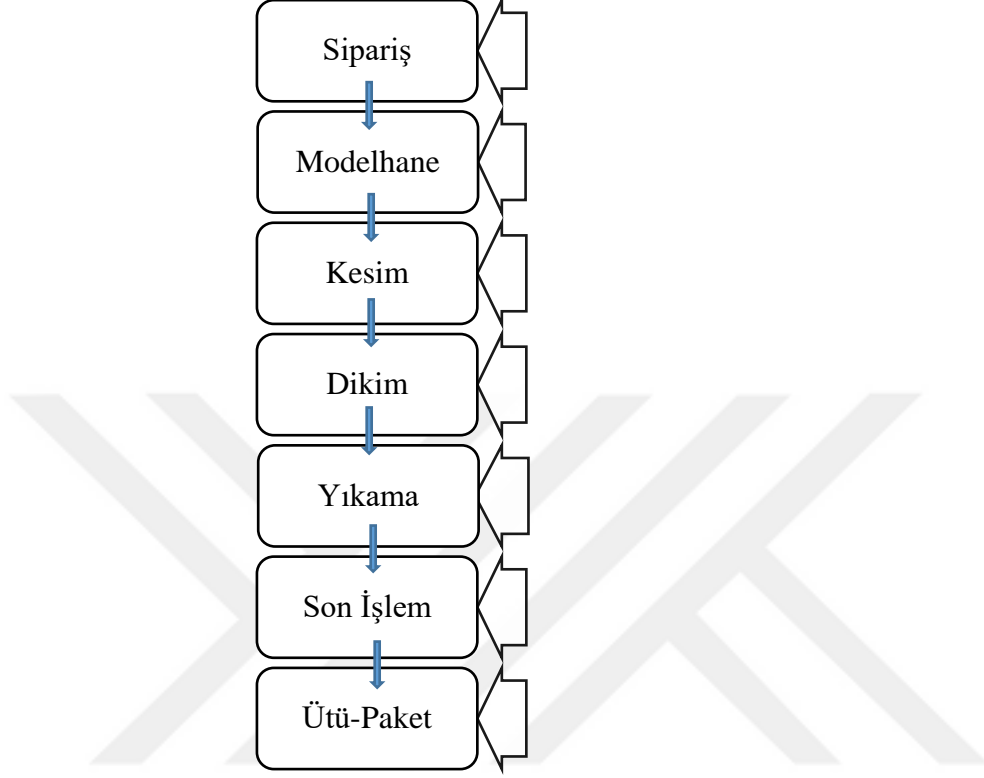
Şirket politikası olarak moda trendi yaratacak stilde tasarım yapmak, kaliteli ve katma değerli ürünler üretmek, üretimde tüm müşteriler için 5-6 hafta (normal üretim) ve 3-4 hafta (süper hızlı üretim) gibi kısa üretim sürelerinde esnek üretim sunmayı, kabul edilmiştir.

Firmanın İstanbul'da ve Malatya'da olmak üzere iki ilde toplam 3 farklı fabrikası bulunmaktadır. Firmanın Genel Müdürlüğü ve az çapta üretim yapılan Fabrikası İstanbul'da bulunmaktadır. Genel Müdürlükte tasarım, ürün geliştirme, süreç iyileştirme ve planlama yapılmaktadır. İstanbul'daki fabrikada ise kesim, dikim, son işlem ve ütü-paket işlemleri yapılırken yıkama işlemleri fason olarak yürütülmektedir. Malatya'daki fabrika ana fabrika olarak nitelendirilmektedir. 30.000 m² kapalı üretim alanına sahiptir ve geniş çaplı üretim yapılmaktadır. Firma toplamda 4,66 milyon adet kot kapasitesiyle üretim yapmakta ve mevcut üretiminin yaklaşık %80'ni de ana fabrikada gerçekleştirilmektedir.

4.2. Kot Pantolon Üretim Aşamaları

Kot pantolon üretimi siparişe dayalı üretime sahiptir. Müşteri odaklı yapılan üretim müşteri isteklerinin sık sık değişmesinden dolayı esnek işgücü, tezgâh ve malzeme kullanımını zorunlu kılan, uzun süreli üretim planlarının yapılamadığı, çok modelli üretimin gerçekleştiği ve üretim aşamalarının

üretilecek modele göre değiştiği montaj ve üretim hatlarına sahiptir. Şekil 4.1’de Kot Pantolon üretim aşamaları verilmiştir.



Şekil 4.1. Kot Pantolon Üretim Aşamaları

Şekilde de görüldüğü gibi üretim ilk sipariş ile başlayıp, sırasıyla modelhaneye, kesim işlemlerinin yapıldığı kesim hattına, dikim işlemlerinin yapıldığı dikim hattına, yıkama işlemini yapıldığı kazan bölümüne geçer. Oradan kuru İşlem olarak nitelendirilen işlemlerin ve çakım işlemlerin yapıldığı son işlemler hattına, en son olarak ta ütüleme ve paketleme işlemlerinin yapıldığı ütü-paket hattına geçerek sevk edilmeye hazır hale gelmektedir.

Sipariş: Müşterinin isteklerine bağlı olarak ya da firma içi modelistlerin geliştirdiği modellerin belirli adetlerde üretilmesinin istenmesiyle başlanan bölümdür. Kısacası sipariş üretim emri olarak adlandırılır. Üretime başlanması için gerekli olan girdiler ilk olarak malzeme ihtiyaç planlanması yapılarak tedarik edilmesi işlemleri bu emir ile yapılmaktadır.

Modelhane: Üretim için prototip üretilmesi ve model için beden ölçülerinin ayarlanması işlemini gerçekleştirir. Kesim işlemi için de pastal hazırlanması işlemlerinin de gerçekleştirildiği bölümdür.

Kesim: Modelhaneden gelen pastal planı ile kumaşların kesim makineleri ile kesimlerinin yapıldığı hattıdır.

Dikim: Kesilen kumaşların dikilerek işlemsiz işletme deyimiyile ham kot pantolonun elde edildiği bölümdür. Dikim işlemi karışık birbirini izleyen montajlama işleminin yapıldığı montaj hatlarından oluşmaktadır. Bu karışıklıktan dolayı dikim hatlarının dengelenmesi işlemi kot pantolon üreticilerinin en büyük problemlerden biridir. Çalışmanın uygulama kısmında dikim hattı için MHD çalışması yapılacağı için dikim hattı işlemleri ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

Yıkama: Dikim işlemleri biten ham pantolonları istenilen modele getirme amacıyla yapılan işlem ve/veya işlemlerdir. Modele göre bir kot pantolona birden fazla seri yıkamalar yapılacağı gibi sadece tek yıkama da yapılabilir. Firma içerisinde; Normal Yıkama, Enzim Yıkama, Taş Yıkama, Kuru Taşlama (Kar Yıkama), Enzim Taş Yıkama, Rinse Durulama gibi yıkama türlerinde yıkama işlemleri yapılmaktadır.

Son İşlem: Kuru işlemlerin ve çakım işlemlerin yapıldığı montaj hattıdır. Modellere göre kuru işlem uygulanan yerler değişmektedir. Kuru işlemler çok kullanılmış görüntüsü elde etmek için yapılırlar. Zımpara, sprey, lazer kullanarak yapılan eskitme işlemleri her model için uygulanan standart kuru işlemlerdir. Krinkıl ve parça boyama işlemleri ise modelden modele değişen kuru işlemlerdir. Krinkıl işlemi de genelde erkek modellerde uygulanırken, parça boyama işlemi de çok fazla kullanılmamakla birlikte sadece bayan modellerde uygulanmaktadır. Çakım işlemlerinde ise kotlara düğme ve rivet çakımı yapılmaktadır. Her modelde en az 1 en fazla 5 düğme, en az 4 en fazla 6 rivet bulunmaktadır.

Klasik bir son işlem montaj hattı sistemi işlem sıralaması aşağıdaki gibidir;

- **Spreyleme İşlemi:** Spreyleme yapılacak ürün, ilk olarak basınçlı hava yastıkları ile şişirilebilen manken adı verilen aparatlara geçirilir. Modelde uygulanması istenen bölgeye permanganat özel basınçlı püskürtmeli bir tabancayla ile püskürtülmesi ve/veya duruma göre fırça düzeltilmesi işlemidir. Şekil 4.2’de spreyleme işlemi için spreyleme makinesindeki mankenlere yerleştirilen ürünler görülmektedir.



Şekil 4.2. Spreyleme İşlemi.

- **Zımparalama İşlemi:** Zımparalama yapılacak ürün spreyleme işlemindeki gibi, yine ilk olarak basınçlı hava ile şişirilen mankenlere yerleştirilir. Modelde uygulanması istenen bölgeye elle ve/veya makine yardımıyla zımparalama işlemi yapılmaktadır.
- **Lazerleme İşlemi:** Özellikle lokal, bölgesel kesik ve yanık hissi yaratmak için lazerleme işlemi yapılmaktadır. Özel lazer makineleri kullanılarak bu işlem tamamlanır.

- **Taş Zımparalama:** Özellikle cep ağızlarında, paçalarda elle özel dönen taş zımparalarla bu işlem yapılmaktadır. Amaç yapıldığı bölgede yırtıklık, parçalanmışlık yaratmaktır.
- **Kemer Düğme Çakımı:** Özellikle kotlarda kullanılan metal yada metal karışımı kemer düğmesinin özel otomatik düğme çakma makinesi ile kot pantolona düğme çakımı işlemi yapılmaktadır.
- **Pat Düğme Çakımı:** Kemer Düğme çakımındaki aynı makine ile pat denilen bölgeye düğme çakımı işleminin yapılmasıdır.
- **Rivet Çakımı:** Özel rivet çakma otomatı ile çakım işleminin yapılmasıdır.
- **Jakron Dikimi:** Pantolonların sağ arka kısmına jakron (deri etiket) dikilme işlemidir.
- **Etiket Takılması:** Fiyat ve marka etiketlerinin takılma işlemidir.

Ütü-Paket: Ürünün kalite bakımından son kontrollerinin yapıldığı ve ütülenip, paketleme işlemlerinin yapıldığı hattır.

4.3. Firma İçerisinde Oluşan Problemlerin Tanıtılması ve Çözülmesi

Firmadaki problem 2015-2016 yılları arasındaki veriler yardımıyla fark edilmiştir. Bu yıllar arasındaki toplam 4.226.002 adet üretilen kot pantolonunun 690.744 adeti 2.kaliteye, 172.672 adeti ise işe yaramaz (çöp) durumuna düşmüştür. Bu veriler oranlandığında firma içerisinde kalitesiz ürün üretme oranının %20,43 olduğu görülmektedir. Toplam 863.416 adet hatalı ürünün hangi hatlarda meydana geldiği yine bu veriler yardımıyla bulunmuştur. Tablo 4.1’de Üretimde meydana gelen hataların hatlara göre adetsel ve oransal değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Üretimde Meydana Gelen Hatlar ve Hata Oranları

Üretim Hattı	Adet	Hata Oranı (%)
Kesim	720	0,083
Dikim	52.785	6,11
Yıkama	69.625	8,06
Son İşlemler	739.085	85,6
Ütü Paket	1201	0,14

Tablo 4.1 incelendiğinde adetsel ve oransal olarak Son İşlemler hattında hatalı ürünün diğer hatlara göre çok fazla olduğu fark edilmektedir. Ancak yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği gibi Son İşlemler montaj hattında pek çok işlemler bulunmaktadır. Hataların nedeni ve hangi işlemlerde olduğu bilinmemektedir.

Oluşan bu hataların hangi işlemlerde olduğu tespit etmek amaçlı 1 aylık süre içerisinde üretilen 450.000 adetlik ürün dikkate alınarak araştırma yapılmış ve araştırma sonucunda 85.550 adet hatalı ürün gözlemlenmiştir. Toplam hatalı ürünlerin de 70.964 adetinin Son İşlemler hattında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Araştırma sonucunda Son İşlemler hattında, spreyleme ve zımparalama işlemlerindeki robot otomatlarda 59.902 adet, lazerleme işleminde 10.347 adet ve rivet, düğme kırılması ve/veya kopması gibi basit hatalarında 715 adet olduğu gözlenmiştir. Oluşan bu hataların nedenleri araştırıldığında, spreyleme ve zımparalama işlemlerinde, robot otomatlardaki basınçlı hava yardımıyla şişirilebilen mankenden kaynaklı olarak ağ, yan ve pens bölgelerinde iplik veya kumaş patlamalarının olduğu, lazerleme işleminde fazla yanma ve deformelerin olduğu, düğme ve rivetlerin çakım esnasında kullanıcı kaynaklı düzgün yerleştirilememesinden kaynaklı kırılmaların gerçekleşmesi sorunları elde edilmiştir.

Yukarıdaki adetlerden anlaşılacağı gibi Son İşlemler hattında karşılaşılan en büyük hata spreyleme ve zımparalama işlemlerindeki robot otomatlardaki meydana gelmektedir. Bu sebeple robot otomatlardaki hatanın yok edilmesi üzerine çalışılması genel olarak yüksek oranlarda hatalı ürün üretilmemesini sağlayacaktır. Bu da göstermektedir ki eğer robot otomatlardaki tüm hata giderilirse, son işlem hattındaki hatanın %84,4 oranında azalmasını ve genel olarak toplam hatalarında %70,02 oranında azalmasını sağlayacaktır.

Robot otomatlardaki ağ, yan ve pens bölgelerinde patlamalar yeniden dikim hattına gönderilerek tamir çalışması yapılabilmektedirler. Tamire gönderilen ürünlerin %80'i tamir edilerek 2. kalite ürün olarak nitelendirilirler. 2. kalite ürünlerin de duruma göre müşteriye ya da iç piyasaya düşük fiyata satılımları gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda tamir işlemi, dikim hattının dengesini ve üretim planını etkilemekte, boşa işgücü harcanması gibi durumlarla

karşılaşılmasına neden olmaktadır. Tamire gönderilmeleri azaltmak ve daha fazla 1. kalite ürün üretebilmek için özellikle belirli modellerin tahmin edilip daha kaliteli, basınca dayanıklı ve mukavemeti yüksek bir ip ile sadece patlamaların olduğu bölgelere dikimde dikilmesi, robot otomatlarında hatalarını azaltacağı kanısına varılmıştır. Sonraki aylarda belirli modellerde uygulanarak, uygulanan tüm modellerde robot otomatlardaki hata oranının %2'lere düştüğü gözlemlenmiştir. Ancak uygulanması muhtemel modelin tahmin edilememesi durumunun sürmesi, uygulanmayan modellerde robot otomatlarda hatanın devam etmesi anlamına gelmektedir. Aynı zamanda bu kullanılacak ipliğin yurtdışından temin edilmesi, birim fiyatının yüksek olması, tedarik edilme sürelerinin uzun olması, renk skalasının geniş olmaması gibi nedenlerden firmadaki her modele uygulanamayıp hata oranı yüksek çıkan modellerin tahmin edilip uygulanmasının daha uygun olduğu düşünülmektedir. Bu nedenden dolayı çalışmada ilk olarak YSA ile hata tahmini yapılarak bu probleme çözüm üretmeye çalışılacaktır.

Dikim hattında tamir işlemlerindeki geri dönüşümleri engellemek amacıyla eklenen ağ, yan ve pens bölgelerindeki daha sağlam bir iplikle dikim işlemi de hali hazırdaki montaj hattında dengeleme problemi ortaya çıkarmıştır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde hem yukarıda sözü edilen durumdan kurtulmak, hem de firma içerisindeki verimliliği artırmak için işgücünün ve zamanın orantılı kullanılmasını sağlamak amacıyla MHD çalışması yapılacaktır.

4.4. Yapay Sinir Ağları ile Tahminleme Yapılması

YSA İçin yapılan literatür araştırması çalışması incelendiğinde tahminleme problemlerinin çözümü için ÇKA ve RBF modellerinin kullanıldığı gözlemlenmektedir. Çalışmaya göre en çok ÇKA'ların kullanıldığı, RBF ve ÇKA modelleri kıyaslandığında ÇKA'ların daha iyi sonuç verdiği sonucuna varılmıştır.

4.4.1. Çok Katmanlı Algılayıcılar

ÇKA, birçok nöronun birbiriyle bağlanarak meydana getirdikleri birkaç katmandan oluşan tipik bir ağıdır. ÇKA'larda, girdi katmanı, çıktı katmanı ve bu iki katman arasında da bir veya birden fazla gizli katman bulunmaktadır. Bu özellik ÇKA'ları, TKA'lardan ayıran en önemli özelliktir. (Zhang ve Diğerleri, 1998). Aynı zamanda ÇKA'lar, TKA'ların aksine doğrusal olmayan problemlere çözüm üretmeleri nedeniyle günümüzde geniş kullanım alanları bulan en popüler yapay sinir ağ modelidir (Baş, 2006).

ÇKA'lar geri yayılım algoritmasını kullanarak sınıflandırma, tahminleme, tanıma ve genelleme yapmayı gerektiren problemlere başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Kullanılan öğrenme algoritmasına göre, ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak hata minimuma düşünceye kadar ağın ağırlıklarını değiştirirler (Akgül, 2013).

ÇKA, genelleştirilmiş delta kuralı adı verilen öğrenme kuralını kullanır ve bu öğrenme kuralına, Geriye Yayılım Algoritması da denir. Genelleştirilmiş delta kuralı, en küçük kareler yöntemine dayalı bir öğrenme kuralıdır (Arıkan Kargı, 2015:82).

Genelleştirilmiş delta kuralı, danışmanlı bir öğrenme kuralıdır. ÇKA'ya eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık gelen çıktılar gösterilir. Delta öğrenme kuralını kullanan, ÇKA modelinin temel amacı, ağın beklenen çıktısı ile ürettiği çıktı arasındaki hatayı en aza indirmektir. Kullanılan eğitim algoritmasına göre, ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak hata minimuma düşünceye kadar ağın ağırlıkları değiştirilir (Akgül, 2013). Bu sayede verilen eğitim seti için en uygun çözüme ulaşılır.

4.4.1.1. Geri Yayılım Öğrenme Algoritması

Geri yayılım algoritması iki aşamadan oluşmaktadır (Öztemel, 2015:77). Bunlar;

- İleri doğru hesaplama (ağın çıktısını hesaplama kısmıdır)
- Geriye doğru hesaplama (ağırlıkların değiştirildiği kısmıdır)

Tek gizli katmanlı ve ileri beslemeli bir ÇKA'nın geri yayılım algoritmasının uygulama süreci aşağıdaki gibidir (Karacameydan, 2009):

- 1. Adım:** Örnekler toplanır, ağın topolojik yapısı ve öğrenme parametreleri belirlendikten sonra ağırlıkların başlangıç değerleri rastgele olarak atanır.
- 2. Adım:** Eğitimin durması için gerekli koşul sağlanıncaya kadar 3. adım ile 9. adım arası tekrarlanır.
- 3. Adım:** Her eğitim kümesi verisi için 4. adım ile 8. adım arası uygulanır.

İleri Doğru Hesaplama

- 4. Adım:** Ağın girdi katmanına, eğitim setinden seçilen bir örnekten girdilerin (G_1, G_2, \dots) gösterilmesiyle başlar. Girdiler herhangi bir işleme uğramadan ara katmana iletilir. Yani girdi katmanındaki k . nöronun çıktısı ζ_k^i ;

$$\zeta_k^i = G_k \text{ biçiminde olur} \quad 4.1$$

- 5. Adım:** Gizli katmandaki nöronlara gelen her bir girdi ağırlıklarla $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ çarpılarak net girdi aşağıdaki biçimde hesaplanır.

$$NET_j^a = \sum_{k=1}^n w_{kj} \zeta_k^i \quad 4.2$$

w_{kj} : k . girdi katmanı elemanını j . gizli katman elemanına bağlayan ağırlık değerini gösterir.

Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu (burada önemli olan türevi alınabilir bir fonksiyon kullanmaktır) kullanıldığı zaman çıktı aşağıda verildiği gibidir. Bu eşitlikteki β_j gizli katmanda bulunan j . elemana ait eşik değerinin ağırlığıdır.

$$\zeta_j^a = \frac{1}{1 + e^{-(NET_j^a + \beta_j^a)}} \quad 4.3$$

Bütün nöronlarda bu hesaplamalar yapıp en son olarak çıktı katmanına ait çıktı değerleri bulununca ileri doğru hesaplama aşaması sona erer.

Geriyeye Doğru Hesaplama

6. Adım: Ağa sunulan girdi için ağın ürettiği çıktı ile beklenen çıktılar (B1, B2, ...) karşılaştırılarak aradaki fark, başka bir deyişle hata değeri, ağın ağırlık değerlerine dağıtılarak bir sonraki iterasyonda hatanın azaltılmasına çalışılır. Çıktı katmanındaki m. nöron için hata (e_m);

$$e_m = B_m - C_m \quad 4.4$$

Bu değer bir işlem elemanı (nöron) için elde edilen hatadır. Çıktı katmanı için oluşan toplam hatayı (TH) bulmak için bütün hataların toplanması gerekir. ÇKA ağının eğitilmesindeki temel amaç bu hatayı minimize etmektir. TH şu şekilde formüle edilir:

$$TH = \frac{1}{2} \sum_m e_m^2 \quad 4.5$$

Toplam hatayı minimize etmek için hata nöronlara dağıtılır. Bu işlem nöron ağırlıkları değiştirilerek olur. Bu ise gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ve gizli katmanlar arası veya gizli katman girdi katmanı arasındaki ağırlıkların değiştirilmesiyle sağlanır.

7. Adım: Ara katmanın j. nöronunu çıktı katmanındaki m. nörona bağlayan bağlantı ağırlıklarındaki değişim miktarına Δw^a dersek t. iterasyonda ağırlığın değişim miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Delta w_{jm}^a(t) = \lambda \delta_m C_j^a + \alpha \Delta w_{jm}^a(t-1) \quad 4.6$$

Bu eşitlikteki λ öğrenme katsayısı, α da momentum katsayısıdır. Öğrenme katsayısı ağın performansında etkilidir. Eğitim süresini, küçük öğrenme katsayısı uzatırken, büyük öğrenme katsayısı kısaltır. Ancak çok büyük öğrenme katsayısı yakınsamayı engeller. Momentum katsayısı ise ağın öğrenim esnasında yerel bir minimum noktaya takılıp kalmamasında etkilidir. Ağırlık değişim değerinin belli bir oranda bir sonraki değişime eklenmesini sağlar ve toplam hata sıfıra daha fazla bir eğilimle yaklaşır. Eşitlikteki δ_m ise m. çıktı ünitesinin hatasıdır.

$$\delta_m = f'(NET) \cdot e_m \quad 4.7$$

Burada, $f'(NET)$ aktivasyon fonksiyonun türevidir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanıldığı zaman bu eşitlik;

$$\delta_m = \zeta_m (1 - \zeta_m) \cdot e_m \quad 4.8$$

biçimindedir.

8. Adım: Değişim miktarı hesaplandıktan sonra ağırlıkların t . iterasyondaki yeni değerleri şöyle olacaktır:

$$w_{jm}^a(t) = w_{jm}^a(t-1) + \Delta w_{jm}^a(t) \quad 4.9$$

eşitliği ile hesaplanır. Ayrıca eşik değerinin ağırlıkları da değiştirilir. Çıktı katmanındaki nöronların eşik değer ağırlıkları, θ^c ile gösterilirse eşik değer çıktısı sabit ve 1 olduğu için değişim miktarı;

$$\Delta \theta_m^c(t) = \lambda \delta_m + \alpha \Delta \theta_m^c(t-1) \quad 4.10$$

biçimindedir. Eşik değerinin t . iterasyondaki yeni ağırlık değeri ise aşağıdaki biçimde olur.

$$\theta_m^c(t) = \theta_m^c(t-1) + \Delta \theta_m^c(t) \quad 4.11$$

İkinci durumda ise girdi katmanı ile ara katman veya iki ara katman arasındaki ağırlıklar değiştirilirken çıktı katmanındaki tüm elemanlara ait hataların hesaba katılması gerekir. Bu ağırlık değişimi örneğin girdi katmanı ile ara katman arasındaki Δw^i ile gösterilirse değişim miktarı;

$$\Delta w_{kj}^i(t) = \lambda \delta_j^a \zeta_k^i + \alpha \Delta w_{kj}^i(t-1) \quad 4.12$$

δ^a faktörü ise;

$$\delta^a_m = f'(NET) \sum_m \delta_m w_{jm}^a \quad 4.13$$

şeklindedir ve sigmoid fonksiyonu kullanıldığında;

$$\delta_j^a = \zeta_j^a (1 - \zeta_j^a) \sum_m \delta_m w_{jm}^a \quad 4.14$$

eşittir. Ağırlıkların yeni değerleri ise:

$$w_{kj}^i(t) = w_{kj}^i(t-1) + \Delta w_{kj}^i(t-1) \quad 4.15$$

Ara katman eşik değer ağırlıkları θ^a ile gösterilirse değişim miktarı

$$\Delta\theta_j^a(t) = \lambda\delta_j^a + \alpha\Delta\theta_j^a(t-1) \quad 4.16$$

Ağırlıkların yeni değerleri ise t. iterasyon için,

$$\theta_j^a(t) = \theta_j^a(t-1) + \Delta\theta_j^a(t) \quad 4.17$$

eşitliği ile sağlanır. Böylece ileri ve geri hesaplama aşamaları bir iterasyon için yapılmış olur. Ağırlıkların hepsi yeniden düzenlenerek sonlandırma kriteri sağlanıncaya kadar ağırlıkları düzenleme işlemine devam edilir.

9. Adım: Eğer hata, önceden belirlenen hata toleransına ulaşmışsa veya sonlandırma kriteri sağlanmışsa eğitim durdurulur. Aksi halde 4. Adımdan başlayarak işlem tekrarlanır.

Yukarıda ifade edilen basamaklar ÇKA'ların öğrenmesi tamamlanıncaya kadar, yani gerçekleşen çıktılar ile beklenen çıktılar arasındaki hataların kabul edilebilir bir düzeye inmesine kadar devam eder. Ağın öğrenmesi için bir durdurma kriterinin olması gerekmektedir. Bu durum ise genellikle hatanın belirli bir düzeyin altına düşmesi olarak alınır (Karacameydan, 2009).

4.4.1.2. Levenberg-Marquardt Algoritması

Geri yayılım algoritmasının yakınsama hızı düşüktür ve yerel minimuma yakalanma riski oldukça yüksektir (Öztürk, 2011). Problemlerde bu gibi durumlarla karşılaşılması adına LM geri yayılım algoritması tercih edilmektedir.

Geri Yayılım birinci dereceden türev bilgisiyle hatayı azaltmaya çalışırken LM algoritması Gauss-Newton metodu ile Geri Yayılım metodu arasında ara değerler hesaplar ve ikinci dereceden türev bilgisiyle hatayı azaltmaya çalışır (Öztürk, 2011).

LM algoritması, Gauss-Newton ve adım azaltmalı algoritmalarının en iyi özelliklerin birleşimi olup, birinci dereceden türev (Hessian) yaklaşımı üzerine dayanan oldukça hassas bir tekniktir. Bu öğrenme algoritması hızlı öğrenme ve iyi yakınsayabilme özelliğine sahiptir (Deveci, 2012).

LM algoritmasında, geri yayılım algoritmasında olduğu gibi iki hesaplamalıdır. İleri doğru hesaplanması geri yayılım algoritmasının aynıdır. Ancak geriye doğru hesaplamaları tamamen farklıdır.

LM algoritmasının geriye doğru hesaplanması süreci aşağıdaki gibidir (Deveci, 2012);

Ağırlıkların yenilenebilmesi için yapılması gereken ilk adım Hessian matrisini elde etmektir. Hessian matrisi, performans ağırlıklara göre ikinci dereceden türevlerinin alınmasıyla oluşturulur

$$h = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w_1^2} & \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w_1 \partial w_2} \cdots & \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w_1 \partial w_n} \\ \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w_2 \partial w_1} & \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w_2^2} \cdots & \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w_2 \partial w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w_n \partial w_1} & \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w_n \partial w_2} \cdots & \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w_n^2} \end{bmatrix} \quad 4.18$$

h= Hessian matrisi

p= Performans Fonksiyonu

w= Ağın sinaptik ağırlığı

olmak üzere Hessian fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$h(m) = \frac{\partial^2 P(m)}{\partial w^2(m-1)} \quad 4.19$$

Yapay sinir ağları için Hessian matrisinin hesaplanması zordur. Bu nedenle LM algoritması Gauss-Newton matrisin yaklaşık değerini kullanmaktadır. LM algoritması için Hessian matrisinin yaklaşık değeri aşağıdaki gibidir

$$h(m) \approx J^T(m)J(m) + \mu I \quad 4.20$$

J(m) = Jakobiyen matrisi

J^T(m) = Jakobiyen matrisi tersi

I = Birim matris

m = Adım sayısı

μ = Marquardt parametresi

olarak ifade edilir.

Jakobiyen matrisi, hesaplamada Hessian matrisinden daha kolay olduğu için tercih edilir. Ağ hataları ağırlıklara göre birinci türevlerinden oluşmaktadır. Jakobiyen matrisi eşitlik 4.21'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_1} & \frac{\partial e_1}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_n} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_1} & \frac{\partial e_2}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial e_i}{\partial w_1} & \frac{\partial e_i}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_i}{\partial w_n} \end{bmatrix} \quad 4.21$$

e = Hata değeri

Ağın gardianı ise eşitlik 4.22'deki bağıntıyla elde edilir;

$$G(m) = J^T(m) E(m) \quad 4.22$$

LM algoritması için ağırlık değişim bağıntısı;

$$a(m+1) = a(m) - [J^T(m) J(m) + \mu I]^{-1} J^T(m) E(m) \quad 4.23$$

Bu yöntemde;

1.Kural: μ sıfır çıkarsa Hessian matrisini kullanan Newton algoritması kullanılır.

2.Kural: μ büyük bir sayı ise küçük adımlı Gradyen azalma algoritması kullanılır (Deveci, 2012).

En uygun ağırlıklara ulaşılan (durdurma kriterine erişilene) kadar bu işlemlerin tekrarlanması gerçekleştirilir.

LM algoritmasının geri hesaplama adımları kısaca özetlenecek olursa;

1.Adım: Jakobiyeni hesapla

2.Adım: Ağın gardianını hesapla

3.Adım: Hessian değerini bul

4.Adım: μ değerini bul. $\mu = 0$ ise Newton algoritmasını, $\mu > 0$ ise ağın gardianı kullan.

5.Adım: Ağırlıkları değiştir.

6.Adım: Durdurma kriteri elde edilene kadar işlemi devam ettir.

4.5. Montaj Hattı Dengeleme Yöntemi Seçimi

Uygulamada MHD çalışması dikim hattında yapılacaktır. MHD'si için yapılan literatür çalışması incelendiğinde Çok/Karışık modeli üretime sahip konfeksiyon işletmelerinde dikim bölümü için yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak; konum ağırlıklı dengeleme yöntemi, probabilistik hat dengeleme yöntemlerinin kullanıldığı ve olumlu sonuçlar alındığı görülmektedir. Ancak probabilistik hat dengelemede, işlem sürelerinin stokastik olduğu ve görev sürelerinin μ ortalamalı ve σ standart sapmalı bir normal dağılıma uydukları kabul edildiğinden, iş öğelerinin iş istasyonlarına hassas bir şekilde atanmasına olanak sağladığı ve güvenilir sonuçlar vermesi göz önüne alınarak seçim bu yönde yapılmıştır.

4.5.1. Probabilistik Hat Dengeleme Yöntemi

El-Sayed ve Boucher, tarafından geliştirilen bu yöntem, son yıllarda işlem sürelerinin stokastik olduğu problemlerde kullanılmaktadır. Görev sürelerinin μ ortalamalı ve σ standart sapmalı, normal dağılıma uyan hat dengelemeye, Probabilistik Hat Dengeleme denir (Eryürük,2005).

Probabilistik Hat Dengeleme Algoritması;

Çalışmadaki algoritma oluşturulurken Eryürük, Başkak ve Kalaoğlu'nun bireysel ve/veya birlikte hazırladıkları kaynaklardan yararlanılmıştır (Eryürük,2005), (Eryürük ve diğerleri, 2008), (Başkak ve diğerleri,2011).

Probabilistik Hat Dengeleme yönteminde görev sürelerinin istatistiksel dağılımı bilinmemektedir, yalnızca μ ortalama ve σ standart sapma değerleri bilinmektedir. Bu durum Stokastik durum olarak adlandırılmaktadır. Görev süresinin (t_i); μ ortalamalı ve σ standart sapmalı bir normal dağılıma uyması da Probabilistik olma durumunu sağlamaktadır.

Bu durumda, P (Öncül öğeler) ve F (Artçıl öğeler) matrisleri öncelik diyagramlarından yararlanılarak oluşturulur. P Matrisi görevden önce yapılan işlemleri, F Matrisi ise görevden sonra yapılacak işlemleri içermektedir. Bu şekilde oluşturulan matrislerden sonra işlemlere başlanır ve aşağıdaki adımlar uygulanır:

- 1. Adım:** P matrisinin yalnızca sıfırlar içeren satır alınır. Eğer birden çok satırda bu durum söz konusu ise, en büyük süreye sahip iş ögesi seçilir (Her satır bir iş ögesine karşılık gelmektedir). Bu iş ögesi, eğer süre uygunsa iş istasyonuna atanır.
- 2. Adım:** Eğer seçilen iş ögesi atanmışsa, bu satırla aynı satır numarasına sahip olan F matrisi satırına gidilir ve bu satırdaki numaralar alınır, P matrisine geri dönülür, bu numaralı satırların P matrisindeki öncül öğeleri arasından en son atanmış olan iş ögesinin yerine O (sıfır) değerleri yazılır, adım-1 'deki işlem yeni durum için yinelenir. Eğer atanmamışsa ya yeni bir istasyon açmak ya da yeni bir iş ögesi seçmek üzere adım 1 'e geri dönülür.
- 3. Adım:** ($E_{nb} \leq T \leq C$) kısıtına bağlı kalarak, 1 ve 2 no.'lu adımlar, P matrisindeki tüm satırlar kullanılına dek sürdürülür (T: İş İstasyonu Süresi, C: Çevrim Süresi).

Bu işlem sırasına uyularak işlemler, istasyonlara atanmaya başlanır (Eryürük,2005).

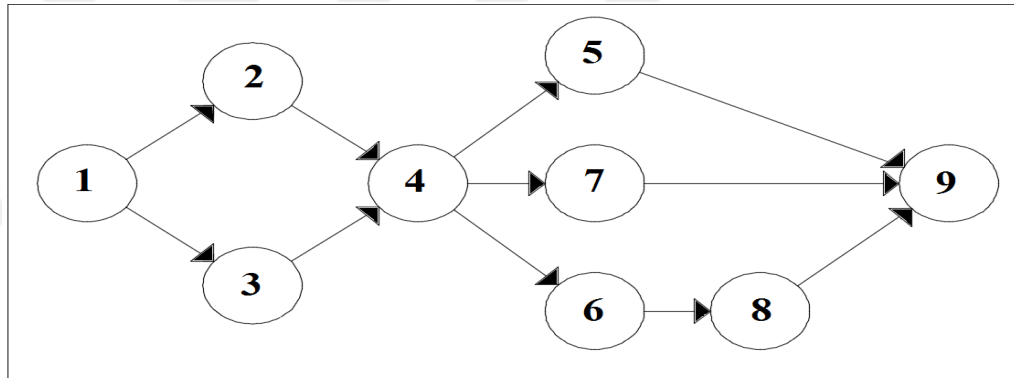
- 4. Adım:** İki bağımsız rassal değişken, sırasıyla μ_1 ve μ_2 ortalamalı, σ_1^2 ve σ_2^2 varyanslı dağılıma uyuyorlar ise, bunların toplamı da $(\mu_1 + \mu_2)$ ortalamalı ve $(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)$ varyanslı normal dağılıma uyar. Önermesinden yararlanarak, eğer bir istasyona atamak için iki iş ögesi varsa, birinci iş ögesi atandığında istasyon süresinin, çevrim süresini aşmama olasılığı hesaplanır ve bu, istasyona ikinci iş ögesi atandığında istasyon süresinin çevrim süresini aşmama olasılığıyla karşılaştırılır.

$$z = \frac{T - C}{\sigma_{\text{istasyon}}} \quad 4.24$$

5. Adım: Denklem 4.24'ten yararlanarak hesaplanan z değeri kullanılarak, normal dağılım tablosundan $P(T \leq C)$ değeri okunur. Eğer bu olasılık, önceden verilmiş olan olasılıktan küçük ise bu işlem istasyona atanır ve ikinci bir işlem için $P(T \leq C)$ değeri hesaplanır. Bu olasılık, (1: Güvenilirlik Derecesi) değerini aşana kadar, istasyona işlemlerin atanması sürdürülür. (Burada, yüksek süreli işlemlere, olabildiğince öncelik verilir). Tüm işlemler istasyonlara atanana dek bu hesaplamalar sürdürülür (Eryürük, 2005).

Örnek:

Örneğe ilişkin öncelik diyagramı Şekil 4.3'te ve iş öğeleriyle ilgili ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Bu duruma göre montaj hattının dengelenmesi istenmektedir.



Kaynak: Eryürük, 2005

Şekil 4.3. Örneğe İlişkin Öncelik Diyagramı.

Tablo 4.2. Görev Süreleri ile İlgili Ortalama ve Standart Sapma Değerleri.

Görev (ti)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M	5	3	4	5	1	4	5	4	6
Σ	0.5	0.2	0.6	0.1	0.4	0.5	0.7	0.8	0.6

Kaynak: Eryürük, 2005

Güvenilirlik derecesi %80 ve çevrim süresi ($C=13$) olmak üzere, işlem sürelerinin normal dağılıma uyduğu kabul edilerek montaj hattı dengelenir.

Tablo 4.3. Örneğe İlişkin P ve F Matrisleri.

Görev No	P Matrisi	F Matrisi
1	0 0 0	2 3 0
2	1 0 0	4 0 0
3	1 0 0	4 0 0
4	2 3 0	5 6 7
5	4 0 0	9 0 0
6	4 0 0	8 0 0
7	4 0 0	9 0 0
8	6 0 0	9 0 0
9	5 7 8	0 0 0

Kaynak: Eryürük, 2005

P ve F matrisleri oluşturulduktan (Tablo 4.3) sonra şu adımlar izlenir:

1. P matrisinde yalnızca sıfırları içeren tek satır olan birinci satır ile işleme başlanır.
2. Birinci işlem, birinci istasyona atanır ($t_1=5$, $T_1=5$).
3. F matrisinin birinci satırından 2 ve 3 değerleri alınır.
4. P matrisinin 2. ve 3. satırlarına gidilir. Bu satırlarda 1 değeri vardır, yani 2 ve 3 yapılmadan önce, 1 no.'lu işlemin yapılmış olması gerekir. Bu koşul yukarıda sağlanmıştı.
5. Şimdi, 2. ve 3. işlemler arasında seçim yapmak gerekmektedir. 3. işlemin ortalama işlem süresi, 2. işlemden büyük olduğundan 3. işlem alınır.
6. Daha önce verilen Z formülü kullanılarak 3. işlemi atayıp atayamayacağımız kontrol edilir: ($t_3=4$, $T_1=9$, $Z\%20= -0,84$)

Burada güvenilirlik derecesi %80 olduğu için EK-3 Normal Dağılım Tablosundan %80 (=0,8000)'a denk gelen değer araştırılır. O da 0,84'tür. Ancak burada (1-%80=) %20 güvensizliğe karşı gelen değer arandığından ($Z_{\%20} = -0,84$) olur.

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2} = \sqrt{(0,5)^2 + (0,6)^2} = 0,718$$

$$Z = \frac{9 - 13}{0,781} = -5,1215 < -0,84$$

$P(T > C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

7. Çevrim süresi hala doldurulamadığı için diğer bir işlemin atanıp atanamayacağı araştırılır. Bu nedenle, P matrisinde 3 no.'lu satır kullanıldığından, F matrisinde 3. no. 'lu satıra gidilir. Buradan 4 değeri alınıp, P matrisine dönülür.

8. 2 ve 4 no. 'lu işlemler, atanmak üzere bulunmaktadır. 4 no. 'lu işleme başlamak için 2 no. 'lu işlemin bitmiş olması gerekli olduğundan, önce 2 no.'lu işlem atanmalıdır. ($t_2=3, T_1=12$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = \sqrt{(0,5)^2 + (0,2)^2 + (0,6)^2} = 0,806$$

$$Z = \frac{12 - 13}{0,781} = -1,24 < -0,84$$

$P(T > C) \approx (1-0,8925) = 0,1075 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

10. P matrisinde 2 no.'lu satır kullanıldığından F matrisindeki 2 no.'lu satıra gidilir. Buradan 4 değeri alınıp, P matrisinin bu no. 'lu satırına gidilir. 4. satırda 2 ve 3 değerleri vardır, yani artık 4. işlem yapılabilir ama ($t_4=5$) ve $[(T_1=17) > C]$ olacağından, bu atama olanaklı değildir. Bu istasyon kapanmıştır, yeni istasyona geçilmesi gerekir.

11. Aynı şekilde, tüm işlemleri istasyonlara atanarak çözüme ulaşılır. Dört istasyonlu çözüm, Tablo 4.4'te gösterilmiştir (Eryürük,2005).

Tablo 4.4. Örneğin Çözümü.

İstasyon No	Görev No	t _k	T _k	Boş Süre
1	1	5	12	1
	3	4		
	2	3		
2	4	5	11	2
	7	5		
	5	1		
3	6	4	8	5
	8	4		
4	9	6	6	7

Kaynak: Eryürük, 2005

$$D(\%) = \frac{[(n \times C) - \sum ES_i]}{n \times C} \times 100 = \frac{[(4 \times 13) - 37]}{4 \times 13} = \% 28,84$$

$$HE(\%) = \frac{\sum ES_i}{n \times C} \times 100 = \frac{37}{4 \times 13} \times 100 = \% 71,15$$

5.BÖLÜM

MONTAJ HATTI SİSTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ÇÖZÜMLENEREK HAT DENGELENMESİ VE UYGULAMA

5.1. Yapay Sinir Ağları ile Hata Oranı Tahmini

Bu bölümde önceden tanıtılan firma ve ortaya çıkan problemi çözmek amacıyla YSA kullanılarak Hata oranı tahmini yapılacaktır. Hata oranı tahmin çalışması Matlab R2015b programında hazır aplikasyon (uygulama) kullanılması tercih edilmeyip Matlab ortamında nntool komutu ve fonksiyonların yardımıyla kodlama yapılarak çözüme ulaşılmıştır. EK-1’de Matlab ortamında hata oranı tahminlemesi için yazılmış kodlar gösterilmektedir.

5.1.1. Verilerin Toplanması

Uygulama çalışmasının konusu olan işletmenin Ocak 2016 ile Aralık 2016 ayları arasındaki ana fabrikasında üretimde gerçekleşen veriler, robot otomatlardaki hata oranının tahmin edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu veriler yardımıyla, son işlemler montaj hattındaki robot otomatlarda meydana gelen yüzdesel hata oranını ve hataya neden olan değişkenleri içermektedir.

Veriler, MS SQL ve laboratuvarında test sonuçlarının tutulduğu ürün reçeteleri yardımıyla elde edilip düzenlenmiştir. Düzenleme sırasında tekrarlanan siparişlerin hata oranını bulmak için tüm hatalar ve tüm sipariş sayısı dikkate alınarak oranlama yapılmıştır.

Otomatlarda meydana gelen ve hataya neden olabilen değişkenlerin neler olabileceği konusunda, firmanın Kalite Kontrol Müdürü, Üretim Planlama Müdürü, Son İşlem Üretim Sorumlusu ve Süreç İyileştirme ve Geliştirme Uzmanı ile beyin fırtınası yapılarak değişkenler belirlenmiştir.

Hataya neden olan değişkenler (girdiler); kumaşın oz/yd² biriminde yıkanmamış kalınlığı (X₁), kumaşın oz/yd² biriminde yıkanmış kalınlığı (X₂), çözgü çekme yüzdesi (X₃), atkı çekme yüzdesi (X₄), çözgü yırtılma mukavemeti grf biriminde (X₅), atkı yırtılma mukavemeti grf biriminde (X₆), çözgü çekme mukavemeti kgf biriminde (X₇), atkı çekme mukavemeti kgf biriminde (X₈), elastikiyet yüzdesi (X₉), maksimum büyüme yüzdesi (X₁₀), çözgü uzama yüzdesi (X₁₁), kumaş içerisinde koton (pamuk) yüzdesi (X₁₂), dokuma örgü türü (X₁₃) ve iplik denye no (X₁₄) olarak kabul edilmiştir. Çıktı değeri olarak da hata oranı (X₁₅) ağa eğitilecektir. EK-2’de ağa verilecek girdi ve çıktı değerleri verilmiştir.

Otomatlara gelen ürünlerin yıkama tipleri birbirlerinden farklıdır. Aynı zamanda bir modele bir ve/veya daha fazla yıkama işlemleri uygulandığından modellere uygulanan yıkama türleri değerlendirilmeye katılmamıştır. Ancak girdi değerlerinde yıkama işlemleri öncesi ve sonrası değerlerin olması, yıkama türlerinin değerlendirmeye katılma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Yıkama sonrası kumaş kalınlığı, çözgü ve atkı çekme yüzdesi, çözgü ve atkı çekme mukavemeti, büyüme ve uzama değerlerinin kullanılması yıkama türlerinin reaksiyonlarını açıklamaktadır. Bu yüzden yıkama türlerinin sisteme girdi olarak verilmemesinin sonuçları etkilemediği düşünölmektedir.

Denim kumaşta, dokuma örgü türü 3/1 RHT ve 3/1 Z olmak üzere 2 çeşittir. Ancak YSA veri girişi olarak -1’de +1’e kadar sayısal veri girişi kabul etmektedir. Bu yüzden 3/1 RHT, 1 olarak; 3/1 Z ise 0 olarak modellenmiştir.

Firma kalite bakımından dünyanın en iyisi olduğuna inandığı tek tedarikçiden tüm ipliklerini tedarik etmektedir ve 3 tip iplik numarası kullanmaktadır. Bunlar 30, 60 ve 120 denye nolarıdır. Tablo 5.1’de denye no.’larına göre mukavemet, uzama ve iğne numaraları verilmiştir.

Tablo 5.1. Denye Numaralarına Göre İplik Değerleri.

Denye No	Ortalama Mukavemet cN	Min-Max Uzama %	Metrik tavsiye edilen iğne numarası
30	1490	17-22	75-90
60	3040	18-25	100-120
120	6080	18-25	120-140

Kaynak: <http://www.coatsindustrial.com/en/products-applications/industrial-threads/epic>, bt

Ağa öğretilecek girdi değerlerinde sadece iplik konusunda denye no. 'ları verilmiştir. Tablo 5.1'de fark edildiği gibi denye no. 'ları; iplik mukavemeti, iplik uzaması ve iğne numaraları gibi sabit değerlere sahiptir. Sabit değerlerin ağa öğretilmesine gerek yoktur.

5.1.2. Çalışmada Kullanılan Ağ Mimarisi

İlk olarak düzenlenen 308 adet veri, Excel programından Matlab programına aktarılmıştır. Daha sonra, verilerin %70'i eğitim verisi, %30'u da test verisi olarak bölünmüştür. Bu bölme işlemi rasgele yapılmıştır. Sonra verilerin eğitimi için ÇKA model kurulmuştur. Kurulan modelin girdi katmanına, yukarıda açıklanan 14 değişken, çıkış katmanı olarak ta hata oranı ağa tanıtılmıştır. Ancak ağın gizli katmanı ve bu katmandaki nöron sayısı belli değildir. Bunlar deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir.

5.1.2.1. Ağ Mimarisinin Tasarlanması

Birden fazla gizli katmanın yer almasının pratikte bir yarar sağlamadığı gibi öğrenmeyi de yavaşlattığı ortaya konulmuştur (Timothy ve Masters, 1993:174). Bu sebeple gizli katman sayısı bir olarak alınmıştır. Gizli katmanda kaç tane gizli nöron olacağını belirleyebilmek için bu katmana 1'den 20'ye kadar nöron sayısı verilmiş ve her model 20 kez eğitilerek en iyi model belirlenmeye çalışılmıştır.

Veri kümeleri ağa verilmeden önce normalizasyon için [a,b] aralığına doğrusal dönüşüm formülü kullanıldığından giriş ve çıkış değişkenlerinin maksimum ve minimum değerleri bulunarak -1 ile +1 arasında normalize edilmiştir. Normalize verilerinin -1 ile +1 arasında olması, modellerde katmanlar arasında kullanılan transfer fonksiyonu etkilemektedir. Bu nedenle oluşturulan modelde transfer fonksiyonunu olarak hiperbolik tanjant sigmoid (tansig) fonksiyonu kullanılmıştır.

Çalışmada oluşturulan ÇKA modeli yapay sinir ağ mimarisi olarak, ileri beslemeli, geriye yayımlı (backpropagation) ve öğrenme tipi olarak denetimli öğrenmeye dayalı sinir ağı modelidir. Bu nedenle uygulamada daha önce yapılan çalışmalara dayanılarak daha uygun sonuçlar verdiği ispatlanan LM algoritması kullanılmıştır. Programda eğitim yapılırken maksimum iterasyon (epoch) sayısı 1000 olarak alınmış ve ağ öğrendiğinde iterasyonu durduracak parametreler kullanılmıştır. Bu durum programın fazla çalışmasını engellemek ve kısa sürede sonuca ulaşılması için ayarlanmıştır. Performans kriteri hata kareleri ortalamasıdır ve amaç bu değerın sıfır olmasıdır. Öğrenme katsayısına ise ağa tanıtılan 0 ile 1 arasındaki bir değer verilerek öğrenme işlemini hızlandıran ya da düşürmeye yarayan katsayı olması düşünülmüştür. Bu sayının 1 değerine yakın olması ağın fazla öğrenerek yapıyı ezberleme gibi durumlara yol açabilmektedir. Bu yüzden klasik nntool programlarında başlangıçta kullanılan 0,001 değeri alınmıştır.

Model kurulduktan sonra eğitilme işlemi yapılmaktadır. Eğitim işleminin hemen ardından modelin sonuçları test edilerek en uygun model belirlenmektedir. En iyi modeli belirlemede hata performansı olarak R, R² ve MAPE ölçütleri kullanılmıştır. Bu değerlerden R ve R² 'de en büyük, MAPE' de en küçük satırı veren model, en iyi çözümü veren ağ modeli olarak kabul edilir. Modeli oluşturmak için yapılan denemeler aşağıda Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. En Uygun ÇKA Modelini Belirlemek İçin Yapılan Çalışmalar.

Gizli Katman Nöron Sayısı	R	R ²	MAPE
1	0,7363	0,5422	0,0807
2	0,8626	0,7441	0,0597
3	0,8259	0,6821	0,0575
4	0,8954	0,8017	0,0527
5	0,9098	0,8278	0,0527
6	0,9451	0,8933	0,0367
7	0,9416	0,8867	0,0405
8	0,9116	0,831	0,0508
9	0,921	0,8483	0,0455
10	0,9277	0,8606	0,0464
11	0,9425	0,8884	0,0391
12	0,9164	0,8398	0,0521
13	0,9126	0,8329	0,0461
14	0,8963	0,8033	0,0528
15	0,897	0,8046	0,0514
16	0,9218	0,8498	0,0482
17	0,9277	0,8606	0,0471
18	0,917	0,8409	0,0459
19	0,8495	0,7216	0,0577
20	0,8338	0,6952	0,0677

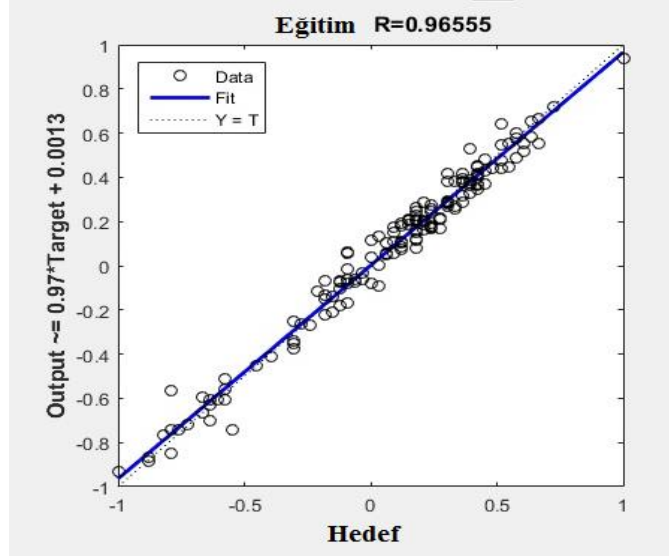
Tablo 5.2’ de görüldüğü üzere En büyük R değeri 0,9451 ve R² değeri 0,8933 ‘tür. En küçük MAPE değerinde 0,0367’dir. Bu değerlere sahip olan satır 6 olduğundan nöron sayısının 6 olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla en uygun model 14-6-1 ağ yapılı modeldir.

Ağın eğitiminin tamamlanması sonucunda ağın öğrenip öğrenmediğini ölçmek için ayrılan test verileriyle ağın testi yapılmıştır. Ağa gösterilen bu veriler, ağ eğitimi sırasında belirlenen ağırlık ve eşik değerlerini kullanarak daha önce görmediği bu veriler için çıktılar üretir. EK-1 görüldüğü gibi test veri ve çıktıları ağın performansını belirleyen R, R² ve MAPE değerlerinin belirlenmesinde de kullanılmıştır. Test kümesinde yer alan gerçek veriler ile oluşturulan ÇKA ağının ürettiği tahmini çıktılara ilişkin değerler Tablo 5.3’te verilmiştir.

Tablo 5.3. ÇKA Ağının Gerçek ve Tahmin Verileri.

Test Verilerinin					
Gerçek Hata Oranı	ÇKA Ağın Çıktısı (Tahmin)	Gerçek Hata Oranı	ÇKA Ağın Çıktısı (Tahmin)	Gerçek Hata Oranı	ÇKA Ağın Çıktısı (Tahmin)
5,5229	5,7	5,1804	5,55	5,0024	4,8
4,978	5	5,4423	5,95	4,9939	4,95
4,9254	5,25	5,1063	5,2	3,5633	3,35
5,7075	5,9	5,2099	5,5	5,0121	4,4
3,9464	4	5,01	5,5	4,4062	4,1
4,0084	4,5	4,3583	4,7	4,5426	4,45
4,6512	4,6	5,1421	5,7	4,3671	4,25
5,3716	5,35	4,9123	4,6	3,4922	3,05
5,3716	5,35	5,2752	5,5	3,7178	3,8
5,4151	5,5	4,5915	4,6	4,7244	4,8
5,7405	5,7	4,9389	5	4,8629	4,95
4,9892	5,2	5,1915	5,15	4,1948	4
3,9921	4,05	5,7189	5,8	4,3916	4,45
5,5348	5,5	5,1077	5,1	4,6125	4,65
5,1282	5,1	5,2068	5,4	3,9498	4,45
5,1743	5,1	5,4969	5,75	4,98	4,9
5,2209	5	4,8312	4,5	3,612	3,55
5,2571	5	5,2428	5,8	5,8316	5,6
4,3774	4,65	5,1902	5,4	5,461	5,45
4,5811	4,55	5,561	5,7	5,4037	5,6
4,9918	4,9	5,0394	5,2	5,7647	6
4,0403	4,05	4,0117	3,8	5,5715	5,6
4,9633	4,9	4,7263	4,7	5,4155	5,3
5,0143	4,95	5,5228	5,5	3,8481	3,8
4,7402	4,5	5,5015	5,85	4,0174	4
5,0993	5	5,7378	5,7	5,2186	4,8
5,2137	5,05	5,6775	5,7	5,2429	5,15
4,007	3,95	5,0109	4,95	4,6597	4,25
5,8028	5,7	5,713	5,7	3,2219	2,95

Hata oranı tahmini için geliştirilen bu modelde bulunan R değeri, yapılan tahminin doğruluğuna karar vermek için kullanılır. ÇKA modelinde sırasıyla eğitim verilerinde $R=0,96555$ test verilerinde ise $R=0,9451$ olarak bulunmuştur. Şekil.5.1’de oluşturulan ağ modelinin eğitim sırasında elde edilen R değeri ve Çıkış hedef grafiği verilmiştir.



Şekil.5.1. Eğitim Sırasında Elde Edilen R Değeri ve Çıkış-Hedef Grafiği.

Elde edilen bu R değerleri, tahmini başarılı olduğunu ve %96,55 oranında doğru sonuçlar elde ettiğini göstermektedir.

5.1.2.2. Tahmin İşleminin Tasarlanması ve Uygulanması

EK-1’de fark edildiği üzere ağda tüm işlemler bittikten sonra Tahmin adında workspace dosyası Matlab’a eklenir. Bu workspace sayesinde daha gerçekleşmeyen üretimin girdi verilerini ağa girmemize olanak sağlamaktadır. Ağa sonradan eklenen bu girdi verileri, yazılan kodlar yardımıyla oluşturulan ağdaki ağırlık değerleriyle çıktı ünitesinde tahmin üretilmektedir.

İzleyen başlıklarda Ocak 2017’de gelen 2 üretim emri için hata oranı tahmini ve ardından da hat dengeleme çalışması yapılacaktır. Bu 2 model için de iyileştirme çalışması yapılmayacaktır. Sadece sonuçlar gözlemlemek için kullanılacaktır. Gelen 2 sipariş de standart 5 cepli kot modelidir ve üretilecek adet sayısı 10.000 adettir. Tahmin dosyasına tanıtılacak girdi verileri Tablo 5.4’teki gibidir.

Tablo 5.4. Tahmin İşlemi Yapılacak Modellerin Verileri.

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
1. Kot Modeli	8,52	9,86	-3,60	-15,00	3000,00	2000,00	55,00
2. Kot Modeli	9,44	9,76	-2,30	-4,70	6250,00	5400,00	75,00
	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
1. Kot Modeli	25,00	60,00	5,00	0,00	89,00	0,00	120,00
2. Kot Modeli	65,00	30,00	30,00	30,00	75,50	1	50,00

Tahmin workspace dosyasına girilen veriler çalıştırıldığında Birinci Kot Modelinin tahmin değeri 5,4923 olarak bulunmuştur. İkinci Kot Modelinin ise tahmin edilen değer 2,5010 olarak bulunmuştur. Daha önceden söz edildiği gibi iyileştirme çalışmasının her modele uygulanması mümkün olmamaktaydı. Bu nedenle tahmin edilen hata oranının 3'ten düşük olduğu durumlarda iyileştirme yapılmayacak durum olarak kabul edilmiştir.

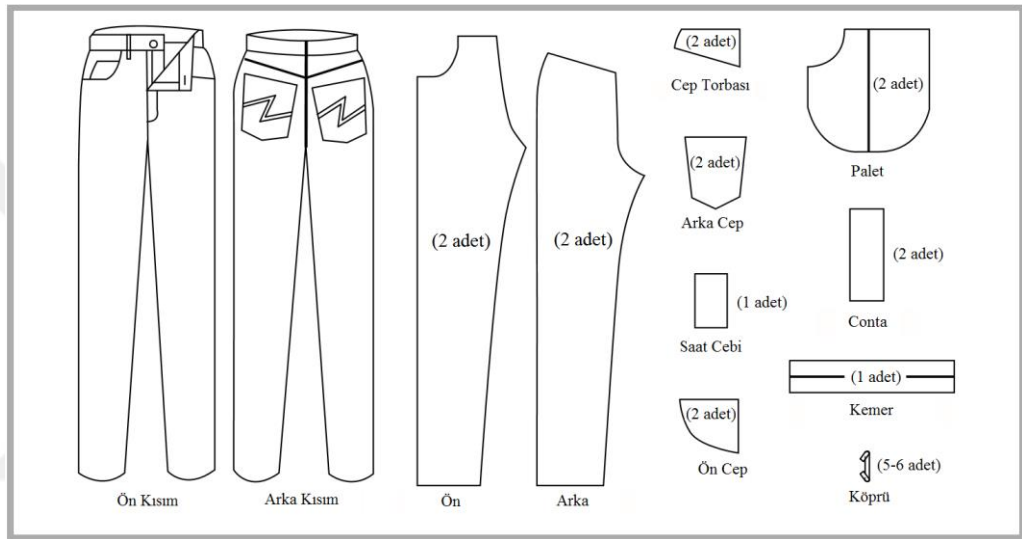
Bu durumda hat dengelenmesi yapılırken Birinci Kot Modelinde hatta, ağ, yan ve pens sağlama için dikim hattına eklemeler yapılacaktır. İkinci Kot Modelinde ise bu işlemler yapılmayacaktır.

5.2. Dikim Hattı Dengeleme

Dikim hatları çok modelli ve esnek ürünlerin üretildiği, üretim hatlarına sahiptir. Uygulama yapılan firmada; Klasik 5 Cepli, Skinny, Süper Skinny, Slim Fit, Regular Fit, Yüksek Bel, The Mom (Extra Yüksek belli), The boyfriend (Salaş, bol) modellerde ürünler üretilmektedir. Her modelin dikimdeki farklılıklarına göre de hat yeniden düzenlenip, hat dengeleme çalışması yapılarak; işgücü ve zaman dengelenmeye çalışılmaktadır. Çalışmada her model için MHD yapılması zor olduğundan ve YSA uygulaması için seçilen 2 modelin de, Klasik 5 Cepli model olması nedeniyle hat dengeleme çalışması sadece 5 Cepli model için yapılacaktır.

5.2.1. Klasik 5 Cepli Kot Pantolon Dikim Hattı

Klasik 5 Cepli Kot (denim) modeli kot pantolonların ilgi çekmeye başladığı 1900'lu yıllardan beri üretilen, en basit ve sade olarak tabir edilebilecek türde kot pantolon modelidir. Ancak 2000'li yıllardan sonra modanın ve denim kumaşa uygulanan yıkama ve son işlemlerin fazlalaşması ve farklılaşması nedeniyle sadece kalıp model belirtmek için kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 5.2'de Klasik 5 Cepli model için gereken parçalar gösterilmektedir.



Kaynak: Kayar ve Akalin, 2015

Şekil 5.2. Klasik 5 Cepli Modelin Dikimi için Gereken Parçalar.

Şekil 5.2' ye göre bir 5 Cepli montajı için; 2'şer adet Ön, Arka, Palet, Arka Cep, Ön Cep, Cep Torbası, Conta 'ya ve 1'er adet Kemer ve Saat Cebine ihtiyaç bulunmaktadır. Aynı zamanda duruma göre 5 veya 6 adet Köprüye ihtiyacı vardır.

Ön Kısım: Arka kısım ile birlikte pantolonu oluşturan en büyük parçalardan biridir. Sağ ve sol olmak üzere iki adettir.

Arka Kısım: Ön bedenden az daha geniştir. Ön kısım gibi sağ ve sol olmak üzere iki adettir

Kemer: Pantolonun bel kısmına takılan, ön kısım ve arka kısmın üstlerine tek parça olarak dikilen parçadır.

Köprü: Kemerin montaj işleminden sonra üzerlerine dikilen küçük parçalardır.

Patlet: Fermuarların dikildiği ve ağ kısmının oluşturulmasını sağlayan kısımdır. Ön ve arka patlet olmak üzere iki farklı parçadan oluşur.

Cep torbası: Pantolonu meydana getiren parçalar içerisinde kumaş olan tek parçadır. Sağ ve sol olmak üzere iki adettir.

Ön ve Arka cep: Pantolonun ön ve arka kısmına 2'şer adet takılan ceplerdir. Arka cep, ön cebe göre biraz daha büyüktür.

Saat Cebi: Ön sağ cebin üstüne takılan küçük parçadır.

Conta: Ek birleştirme parçasıdır.

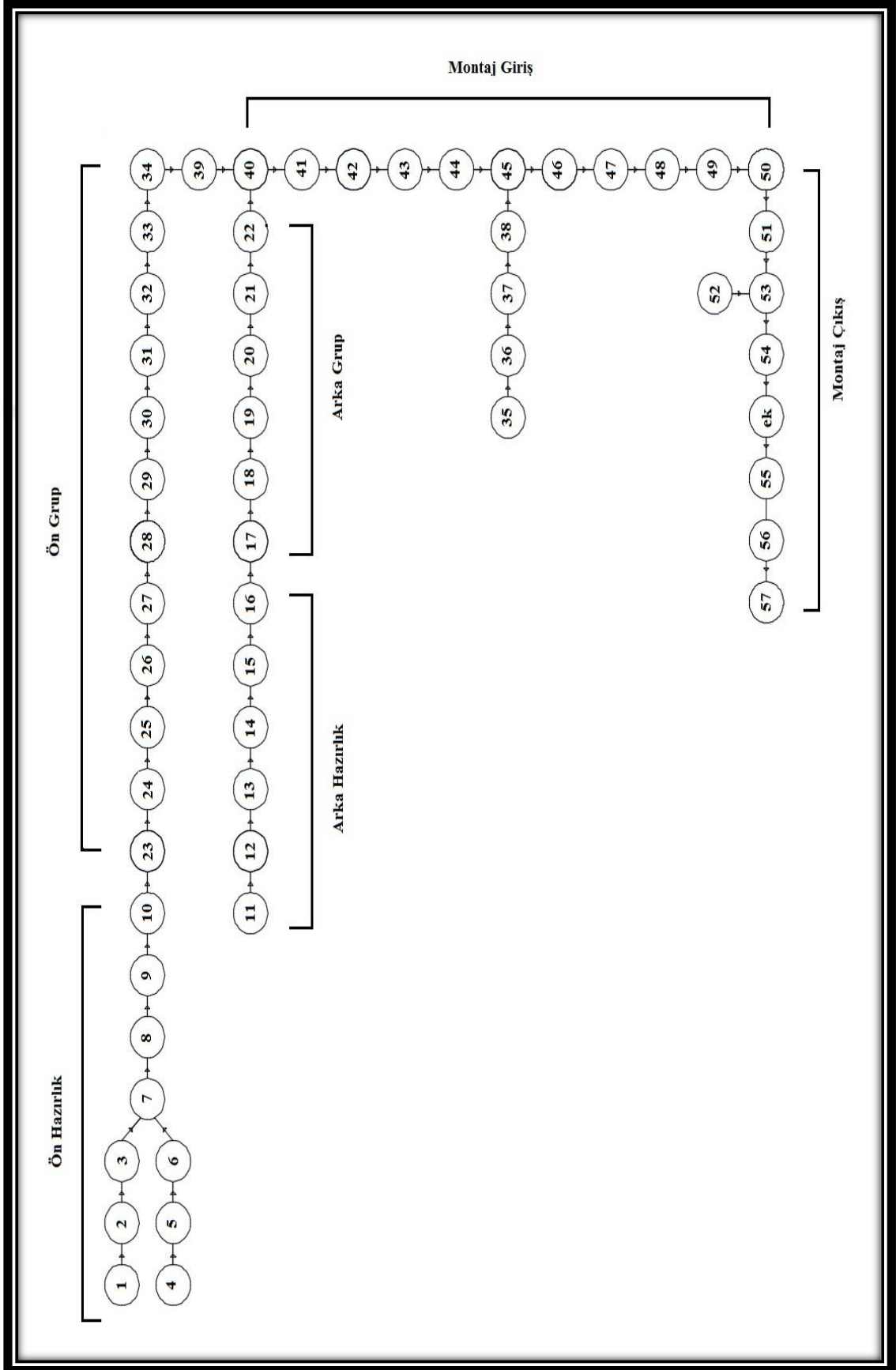
Uygulamada kullanmak amacıyla; Klasik 5 Cepli model için, iş etüdü çalışması yapılmıştır. Bu iş etüdü çalışmasında standart görev süreleri bulunurken dinlenme, ihtiyaç ve çalışma temposu gibi durumlar göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda iş etüdü çalışmasıyla birlikte bu model için görev no, yapılan operasyonlar, band, işlem, kullanılan makineler, standart ve ortalama görev süreleri probabilistik hat dengeleme için kullanılacak standart sapma değerleri EK-4 'te verilmiştir. EK-4'te Görev No sütununda Ek olarak gösterilen satırdaki veriler ise sadece ağ, yan ve pens sağlamlaştırması yapılacak modelde kullanılacaktır.

5.2.2. Birinci Kot Modeli için Probabilistik Hat Dengeleme

YSA ile yapılan tahminleme çalışmasından sonra Birinci Kot Modelinin üretiminde ağ, yan ve pens sağlamlaştırma çalışması için dikim hattına ekleme yapılmaya karar verilmiştir.

Birinci Modele ilişkin teknolojik öncelik diyagramı Şekil 5.3'te verilmiştir. Şekil 5.3'ten yararlanılarak F ve P matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu matrisler ve görev numaraları, yapılan operasyonlar, standart görev süreleri, standart sapma değerleri Tablo 5.5'te verilmiştir.

Şekil 5.3. Birinci Kot Modeli için Öncelik Diyagramı



Tablo 5.5. Birinci Kot Modeli için Probabilistik Hat Dengelemede Verileri

Görev No	OPERASYON	Süre (dk.)	Standart Sapma	P Matrisi	F Matrisi
1	Açık patlet overloğu	0,06	0,0085	0 0 0	2 0 0
2	Kapalı patlet overlok(+tulum-çevirme)	0,11	0,0156	1 0 0	3 0 0
3	Ön ağ overlok(x1)	0,09	0,013	2 0 0	7 0 0
4	Saat cep ağzı kıvrırma +Toplama	0,09	0,013	0 0 0	5 0 0
5	Saat cep takma	0,26	0,0371	4 0 0	6 0 0
6	Saat Cep Punteriz	0,12	0,0171	5 0 0	7 0 0
7	Karşılık regüle	0,06	0,0085	3 6 0	8 0 0
8	Karşılık astar montaj (x2)	0,17	0,0241	7 0 0	9 0 0
9	Cep torbası kapama (x2)	0,23	0,0126	8 0 0	10 0 0
10	Cep torbası gaze+çevirme (x2)	0,27	0,0145	9 0 0	23 0 0
11	Arka cep ağzı kıvrırma-Aparalı (x2)	0,15	0,0016	0 0 0	12 0 0
12	Arka cep ağzı kıvrırma Toplama (x2)	0,06	0,0007	11 0 0	13 0 0
13	Arka Cep Ağzı kıvrırma	0,10	0,0012	12 0 0	14 0 0
14	Arka cep takma (x2)	0,45	0,0051	13 0 0	15 0 0
15	Arka Cep Ütü	0,40	0,0047	14 0 0	16 0 0
16	Arka cep takma (x2)	0,49	0,0054	15 0 0	17 0 0
17	Conta takma (x2)	0,27	0,0031	16 0 0	18 0 0
18	Arka panel overlok (x2)	0,36	0,0042	17 0 0	19 0 0
19	Arka panel overlok (x2)	0,27	0,0031	18 0 0	20 0 0
20	Conta Regüle (x2)	0,11	0,0012	19 0 0	21 0 0
21	Arka orta çatma	0,20	0,0023	20 0 0	22 0 0
22	Arka regula	0,15	0,0016	21 0 0	40 0 0
23	Açık Patlet takma+çıma	0,25	0,0028	10 0 0	24 0 0
24	Açık patlete fermuar takma	0,18	0,002	23 0 0	25 0 0
25	Patlet üstü baskı dikiş	0,20	0,0023	24 0 0	26 0 0
26	Ön cep ağzı biye (x2)	0,30	0,0035	25 0 0	27 0 0
27	Ön cep karşılık tutturma (x2)	0,32	0,0038	26 0 0	28 0 0
28	Yıkama talimatı takma-Rafyalı	0,19	0,0019	27 0 0	29 0 0
29	Kapalı patlet takma+uç tutturma	0,20	0,0023	28 0 0	30 0 0
30	Ön birleştirme	0,27	0,0031	29 0 0	31 0 0
31	Ön alt bağlama	0,25	0,0028	30 0 0	32 0 0
32	Ön punteriz(x2)	0,16	0,0019	31 0 0	33 0 0
33	Ön panel overlok (x2)	0,29	0,0031	32 0 0	34 0 0
34	Ön panel overlok (x2)	0,22	0,0027	33 0 0	39 0 0
35	Kemer hazırlık-çift kemer ekleme	0,15	0,0016	0 0 0	36 0 0
36	Kemer tela (x2)- (Toplamasız)	0,12	0,0015	35 0 0	37 0 0
37	Kemer tela toplama	0,07	0,0008	36 0 0	38 0 0
38	Kemer çizim (Toplamalı)	0,16	0,0019	37 0 0	45 0 0
39	Ön patlet regula	0,11	0,0012	34 0 0	40 0 0
40	Ön ve Arka Panel Eşleme	0,04	0,0005	22 39 0	41 0 0
41	Bacak arası çatma	0,33	0,0035	40 0 0	42 0 0
42	Panel çevirme+kemer koyma	0,18	0,002	41 0 0	43 0 0
43	Yan çatma	0,45	0,0051	42 0 0	44 0 0
44	Yan çıma (emniyet dikişi ile)	0,40	0,0047	43 0 0	45 0 0
45	Kemer Büzgülü Dikişi	0,18	0,002	44 38 0	46 0 0
46	Kemer takma (çift kemer)	0,32	0,0038	45 0 0	47 0 0
47	Kemer Uç-İç Temizlik	0,34	0,0039	46 0 0	48 0 0
48	Kemer ucu yapma-alt	0,35	0,0039	47 0 0	49 0 0
49	Kemer ucu yapma-üst	0,40	0,0047	48 0 0	50 0 0
50	Yan Açma ütü+ters düz	0,30	0,0035	49 0 0	51 0 0
51	Paça kıvrırma	0,37	0,0043	50 0 0	53 0 0
52	Köprü hazırlık	0,07	0,0008	0 0 0	53 0 0
53	Köprü takma	0,24	0,0028	52 0 0	54 0 0
54	Yan çıma punteriz (x2)	0,20	0,0023	53 0 0	Ek 0 0
Ek İşlem	Ağ, yan ve pens sağlama	0,15	0,0016	54 0 0	55 0 0
55	Kalite Kontrol	0,26	0,0031	Ek 0 0	56 0 0
56	Meto temizleme	0,16	0,0019	55 0 0	57 0 0
57	İlik açma	0,09	0,0008	56 0 0	0 0 0
	TOPLAM	12,74			

P ve F matrislerinin öncüllük sırasına göre düzenlenmesinden sonra çevrim süresinin ve istasyon sayısının bulunması gereklidir.

$$C = T / \text{ÜS}$$

T = 1 günde çalışılan toplam süre

ÜS = 1 günde üretilecek toplam adet

Seçilen her 2 model içinde toplam sipariş adetinin 10.000 adet olduğu daha önceki bilgiler arasında verilmişti. Firmada bulunan yoğunluk nedeniyle seçilen her 2 model de tek bir dikim hattına tahsis edilmiştir ve yapılan planda 9,5 gün olarak belirlenmiştir. Bu durumda bir günde üretilecek miktar 1053 adettir. Bir günde toplam çalışma saatinin de 9 saat olduğu kabul edildiğinde toplam çalışma süresi 540 dk. olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre çevrim süresi aşağıdaki gibidir.

$$C = 540 / 1053 = 0,5128 \approx 0,52 \text{ dk.}$$

$$n_{\text{enk}} = [\sum t_i / C] = 12,74 / 0,52 = 24,5 \approx 25$$

n_{enk} = Minimum istasyon sayısı

P ve F matrisleri ve çevrim süresi bulunduktan sonra aşağıdaki adımlar izlenerek görev numaraları istasyonlara atanır:

1. P matrisinde yalnızca sıfırları içeren satır olan birinci satır ile işleme başlanır.
2. Birinci işlem, birinci istasyona atanır ($t_1=0,06$ $T_1=0,06$).
3. Atama işleminden sonra 1. görevin F matrisine gidilir. Matris 2. görev ile devam etmemiz gerektiğini göstermektedir. 2. Görev P matrisinin satırında 1 değeri vardır, yani 2 yapılmadan önce, 1 no.'lu işlemin yapılmış olması gerektiğini göstermektedir.
4. 2. işlem ile devam edilir. ($t_1=0,06$ $t_2=0,11$ $T_1=0,17$). Ancak çevrim süresinin çok altında olduğundan bir sonraki işlem ile devam edilir. F matrisinden 3. işlem ile devam edileceğini görüldüğünden 3 no.'lu görev ile devam edilir.

5. 3. İşlem ($t_1=0,06$ $t_2=0,11$ $t_3=0,09$ $T_1=0,26$). Çevrim süresi hala doldurulamamıştır. Bir sonraki işlem olan 7 no.'lu görev ile devam edilir. Ancak 7 no.'lu görevin atanabilmesi için 3 ve 6 no.'lu görevlerin atanması şartı aranmaktadır. Bu yüzden 6 no.'lu görevler sırasının öncesinde bulunan ve P matrisinde yalnızca sıfırları içeren 4 no.'lu görev ile devam edilir ve 2. İstasyon açılır.
6. 4. İşlem ($t_4=0,09$ $T_2=0,09$). Çevrim süresinin çok altında olduğundan bir sonraki işlem olan 5 no.'lu görev ile devam edilir.
7. 5. İşlem ($t_4=0,06$ $t_5=0,26$ $T_2=0,33$). Çevrim süresinin çok altında olduğundan bir sonraki işlem olan 6 no.'lu görev ile devam edilir.
8. 6. İşlem ($t_4=0,09$ $t_5=0,26$ $t_6=0,12$ $T_2=0,47$). 7 no.'lu görev artık atanabilir durumdadır. Ancak hangi istasyona atanacağı bilinmemektedir. 2. İstasyonla işleme devam edilirse çevrim süresi 0,53 olacağından 2. İstasyon kapatılır.
9. Daha önce verilen Z formülü kullanılarak 6. İşlemin 2. istasyona ataynıp atayamayacağımız kontrol edilir: ($t_4=0,09$ $t_5=0,26$ $t_6=0,12$ $T_2=0,47$)

Burada güvenilirlik derecesi %80 olduğu için EK-3 Normal Dağılım Tablosundan %80 (=0,80)'a denk gelen Z değeri araştırılır. O da 0,84'tir. Ancak burada (%100-%80=) %20 güvensizliğe karşı gelen değer arandığından ($Z_{%20}=-0,84$) olur.

$$\sigma_{ist} = \sqrt{\sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2} = \sqrt{(0,013)^2 + (0,0371)^2 + (0,0171)^2} = 0,0428$$

$$Z = \frac{0,47 - 0,52}{0,0428} = -1,16 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

10. 2. istasyonun kapanmasından sonra açık olan 1. istasyona, 7 no.'lu görev artık atanabilir.
11. 7. İşlem ($t_1=0,06$ $t_2=0,11$ $t_3=0,09$ $t_7=0,06$ $T_1=0,32$). Çevrim süresinin doldurulup doldurulamayacağını görmek için bir sonraki işlem olan 8 no.'lu görev ile devam edilir.
12. 8. İşlem ($t_1=0,06$ $t_2=0,11$ $t_3=0,09$ $t_7=0,06$ $t_8=0,17$ $T_1=0,49$)

13. Z formülü kullanılarak 8. İşlemin 1. istasyona atayıp atayamayacağımız kontrol edilir: ($t_1=0,06$ $t_2=0,11$ $t_3=0,09$ $t_7=0,06$ $t_8=0,17$ $T_1=0,49$)

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{ist}} &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_7^2 + \sigma_8^2} \\ &= \sqrt{(0,0085)^2 + (0,0156)^2 + (0,013)^2 + (0,0085)^2 + (0,0241)^2} \\ &= 0,0337\end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,49 - 0,52}{0,0337} = -0,89 < -0,84$$

$P(T > C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

14. 9 ve 10 no.'lu işlemler 3 no' lu istasyona atanırlar. ($t_9=0,23$ $t_{10}=0,27$ $T_3=0,50$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_9^2 + \sigma_{10}^2} = \sqrt{(0,0126)^2 + (0,0145)^2} = 0,0192$$

$$Z = \frac{0,50 - 0,52}{0,0192} = -1,041 < -0,84$$

$P(T > C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

15. 23 ve 24 no.'lu işlemler 4 no' lu istasyona atanırlar. ($t_{23}=0,25$ $t_{24}=0,18$ $T_4=0,43$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{23}^2 + \sigma_{24}^2} = \sqrt{(0,0028)^2 + (0,002)^2} = 0,00345$$

$$Z = \frac{0,43 - 0,52}{0,00345} = -26,09 < -0,84$$

$P(T > C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

16. 25 ve 26 no.'lu işlemler 5 no' lu istasyona atanırlar. ($t_{25}=0,20$ $t_{26}=0,30$ $T_5=0,50$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{25}^2 + \sigma_{26}^2} = \sqrt{(0,0023)^2 + (0,0035)^2} = 0,00419$$

$$Z = \frac{0,50 - 0,52}{0,00419} = -4,77 < -0,84$$

17. 27 ve 28 no.'lu işlemler 6 no' lu istasyona atanırlar. ($t_{27}=0,32$ $t_{28}=0,19$
 $T_6=0,51$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{27}^2 + \sigma_{28}^2} = \sqrt{(0,0038)^2 + (0,0019)^2} = 0,00425$$

$$Z = \frac{0,51 - 0,52}{0,00425} = -2,35 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

18. 29 ve 30 no.'lu işlemler 7 no' lu istasyona atanırlar. ($t_{29}=0,20$ $t_{30}=0,27$
 $T_7=0,47$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{29}^2 + \sigma_{30}^2} = \sqrt{(0,0023)^2 + (0,0031)^2} = 0,00386$$

$$Z = \frac{0,47 - 0,52}{0,00386} = -12,95 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

19. 31 ve 32 no.'lu işlemler 8 no' lu istasyona atanırlar. ($t_{31}=0,25$ $t_{32}=0,16$
 $T_8=0,41$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{31}^2 + \sigma_{32}^2} = \sqrt{(0,0028)^2 + (0,0019)^2} = 0,00338$$

$$Z = \frac{0,41 - 0,52}{0,00338} = -32,5 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

20. 33 ve 34 no.'lu işlemler 9 no' lu istasyona atanırlar. ($t_{33}=0,29$ $t_{34}=0,22$
 $T_9=0,51$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{33}^2 + \sigma_{34}^2} = \sqrt{(0,0031)^2 + (0,0027)^2} = 0,00412$$

$$Z = \frac{0,51 - 0,52}{0,00412} = -2,43 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

21. 39 ve 40 no.'lu işlemler 10. istasyona atanırlar. ($t_{39}=0,11$ $t_{40}=0,04$ $T_9=0,16$)

Ancak çevrim süresinin çok altında olduğundan bir sonraki işleme geçilmesi gereklidir. 40 no' lu işlemin P matrisinden anlaşılacağı gibi işlemin devam edebilmesi için 39 ve 22 no' lu işlemlerin atanması gereklidir. Bu sebeple 22 no' lu işlemin üstünde bulunan ve P matrisi 0 la başlayan 11 no' lu işleme gidilir ve yeni istasyon açılır. 10. istasyona da beklemeye alınır.

22. 11, 12 ve 13 no.'lu işlemler 11 no' lu istasyona atanırlar. ($t_{11}=0,15$ $t_{12}=0,06$ $t_{13}=0,10$ $T_{11}=0,31$)

$$\sigma_{ist} = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2} =$$
$$\sqrt{(0,0016)^2 + (0,0007)^2 + (0,0012)^2} = 0,00212$$

$$Z = \frac{0,31 - 0,52}{0,00212} = -99,1 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

23. 14, 15 ve 16 no.'lu işlemler 12, 13 ve 14 no' lu istasyonlara atanırlar. ($t_{14}=0,45$ $t_{15}=0,40$ $t_{16}=0,49$ $T_{12}=0,45$ $T_{13}=0,40$ $T_{14}=0,49$)

$$Z = \frac{0,45 - 0,52}{0,0051} = -13,72 < -0,84$$

$$Z = \frac{0,40 - 0,52}{0,0047} = -25,53 < -0,84$$

$$Z = \frac{0,49 - 0,52}{0,0054} = -5,55 < -0,84$$

24. 17,18,19 ve 20 no.'lu işlemler 15 ve 16 no' lu istasyona atanırlar. ($T_{17}=0,27$

$t_{18}=0,36$ $t_{19}=0,27$ $t_{20}=0,11$ $T_{15-16}=1,01$)

$$\sigma_{ist} = \sqrt{\sigma_{17}^2 + \sigma_{18}^2 + \sigma_{19}^2 + \sigma_{20}^2}$$
$$= \sqrt{(0,0031)^2 + (0,0042)^2 + (0,0031)^2 + (0,0012)^2} = 0,00618$$

$$Z = \frac{1,01 - 1,04}{0,00618} = -4,84 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

25. 39 ve 40 no.'lu işlemler 10. istasyona atanmışlardır. İş akışına göre ve çevrim içi süresinin doldurmak amaçlı 39, 40, 21 ve 22 no.'lu işlemler istasyona atanırlar. ($t_{39}=0,11$ $t_{40}=0,04$ $t_{21}=0,20$ $t_{22}=0,15$ $T_{10}=0,50$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{39}^2 + \sigma_{40}^2 + \sigma_{21}^2 + \sigma_{22}^2}$$

$$= \sqrt{(0,0012)^2 + (0,0005)^2 + (0,0023)^2 + (0,0016)^2} = 0,00308$$

$$Z = \frac{0,50 - 0,52}{0,00308} = -6,49 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

26. 41 ve 42 no.'lu işlemler 17 no' lu istasyona atanırlar. ($t_{41}=0,33$ $t_{42}=0,18$ $T_{17}=0,51$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{41}^2 + \sigma_{42}^2} = \sqrt{(0,0035)^2 + (0,002)^2} = 0,00403$$

$$Z = \frac{0,51 - 0,52}{0,00403} = -2,48 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

27. 43 ve 44 no.'lu işlemler 18 ve 19 no' lu istasyonlara atanırlar. ($t_{43}=0,45$ $t_{44}=0,40$ $T_{18}=0,45$ $T_{19}=0,40$)

$$Z = \frac{0,45 - 0,52}{0,0051} = -13,72 < -0,84$$

$$Z = \frac{0,40 - 0,52}{0,0047} = -25,53 < -0,84$$

28. 45 no.'lu işlem 20 no' lu istasyona atanır. Ancak tek başına çevrim içi süresi dolduramamaktadır. ($t_{45}=0,18$ $T_{20}=0,18$) 45 no.'lu işlemin P matrisine bakıldığında atama işlemlerinin yapılabilmesi için 44 ve 38 no.'lu işlemlerin yapılması gereklidir. Bu yüzden 38 no.'lu işlemin P matrisi 0 ile başlayan 35 no.'lu işleme gidilerek yeni istasyon açılır.

29. 35, 36, 37 ve 38 no.'lu işlemler 21 no' lu istasyona atanırlar. ($t_{35}=0,15$
 $t_{36}=0,12$ $t_{37}=0,07$ $t_{38}=0,16$ $T_{21}=0,50$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{35}^2 + \sigma_{36}^2 + \sigma_{37}^2 + \sigma_{38}^2}$$

$$= \sqrt{(0,0016)^2 + (0,0015)^2 + (0,0008)^2 + (0,0019)^2} = 0,00301$$

$$Z = \frac{0,50 - 0,52}{0,00301} = -6,64 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

30. 44 ve 38 no' lu işlemlerin atanması bittikten sonra 20 no' lu istasyona atamalar devam eder. 45 ve 46 no' lu işlemler 20 no' lu istasyona atanır. ($t_{45}=0,18$ $t_{46}=0,32$ $T_{20}=0,50$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{45}^2 + \sigma_{46}^2} = \sqrt{(0,002)^2 + (0,0038)^2} = 0,00429$$

$$Z = \frac{0,50 - 0,52}{0,00429} = -4,65 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

31. 47, 48, 49, 50 ve 51 no.'lu işlemler 22, 23, 24, 25 ve 26 no' lu istasyonlara atanırlar. ($t_{47}=0,34$ $t_{48}=0,35$ $t_{49}=0,40$ $t_{50}=0,30$ $t_{51}=0,37$ $T_{22}=0,34$ $T_{23}=0,35$
 $T_{24}=0,40$ $T_{25}=0,30$ $T_{26}=0,37$)

$$Z = \frac{0,34 - 0,52}{0,0039} = -46,15 < -0,84$$

$$Z = \frac{0,35 - 0,52}{0,0039} = -43,59 < -0,84$$

$$Z = \frac{0,40 - 0,52}{0,0047} = -25,53 < -0,84$$

$$Z = \frac{0,30 - 0,52}{0,0035} = -62,85 < -0,84$$

$$Z = \frac{0,37 - 0,52}{0,0043} = -34,88 < -0,84$$

- 32.** 53 no.'lu işlemin yapılabilmesi için, 52 no.'lu işlemin atamasının yapılması gereklidir. 52, 53 ve 54 no.'lu işlemler 27 no' lu istasyonlara atanırlar. ($t_{52}=0,07$ $t_{53}=0,24$ $t_{54}=0,20$ $T_{27}=0,51$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{52}^2 + \sigma_{53}^2 + \sigma_{54}^2} = \sqrt{(0,0008)^2 + (0,0028)^2 + (0,0023)^2} = 0,00371$$

$$Z = \frac{0,31 - 0,52}{0,00371} = -56,6 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

- 33.** Ek ve 55 no.'lu işlemler, 28 no' lu istasyonlara atanırlar. ($t_{EK}=0,15$ $t_{55}=0,26$ $T_{28}=0,41$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{EK}^2 + \sigma_{55}^2} = \sqrt{(0,0016)^2 + (0,0031)^2} = 0,00348$$

$$Z = \frac{0,41 - 0,52}{0,00348} = -31,61 < -0,84$$

$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

- 34.** 56 ve 57 no.'lu işlemler, 29 no' lu istasyonlara atanırlar. ($t_{56}=0,16$ $t_{57}=0,09$ $T_{29}=0,25$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{56}^2 + \sigma_{57}^2} = \sqrt{(0,0019)^2 + (0,0008)^2} = 0,00206$$

$$Z = \frac{0,25 - 0,52}{0,00206} = -131,06 < -0,84$$

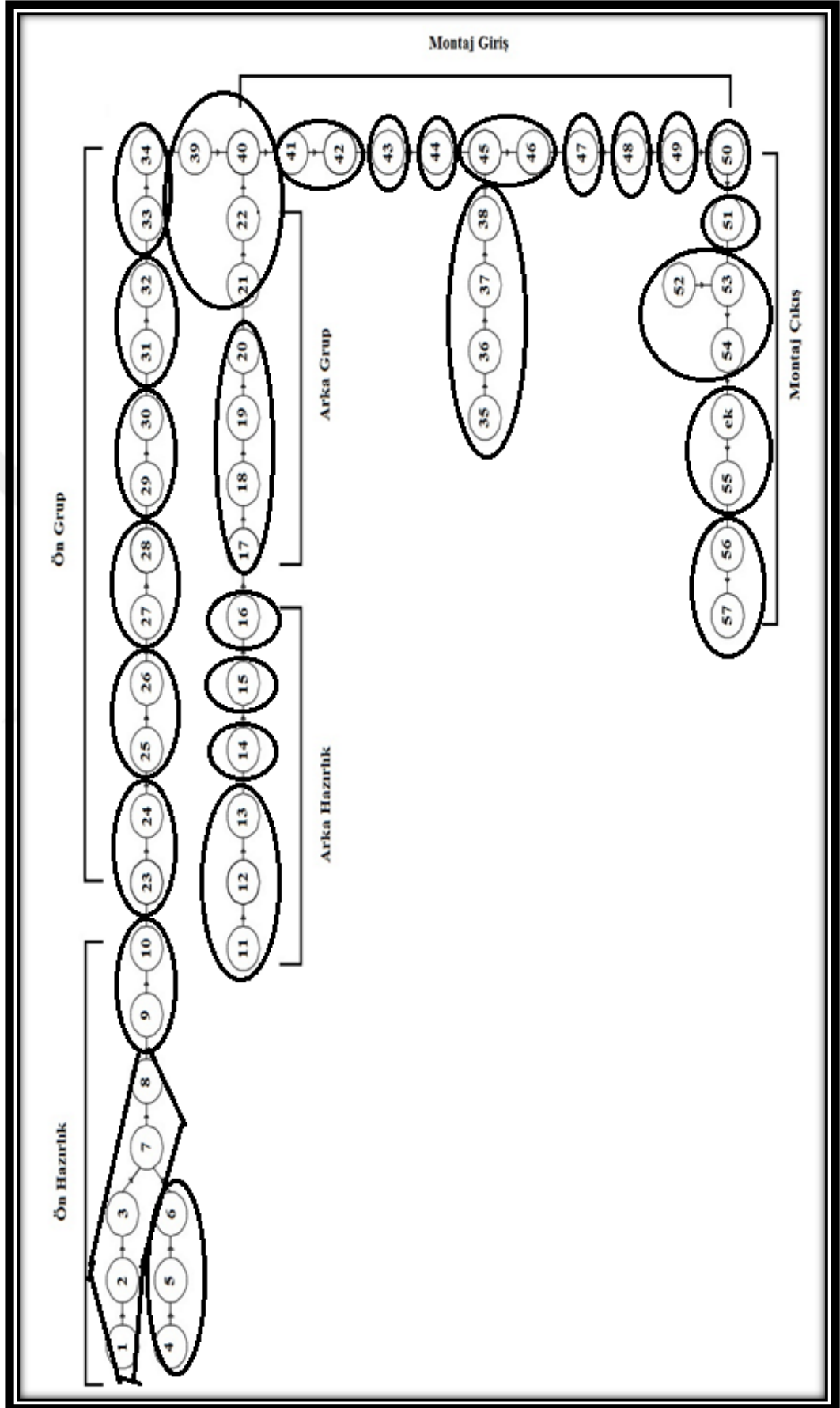
$P(T>C) \approx 0 < 0,2$ (Atama yapılabilir.)

Birinci model için yapılan Probabilistik Hat Dengeleme sonucunda 29 istasyonda hat dengelenmiştir. Aynı zamanda toplam boş süre 2,34 dk. Olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki işlemler sonucunda istasyonlara atanan görevleri ve istasyon boş süreleri Tablo 5.6'da gösterilmektedir. Aynı zamanda Şekil 5.4'te atanan istasyonların öncülük diyagramı üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Birinci Model için Probabilistik Hat Dengeleme Sonuçları.

İstasyon No (k)	Görev No (i)	t_i	T_k	Boş Süre
1	1	0,06	0,49	0,03
	2	0,11		
	3	0,09		
	7	0,06		
	8	0,17		
2	4	0,09	0,47	0,05
	5	0,26		
	6	0,12		
3	9	0,23	0,5	0,02
	10	0,27		
4	23	0,25	0,43	0,09
	24	0,18		
5	25	0,2	0,5	0,02
	26	0,3		
6	27	0,32	0,51	0,01
	28	0,19		
7	29	0,2	0,47	0,05
	30	0,27		
8	31	0,25	0,41	0,11
	32	0,16		
9	33	0,29	0,51	0,01
	34	0,22		
10	39	0,11	0,5	0,02
	40	0,04		
	21	0,2		
	22	0,15		
11	11	0,15	0,31	0,21
	12	0,06		
	13	0,1		
12	14	0,45	0,45	0,07
13	15	0,4	0,4	0,12
14	16	0,49	0,49	0,03
15_16	17	0,27	1,01	0,03
	18	0,36		
	19	0,27		
	20	0,11		
17	41	0,33	0,51	0,01
	42	0,18		
18	43	0,45	0,45	0,07
19	44	0,4	0,4	0,12
20	45	0,18	0,5	0,02
	46	0,32		
21	35	0,15	0,5	0,02
	36	0,12		
	37	0,07		
	38	0,16		
22	47	0,34	0,34	0,18
23	48	0,35	0,35	0,17
24	49	0,4	0,4	0,12
25	50	0,3	0,3	0,22
26	51	0,37	0,37	0,15
27	52	0,07	0,51	0,01
	53	0,24		
	54	0,2		
28	Ek	0,15	0,41	0,11
	55	0,26		
29	56	0,16	0,25	0,27
	57	0,09		

Şekil 5.4. Birinci Modele Atanan İstasyonların Diyagramda Gösterimi



Birinci modelin denge kaybı ve hat etkinliği aşağıdaki gibidir. Denge kaybının az, hat etkinliğinin ise büyük oranlarda çıkması MHD’de istenilen bir durumdur.

$$D (\%) = \frac{[(n \times C) - \sum ES_i]}{n \times C} \times 100 = \frac{[(29 \times 0,52) - 12,74]}{29 \times 0,52} = \% 15,5$$

$$HE(\%) = \frac{\sum ES_i}{n \times C} \times 100 = \frac{12,74}{29 * 0,52} \times 100 = \% 84,5$$

Birinci Kot Modeli için yapılan Probabilistik Hat Dengeleme sonucunda 29 istasyonda hat dengelenmiş ve istasyonlardaki toplam boş süre 2,34 dk. olarak bulunmuştur. Denge kaybı %15,5 ve hat etkinliği %84,5 olarak hesaplanmıştır.

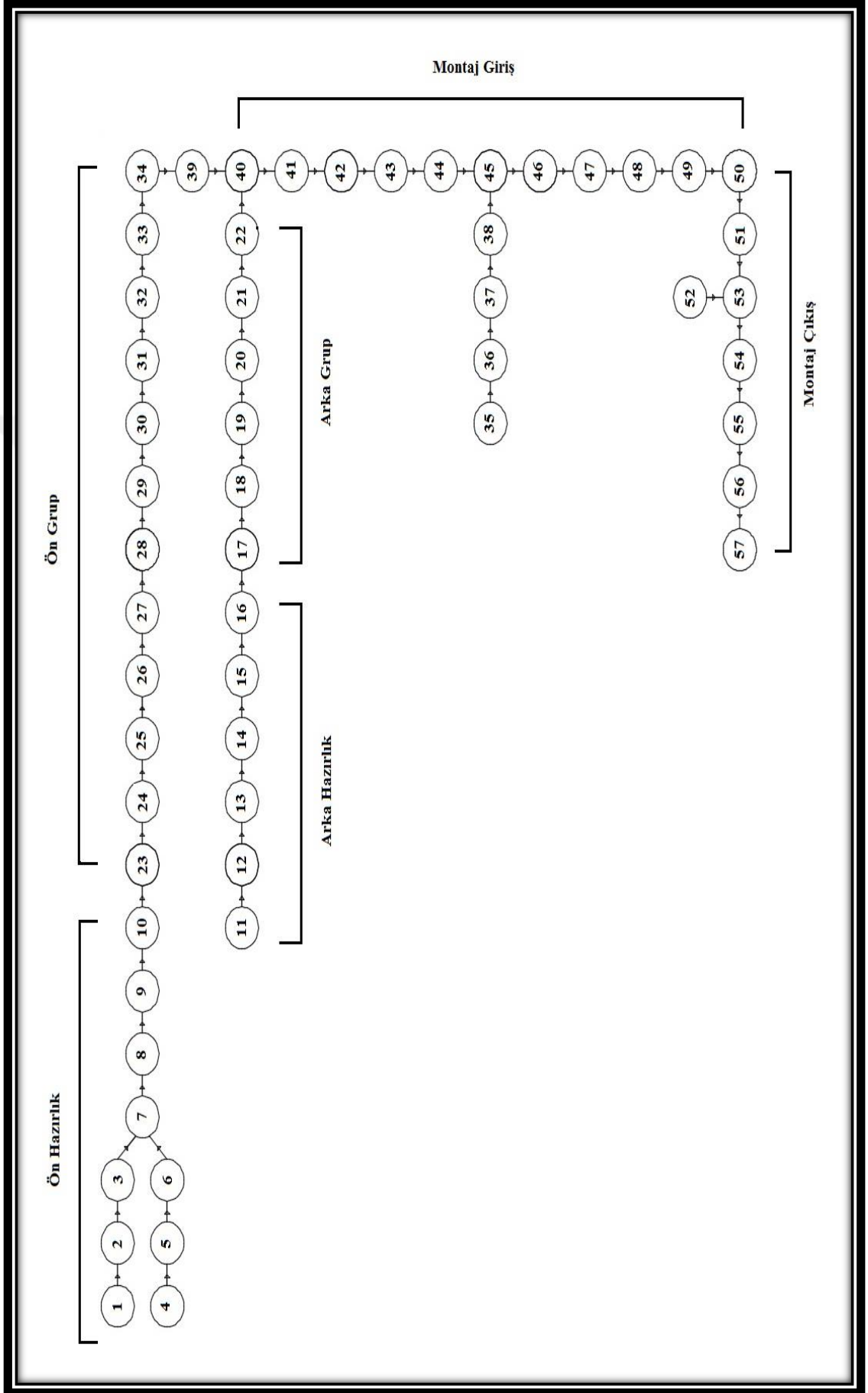
Uygulama yapılan firmada mevcut modelde eklenme yapılmadığında 5 cepli modeller için firmada denge kaybı %14,6 ve hat etkinliği %85,4’tür. Firmanın güncel sıralaması ile ek işleme sahip olan birinci modelin probabilistik hat dengeleme sonuçları kıyaslandığında, hat etkinliğinin %1 oranda güncel hat sıralamasına göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu da hat dengelenme işleminde hattı yeniden dengelememize rağmen ek işlemin hattın dengesini büyük oranda bozduğunu göstermektedir.

5.2.3. İkinci Kot Modeli için Probabilistik Hat Dengeleme

YSA ile yapılan tahminleme çalışmasından sonra İkinci Model için ağ, yan ve pens sağlamlaştırma çalışması için ekleme yapılmamaya karar verilmiştir.

İkinci Modele ilişkin teknolojik öncelik diyagramı Şekil 5.5’te verilmiştir. Şekil 5.5’ten yararlanılarak F ve P matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu matrisler ve görev numaraları, yapılan operasyonlar, standart görev süreleri, standart sapma değerleri Tablo 5.7’de verilmiştir.

Şekil 5.5. İkinci Kot Modeli için Öncelik Diyagramı



Tablo 5.7. İkinci Kot Modeli için Probabilistik Hat Dengelemede Verileri

Görev No	OPERASYON	Süre (dk.)	Standart Sapma	P Matrisi	F Matrisi
1	Açık patlet overloğu	0,06	0,0085	0 0 0	2 0 0
2	Kapalı patlet overlok(+tulüm-çevirme)	0,11	0,0156	1 0 0	3 0 0
3	Ön ağ overlok(x1)	0,09	0,013	2 0 0	7 0 0
4	Saat cep ağzı kıvrırma +Toplama	0,09	0,013	0 0 0	5 0 0
5	Saat cep takma	0,26	0,0371	4 0 0	6 0 0
6	Saat Cep Punteriz	0,12	0,0171	5 0 0	7 0 0
7	Karşılık regüle	0,06	0,0085	3 6 0	8 0 0
8	Karşılık astar montaj (x2)	0,17	0,0241	7 0 0	9 0 0
9	Cep torbası kapama (x2)	0,23	0,0126	8 0 0	10 0 0
10	Cep torbası gaze+çevirme (x2)	0,27	0,0145	9 0 0	23 0 0
11	Arka cep ağzı kıvrırma-Aparalı (x2)	0,15	0,0016	0 0 0	12 0 0
12	Arka cep ağzı kıvrırma Toplama (x2)	0,06	0,0007	11 0 0	13 0 0
13	Arka Cep Ağzı kıvrırma	0,10	0,0012	12 0 0	14 0 0
14	Arka cep takma (x2)	0,45	0,0051	13 0 0	15 0 0
15	Arka Cep Ütü	0,40	0,0047	14 0 0	16 0 0
16	Arka cep takma (x2)	0,49	0,0054	15 0 0	17 0 0
17	Conta takma (x2)	0,27	0,0031	16 0 0	18 0 0
18	Arka panel overlok (x2)	0,36	0,0042	17 0 0	19 0 0
19	Arka panel overlok (x2)	0,27	0,0031	18 0 0	20 0 0
20	Conta Regüle (x2)	0,11	0,0012	19 0 0	21 0 0
21	Arka orta çatma	0,20	0,0023	20 0 0	22 0 0
22	Arka regula	0,15	0,0016	21 0 0	40 0 0
23	Açık Patlet takma+çıma	0,25	0,0028	10 0 0	24 0 0
24	Açık patlete fermuar takma	0,18	0,002	23 0 0	25 0 0
25	Patlet üstü baskı dikiş	0,20	0,0023	24 0 0	26 0 0
26	Ön cep ağzı biye (x2)	0,30	0,0035	25 0 0	27 0 0
27	Ön cep karşılık tutturma (x2)	0,32	0,0038	26 0 0	28 0 0
28	Yıkama talimatı takma-Rafyalı	0,19	0,0019	27 0 0	29 0 0
29	Kapalı patlet takma+uç tutturma	0,20	0,0023	28 0 0	30 0 0
30	Ön birleştirme	0,27	0,0031	29 0 0	31 0 0
31	Ön alt bağlama	0,25	0,0028	30 0 0	32 0 0
32	Ön punteriz(x2)	0,16	0,0019	31 0 0	33 0 0
33	Ön panel overlok (x2)	0,29	0,0031	32 0 0	34 0 0
34	Ön panel overlok (x2)	0,22	0,0027	33 0 0	39 0 0
35	Kemer hazırlık-çift kemer ekleme	0,15	0,0016	0 0 0	36 0 0
36	Kemer tela (x2)- (Toplamasız)	0,12	0,0015	35 0 0	37 0 0
37	Kemer tela toplama	0,07	0,0008	36 0 0	38 0 0
38	Kemer çizim (Toplamalı)	0,16	0,0019	37 0 0	45 0 0
39	Ön patlet regula	0,11	0,0012	34 0 0	40 0 0
40	Ön ve Arka Panel Eşleme	0,04	0,0005	22 39 0	41 0 0
41	Bacak arası çatma	0,33	0,0035	40 0 0	42 0 0
42	Panel çevirme+kemer koyma	0,18	0,002	41 0 0	43 0 0
43	Yan çatma	0,45	0,0051	42 0 0	44 0 0
44	Yan çıma (emniyet dikişi ile)	0,40	0,0047	43 0 0	45 0 0
45	Kemer Büzgü Dikişi	0,18	0,002	44 38 0	46 0 0
46	Kemer takma (çift kemer)	0,32	0,0038	45 0 0	47 0 0
47	Kemer Uç-İç Temizlik	0,34	0,0039	46 0 0	48 0 0
48	Kemer ucu yapma-alt	0,35	0,0039	47 0 0	49 0 0
49	Kemer ucu yapma-üst	0,40	0,0047	48 0 0	50 0 0
50	Yan Açma ütü+ters düz	0,30	0,0035	49 0 0	51 0 0
51	Paça kıvrırma	0,37	0,0043	50 0 0	53 0 0
52	Köprü hazırlık	0,07	0,0008	0 0 0	53 0 0
53	Köprü takma	0,24	0,0028	52 0 0	54 0 0
54	Yan çıma punteriz (x2)	0,20	0,0023	53 0 0	55 0 0
55	Kalite Kontrol	0,26	0,0031	54 0 0	56 0 0
56	Meto temizleme	0,16	0,0019	55 0 0	57 0 0
57	İlik açma	0,09	0,0008	56 0 0	0 0 0
TOPLAM		12,59			

Tablo 5.6 ve 5.7'den de anlaşıldığı gibi her iki modelde klasik 5 cepli model olduğundan ortak görev süreleri ve ortak zaman etüdü çalışmalarının sonuçları kullanılmıştır. Aralarındaki tek fark YSA işlemi sonucunda sisteme dahil edilip edilmeyeceğine karar verilen ek numaralı görevdir.

İkinci model için de günlük 1053 adet üretilmesi planlanmıştır. Bu duruma göre çevrim süresi ve minimum istasyon süresi aşağıdaki gibidir:

$$C = 540 / 1053 = 0,5128 \approx 0,52 \text{ dk.}$$

$$n_{\text{enk}} = [\sum t_i / C] = 12,59 / 0,52 = 24,21 \approx 25$$

$$n_{\text{enk}} = \text{Minimum istasyon sayısı}$$

Birinci ve İkinci Kot Modelleri için yapılan Hat dengeleme hesaplanmaları algoritmik olarak yukarıda açıklanan sonuçlarında 32. İşlem dahil aynı sonuçlar vermektedir. Bir başka deyişle 27. İstasyona yapılan 52,53 ve 54 numaralı görev atamaları dahil önceki istasyonlara yapılan görev atamalarıyla aynıdır. Bu nedenle aşağıda farklılığın başladığı 28 numaralı istasyondan itibaren atamaya devam edilecektir.

1. 55,56 ve 57 no.'lu işlemler, 28 no' lu istasyonlara atanırlar. ($t_{55}=0,26$
 $t_{56}=0,16$ $t_{57}=0,09$ $T_{28}=0,51$)

$$\sigma_{\text{ist}} = \sqrt{\sigma_{55}^2 + \sigma_{56}^2 + \sigma_{57}^2} = \sqrt{(0,0031)^2 + (0,0019)^2 + (0,0008)^2} = 0,00372$$

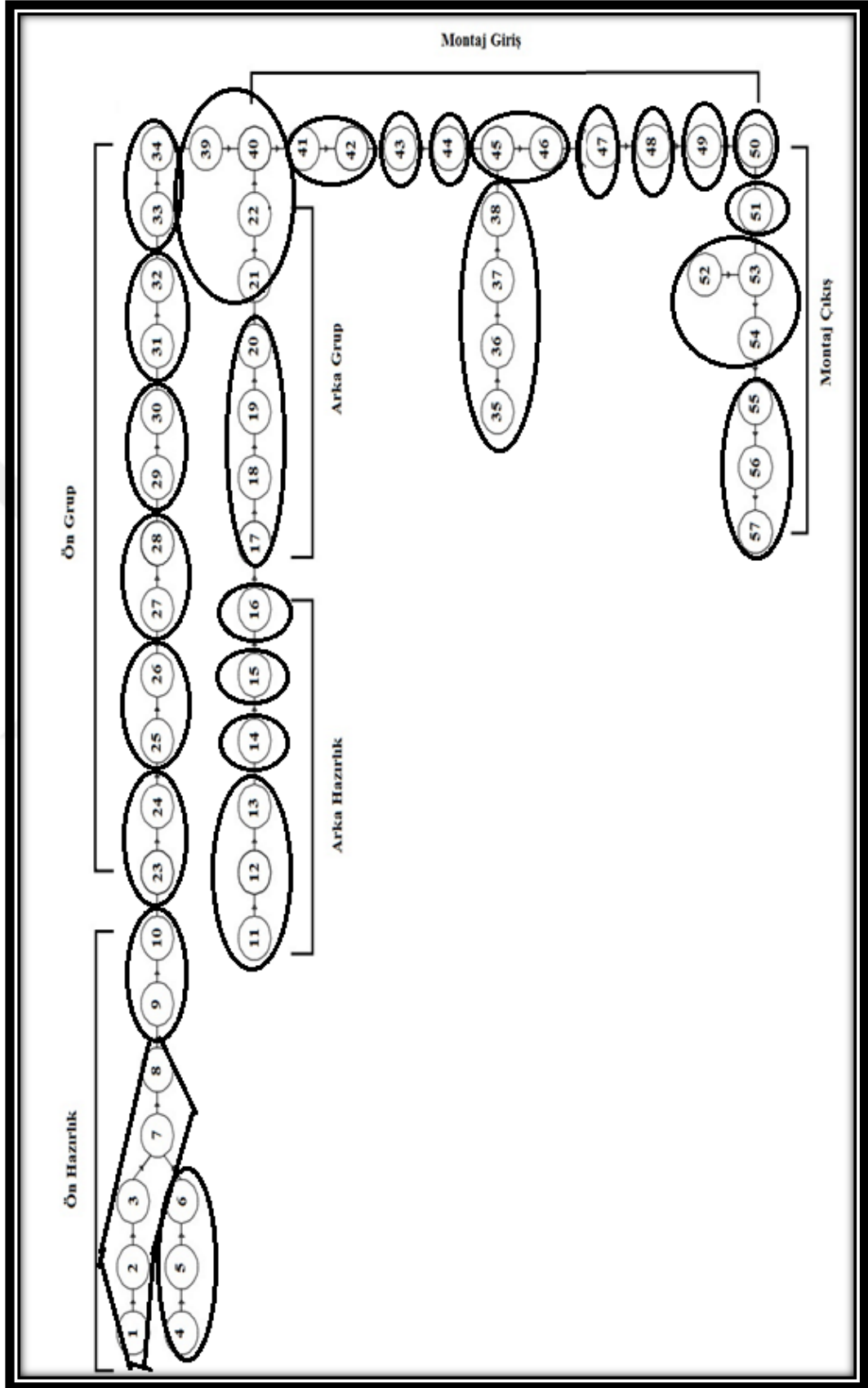
$$Z = \frac{0,51 - 0,52}{0,00372} = -2,68 < -0,84$$

İkinci model için yapılan Probabilistik Hat Dengeleme sonucunda 28 istasyonda hat dengelenmiştir. Aynı zamanda toplam boş süre 1,97 dk. Olarak hesaplanmıştır. İkinci model için yapılan hat dengeleme sonuçları Tablo 5.8'de ve istasyonların öncelik diyagramında gösterilmesi de Şekil 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.8. İkinci Model İçin Probabilistik Hat Dengeleme Sonuçları

İstasyon No (k)	Görev No (i)	t_i	T_k	Boş Süre
1	1	0,06	0,49	0,03
	2	0,11		
	3	0,09		
	7	0,06		
	8	0,17		
2	4	0,09	0,47	0,05
	5	0,26		
	6	0,12		
3	9	0,23	0,5	0,02
	10	0,27		
4	23	0,25	0,43	0,09
	24	0,18		
5	25	0,2	0,5	0,02
	26	0,3		
6	27	0,32	0,51	0,01
	28	0,19		
7	29	0,2	0,47	0,05
	30	0,27		
8	31	0,25	0,41	0,11
	32	0,16		
9	33	0,29	0,51	0,01
	34	0,22		
10	39	0,11	0,5	0,02
	40	0,04		
	21	0,2		
	22	0,15		
11	11	0,15	0,31	0,21
	12	0,06		
	13	0,1		
12	14	0,45	0,45	0,07
13	15	0,4	0,4	0,12
14	16	0,49	0,49	0,03
15_16	17	0,27	1,01	0,03
	18	0,36		
	19	0,27		
	20	0,11		
17	41	0,33	0,51	0,01
	42	0,18		
18	43	0,45	0,45	0,07
19	44	0,4	0,4	0,12
20	45	0,18	0,5	0,02
	46	0,32		
21	35	0,15	0,5	0,02
	36	0,12		
	37	0,07		
	38	0,16		
22	47	0,34	0,34	0,18
23	48	0,35	0,35	0,17
24	49	0,4	0,4	0,12
25	50	0,3	0,3	0,22
26	51	0,37	0,37	0,15
27	52	0,07	0,51	0,01
	53	0,24		
	54	0,2		
28	55	0,26	0,51	0,01
	56	0,16		
	57	0,09		

Şekil 5.6. İkinci Modele Atanan İstasyonların Diyagramda Gösterimi



İkinci modelin denge kaybı ve hat etkinliği aşağıdaki gibidir.

$$D (\%) = \frac{[(n \times C) - \sum ES_i]}{n \times C} \times 100 = \frac{[(28 \times 0,52) - 12,59]}{28 \times 0,52} = \% 13,5$$

$$HE(\%) = \frac{\sum ES_i}{n \times C} \times 100 = \frac{12,59}{28 * 0,52} \times 100 = \% 86,5$$

İkinci Kot modeli için yapılan Probabilistik Hat Dengeleme sonucunda ise, hat 28 istasyonda dengelenmiş ve toplam boş süre 1,97 dk. olarak bulunmuştur. Denge kaybı %13,5 ve hat etkinliği %86,5 olarak hesaplanmıştır.

Birinci ve ikinci modellerin hat dengeleme sonuçları karşılaştırıldığında dikim hattına ek işlem yapılma durumu açık bir şekilde hattın dengesini bozduğu görülmektedir. Ancak uygulama yapılan firmanın şu an mevcut 5 cepli modelleri için kullanılan sıralamamanın sonuçlarından daha iyi bir performans elde edilmiştir. Mevcut modelde eklenme yapılmayan durum için firmada denge kaybı %14,6 ve hat etkinliği %85,4'tür. Firmanın güncel sıralama ile ikinci modelin probabilistik hat dengeleme sonuçları kıyaslandığında, yapılan çalışmada hat etkinliğinin %1,1 oranda güncel hat sıralamasına göre daha iyi durumda olduğunu göstermektedir. Bu da hat dengeleme işleminin başarılı olduğunu göstermektedir.

6. BÖLÜM

SONUÇLAR

6.1. Değerlendirmeler

Yapılan bu çalışmada montaj hattı sistemlerinin üretimdeki hata çözümlenmelerini YSA ile yaptıktan sonra, montaj hattının dengelenme sorununun çözümü konusu ele alınmıştır. Bu nedenle YSA ve MHD işlemlerinin sonuçlarının değerlendirilmesi ilk olarak ayrı ayrı yapılmıştır.

YSA ile uygulamada Son İşlem montaj hattında bulunan Robot otomatlardaki hata oranı tahmin edilmiştir. Tahminleme işlemi, gelecekte neyin nasıl olacağını önceden öngörülmesi olup kesinliği olmayan süreçlerdir. Ancak neredeyse tüm yönetimsel ve üretimsel kararlar, planlamalar ileriye yönelik tahminlere (öngörülere) dayanır. Bu yüzden ki özellikle üretim yapan firmalar için gelecekteki belirsiz durumların tahmini daha kaliteli, işlevi ve getirisi daha yüksek ürün üretmesine olanak sunmaktadır. Geçmişte üretilmiş ürünlerin verileri yardımıyla yeni üretilecek ürünlerin hatalarının önceden tahmin edilmesi, üretime önceden müdahale etmeyi kolaylaştırmaktadır. Uygulamada sözü edilen firmada YSA ile hata oranının tahmin edilmesi sonucunda, hata oranı yüksek veya az olmasına göre de ürünlere önceden müdahale edilip edilmeyeceğine de karar verilmektedir. Bu durumda kısmi bir Pareto analizi gibi düşünülerek hatası yüksek olan ürünlerin 2. kaliteye düşmesi engellenmektedir. Bu işletmede ağ, yan ve pens kısımlarında dayanıklılığı ve kalitesi daha yüksek olan ipliklerin kullanılması, fiyat bakımından yüksek ve tedarik edilmesinin uzun zaman alması gibi nedenlerle olması her ürüne uygulanamamaktadır. Bu nedenle hata oranı yüksek olan ürüne yönelerek süreçleri iyileştirmek daha fazla ürünün 1. kalite olarak üretilmesini sağlayacaktır.

Uygulamanın yapıldığı işletmede problemin çözümünde bir tahmin aracı olarak ÇKA modeli kullanılmıştır. ÇKA modeli Matlab programında yazılmış ve nntools (Matlab YSA uygulaması) tercih edilmemiştir. Tercih edilmemesinin en önemli nedeni sıralayacak olursak sisteme yüklenecek veri giriş ve çıkışında normalizasyon işleminin program dışında yapılması zorunluluğu verilerin esnekliğini yitirmesine ve ağır çıkışındaki verilerin tekrar manuel olarak hesaplanması durumuna yol açmaktadır. Bunu önlemek amacıyla mapminmax komutu verilerin Matlab ortamında normalize edilmesi sağlanmış ve reverse komutu ile çıkıştaki verilerin denormalize edilmesi sağlanmıştır. Bu yaklaşım, aynı zamanda sürekli kullanımlarda daha pratik ve kullanışlı olarak değerlendirilmiştir. Matlab ortamında yazılan kodlar, Nntools uygulamasına oranla daha esnek ve ayarlanabilir.

İşletmeden alınan verilere göre ÇKA modeli kurulmuş ve model eğitildikten sonra sonuçları test edilerek en uygun model belirlenmiştir. En iyi modeli belirlemede hata performansı olarak R, R² ve MAPE ölçütleri kullanılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda en büyük R değeri 0,9451 ve R² değeri 0,8933 olarak bulunmuştur. En küçük MAPE değeri de 0,0367'dir. Bu değerlere sahip olan satır 6 olduğundan gizli nöron sayısı 6 kabul edilmiştir. Dolayısıyla en uygun model 14-6-1 ağ yapılı modeldir.

Modelden elde edilen R değerinin 0,9451 olması, çalışmanın da %94,51'lik bir doğruluk oranı ile başarılı tahmin yapabileceğini gösterir. Bu da iyi tahmin sonuçları ürettiğinin göstergesidir. Sisteme eğitim için verilmeyen test için saklanan veri kümeleri üzerinde yapılan sonuçlarda gerçek ile tahmin verileri kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama Tablo 5.3'te verilmiştir. Bu kıyaslama incelendiğinde ise başarılı bir şekilde tahminleme yapıldığı açıkça görülmektedir.

Çalışmada görüldüğü üzere yapay sinir ağ modelleri bir araç olarak kullanıldığında firmalar müşteri siparişini üretmeden önce ürün özelliklerini, hatalı ürün sayılarını tahmin edebilir ve bu sayede alınan birtakım önlemler ile doğru kararlar alarak kaynakların doğru yere yönlendirilmesini, üretimin daha az fire oranlı, kaliteli ve katma değeri yüksek olmasını, üretim için gerekli olan hammaddelerin önceden tedarikini belirleyebilir. Böylece firma hem üretimden

kaynaklanan hata maliyetlerini, hatayı düzeltme amaçlı yapılan tamir çalışmasından ve hem de stok maliyetlerini düşürüp daha çok kazanç sağlayabilir. Sonuç olarak YSA ile yapılan bu çalışma robot otomatlardaki hata oranını tahmin edip ortaya çıkan hata oranını azaltmak için bir çalışma yapıp yapılmayacağına karar verilmesini sağlamaktadır. Bu durumda işletmede hata oranı yüksek olan modellere yoğunlaşılmasını ve otomatlarda oluşması beklenen hataların kaynağında oluşmasının engellenebilmesini sağlamaktadır. Hataların giderilmesi üretim verimliliğinin, kalitesinin artmasına, tamir için harcanan sürenin azalmasına ve daha fazla kazanç elde edilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla da firma müşterilerine daha kaliteli ürün sunarak müşteri tatminini arttırır.

Yapılan uygulamada ise YSA ile tahminleme işlemi sayesinde, hatalı ürün ihtimali yüksek olan ürünler önceden tahmin edilip, ürünlerde hata ile karşılaşılmadan yerinde müdahale edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu müdahale sonrası da tamire gönderimler azalacak ve daha az 2. Kalite ya da işlevsiz ürün ortaya çıkaracaktır. Aynı zamanda tamir işlemi üretimin ve üretim planlamanın düzgün yapılamamasına, gecikmelere ve dikim hattında ürün yığılmalarına neden olmaktadır. Kısacası planlanan hat dengesini bozmakta var olan ve üretimin istenilen şekilde ilerleyememesine neden olmaktadır. Aslında uygulamada YSA ile hata tahmini sonrası dikim hattında ekstra bir dikim işlemi eklenmesi, dikim hattına gönderilen tamir işlemini azaltmaktadır. Böylelikle, dikim hattındaki üretimin düzgün işlenmesine, yığılmaların azalmasına ve zamanın da düzgün kullanılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda tamir işlemi sonrası ürünler 2. Kalite veya işlevsiz (çöp) ürünler oluşmaktadır. İkinci Kalite ürünlerin normal satış fiyatının altına satılması elde edilecek gelirin azalmasına neden olmaktadır. Örnek verecek olursak, uygulamada bahsedilen firmanın 2017-2018 yılları hedefi 4,800,000 adet kot üretmektir. 2015-2016 ve 2016-2017 yılları arasında hatalı ürün üretme oranı sırasıyla %20,43 ve %19,89'dir. 2017-2018 yılları arasında %20 oranında hatalı ürün ürettiği varsayılırsa 960.000 adet ürün 2. Kalite ve İşlevsiz (çöp) durumda olacaktır. Aynı Şekilde 2015-2016 ve 2016-2017 yılları arasında tamire giden ürünlerin işlevsiz (çöp) olma oranı sırasıyla %20,01 ve %19,88'dir. 2018 yılları arasında %20 oranında tamire giden ürünlerin işlevsiz (çöp) olduğu kabul edilirse 192,000 adet ürün işlevsiz (çöp)

durumda olacak ve 768,000 adet 2. Kalite ürün olarak satılımlı sağlanacaktır. Bir kotun firma tarafından satış fiyatı 9-13 EURO arasındaki fiyatlarda ihracat edilmektedir. İkinci Kalite ürünlerinde normal fiyatına göre satış fiyatı düşmekte ve bir kot 5-7 EURO arasındaki fiyatlarda ihracat edilmektedir. Ortalama olarak 1.Kalite kotun 10,50 EURO' ya, 2. Kalitenin ise 6 EURO satıldığını kabul edersek, bahsi geçilen yıllar arasında 10,080,000 EURO ederi olan kotların, 4,608,000 EURO olarak satılımlı gerçekleşecek ve Çöp durumunda olan kotlardan bir getirisinin olmaması dışında işçilik, malzeme ve stoklama gibi durumlardan zarar edilecektir. 2015-2016 ve 2016-2017 yılları arasında çöp durumundaki bir kottan 2-4 EURO arasında zarar edilmektedir. Ortalama olarak 3 EURO kabul edilirse, 576,000 EURO zarar edilecektir. Bu durumda hatalı ürünlerin satılmasından 4,896,000 EURO gelir elde edilmektedir ve hatalı ürün üretimi yüzünden 5,184,000 EURO kayıp yaşanacaktır. Problemin tanıtılmasında da belirtildiği gibi oluşan hataların hangi işlemlerde olduğu tespit etmek amaçlı 1 aylık süre içerisinde üretilen 450.000 adetlik ürün dikkate alınarak araştırma yapılmış ve araştırma sonucunda 85.550 adet hatalı ürün gözlemlenmiştir. Toplam hatalı ürünlerin de 70.964 adetinin Son İşlemler hattında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Araştırma sonucunda Son İşlemler hattında, spreyleme ve zımparalama işlemlerindeki robot otomatlarda 59.902 adet, lazerleme işleminde 10.347 adet ve rivet, düğme kırılması ve/veya kopması gibi basit hatalarında 715 adet olduğu gözlemlenmiştir. Robot otomatlardaki oluşan hata sayısını, meydana gelen toplam hatalara oranlandığında %70,02 oranındaki hataların robot otomatlarda olduğu gözükmektedir. Buradan yola çıkıldığında 672,000 adet robot otomatlarda hata meydana gelecektir. Ağ, yan ve pens işlemi yapılan ürünlerde hata oranının %2'lere düşürdüğü gözlemlenmiştir. Buda yıllık 658,560 adet ürünün 2. Kalite veya Çöp durumuna düşmesini engelleyecektir. Ancak 2. Kaliteye ya da Çöp ürün adeti tahmin edilemediğinden Maksimum kazancın 4,019,520 EURO olduğu, Minimum kazancın ise 2,963,520 EURO olduğu bulunmaktadır. Kısacası ortalama bir değerde hataların giderildiği düşünülürse yıllık 3,500,000 EURO daha fazla kazanç elde edilmesi öngörülmektedir.

YSA ile hata tahmini işleminden sonra hataları gidermek amacıyla ağ, yan ve pens kısmında normalde kullanılan ipliklerden daha dayanıklı ve esnek olan özel ipliklerle bölgesel dikim işlemleri uygulanması, dikim hattında yeni bir düzenleme probleminin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ortaya çıkan bu problemi çözmek amacıyla MHD çalışması yapılarak iş süresinin dengeli kullanılması hedeflenmiştir.

Çağımızda çok modelli ve karışık modelli montaj hatları endüstride en çok karşılaşılan üretim tipilerinden biridir. Ürünlerin çeşitliliğinin genişlemesi ve üretim sürelerinin kısılması montaj hatlarında, kitlesel üretiminin yerini daha çok modelli hatlar almaya başlamıştır. Ancak ilerleyen yıllarda, Endüstri 4.0'ın etkisiyle akıllı üretim sistemlerinin yaygınlaşması ve bununla birlikte hız ve verimliliğin yüksek seviyede olması beklenmektedir. Bu durumda üretim hatlarında doğru iş gücü, zamanlama gibi dengelenme problemlerini ortaya çıkaracaktır.

MHD konusunda 1960'lı yıllardan beri çeşitli matematiksel ve sezgisel hat dengeleme yöntemleri geliştirilerek montaj hatları dengelenmeye çalışılmıştır. Tek ve çok modelli montaj hatları dengeleme konusunda yapılan çalışmalarda 0-1 tam sayılı programlama, dal-sınır yaklaşımı, dinamik programlama yöntemi, sezgisel yöntemler, paralel istasyon kullanımı, öncelik matrisi, teknolojik öncelik diyagramı, deterministik, stokastik ve probabilistik işlem süreli gibi, MHD yöntemleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada, çok modelli bir kot (denim) pantolon işletmesinde klasik 5 cepli model için dikim bölümü MHD'si yapılmıştır. Günlük üretim adeti ve çevrim süresi üretim planlamanın planlama verileri kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan YSA ile tahminleme işleminden sonra montaj hattına ekleme yapılıp yapılmayacağına karar verilmiştir. Ekleme yapılan birinci model ve ekleme yapılmayan ikinci model için ayrı ayrı hat dengeleme yapılmıştır. Seçilen iki modelin de klasik 5 cepli model olmasının en büyük nedeni ise eklenen işlemin hattı ne kadar etkileyebileceğini gözlemlemektir. Genel olarak ise hat dengeleme çalışmalarının yapılmasının amacı sabit bir çevrim süresi için, optimum işgücü ve makina kullanarak en yüksek hat etkinliğini elde etmektir. Uygulamada ise optimum iş gücü ve makine kullanımını sağlayabilmek için

Probabilistik Hat Dengeleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin tercih edilmesinin en büyük nedeni ise uygulama yapılan dikim hattında değişken iş gücünün ve çalışma süresinin olmasıdır. Çalışma şartlarının ergonomik durum, uzun süre çalışma ve eğitim gibi durumlardan etkilenecek farklı zamanlarda montaj yapılmasına yol açmaktadır. Probabilistik Hat Dengeleme Yöntemi de atama işlemlerinde bu durumları gözde alarak atama yapılmasını sağlamaktadır. Bu da özellikle uygulama çalışması yapılan Dikim Hatları için iyi sonuçlar elde edilmesine ve üretim planlamanın düzgün yapılmasına yol açmaktadır.

Uygulamanın ilk aşamasında her iki model (klasik 5 cepli) için dikiş işlemlerini, kullanılan makinaları ve görev sıralarını gösteren operasyon tabloları hazırlanmıştır. Klasik 5 cepli model üzerinde her bir işlem/görev için geçen süre üretim sırasında yapılan zaman etüdü çalışması ile belirlenmiştir. Bu süreye işçinin temposu, dinlenme, ihtiyaç ve geciktirme durum payları eklenmiş ve standart süreye ulaşılmıştır. Operasyon listeleri ve zaman etüdü tabloları hazırlandıktan sonra, iş öğelerinin öncelik ilişkilerini belirten teknolojik öncelik diyagramı hazırlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan ve elde edilen veriler baz alınarak Probabilistik Hat Dengeleme yöntemi ile MHD'si yapılmıştır.

Probabilistik Hat Dengeleme yönteminde görev süreleri (t_i), μ ortalama ve σ standart sapmalı olduklarından normal dağılıma uydukları da kabul edilir. Bu durum Stokastik durum olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda, teknolojik diyagramdan yararlanılarak P (Öncül öğeler) ve F (Artçıl öğeler) matrisleri oluşturularak işleme başlanır ve işlem sıralarına uyularak işlemler, istasyonlara atanır. Bu yöntem ile yapılan hat dengelemesi sonucunda birinci model olarak belirtilen modelde dikim hattına ek işlem eklenmiştir. İkinci modele ise ekleme işlemi yapılmamıştır. Birinci model için yapılan Probabilistik Hat Dengeleme sonucunda 29 istasyonda hat dengelenmiş ve istasyonlardaki toplam boş süre 2,34 dk. olarak bulunmuştur. Denge kaybı %15,5 ve hat etkinliği %84,5 olarak hesaplanmıştır. İkinci model için yapılan Probabilistik Hat Dengeleme sonucunda ise, hat 28 istasyonda dengelenmiş ve toplam boş süre 1,97 dk. olarak bulunmuştur. Denge kaybı %13,5 ve hat etkinliği %86,5 olarak hesaplanmıştır.

Birinci ve ikinci modellerin hat dengeleme sonuçları incelendiğinde dikim hattına ek işlem yapılma durumu açık bir şekilde hattın dengesini bozduğu görülmektedir. Ancak uygulama yapılan firmanın 5 cepli modelleri için uygulanan sıralamamanın sonuçlarından daha iyi bir performans elde edilmiştir. Mevcut modelde eklenme yapılmayan durum için firmada denge kaybı %14,6 ve hat etkinliği %85,4'tür. Firmanın güncel sıralama ile ikinci kot modelindeki probabilistik hat dengeleme sonuçları kıyaslandığında, yapılan çalışmada hat etkinliğinin %1,1 oranda güncel hat sıralamasına göre daha iyi durumda olduğunu göstermektedir. Bu da hat dengeleme işleminin başarılı olduğunu göstermektedir.

Yapılan uygulamada MHD çalışması sayesinde, ek işlem alan 5 cepli kot modellerinin dikim işlemlerinin mevcut olandan daha uzun sürede yapılması engellenmekte ve ek işleme sahip olmayan 2. Kot modellerinin de mevcut sıralamaya göre daha iyi sıralanması sağlanıp, daha az denge kaybıyla, daha kısa boş süre değerleriyle üretilmesi sağlanmaktadır. Uygulamadaki firmada, mevcut olan hat sıralamasına göre ek işlem dahil edildiğinde, denge kaybı %16,6 hat etkinliği %83,6 ve toplam boş süre 2.52 dk. 'dır. Aynı zamanda ek işlemi mevcut hatta kalite kontrol, meto temizleme ve ilik açma gibi işlemlerden sonra yapılmaktadır. Bu işlemler el ile manuel yapılırlar. Ancak ağ, yan ve pens dikimi 30V dikiş makinesiyle yapılmaktadır. Aynı zamanda bu ağ, yan ve pens dikiminin kotların birleştirildikten sonra yapılması gerekmektedir. Bu yüzden ek işlemi makine ile yapılan işlemlerin en sonuna ve kalite kontrol işleminin üstüne konumlandırmanın hattın dengesi için daha faydalı olduğu düşünülmüştür. Ek işlemlerli modelin Probabilistik Hat Dengelemesi sonucunda Denge kaybı %15,5 ve hat etkinliği %84,5 olarak ve boş süre 2,34 dk. olarak bulunmuştur. Buda bir ürünün 15,26 dk. 'da üretilirken 15,08 dk. 'da üretilmesini olanak sağlamaktadır. Böylelikle bir gün içerisinde dikim hattında 9 saat (540 dk.) çalışma süresinde 3000 adet daha fazla kotun dikilmesi anlamına gelmektedir. Ancak Ek işlemlerli modelin Probabilistik Hat Dengelemesi sonucunda, mevcut ek işlem olmayan sıralamasının hat dengelemesinden biraz daha kötü değerler elde edilmiştir. Ek işlemlerli modelin Probabilistik Hat Dengelemesi sonucunda hat etkinliği %84,5 iken mevcut ek işlem olmayan hattın hat etkinliği %85,4'tür. Buda mevcut sistemdeki ekli ve eksiz durumların %1,8 olan farklarının, %0,9 a düşürülmesi

anlamına gelmektedir. Ek işlem olmayan durum için yapılan Probabilistik Hat Dengeleme sonucunda, Denge kaybı %13,5 hat etkinliği %86,5 ve toplam boş süre 1,97 dk. olarak bulunmuştur. Mevcut modelde eklenme yapılmayan durum için firmada denge kaybı %14,6, hat etkinliği %85,4 ve toplam boş süre 2,16 dk. 'dır. Buda bir ürünün 14,75 dk. 'da üretilirken 14,56 dk. 'da üretilmesini olanak sağlamaktadır. Böylelikle bir gün içerisinde dikim hattında 9 saat (540 dk.) çalışma süresinde 2842 adet daha fazla kotun dikilmesi anlamına gelmektedir.

MHD çalışması sonunda yukarıda bahsedildiği gibi hattın dengelenmesi sayesinde daha kısa sürede daha çok ürün ortaya çıkarılabilmektedir. Bu şekilde de üretim maliyetinin düşmesini sağlamaktadır. Boş sürelerin, en aza indirilip düzgün bir şekilde dağılmasının sayesinde de işçilerin çalışma yüklerinin eşit yükte olması sağlanmaktadır. Buda ilerisi için hattaki işlem sürelerinde kısaltmalara olanak sağlayacaktır.

6.2. Öneriler

Yapılan Uygulamada, YSA ile tahminleme ve hataları gidermek amaçlı çalışmanın ardından, sistemde meydana çıkan montaj hattı denge kaybını azaltmaya ya da tamamen yok edilmeye dayalı bir çalışmaya yapılmıştır. Özellikle bu çalışmada olduğu gibi bu tip uygulamalar sadece konfeksiyon üretiminde değil, farklı ve çok hatlara sahip otomotiv, beyaz eşya, küçük ev aletleri ve elektronik gibi sektörlerde de bu çalışmaya benzer çalışmalar çok rahat bir şekilde uygulanabileceği düşünülmektedir.

Yapılan uygulamada, sadece hata oranı en yüksek olan robotik otomatlarda hatanın giderilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Ancak tüm hataların girdirilmesi üzerine bir çalışma yapılmamıştır. Tüm hataların giderilmesi üzerine ya da sadece Son İşlemler hattı üzerinde çalışma yapılabilir. Son işlemler hattı içinde bulunan en büyük ikinci hata olan lazerleme işlemindeki fazla yanma problemine engellemek adına ar-ge ve daha hassas son teknoloji makinelere yatırım yapılabilir. Böylelikle yanma probleminin önüne geçilerek toplamda %82,2 oranında hatasız ürün üretilmesi sağlanabilir.

Son İşlemler hattı üzerindeki ağ, yan ve pens dikimine neden olan basınçlı mankenlerini, basıncı ayarlanabilen modelleri özel istek üzerine üretirilebilir ve kumaş üzerine yapılan test sonuçlarından yararlanılarak, YSA ile ne kadarlık bir basınç altında çalışması gerekli olduğu tahmin edilebilerek üretimde kullanılabilir. Bu durumda da dikim hattında ek işlem yapılma durumu ortadan kalktığından hat dengelenmesi işlemi yapılmayabilir ya da hat üzerinde üretim maliyetini en aza indirme amaçlı farklı iyileştirme çalışmaları yapılabilir.

Gelecekte Endüstri 4.0'ın etkisiyle üretimin, gelişmiş ve daha işlevsel makinelerde daha az kişiye ihtiyaç duyularak daha kısa sürede, daha maliyeti düşük bir şekilde üretilmesine olanak sağlayacaktır. Daha büyük gelişmiş ve kendi üretilen ve ihracat eden Türkiye için; üretime, ar-ge ve teknolojiye yatırım yapılmalıdır. Ancak bu tür yatırımlar bile düzenli ve istikrarlı üretim yapan büyümeyi hedeflemiş firmalar için oldukça zordur. Çalışmada belirtildiği gibi ülkemizdeki diğer üretim yapan firmaların, kendi firmalarındaki hatalı üretimi, kalitesizliği ve toplam iş süresini kısaltmaya dayalı çalışmalar yaptıklarında, elde edilen gelirleri ar-ge ve teknolojiye yatırdıklarında büyümeleri gerçekleşecektir. Böylelikle daha fazla, kaliteli, ekonomik ürün üretilmesi sağlanabilecektir. Bu durumda hem bu tür çalışmalar yapılan fabrikaların hemde ülkemizin kazanması anlamına gelmektedir. Aynı zamanda da büyümelere dayalı istihdamlar sağlanacaktır. Bu istihdamlarda dolaylı yollardan olsa da ülke ekonomisine büyük oranlarda katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Kitaplar:

- Anderson, D., McNeill.G (1992). *Artificial Neural Networks Technology*, New York: Kaman Science Corporation.
- Arıkan Kargı V. S. (2015). *Yapay Sinir Ağ Modelleri ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama*. Bursa: Ekin Yayın Evi.
- Chase, R.B., Aquilano, N.J. and Jacobs, F.R., (2001). *Operations management for competitive advantage*. 9th Ed., New York City: McGraw-Hill Company.
- Demuth, H., Beale, M. (2002). *Neural Network Toolbox For Use with MATLAB User's Guide Version*. The MathWorks, Inc.
- El-Sayed, E. A., Boucher, T. O. (1985), *Analysis and Control of Production Systems*. 1th Ed., New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Erkut, H. ve Baskak, M. (1997). *Stratejiden Uygulamaya Tesis Tasarımı*. Yönetim Bilimleri Dizisi:3, İstanbul: İrfan Yayıncılık.
- Kamruzzman, J., Rezaul K. B., Ruhul A. S., (2006). *Artificial Neural Networks in Finance and Manufacturing*. Pennsylvania: Idea Group Publishing.
- Kobu, B. (2014). *Üretim Yönetimi*. 17. Baskı, İstanbul: Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş.
- Kubat, C. (2015), *Matlab Yapay Zekâ ve Mühendislik uygulamaları*. 1. Baskı, İstanbul: Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri.
- Masters, T. (1993). *Practical Neural Network Recipes in C++*. 1th ed., Toronto: Academic Press.
- Nahmias, S., (2005). *Production and operations management*. 5th Ed., New Jersey: McGraw-Hill Irwin Publishing.
- Özden, K. (1989). *Üretim Yönetimi*. İstanbul: Hava Harp Okulu Yayınları.
- Özden, K. (2016). *Tesis Planlaması – İşyeri Fabrika Tasarımı ve Yerleşim Düzeni*. 3. Baskı, İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Öztemel, E. (2015). *Yapay Sinir Ağları*. 3. Baskı, İstanbul: Papatya Yayıncılık.

Rekiek, B., Delchambre, A., (2006). *Assembly Line Design The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms*. Berlin: Springer.

Sağıroğlu, Ő., BeŐdok, E., Erler, M., (2003). *Mühendislikte Yapay Zekâ Uygulamaları-1*. Kayseri: Ufuk Yayıncılık.

Tanyaş, M. ve Baksak, M., (2003). *Üretim Planlama ve Kontrol*. İstanbul: İrfan Yayımcılık ve Tanıtım Ltd. Şti.

Terence, F. L. (1999), *Feedforward Neural Network Methodology*. New York: Springer-Verlag Inc.

Zhang, G. Peter (2004). *Business Forecasting with Artificial Neural Networks: An Overview*. Neural Networks in Business Forecasting. Pennsylvania: Idea Group Publishing.

Bildiri ve Makaleler:

Agrawal, P.K., (1985). The Related Activity Concept in Assembly Line Balancing. *International Journal of Production Research*. 23.2,403- 421.

Ağpak K., Gökçen H., Saray N., Özel S., (2002). Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Bir Sezgisel. *Gazi Üni. Müh. Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 17.4, 115-124.

Ağpak K.ve Gökçen H., Saray N., Özel S., (1999). Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için bir Sezgisel, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Uni.*, 17.4, 115-124.

Ağpak, K. ve Gökçen, H. (2007). A chance-constrained approach to stochastic line balancing. *European Journal Of Operational Research*. 180.3, 1098–1115.

Ağpak, K. ve Gökçen, H., (2004). Assembly Line Balancing, Two Resource Constrained Case. *International Journal of Production Economics*. 96.1, 129-140.

Akpınar, Ő., Baykasoğlu, A. (2014). Modeling and solving mixed model assembly line balancing problem with setups parti, a mixed integer linear programming model. *Journal of Manufacturing System*. 33.1, 177-187.

AlađaŐ HM, Yüzükırmızı M, Türker AK. (2013). Stokastik montaj hatlarının kısıt programlama ve kapalı kuyruk ağları ile denetlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 28.2, 231-240.

Arcus, A. L., (1966). COMSOAL, A Computer Method of Sequencing for Assembly Lines. *International Journal of Production Research*. 4.4, 259-277.

Arıkan Kargı V. S., (2014). A Comparison of Artificial Neural Networks And Multiple Linear Regression Models as in Predictors of Fabric Weft Defects. *Tekstil ve Konfeksiyon*. 24.3,309-316.

- Ayazi, S., Hajizadehb, A. E., Nooshabadic, M. R., Jalaiea, H., & Moradi, Y. (2011). Multi-objective assembly line balancing using genetic algorithm. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 2, 863–872. (19 Mart 2017).
- Bahadır, M. Ç., Bahadır, S.K., Kalaoğlu, F. (12 Ağustos 2012). An Artificial Neural Network Model for Prediction of Bursting Strength of Knitted Fabrics. *International Conference on Machine Learning and Computer Science*. Puket (Tayland).
- Bard, J.F., (1989). Assembly Line Balancing with Paralel Work Stations and Dead Time. *International Journal of Production Research*. 27.6, 1005-1018.
- Başkak, M., Kalaoğlu, F. ve Eryürük, S. H. (2011). Konfeksiyon Üretiminde İstatistiksel Yöntemle Montaj Hattı Dengeleme. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*. 21.1, 65-71.
- Becker, C. ve Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*. 168.3, 694-715.
- Beltran. R., Wang, L., Wang, X. (2006). Predicting the Pilling Tendency of Wool Knits. *The Journal of the Textile Institute*.97.2, 129-136.
- Berger, I., Bourjolly, J.M. and Laporte, G., (1992). Branch-and-Bound Algorithms for the Multi-Product Assembly Line Balancing Problem, *European Journal of Operational Research*, 58.2, 215-222.
- Betts J., Mahmoud K.I., (1989). A Method For Assembly Line Balancing. *Engineering Costs and Production Economics*. 18.1, 55-64.
- Bock, S., Rosenberg, O. and Brackel, T.V., 2004. Controlling Mixed-Model Assembly Lines in Real-Time by Using Distributed Systems. *European Journal of Operational Research*. 168.3, 800-904.
- Bowman, E.H., (1960). Assembly Line Balancing by Linear Programming. *Operations Research*. 8.3, 385-389.
- Bukchin, J., Ezey, M., Dar-El and Rubinovitz, J., (2002). Mixed-Model Assembly Line Design in a Make-to-Order Environment. *Computers&Industrial Engineering*. 41.4, 405-421.
- Carlson, J.G. ve Yao, A.C., (1992). Mixed Model Assembly Simulation. *International Journal of Production Economics*. 26.1-3, 161-167.
- Celano, G., Fichera, S., Grasso, V., U. La Commare, U. And Perrone G., (1999). An Evolutionary Approach To Multi-Objective Scheduling Of Mixed Model Assembly Lines, *Computers and Industrial Engineering*, 37.1-2,69-73.
- Dar-El, E.M. ve Cother, R.F., (1975). Assembly Line Sequencing for Model Mix. *International Journal of Production Research*. 13.5, 463-477.
- Dar-El, E.M.ve Cucuy, S. (1977). Optimal Mixed-Model Sequencing for Balanced Assembly Lines. *Omega*. 5.3, 333-342.

- Dar-El, M.B., 1973. MALB-A Heuristic Technique for Balancing Large Single Model Assembly Lines. *AIIE Transactions*. 5.4,343-356.
- Dectro, R.F., (1989). Balancing Cycle Time and Work Stations. *AIIE Transactions*. 21.2, 106-111.
- Erel, E. ve Gokçen, H., (1999). Shortest Route Formulation of Mixed Model Assembly Line Balancing Problem. *European Journal of Operational Research*, 116,194-204.
- Erel, E. ve Gökçen, H., (1999). Theory and Methodology, Shortest-route formulation of mixed-model assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*. 116, 194-204.
- Erel, E., Gokçen, H., 1999. Shortest Route Formulation of Mixed Model Assembly Line Balancing Problem. *European Journal of Operational Research*. 116, 194-204.
- Erenler, A, Oğulata, R. (2015). Investigation And Prediction Of Chosen Comfort Properties On Woven Fabrics For Clothing. *Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 25.2, 125-134.
- Eryürük, S. H. Başkak, M. ve Kalaoğlu, F. (2008). Assembly Line Balancing in a Clothing Company. *FIBRES and TEXTILES in Eastern Europe*. 16,1, 66.
- Fleszar, K. ve Hindi, K. S., (2003). An Enumerative Heuristic And Reduction Methods For The Assembly Line Balancing Problem. *European Journal of Operational Research*, 145.3, 606-620.
- Gharehaghaji A.A., Shanbeh. M., Palhang M., (2007). Analysis of Two Methodologies for Predicting the Tensile Properties of Cotton-Covered Nylon Core Yarns. *Textile Research Journal*. 77, 565-571.
- Ghosh, S. ve Gagnon, J., (1989). A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design. Balancing and Scheduling of Assembly Systems. *International Journal of Production Research*. 27.4, 637-670.
- Gokçen, H. ve Erel, E., (1997). A Goal Programming Approach to Mixed Model Assembly Line Balancing Problem. *ELSEVIER Int. J. Production Economic*. 48,177-185.
- Gokçen, H. ve Erel, E., (1998). Binary Integer Formulation for Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem. *Computers and Industrial Engineering*, 34.2, 451-461.
- Gokçen, H., Erel, E., (1997). A Goal Programming Approach to Mixed- Model Assembly Line Balancing Problem. *ELSEVIER Int. J. Production Economics*. 48,177-185.
- Gokçen, H., Erel, E., (1998). Binary Integer Formulation for Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem, *Computers and Industrial Engineering*, 34.2, 451-461.

- Gümüőođlu, Ő. Erboy, N. Özdağoğlu, G. (2014). Siparişe Dayalı Üretim İçin Ürün Gruplarının Oluőturulmasında Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım. Yönetim ve Ekonomi, *Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 20.2, 259-284.
- Held, M., Karp, R.M., Shareshian, R., (1963). Assembly Line Balancing Dynamic Programming with Precedence Constraints. *Operations Research*. 11.3,196-210.
- Helgeson, W.P. ve Birnie, D.P., (1961). Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique. *Journal of Industrial Engineering*. 12.6, 384-398.
- Henig, M. I. (1986). Extensions of the dynamic programming method in the deterministic and stochastic assembly line balancing problems. *Computers and Operations Research*, 13.4, 443-449.
- Hoffman, T.R., (1963). Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix, *Management Science*. 9.4, 551-563.
- Hong, Y. ve Seong, D., (1993). The analysis of an unreliable two-machine production line with random processing times. *European Journal of Operational Research*. 68.2, 228-235.
- Kao, E. P. C., (1979). Computational Experience With A Stochastic Assembly Line Balancing Algorithm. *Computers and Operations Research*. 6.2, 79-86.
- Karabatı, S., Sayın, S., (2003). Assembly Line Balancing in A Mixed- Model Sequencing Environment With Synchronous Transfers. *Computers and Industrial Engineering*. 149.2, 417-429.
- Kayar M, Akalin M. (2015). Comparing the Effects of Automat Use on Assembly Line Performance in the Apparel Industry by Using a Simulation Method. *FIBRES and TEXTILES in Eastern Europe*. 5.113, 114-123.
- Kılını, Ö., (2004). Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi Çözümü için Bir Petri Ağı Yaklaşımı. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*. 6.2, 1-15.
- Kilbridge, M.D. ve Wester, L., (1961). A Heuristic Method for Assembly Line Balancing. *Journal of Industrial Engineering*. 12.4, 292-298.
- Kilbridge, M.D., Wester, L., (1961). A Heuristic Method for Assembly Line Balancing. *Journal of Industrial Engineering*. 12.4, 292-298.
- Klein, R. ve Scholl, A., (1996). Maximizing The Production Rate in Simple Assembly Line Balancing-A Branch And Bound Procedure. *European Journal of Operational Research*. 91.2, 367-385.
- Kottas, J.F.ve Lau, H.S., (1973). A Cost Oriented Approach to Stochastic Line Balancing. *AIIE Transactions*. 5 .2, 164-171.
- Liu, S., Ong, H., Huang, H. (2005). A Bi-directional Heuristic for Stochastic Assembly Line Balancing Problems. *Int J Adv Manuf Technol*. 25, 71-77.
- Mansoor, E.M. ve Ben Tuvia, S., (1966). Optimising Balanced Assembly Lines. *Journal of Industrial Engineering*. 17.3,126-131.

- Matanachai, S. ve Yano, C.A., (2001). Balancing Mixed-Model Assembly Lines to Reduce Work Overload. *IIE TRANSACTIONS*. 33.1, 29-42.
- McMullen, P.R., Frazierb, G.V., (1997). A Heuristic for Solving Mixed- Model Line Balancing Problems with Stochastic Task Durations and Parallel Stations, *ELSEVIER Int. J. Production Economics*, 51,177- 190.
- Moberly, L.E. ve Wyman, P.F., (1973). An Application of Simulation to Comprision of Assembly Line Configurations. *Decision Sciences*. 4.10, 505-516.
- Modie, C. L., Young, H. H., (1965). A heuristic method of assembly line balancing for assumptions of constant or variable work element times. *Journal of Industrial Engineering*, 16, 23-29.
- Mosadegh, H., Zandieh, M., Ghomi, S.M.T.F., (2012). Simultaneous Solving Of Balancing And Sequencing Problems With Station-Dependent Assembly Times For Mixed-Model Assembly Lines. *Applied Soft Computing*. 12, 1359–1370.
- Nourmohammadia, A., Zandieh, (2012). M. Assembly line balancing by a New multi-objective differential evolution algorithm based on TOPSIS. *International Journal of Production Research*. 49.10, 2833–2855.
- Oğulata S. N., Şahin C., Oğulata R.T., Balcı O., (2006) The Prediction of Elongation and Recovery of Woven Bi-Stretch Fabric Using Artificial Neural Network and Linear Regression Models. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 14.2, 46-49
- Özcan, U., Çerçioğlu, H., Gökçen, H., Toklu, B. (2010). Balancing and sequencing of parallel mixed-model assembly lines. *International Journal of Production Research*. 48.17, 5089-5113.
- Özdemir H., (2013). Yapay Sinir Ağları ve Dokuma Teknolojisinde Kullanımı, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 7.1, 51-68
- Pastor, R., & Ferrer, L. (2009). An İmproved Mathematical Program To Solve The Simple Assembly Line Balancing Problem. *International Journal of Production Research*. 47.11, 2943–2959.
- Raouf, A., TSU, C.L., EI-Sayed, E.A., (1980). A New Heuristic Approach to Assembly Line Balancing. *Computers and Industrial Engineering*, 4.3, 223-234.
- Rekiek, B., De Lit, P., Pellichero, F., Falkenauer, E., Delchambre, A. (1999). Applying the Equal Piles Problem to Balance Assembly Lines. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning*.
- Salveson, M.E., (1955). The Assembly Line Balancing Problem. *Journal of Industrial Engineering*. 6.3, 18-23.
- Sarin, S. C., Erel E., Dar-El E.M., (1999). A Methodology For Solving Single-Model Stochastic Assembly Line Balancing Problem. *Omega*, 27-5, 525-535.
- Shin, D., (1990). An Efficient Heuristic for Solving Stochastic Assembly Line Balancing Problem. *Computers and Industrial Engineering*. 18.3, 285-295.

- Simaria, A.S. and Vilarinho, P.M., (2004). A Genetic Algorithm Based Approach to the Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem of Type II. *Computers and Industrial Engineering*. 47, 391–407. (2 Nisan 2017).
- Suresh, G. ve Sahu, S. (1994). Stochastic assembly line balancing using simulated annealing. *International Journal of Production Research*. 32, 1801-1810.
- Thomopoulos, N.T. (1967). Line Balancing Sequencing for *Mixed-Model Assembly*. *Management Science*. 14.2, B59-B75.
- Türker, E. (2017). Dokuma Kumaş Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*. 27, 10-21
- Ugurdag, H., Rachamadugu, R., Papachristou, C. A. (1997). Designing paced assembly lines with fixed number of stations. *European Journal of Operational Research*. 102, 488-501.
- Vilarinho, P. M., & Simaria, A. S. (2002). A Two-Stage Heuristic Method For Balancing Mixed Model Assembly Lines With Parallel Workstations. *International Journal Of Production Research*. 40, 1405-1420.
- Wee, T. S. ve Magazine, T. (1982). Assembly Line Balancing of Generalised Bin Packing. *Operations Research Letters*. 1,56-58.
- Wei, N., Chao, M. A (2011). Solution Procedure For Type E Simple Assembly Line Balancing Problem. *Computers and Industrial Engineering*. 61.3, 824–830.
- Wilson, J.M., (1986). Formulation of a Problem Involving Assembly Lines with Multiple Manning of Work Stations. *International Journal of Operational Research*.
- Y. Zeng, K. Wang, C. Yu, (2005). Predicting the Tensile Properties of Air-Jet spun Yarns. *Textile Research Journal*. 74.8, 689-694.
- Z. Zhang, K. Friedrich, K. Velten, (2002). Prediction on Tribological Properties of Short Fibre Composites Using Artificial Neural Networks. *Wear Journal*. 252, 668-675.
- Zhang, Guoqiang, B. Eddy Patuwo ve Michael Y. Hu (1998). Forecasting with Artificial Neural Networks, The State of the Art. *International Journal of Forecasting*. 14, 35-62.
- Zhuqi, X. ve Shusaku, H., (1994). A study on sequencing method for the Mixed-Model Assembly Line in Just-in-time Production Systems. *Computers and Industrial Engineering*. 21.1-4, 225-228.

Tezler:

- Akgül, S. (2013). Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Tahmini ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırmalı Analizi, *Doktora Tezi*, Erzurum: Atatürk Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Alağaç, H.M., (2012). Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Kuyruk Ağı Yaklaşımı. *Yüksek Lisans Tezi*. Kırıkkale: Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baksak, M., (1998). Çok Modelli/Ürünli Montaj Hatlarının Dengelenmesi için Yeni Bir Model ve Çözüm Yöntemi. *Doktora Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bali, Ö. (2009). Stokastik U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Parçacık Sürü Optimizasyonu. *Doktora Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baş. N, (2006). Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ve Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bryton, B., (1954). Balancing of a Continuous Production Line. *Master Thesis*. Evanston, ILL: Northwestern University.
- Çakır, B. (2006). Stokastik İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme için Tavlama Benzetimi Algoritması. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çanakcı, A. (2006). Yapay Sinir Ağlarının Makroekonomik Bir Model Üzerine Uygulanması: Bir Türkiye Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara: Gazi Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Deveci, M. (2012). Yapay Sinir Ağları ve Bekleme Süresinin Tahmininde Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Doğan, B. (2004). U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri ve Uygulamada Karşılaşılan sorunlar. *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eryürük S.H, (2005). Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ES, H. E. (2013). Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Net Enerji Talep Tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gökçen, H. (1994). Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Modeller. *Doktora Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- Gülbağ, A., (2006): Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Mantık Tabanlı Algoritmalar ile Uçucu Organik Bileşiklerin Miktersal Tayini. *Doktora Tezi*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kalender, F.Y., Yılmaz Y.Y., Türkbey, O. (2007) Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karacameydan, F. (2009). Yatırım Fonları Net Varlık Değerlerinin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Tahmin Edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Yozgat: Bozok Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kılıç, G. (2015). Yapay Sinir Ağları İle Yemekhane Günlük Talep Tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*. Denizli: Pamukkale Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Küçükkoç, İ., (2011). Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme Problemleri ve Genetik Algoritmalar İle Bir Uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Olgun, S. (2009). Tedarik Zinciri Yönetiminde Talep Tahmini Yöntemleri ve Yapay Zekâ Tabanlı Bir Talep Tahmini Modelinin Uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özgörmüş, E., (2007). Ergonomik Koşullar Altında Montaj Hattı Dengeleme. *Yüksek Lisans Tezi*. Denizli: Pamukkale Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkan, R. (2003) Tek Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Genetik Algoritma ile Çözüm Yaklaşımı. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztürk, C. (2011). Yapay Sinir Ağlarının Yapay Arı Kolonisi ile Eğitilmesi *Doktora Tezi*. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sarı, M. (2016). Yapay Sinir Ağları ve Bir Otomotiv Firmasında Satış Talep Tahmini Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Savaş S. (2010). Yapay Sinir Ağları Kullanarak Deneysel Bir Mobil Robotun Yörünge Analizi ve Kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tanrıverdiyev M, (2014). Tek Modelli Deterministik U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme Probleminin Değişken Komşu Arama Yöntemi ile Çözümü. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yazıcı, Ü. (2010). Yapay Sinir Ağları İle Banka Müşterisi Bekleme Süresi Tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, F., (2010). Endüstri Mühendisliği Eğitiminde Kullanılacak Bir U Tipi Montaj Hattı Laboratuvarı Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*. Kırıkkale: Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

İnternet Kaynakları:

Denye Numaralarına göre iplik değerleri

<http://www.coatsindustrial.com/en/products-applications/industrial-threads/epic> (25 Mayıs 2017).

Endüstri 4.0 Hakkında

<http://www.fortuneturkey.com/akilli-uretim-cagi-endustri-40-42841> (30 Mayıs 2017)



EKLER

EK-1. Matlab Ortamında Oluşturulan Kodlar.

```
Clear all
Clc
veri=xlsread('veri.xlsx');
input=veri(:,1:14);
target=veri(:,end);
function [net ye yv MAPE R2 sn tyen] =
neuralnetwork(input,target,tahmin)
%70 trainig ve %30 validation(test)
%traing_rate=öğrenme oranı
traing_rate=0.7;
lrate=0.001;
n1=6;
%lrate:öğrenme katsayısı - n1: birinci katmandaki nöron sayısı
adata=size(input,1);
ntd=round(adata*traing_rate);
xt=input(1:ntd,:);
xv=input(ntd+1:end,:);
%xt=öğrenme girdi - yt=öğrenme için gerçekleşen hedef
%yv=validation(test) için gerçekleşen hedef
yt=target(1:ntd,:);
yv=target(ntd+1:end,:);
%verilerin transpozu alınır.
xt=xt';
xv=xv';
yt=yt';
yv=yv';
%verilerin normalize edilmesi
%xtn=girdi training verilerinin normalize verisi
%xvn=girdi validation verilerinin normalize verisi
xtn=mapminmax(xt);
xvn=mapminmax(xv);
%ytn=cıktı training verilerinin normalize verisi
[ytn,ps]=mapminmax(yt);
%ileri beslemeli ağ oluşturma
net=newff(xtn,ytn,n1,{'tansig'},'trainlm');
net.trainParam.lr=lrate;
net.trainParam.epochs=10000;
net.trainParam.goal=1e-20;
net.trainParam.show=NaN;
net=train(net,xtn,ytn);
%yen normalize haldeki validation çıkan veriler
yen=sim(net,xvn);
%ye normalize olmayan validation verisi
ye=mapminmax('reverse',yen,ps);
ye=ye';
yv=yv';
MAPE=mean((abs(ye-yv))./yv);
SStotal=sum((yv-mean(yv)).^2);
SSeror=sum((ye-yv).^2);
R2=1-SSeror/SStotal;
txt=tahmin(:,1:14);
txt=txt';
txtn=mapminmax(txt);
tyen=sim(net,txtn);
snc=sim(net,txt);
sn=mapminmax('reverse',snc,ps);
end
```

EK-2. Uygulamanın Girdi ve Çıktı Değerleri.

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅
12,08	12,21	-3,00	-3,00	6110,00	4605,00	90,00	67,70	0,00	0,00	8,40	100,00	1,00	30,00	3,7
8,49	10,88	-3,00	-21,00	5600,00	2000,00	102,80	33,10	35,00	11,60	10,40	98,00	1,00	50,00	5,8
10,18	11,50	-3,50	-11,00	3800,00	3600,00	40,00	35,00	42,00	2,00	13,00	86,00	0,00	120,00	5,05
11,32	13,15	-3,00	-15,00	9466,00	4686,00	120,90	45,30	26,80	8,00	10,80	99,00	1,00	50,00	5,3
9,25	10,50	-3,00	-17,00	5241,00	3414,00	80,00	30,00	58,00	8,00	2,00	89,00	1,00	120,00	5,3
11,21	11,94	-3,50	-8,00	4600,00	3600,00	154,32	30,00	20,00	4,00	0,00	98,00	0,00	50,00	4,55
8,55	10,18	-3,50	-18,50	2900,00	1700,00	65,00	22,00	60,00	4,00	0,00	62,00	0,00	120,00	5,45
8,65	10,77	-3,50	-18,50	3600,00	2900,00	55,00	25,00	55,00	7,00	0,00	92,00	0,00	120,00	5,55
8,55	9,88	-3,50	-18,50	3400,00	2700,00	50,00	25,00	60,00	6,00	0,00	88,00	0,00	120,00	5,25
8,85	10,77	-3,50	-18,50	3600,00	2900,00	55,00	25,00	55,00	7,00	0,00	92,00	0,00	120,00	5,35
8,26	9,44	-3,50	-16,00	3300,00	3100,00	55,00	28,00	60,00	5,00	0,00	88,00	0,00	120,00	4,95
11,50	12,68	-3,50	-13,00	4300,00	3300,00	143,00	88,18	20,00	6,00	12,00	99,00	0,00	50,00	4,85
9,88	10,47	-3,50	-9,00	4000,00	2800,00	55,00	35,00	18,00	6,00	12,00	98,00	0,00	50,00	4,65
13,39	13,74	-3,00	-3,00	6000,00	4600,00	88,00	62,00	0,00	0,00	11,20	100,00	1,00	30,00	3,9
9,29	10,76	-4,00	-16,00	6040,00	3333,00	80,00	36,00	39,00	8,00	13,00	94,00	0,00	50,00	5,15
8,67	9,97	0,00	-16,00	4490,00	4300,00	90,10	41,10	35,00	5,60	12,80	77,50	1,00	50,00	5,2
9,70	11,21	-3,00	-10,00	4500,00	2200,00	85,00	25,00	31,00	3,20	0,00	94,00	0,00	50,00	4,85
11,00	13,00	-4,00	-13,00	4000,00	2800,00	55,00	35,00	23,00	8,00	0,00	99,00	0,00	50,00	5,55
11,59	12,30	-3,00	-3,00	6810,00	5216,00	112,10	77,10	0,00	0,00	12,00	100,00	1,00	30,00	3,6
10,62	10,62	-3,00	-3,00	5510,00	4153,00	86,50	63,50	0,00	0,00	13,60	100,00	1,00	30,00	3,5

9,14	11,35	-3,50	-21,00	3400,00	2700,00	60,00	25,00	55,00	12,00	0,00	63,00	0,00	120,00	5,85
9,67	11,67	-4,00	-14,75	5753,00	2863,00	100,80	34,40	33,30	10,00	10,00	98,00	1,00	50,00	5,6
9,66	11,60	-3,00	-19,00	6470,00	3383,00	114,00	39,72	30,60	8,40	12,00	98,50	1,00	50,00	5,6
10,56	11,97	-3,00	-13,00	6506,00	3780,00	105,10	53,70	24,40	8,80	11,20	98,50	1,00	50,00	4,7
8,99	10,77	-3,50	-12,00	7475,00	5780,00	93,00	47,00	50,00	8,00	12,00	70,00	0,00	120,00	4,65
10,17	11,21	-4,00	-12,00	4300,00	3300,00	66,00	40,00	25,00	6,00	13,00	98,00	0,00	50,00	5,15
9,20	11,10	-3,00	-18,00	5455,00	2935,00	91,50	40,85	35,00	8,00	13,00	98,00	1,00	50,00	5,4
12,96	12,96	-4,00	-4,00	4000,00	2700,00	55,00	40,00	0,00	0,00	13,50	100,00	0,00	30,00	4,35
10,03	11,35	-3,50	-14,00	4000,00	2800,00	55,00	35,00	39,00	8,00	13,00	98,00	0,00	50,00	5,35
8,50	9,50	-1,50	-15,00	7500,00	4600,00	80,00	30,00	40,00	4,50	9,00	92,00	1,00	50,00	4,8
9,30	11,30	-3,00	-14,00	6276,00	3596,00	98,90	41,60	35,00	9,20	9,50	98,00	1,00	50,00	5,4
11,25	12,25	-4,00	-11,00	4300,00	3300,00	65,00	35,00	25,00	6,00	0,00	99,00	0,00	50,00	5,15
10,63	13,03	-11,00	-16,00	7975,00	6745,00	78,94	50,50	43,60	4,00	32,60	81,00	1,00	120,00	5,5
7,14	8,41	-3,50	-13,50	4500,00	2800,00	45,00	35,00	75,00	5,00	0,00	65,00	0,00	120,00	4,75
10,77	12,68	-3,50	-16,00	4600,00	4100,00	75,00	35,00	40,00	6,00	0,00	87,00	0,00	50,00	5,15
9,30	10,60	-3,00	-13,00	5012,50	3567,50	63,68	39,70	24,00	7,20	0,00	99,00	1,00	50,00	4,7
12,20	13,90	-1,00	-8,00	4300,00	3300,00	65,00	40,00	23,00	5,00	0,00	99,00	0,00	50,00	5,05
9,73	10,32	-2,50	-9,50	3100,00	2100,00	40,00	30,00	17,00	4,00	11,00	98,00	0,00	50,00	4,65
9,10	10,80	-2,50	-18,00	4835,00	4155,00	87,74	42,28	72,80	4,00	40,40	86,50	1,00	120,00	5,8
10,18	11,94	-3,50	-18,00	4600,00	3200,00	75,00	22,00	50,00	5,00	0,00	93,00	0,00	120,00	5,45
10,03	11,65	-3,50	-15,00	4100,00	2200,00	70,00	22,00	40,00	4,00	0,00	42,50	0,00	50,00	5,15
11,06	13,27	-3,50	-16,00	4600,00	3600,00	70,00	30,00	40,00	5,00	0,00	95,00	0,00	50,00	5,55

9,29	10,17	-4,00	-9,00	2200,00	2000,00	35,00	30,00	29,00	6,00	9,00	94,00	0,00	50,00	4,95
9,73	11,21	-3,50	-10,00	4000,00	2800,00	55,00	35,00	40,00	8,00	9,00	98,00	1,00	50,00	5,2
9,60	11,80	-3,00	-20,00	6030,00	2820,00	99,25	38,13	33,60	6,00	11,60	98,50	1,00	50,00	5,7
10,40	11,70	-3,00	-13,00	6575,00	3475,00	104,50	48,70	24,00	7,20	12,00	98,50	1,00	50,00	4,7
12,09	12,98	-3,50	-9,00	4600,00	4200,00	80,00	30,00	40,00	4,00	0,00	83,50	0,00	50,00	4,75
9,58	10,62	-4,00	-11,50	7829,00	3555,00	100,00	37,00	19,00	6,00	11,00	98,00	0,00	50,00	4,55
10,47	11,80	-6,00	-6,00	4300,00	3000,00	50,00	22,00	60,00	5,00	0,00	77,00	0,00	120,00	5,25
9,59	10,91	-3,50	-14,50	4600,00	3900,00	64,00	55,00	70,00	4,00	0,00	73,00	0,00	120,00	4,95
11,00	12,50	-3,00	-10,00	1400,00	800,00	80,00	60,00	20,00	5,00	0,00	98,00	0,00	50,00	4,95
11,10	12,36	-3,00	-11,00	2500,00	2170,00	43,00	34,00	21,20	6,00	0,00	98,50	1,00	50,00	5
10,50	10,50	-3,00	-3,00	2500,00	2170,00	43,00	34,00	0,00	0,00	12,00	100,00	1,00	30,00	4,1
9,73	10,91	-3,50	-12,00	3600,00	3300,00	55,00	23,00	70,00	8,00	0,00	8,50	0,00	120,00	5,05
9,14	11,35	-3,00	-20,00	3600,00	2600,00	50,00	25,00	50,00	6,00	0,00	97,00	0,00	120,00	5,75
9,44	10,91	-3,50	-17,00	3200,00	2800,00	50,00	25,00	45,00	6,40	0,00	80,00	0,00	120,00	5,25
10,47	12,39	-3,50	-16,00	4500,00	3500,00	75,00	30,00	36,00	4,80	0,00	80,00	0,00	50,00	5,15
8,85	10,77	-3,50	-18,50	3600,00	2900,00	55,00	25,00	55,00	7,00	0,00	12,00	0,00	120,00	5,05
10,00	11,75	-4,00	-21,00	4300,00	3300,00	65,00	28,00	70,00	6,00	0,00	92,00	1,00	120,00	5,9
13,86	14,30	-4,00	-13,00	5800,00	4900,00	80,00	60,00	15,00	6,00	9,50	99,00	0,00	50,00	4,65
13,12	13,86	-4,00	-6,50	4500,00	3600,00	70,00	50,00	15,00	4,00	17,00	99,00	0,00	50,00	5,05
11,80	11,94	-3,50	-3,50	4700,00	4700,00	70,00	60,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	3,55
8,46	10,88	-3,00	-21,00	5600,00	2000,00	102,80	33,10	0,00	11,60	10,40	98,00	1,00	30,00	5,5
9,20	11,20	-4,00	-22,00	7035,00	4820,00	122,93	34,87	0,00	4,00	12,00	88,00	1,00	30,00	5,3



10,28	11,91	-9,00	-14,00	7505,00	6875,00	84,12	54,30	0,00	4,00	12,40	81,00	1,00	30,00	4,6
10,32	12,09	-4,00	-15,00	8013,00	5240,00	107,00	41,80	49,00	8,00	10,00	84,00	0,00	120,00	5,15
11,76	12,93	-3,00	-13,00	6340,00	3463,00	48,60	36,50	26,00	6,00	12,00	98,50	1,00	50,00	5,3
10,91	12,53	-3,50	-11,00	4000,00	3100,00	50,00	30,00	25,00	5,00	25,00	89,00	0,00	50,00	5,55
11,11	12,36	-3,00	-11,00	8520,00	5190,00	107,20	46,60	21,20	6,00	12,00	98,50	1,00	50,00	4,5
13,12	13,86	-4,00	-6,50	6800,00	5446,00	86,00	77,00	12,00	4,00	17,00	99,00	0,00	50,00	4,35
9,14	11,35	-3,50	-20,00	3600,00	2600,00	50,00	25,00	50,00	6,00	0,00	97,00	0,00	120,00	5,75
9,14	11,35	-3,50	-20,00	3600,00	2600,00	50,00	25,00	50,00	6,00	0,00	97,00	0,00	120,00	5,75
10,77	12,53	-3,50	-17,00	4500,00	3500,00	60,00	23,00	50,00	6,00	0,00	93,00	0,00	120,00	5,65
10,76	11,21	-4,00	-7,00	4000,00	2800,00	55,00	35,00	14,00	4,00	9,50	98,00	0,00	50,00	4,65
10,17	12,39	-4,50	-17,00	9967,00	3279,00	116,00	33,50	40,00	6,00	11,00	68,00	0,00	50,00	5,25
11,94	12,53	-3,50	-9,00	4600,00	4600,00	60,00	30,00	20,00	4,00	0,00	80,00	0,00	50,00	4,65
11,65	12,68	-3,50	-4,00	7700,00	4150,00	105,00	50,00	0,00	0,00	11,00	100,00	0,00	30,00	3,95
11,65	12,68	-3,50	-3,50	4300,00	3300,00	65,00	40,00	0,00	0,00	11,00	100,00	0,00	30,00	4,55
11,50	12,68	-3,50	-12,00	4300,00	3300,00	65,00	40,00	20,00	6,00	12,00	98,00	0,00	50,00	5,15
11,03	13,57	-3,00	-14,00	6030,00	4125,00	116,90	52,70	25,60	5,20	9,60	98,50	1,00	50,00	5,5
9,59	11,86	-3,00	-19,00	6760,00	3876,00	87,80	35,60	34,00	10,00	0,00	98,00	1,00	50,00	5,5
15,50	15,50	-4,00	-4,00	6524,00	6524,00	105,50	66,10	0,00	0,00	8,60	100,00	0,00	30,00	3,55
15,00	15,00	-4,00	-4,00	9560,00	5600,00	110,00	59,00	0,00	0,00	12,00	100,00	0,00	30,00	3,75
11,35	14,75	-3,50	-22,00	4000,00	3300,00	70,00	30,00	70,00	8,00	0,00	90,00	1,00	120,00	6,5
12,75	14,25	-1,50	-16,00	5600,00	4350,00	90,00	35,00	60,00	4,50	7,00	30,00	1,00	120,00	5,4
12,10	14,00	-4,00	-14,00	4000,00	2800,00	55,00	35,00	24,00	8,00	0,00	99,00	0,00	50,00	5,55



11,50	14,00	-3,50	-19,00	4500,00	2200,00	60,00	22,00	34,00	6,00	0,00	98,00	0,00	50,00	5,95
11,70	13,90	-4,00	-13,00	4300,00	3300,00	65,00	35,00	23,00	7,00	0,00	99,00	0,00	50,00	5,45
11,40	13,80	-11,00	-14,00	7045,00	6680,00	74,29	55,89	37,20	4,00	29,60	81,00	1,00	50,00	5,5
13,77	13,77	-4,00	-4,00	6000,00	4600,00	80,00	60,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	3,75
12,24	13,71	-3,50	-17,00	4600,00	4300,00	75,00	30,00	40,00	5,00	0,00	95,00	0,00	50,00	5,25
11,50	13,67	-2,60	-16,30	6383,00	4542,00	88,00	45,00	34,00	6,00	13,50	99,00	1,00	50,00	5,6
11,25	13,50	-1,50	-18,00	9500,00	5700,00	90,00	35,00	40,00	4,00	9,50	92,00	1,00	50,00	5,5
11,50	13,50	-5,00	-14,00	8850,00	5450,00	100,00	49,00	30,00	6,00	10,50	98,00	1,00	50,00	5,1
11,94	13,42	-3,50	-17,00	4600,00	4300,00	75,00	30,00	40,00	5,00	0,00	95,00	0,00	50,00	5,25
11,16	13,33	-3,00	-14,00	8505,00	3850,00	125,50	48,40	24,80	6,40	8,80	98,50	1,00	50,00	5,2
12,30	13,20	0,00	-10,00	4000,00	3000,00	60,00	40,00	19,00	2,50	9,50	98,62	0,00	50,00	4,95
11,50	13,20	-3,00	-13,50	5700,00	3000,00	90,00	38,00	42,00	6,40	8,00	98,00	0,00	120,00	5,45
13,20	13,86	-3,00	-3,50	4750,00	4300,00	75,00	50,00	0,00	0,00	11,00	100,00	1,00	30,00	4,2
11,80	13,10	-4,00	-12,00	4300,00	3300,00	65,00	40,00	19,00	4,00	6,00	99,00	0,00	50,00	5,25
12,10	13,00	-1,00	-12,00	6524,00	6285,00	97,40	40,20	23,00	6,00	13,00	98,70	0,00	50,00	4,55
12,00	13,00	-3,50	-10,00	5000,00	3000,00	60,00	30,00	22,00	5,00	13,00	98,90	1,00	50,00	5,1
12,00	13,00	-1,50	-10,00	9000,00	4200,00	90,00	38,00	16,00	4,00	2,00	98,00	1,00	50,00	4,7
11,25	13,00	-3,00	-16,00	5000,00	4500,00	60,00	50,00	20,00	9,00	0,00	98,00	0,00	50,00	5,05
10,25	13,00	-15,00	-19,00	6100,00	4200,00	55,00	34,00	42,00	3,00	5,00	89,00	1,00	120,00	5,8
12,98	13,12	-3,00	-3,50	4000,00	3500,00	60,00	40,00	0,00	0,00	14,00	100,00	1,00	30,00	4,4
11,20	12,90	-5,00	-16,00	5380,00	3780,00	101,72	54,30	16,00	1,60	62,00	54,00	1,00	50,00	5,1
12,90	12,90	-4,00	-4,00	6524,00	6133,00	82,30	40,00	0,00	0,00	7,20	100,00	0,00	30,00	3,85

12,00	12,90	-4,50	-9,50	3500,00	3000,00	55,00	38,00	25,00	0,00	0,00	98,00	1,00	50,00	4,7
12,00	12,90	-3,50	-10,00	4000,00	2800,00	55,00	23,00	20,00	10,00	0,00	98,90	1,00	50,00	5
10,60	12,90	-10,00	-17,00	7090,00	6045,00	66,44	49,69	45,20	4,00	30,40	81,50	1,00	120,00	5,7
10,77	12,83	-3,50	-15,00	4500,00	3400,00	80,00	28,00	40,00	4,50	0,00	98,00	0,00	50,00	5,55
12,53	12,80	-3,50	-4,00	9560,00	5600,00	117,00	59,00	0,00	0,00	12,00	100,00	0,00	30,00	3,65
12,80	12,80	0,00	0,00	6415,00	4784,00	78,30	55,10	0,00	0,00	8,00	100,00	0,00	30,00	3,95
10,32	12,71	-7,00	-15,00	7590,00	6660,00	79,00	39,00	44,80	5,40	66,80	72,50	1,00	120,00	5,3
10,90	12,70	-1,40	-14,40	6000,00	4000,00	100,00	30,00	41,00	8,50	10,00	98,00	0,00	120,00	5,55
10,50	12,70	-2,00	-8,00	6000,00	3000,00	60,00	35,00	45,00	11,00	13,00	78,00	1,00	120,00	5,6
9,90	12,70	-10,50	-15,00	4000,00	2800,00	55,00	38,00	44,00	8,00	13,00	86,50	0,00	120,00	6,05
12,98	12,98	-6,00	-6,00	4700,00	4200,00	45,00	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	4,45
11,21	12,68	-4,00	-13,00	4300,00	3300,00	65,00	40,00	20,00	6,00	12,00	99,00	0,00	50,00	5,35
11,65	12,68	-4,00	-11,50	4300,00	3300,00	65,00	40,00	17,00	4,00	12,00	98,00	0,00	50,00	5,25
11,70	12,60	-4,00	-15,00	7630,00	4950,00	95,77	45,33	48,00	4,00	13,00	91,00	1,00	120,00	4,9
10,77	12,53	-3,50	-15,00	4500,00	3400,00	80,00	28,00	40,00	4,50	0,00	98,00	0,00	50,00	5,35
10,77	12,53	-3,50	-17,00	4500,00	3400,00	65,00	30,00	40,00	4,50	0,00	98,00	0,00	50,00	5,45
10,47	12,53	-3,50	-19,00	3900,00	3100,00	40,00	30,00	40,00	5,00	0,00	87,00	0,00	50,00	5,65
10,77	12,52	-3,50	-15,00	4500,00	3400,00	80,00	28,00	40,00	4,50	0,00	98,00	0,00	50,00	5,35
10,77	12,52	-3,50	-15,00	4500,00	3400,00	75,00	24,00	40,00	4,50	0,00	98,00	0,00	50,00	5,45
10,50	12,50	-4,00	-18,00	4000,00	2800,00	55,00	25,00	57,50	8,00	0,00	61,00	0,00	120,00	5,85
10,50	12,50	-4,00	-18,00	4000,00	2800,00	55,00	28,00	57,50	8,00	0,00	61,00	0,00	120,00	5,85
10,00	12,50	-3,00	-20,00	7051,00	2792,00	115,20	48,00	38,00	7,00	0,00	98,50	1,00	50,00	5,5



12,50	12,50	-1,50	-1,50	6200,00	5200,00	100,00	80,00	0,00	0,00	12,00	100,00	1,00	30,00	3,7
12,50	12,50	-3,00	-3,00	4000,00	3000,00	60,00	40,00	0,00	0,00	13,00	100,00	0,00	30,00	4,35
12,50	12,50	-3,00	-3,00	9000,00	2000,00	80,00	30,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1,00	30,00	3,9
12,00	12,50	-1,50	-9,00	3242,00	2084,00	70,00	45,00	18,00	5,00	12,00	98,00	0,00	50,00	4,85
11,80	12,50	-3,00	-13,00	4000,00	2500,00	50,00	30,00	22,00	6,00	0,00	99,00	0,00	50,00	5,05
11,50	12,50	-1,00	-1,50	6500,00	4800,00	90,00	50,00	16,00	2,50	10,00	98,00	1,00	50,00	4,3
11,50	12,50	-3,50	-10,00	4300,00	3300,00	65,00	35,00	22,00	4,00	13,00	98,80	0,00	50,00	5,15
10,50	12,50	-4,00	-18,00	4000,00	2800,00	55,00	25,00	60,00	8,00	0,00	61,00	0,00	120,00	5,85
10,50	12,50	-4,00	-19,00	4000,00	2800,00	55,00	28,00	57,50	9,00	0,00	61,00	0,00	120,00	5,95
10,84	12,48	-4,00	-18,00	6476,00	4336,00	91,90	37,30	48,80	4,40	11,60	89,50	1,00	120,00	5,6
10,90	12,40	-1,40	-14,40	5800,00	3800,00	100,00	40,00	42,00	8,00	10,00	98,00	0,00	120,00	5,45
11,20	12,40	-4,00	-10,00	4300,00	3300,00	65,00	40,00	20,00	0,00	0,00	98,00	0,00	50,00	4,75
11,53	12,34	-3,00	-3,00	4870,00	3945,00	104,20	73,10	0,00	0,00	11,20	100,00	1,00	30,00	3,8
11,00	12,25	-3,00	-12,00	5500,00	3700,00	90,00	35,00	30,00	1,00	6,00	92,00	0,00	50,00	4,75
11,75	12,25	-2,00	-8,00	5000,00	4500,00	90,00	30,00	35,00	4,50	8,50	30,00	1,00	50,00	4,4
10,50	12,20	-8,00	-13,00	7250,00	6530,00	67,30	38,90	32,80	4,80	65,60	76,50	1,00	50,00	5,2
12,18	12,20	-3,00	-3,00	6610,00	3560,00	100,70	48,40	0,00	0,00	10,80	100,00	1,00	30,00	3,8
11,10	12,10	-3,50	-10,00	4300,00	3300,00	65,00	35,00	20,00	4,00	13,00	99,00	0,00	50,00	5,15
10,00	12,10	-2,00	-14,00	6000,00	4200,00	95,00	30,00	36,00	7,00	7,00	98,00	0,00	50,00	5,15
10,32	12,09	-3,50	-16,00	4600,00	3300,00	65,00	25,00	32,00	4,50	0,00	98,00	0,00	50,00	5,15
9,34	12,09	-3,00	-20,00	6550,00	3133,00	107,80	38,80	38,40	10,40	12,50	98,00	1,00	50,00	5,7
11,80	12,09	-6,00	-8,00	5390,00	4010,00	71,00	40,00	33,00	8,00	20,00	91,00	0,00	50,00	4,85



9,34	12,09	-3,00	-20,00	6550,00	3133,00	107,80	38,80	38,40	10,40	12,60	98,00	1,00	50,00	5,7
11,20	12,00	-4,00	-12,00	4000,00	2800,00	55,00	35,00	23,00	7,00	0,00	99,00	0,00	50,00	4,85
10,75	12,00	-3,00	-15,00	7000,00	3300,00	80,00	40,00	35,00	2,00	12,00	92,00	1,00	50,00	5
12,00	12,00	-3,00	-3,00	4500,00	3000,00	80,00	40,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1,00	30,00	3,9
12,00	12,00	-2,00	-3,00	3090,00	1800,00	87,00	60,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1,00	30,00	3,8
12,00	12,00	-4,00	-4,00	3500,00	2300,00	45,00	35,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1,00	30,00	4,1
12,00	12,00	-3,50	-3,50	6300,00	4940,00	70,40	40,60	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	3,75
11,75	12,00	-1,50	-3,00	8900,00	8300,00	90,00	50,00	0,00	0,00	12,00	66,00	1,00	30,00	3,2
11,25	12,00	-4,00	-10,00	4300,00	3300,00	65,00	40,00	19,00	6,00	0,00	99,00	1,00	50,00	4,9
11,20	12,00	0,00	-14,00	6624,00	6613,00	92,04	46,00	20,80	3,00	1,00	98,60	0,00	50,00	4,35
10,75	11,90	-0,40	-10,60	4500,00	3000,00	55,00	40,00	25,60	0,00	0,00	98,00	1,00	50,00	4,8
10,30	11,90	-4,00	-12,00	4000,00	2800,00	55,00	28,00	30,00	0,00	8,00	98,00	0,00	50,00	5,05
11,90	11,90	-4,00	-4,00	6524,00	5183,00	87,90	43,30	0,00	0,00	6,60	100,00	0,00	30,00	3,75
11,85	11,85	-3,00	-12,00	9560,00	5600,00	65,00	40,00	0,00	0,00	28,00	100,00	1,00	30,00	4,2
11,80	11,80	-4,00	-4,00	8300,00	5200,00	65,00	40,00	0,00	0,00	12,00	100,00	0,00	30,00	3,85
10,08	11,80	-3,50	-18,00	3700,00	2900,00	65,00	22,00	75,00	0,00	8,00	91,00	0,00	120,00	5,65
10,25	11,80	-3,00	-17,00	4500,00	3400,00	65,00	30,00	25,00	4,50	11,00	98,00	0,00	50,00	5,45
10,03	11,80	-4,00	-14,00	7335,00	3880,00	107,00	43,00	35,00	5,00	11,00	87,00	0,00	50,00	5,05
10,00	11,80	-4,00	-18,00	4000,00	2800,00	55,00	32,00	60,00	7,00	0,00	83,00	0,00	120,00	5,55
11,00	11,75	-2,00	-8,00	3000,00	2400,00	45,00	28,00	20,00	8,00	13,00	98,00	0,00	50,00	4,85
10,50	11,75	-1,50	-12,00	6000,00	6000,00	80,00	40,00	22,00	4,50	11,00	98,00	1,00	50,00	4,7
10,50	11,75	-1,50	-12,00	6000,00	6000,00	80,00	40,00	22,00	4,50	11,00	98,00	1,00	50,00	4,7

10,00	11,70	-4,00	-18,00	4300,00	2800,00	55,00	30,00	57,50	5,00	0,00	83,00	0,00	120,00	5,55
10,00	11,70	0,00	-16,00	6399,00	2287,00	161,00	53,00	35,00	4,80	0,00	99,00	1,00	50,00	5,4
11,70	11,90	-3,00	-4,00	9015,00	7930,00	85,85	65,60	0,00	0,00	16,00	100,00	1,00	30,00	3,4
10,00	11,70	-4,00	-18,00	4300,00	2800,00	55,00	30,00	60,00	5,00	0,00	83,00	0,00	120,00	5,55
9,70	11,70	-4,00	-17,00	4000,00	2800,00	55,00	23,00	48,00	7,00	0,00	92,00	0,00	120,00	5,75
9,11	11,66	-5,00	-20,00	8316,00	4340,00	133,50	34,50	59,70	8,40	9,60	92,50	1,00	120,00	5,9
11,06	11,65	-3,00	-8,00	3200,00	2000,00	50,00	25,00	14,00	4,00	11,00	98,00	1,00	50,00	4,9
10,76	11,65	-3,50	-8,50	3200,00	2000,00	50,00	25,00	17,00	7,00	13,00	98,00	0,00	50,00	4,85
9,66	11,60	-3,30	-15,30	6470,00	3383,00	114,07	39,72	0,00	8,40	30,60	98,50	1,00	30,00	5,2
10,17	11,60	-3,00	-16,00	7480,00	2965,00	70,32	41,00	30,00	6,00	8,60	98,00	1,00	50,00	5,2
10,36	11,53	-3,00	-11,00	2500,00	2170,00	43,00	34,00	21,80	8,00	0,00	98,50	1,00	50,00	5
9,88	11,50	-4,00	-14,00	4000,00	2800,00	55,00	30,00	37,00	5,00	10,00	93,00	0,00	50,00	5,45
9,00	11,50	-12,00	-18,00	3200,00	2500,00	50,00	30,00	45,00	4,40	4,40	84,00	1,00	120,00	6
9,11	11,41	-3,00	-19,00	6370,00	3676,00	93,60	41,20	35,00	10,40	12,00	98,00	1,00	50,00	5,8
8,29	11,41	-3,00	-16,00	4242,00	2284,00	80,00	45,00	30,00	5,00	9,00	98,00	0,00	50,00	5,55
8,29	11,41	-3,00	-16,00	6000,00	3000,00	80,00	40,00	38,00	8,00	9,00	98,00	1,00	50,00	5,7
9,70	11,40	-4,00	-13,00	4000,00	2800,00	50,00	24,00	47,00	7,00	0,00	92,00	0,00	120,00	5,35
9,60	11,40	-4,00	-16,00	3100,00	2100,00	40,00	25,00	55,00	9,00	0,00	61,00	0,00	120,00	5,45
9,60	11,40	-4,00	-16,00	3100,00	2100,00	40,00	25,00	52,50	9,00	0,00	61,00	0,00	120,00	5,35
10,40	11,40	-4,00	-8,00	6410,00	6105,00	95,90	72,00	26,00	3,20	10,00	73,00	1,00	50,00	4,1
9,44	11,35	-4,00	-12,00	4000,00	2800,00	55,00	25,00	39,00	0,00	12,00	98,00	1,00	50,00	5
10,03	11,35	-4,00	-13,00	4300,00	3300,00	65,00	40,00	23,00	6,00	10,00	99,00	0,00	50,00	5,15

11,00	11,30	-3,00	-3,00	5588,00	3750,00	90,74	58,09	0,00	0,00	10,00	100,00	1,00	30,00	3,8
9,50	11,30	-3,00	-16,00	4600,00	3500,00	56,00	45,00	35,00	6,50	0,00	98,50	0,00	50,00	5,05
8,67	11,27	-4,40	-17,20	6375,00	5455,00	70,70	34,70	34,00	6,50	78,00	70,00	1,00	50,00	5,5
10,50	11,25	-4,00	-10,00	4000,00	2800,00	55,00	35,00	27,00	6,00	0,00	97,00	1,00	50,00	4,8
10,20	11,24	-4,00	-19,00	5950,00	3810,00	68,10	29,70	36,40	5,00	0,00	93,00	0,00	50,00	5,15
10,20	11,24	-4,00	-12,00	5950,00	2950,00	39,90	28,90	34,00	5,00	0,00	93,00	0,00	50,00	4,95
10,32	11,21	-4,00	-14,00	6753,00	4546,00	91,30	36,00	70,00	8,00	12,00	88,00	0,00	120,00	5,25
10,32	11,21	-4,00	-12,00	4000,00	2800,00	55,00	30,00	25,00	4,50	10,00	94,00	1,00	50,00	5
8,70	11,21	-3,00	-23,00	3600,00	2600,00	45,00	24,00	55,00	7,00	0,00	97,00	0,00	120,00	6,05
11,00	11,20	-4,00	-4,00	6524,00	4032,00	64,80	49,20	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	3,55
10,70	11,20	-4,00	-4,00	7335,00	7150,00	93,71	74,11	0,00	0,00	13,00	100,00	1,00	30,00	3,4
10,50	11,20	-2,00	-6,00	3000,00	2400,00	45,00	30,00	20,00	6,00	11,00	98,00	0,00	50,00	4,55
9,16	11,13	-3,00	-15,00	6130,00	3620,00	91,30	38,30	0,00	9,30	35,00	98,00	1,00	30,00	5,2
9,29	11,12	-4,00	-12,00	6210,00	3026,00	103,90	37,30	30,00	10,80	11,60	98,50	1,00	50,00	5,2
10,03	11,07	-3,50	-19,00	4500,00	2200,00	60,00	22,00	34,00	6,00	0,00	98,00	0,00	50,00	5,35
11,00	11,00	-0,30	-1,20	6372,00	4937,00	75,40	47,60	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	3,55
10,00	11,00	-1,00	-12,00	6771,00	2967,00	796,00	48,00	36,00	0,00	0,00	98,00	1,00	50,00	4,6
9,90	11,00	-2,00	-8,00	4500,00	3000,00	60,00	30,00	44,00	9,00	12,00	97,00	1,00	120,00	5,2
9,75	11,00	-1,50	-14,00	5500,00	3200,00	68,00	32,00	45,00	3,50	7,50	92,00	1,00	120,00	5,3
9,50	11,00	-2,00	-13,00	2350,00	1900,00	36,00	24,00	32,00	8,00	13,00	98,00	0,00	50,00	5,75
9,00	11,00	0,00	-13,50	4500,00	3000,00	60,00	30,00	44,00	9,00	12,00	97,60	1,00	120,00	5,7
10,00	10,90	-1,00	-14,40	6073,00	2087,00	142,00	36,00	35,00	7,20	0,00	98,50	1,00	50,00	5



9,90	10,90	-3,00	-16,00	7180,00	3100,00	80,00	24,00	30,00	6,20	9,00	98,90	0,00	50,00	5,25
8,46	10,88	-3,00	-21,00	3600,00	2000,00	102,80	33,10	35,00	11,60	10,40	98,00	1,00	50,00	5,9
10,79	10,85	-3,00	-7,00	7216,00	4760,00	76,40	32,00	20,00	6,00	13,60	43,00	1,00	50,00	4
10,75	10,85	0,00	0,00	2500,00	2170,00	43,00	34,00	0,00	7,00	13,00	100,00	1,00	30,00	4,5
9,40	10,79	-1,00	-11,00	7648,00	3205,00	182,00	52,00	30,40	4,00	0,00	98,00	1,00	50,00	4,6
8,85	10,77	-3,50	-18,50	3600,00	2900,00	55,00	25,00	55,00	7,00	0,00	92,00	0,00	120,00	5,35
8,85	10,77	-3,50	-18,50	3600,00	2900,00	55,00	25,00	55,00	7,00	0,00	92,00	0,00	120,00	5,35
9,25	10,75	-4,00	-18,00	3500,00	3000,00	60,00	35,00	55,00	5,50	0,00	83,00	1,00	120,00	5,5
8,80	10,70	-3,00	-22,00	3200,00	2500,00	50,00	20,00	50,00	8,00	0,00	81,00	1,00	120,00	5,7
9,56	10,65	-3,00	-11,00	5856,00	3383,00	82,11	23,52	44,00	8,00	10,00	91,50	1,00	120,00	5,2
10,03	10,62	-4,00	-8,00	6606,00	4323,00	90,00	54,00	22,00	4,00	11,00	94,00	0,00	50,00	4,05
8,90	10,60	-9,00	-18,00	7780,00	5065,00	64,40	34,74	74,40	4,00	46,80	70,00	1,00	120,00	5,5
9,25	10,50	-6,00	-17,00	5089,00	3066,00	77,00	26,00	47,50	4,80	0,00	89,00	1,00	120,00	5,1
9,25	10,50	-6,00	-17,00	5089,00	3066,00	82,00	26,00	53,00	4,40	0,00	89,00	1,00	120,00	5,1
9,25	10,50	-3,00	-17,00	5280,00	3546,00	82,00	30,00	53,00	5,10	0,00	89,00	1,00	120,00	5
9,25	10,50	-3,00	-17,00	5258,00	2727,00	75,00	30,00	53,00	5,00	0,00	89,00	1,00	120,00	5
9,44	10,47	-4,00	-10,00	6110,00	4115,00	87,00	38,00	17,00	5,50	12,00	98,00	0,00	50,00	4,65
9,88	10,32	-3,50	-9,00	3330,00	2600,00	50,00	30,00	22,00	9,00	0,00	97,80	0,00	50,00	4,55
9,05	10,29	-3,00	-13,00	6763,00	4593,00	60,30	28,30	42,00	8,40	12,00	91,50	1,00	120,00	4,9
10,25	10,75	-2,00	-4,00	4000,00	1800,00	55,00	30,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	4,05
9,20	10,24	-3,00	-11,00	5200,00	3560,00	78,50	28,20	46,00	4,00	10,40	91,50	1,00	120,00	4,9
8,70	10,21	-2,50	-7,00	3600,00	2600,00	45,00	24,00	55,00	7,00	0,00	97,00	0,00	120,00	4,95



9,00	10,00	-3,00	-12,00	5500,00	4000,00	70,00	30,00	18,00	3,00	11,00	92,00	1,00	50,00	4,5
8,80	10,00	-6,00	-17,00	5350,00	3784,00	76,00	25,00	53,00	4,00	0,00	89,00	1,00	120,00	5
8,55	9,88	-3,50	-16,00	3100,00	2100,00	55,00	25,00	60,00	5,00	0,00	89,00	0,00	120,00	5,05
9,40	9,70	-2,00	-4,50	6300,00	5700,00	75,00	65,00	33,00	33,00	33,00	75,70	0,00	50,00	3,95
8,00	9,50	-3,00	-18,00	4700,00	3500,00	70,00	35,00	90,00	9,00	19,00	69,00	1,00	120,00	5,7
8,50	9,50	-1,50	-15,00	7500,00	4600,00	80,00	30,00	40,00	4,50	9,00	92,00	1,00	50,00	4,8
8,26	9,44	-3,50	-16,00	3300,00	3100,00	55,00	28,00	60,00	5,00	0,00	88,00	0,00	120,00	4,95
9,40	9,70	-3,00	-3,00	6638,00	4135,00	63,35	34,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	3,35
8,00	9,00	-1,50	-14,00	4500,00	4400,00	70,00	60,00	40,00	2,50	8,00	69,00	1,00	50,00	4,4
7,50	8,50	-8,00	-12,00	7696,00	3810,00	57,60	57,20	36,80	4,00	1,00	64,00	1,00	50,00	4,1
6,49	7,08	-8,00	-8,00	4600,00	2900,00	45,00	30,00	70,00	5,00	0,00	58,00	0,00	120,00	4,45
6,25	6,85	-3,00	-10,00	4000,00	2800,00	55,00	35,00	23,00	7,00	11,00	98,50	0,00	50,00	4,25
6,20	6,20	-3,00	-3,00	9000,00	2000,00	80,00	30,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	3,05
6,00	6,00	-3,00	-3,00	2100,00	1631,00	65,00	37,00	0,00	6,00	0,00	100,00	1,00	30,00	3,8
4,50	5,25	-1,50	-10,00	2200,00	1200,00	55,00	14,00	34,00	10,00	2,00	99,00	1,00	50,00	4,8
9,59	10,21	-3,50	-16,00	3600,00	2900,00	70,00	25,00	50,00	4,40	0,00	84,00	0,00	120,00	4,95
13,25	13,88	-3,00	-10,00	8195,00	5945,00	109,05	69,51	16,00	4,00	0,00	95,00	1,00	50,00	4
12,99	13,47	-3,00	-8,00	4500,00	3500,00	65,00	40,00	21,00	0,00	0,00	96,00	0,00	50,00	4,45
12,70	13,45	-3,00	-9,00	4000,00	3000,00	60,00	40,00	22,00	0,00	0,00	98,50	0,00	50,00	4,65
12,30	13,57	-4,00	-8,00	9520,00	5945,00	106,23	43,95	18,40	4,00	8,40	95,50	0,00	50,00	4,45
12,11	13,87	-4,00	-12,00	7490,00	4820,00	107,70	56,40	39,00	4,00	5,60	94,50	1,00	50,00	4,9
12,06	12,06	0,00	-2,00	3000,00	3000,00	75,00	65,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	3,55

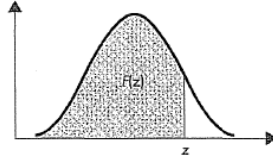


11,75	13,85	-3,00	-21,00	5000,00	4000,00	90,00	40,00	38,00	0,00	0,00	99,00	0,00	50,00	5,55
11,75	13,85	0,00	-16,00	5500,00	4000,00	80,00	35,00	60,00	3,40	13,00	99,00	0,00	120,00	5,95
11,70	13,48	-4,00	-15,00	8000,00	5205,00	100,36	49,13	41,00	4,00	13,00	94,00	1,00	120,00	5,2
11,57	13,84	-15,00	-16,00	7855,00	7520,00	71,00	52,00	45,00	4,00	29,60	85,50	1,00	120,00	5,5
11,49	13,73	-11,00	-14,00	8295,00	7495,00	82,65	57,65	42,80	4,00	28,00	81,00	1,00	120,00	5,5
11,47	12,79	-4,00	-4,00	7070,00	6255,00	49,16	37,76	38,00	4,40	13,00	82,50	1,00	50,00	4,7
11,28	13,47	-9,00	-14,00	7245,00	6170,00	73,20	50,40	37,00	6,90	24,40	81,00	1,00	50,00	5,7
11,08	12,06	-2,40	-14,60	4380,00	2700,00	80,00	38,00	24,00	0,00	0,00	98,00	1,00	50,00	4,6
11,08	13,02	-3,00	-12,00	2500,00	2170,00	43,00	34,00	25,00	4,00	13,00	94,50	1,00	50,00	5,5
11,08	12,03	-4,00	-14,00	8500,00	5500,00	104,00	40,00	45,00	5,00	0,00	83,00	1,00	120,00	4,6
11,08	12,36	-3,00	-11,00	3775,00	2900,00	105,20	42,10	24,80	5,60	11,60	98,50	1,00	50,00	5
10,85	12,19	-3,00	-17,00	3750,00	2000,00	60,00	20,00	60,00	0,00	0,00	53,00	0,00	120,00	5,15
10,82	12,99	-3,00	-18,00	4000,00	1750,00	70,00	20,00	65,00	0,00	0,00	53,00	1,00	120,00	5,8
10,79	12,63	-3,00	-15,00	7186,00	3386,00	116,60	53,20	24,80	6,00	12,40	98,50	1,00	50,00	5,1
10,67	12,09	-3,00	-14,00	2500,00	2170,00	43,00	34,00	26,40	4,80	11,20	98,50	1,00	50,00	5,4
10,57	12,19	-3,00	-18,00	4500,00	2500,00	80,00	20,00	77,00	4,00	4,00	89,00	0,00	120,00	5,75
10,57	12,28	-3,00	-11,00	6725,00	3955,00	96,30	54,10	21,00	6,20	8,80	98,50	1,00	50,00	4,5
10,48	12,80	-9,00	-15,00	6615,00	5880,00	70,50	48,70	32,60	7,50	42,30	81,00	1,00	50,00	5,8
9,78	11,84	-3,00	-14,00	6873,00	3880,00	94,40	41,20	41,50	9,60	7,20	94,50	1,00	120,00	5,4
9,71	11,85	-3,00	-20,00	6610,00	3450,00	95,30	35,30	40,00	9,00	11,20	98,00	1,00	50,00	5,7
9,64	11,27	-3,00	-13,00	6583,00	3226,00	99,00	41,40	29,00	10,80	12,00	98,50	1,00	50,00	5,2
9,51	10,25	-3,00	-8,00	6758,00	6553,00	76,30	53,90	20,00	6,00	4,40	87,00	1,00	50,00	3,8
9,41	10,48	-3,00	-10,00	6080,00	2890,00	99,60	37,30	24,00	8,40	12,00	98,00	1,00	50,00	4,7



9,38	11,72	-5,00	-19,00	7825,00	4660,00	114,30	44,60	54,00	8,00	12,00	91,50	1,00	120,00	5,5
9,38	11,54	-2,00	-13,00	2350,00	1900,00	36,00	24,00	32,00	8,00	13,00	98,00	0,00	50,00	5,85
9,24	11,77	-5,00	-18,00	8153,00	3966,00	126,90	34,00	84,80	10,40	7,20	87,00	1,00	120,00	5,7
9,08	11,52	-3,00	-21,00	5920,00	3080,00	99,50	36,50	38,60	10,20	10,00	98,00	1,00	50,00	5,7
9,05	11,31	-2,00	-10,00	5005,00	3980,00	97,30	39,00	52,00	0,00	14,40	100,00	0,00	120,00	4,95
9,05	11,75	-3,00	-21,00	6650,00	3590,00	96,80	38,00	38,66	9,00	12,00	95,00	1,00	50,00	5,7
9,01	11,75	-4,00	-23,00	6010,00	5205,00	95,87	69,69	62,00	3,60	9,60	75,50	1,00	120,00	5,6
8,99	11,93	-6,00	-24,00	9130,00	6260,00	140,60	73,70	83,40	5,30	8,80	73,00	0,00	120,00	5,45
8,96	11,16	-3,00	-16,00	6126,00	3513,00	98,80	41,10	41,06	8,10	10,40	98,00	1,00	120,00	5,6
8,90	11,57	-5,00	-21,00	5870,00	2963,00	84,60	32,00	51,20	7,60	6,80	92,50	1,00	120,00	6
8,75	10,91	-5,00	-20,00	5765,00	4220,00	81,74	43,91	50,00	4,00	12,00	92,44	1,00	120,00	5,6
8,65	10,55	-3,00	-18,00	6710,00	3075,00	108,57	31,30	39,20	11,60	9,60	98,00	1,00	50,00	5,3
8,28	8,55	-3,00	-3,00	4920,00	1810,00	79,00	39,00	0,00	0,00	7,60	100,00	1,00	30,00	3,8
7,62	8,23	-3,00	-3,00	4986,00	1820,00	74,00	26,60	0,00	0,00	13,60	100,00	1,00	30,00	4
7,76	8,75	-2,00	-8,00	4500,00	2500,00	60,00	25,00	61,00	6,00	28,00	77,00	1,00	120,00	4,8
7,08	8,09	-3,00	-17,00	2200,00	1600,00	18,00	8,00	50,00	5,00	0,00	59,50	0,00	120,00	5,15
6,11	6,81	-3,00	-12,00	2000,00	1000,00	45,00	15,00	22,00	0,00	0,00	98,50	0,00	50,00	4,25
5,72	5,87	-3,00	-3,00	1750,00	1250,00	50,00	30,00	0,00	0,00	0,00	15,00	1,00	30,00	3,3
5,38	6,70	-3,00	-9,00	2000,00	800,00	35,00	18,00	25,00	0,00	0,00	98,50	0,00	50,00	4,55
5,25	5,72	-3,00	-7,00	2000,00	1000,00	30,00	12,00	20,00	0,00	0,00	98,50	0,00	50,00	3,95
4,64	4,80	-3,00	-3,00	1500,00	1250,00	40,00	20,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	3,75
4,63	4,63	-3,00	-3,00	6362,00	4947,00	75,40	47,60	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	30,00	2,95
4,52	4,54	-3,00	-16,00	4500,00	2500,00	60,00	25,00	61,00	6,00	28,00	68,00	1,00	120,00	4,9

EK-3. Normal Dağılım Tablosu.



Bu çizelge, standart normal rassal değişkenin z sayısından küçük olma olasılığı $F(z)$ 'yi gösterir. Sözelimi standart normal rassal değişkenin 1.96'dan küçük olma olasılığı 0.975'tir.

z	F(z)	z	F(z)	z	F(z)	z	F(z)	z	F(z)	z	F(z)	z	F(z)	z	F(z)	z	F(z)	z	F(z)
.00	.5000																		
.01	.5040	.31	.6217	.61	.7291	.91	.8186	1.21	.8869	1.51	.9345	1.81	.9649	2.11	.9826	2.41	.9920	2.71	.9966
.02	.5040	.32	.6255	.62	.7324	.92	.8212	1.22	.8888	1.52	.9357	1.82	.9656	2.12	.9830	2.42	.9922	2.72	.9967
.03	.5120	.33	.6293	.63	.7357	.93	.8238	1.23	.8907	1.53	.9370	1.83	.9664	2.13	.9834	2.43	.9925	2.73	.9968
.04	.5160	.34	.6331	.64	.7389	.94	.8264	1.24	.8925	1.54	.9382	1.84	.9671	2.14	.9838	2.44	.9927	2.74	.9969
.05	.5199	.35	.6368	.65	.7422	.95	.8289	1.25	.8944	1.55	.9394	1.85	.9678	2.15	.9842	2.45	.9929	2.75	.9970
.06	.5239	.36	.6406	.66	.7454	.96	.8315	1.26	.8962	1.56	.9406	1.86	.9686	2.16	.9846	2.46	.9931	2.76	.9971
.07	.5279	.37	.6443	.67	.7486	.97	.8340	1.27	.8980	1.57	.9418	1.87	.9693	2.17	.9850	2.47	.9932	2.77	.9972
.08	.5319	.38	.6480	.68	.7517	.98	.8365	1.28	.8997	1.58	.9429	1.88	.9699	2.18	.9854	2.48	.9934	2.78	.9973
.09	.5359	.39	.6517	.69	.7549	.99	.8389	1.29	.9015	1.59	.9441	1.89	.9706	2.19	.9857	2.49	.9936	2.79	.9974
.10	.5398	.40	.6554	.70	.7580	1.00	.8413	1.30	.9032	1.60	.9452	1.90	.9713	2.20	.9861	2.50	.9938	2.80	.9974
.11	.5438	.41	.6591	.71	.7611	1.01	.8438	1.31	.9049	1.61	.9463	1.91	.9719	2.21	.9864	2.51	.9940	2.81	.9975
.12	.5478	.42	.6628	.72	.7642	1.02	.8461	1.32	.9066	1.62	.9474	1.92	.9726	2.22	.9868	2.52	.9941	2.82	.9976
.13	.5517	.43	.6664	.73	.7673	1.03	.8485	1.33	.9082	1.63	.9484	1.93	.9732	2.23	.9871	2.53	.9943	2.83	.9977
.14	.5557	.44	.6700	.74	.7704	1.04	.8508	1.34	.9099	1.64	.9495	1.94	.9738	2.24	.9875	2.54	.9945	2.84	.9977
.15	.5596	.45	.6736	.75	.7734	1.05	.8531	1.35	.9115	1.65	.9505	1.95	.9744	2.25	.9878	2.55	.9946	2.85	.9978
.16	.5636	.46	.6772	.76	.7764	1.06	.8554	1.36	.9131	1.66	.9515	1.96	.9750	2.26	.9881	2.56	.9948	2.86	.9979
.17	.5675	.47	.6803	.77	.7794	1.07	.8577	1.37	.9147	1.67	.9525	1.97	.9756	2.27	.9884	2.57	.9949	2.87	.9979
.18	.5714	.48	.6844	.78	.7823	1.08	.8599	1.38	.9162	1.68	.9535	1.98	.9761	2.28	.9887	2.58	.9951	2.88	.9980
.19	.5753	.49	.6879	.79	.7852	1.09	.8621	1.39	.9177	1.69	.9545	1.99	.9767	2.29	.9890	2.59	.9952	2.89	.9981
.20	.5793	.50	.6915	.80	.7881	1.10	.8643	1.40	.9192	1.70	.9554	2.00	.9772	2.30	.9893	2.60	.9953	2.90	.9981
.21	.5832	.51	.6950	.81	.7910	1.11	.8665	1.41	.9207	1.71	.9564	2.01	.9778	2.31	.9896	2.61	.9955	2.91	.9982
.22	.5871	.52	.6985	.82	.7939	1.12	.8686	1.42	.9222	1.72	.9573	2.02	.9783	2.32	.9898	2.62	.9956	2.92	.9982
.23	.5910	.53	.7019	.83	.7967	1.13	.8708	1.43	.9236	1.73	.9582	2.03	.9788	2.33	.9901	2.63	.9957	2.93	.9983
.24	.5948	.54	.7054	.84	.7995	1.14	.8729	1.44	.9251	1.74	.9591	2.04	.9793	2.34	.9904	2.64	.9959	2.94	.9984
.25	.5987	.55	.7088	.85	.8023	1.15	.8749	1.45	.9265	1.75	.9599	2.05	.9798	2.35	.9906	2.65	.9960	2.95	.9984
.26	.6026	.56	.7123	.86	.8051	1.16	.8770	1.46	.9279	1.76	.9608	2.06	.9803	2.36	.9909	2.66	.9961	2.96	.9985
.27	.6064	.57	.7157	.87	.8078	1.17	.8790	1.47	.9292	1.77	.9616	2.07	.9808	2.37	.9911	2.67	.9962	2.97	.9985
.28	.6103	.58	.7190	.88	.8106	1.18	.8810	1.48	.9306	1.78	.9625	2.08	.9812	2.38	.9913	2.68	.9963	2.98	.9986
.29	.6141	.59	.7224	.89	.8133	1.19	.8830	1.49	.9319	1.79	.9633	2.09	.9817	2.39	.9916	2.69	.9964	2.99	.9986
.30	.6179	.60	.7257	.90	.8159	1.20	.8849	1.50	.9332	1.80	.9641	2.10	.9821	2.40	.9918	2.70	.9965	3.00	.9986

EK-4. Standart 5 Cepli Model için Yapılan İş Etüdü Çalışması Değerleri.

Görev No	Operasyon	Band	İşlem	Makine	Süre (dk.)	ZAMAN ETÜTLERİ (DK)					Toplam Süre (dk.)	Ortalama Süre	Standart Sapma
						1	2	3	4	5			
1	Açık patlet overloğu	Ön Hazırlık	Ön	3OV DİKİŞ	0,06	0,058	0,067	0,053	0,062	0,042	0,282	0,0564	0,0085
2	Kapalı patlet overlok(+tulum-çevirme)	Ön Hazırlık	Ön	3OV DİKİŞ	0,11	0,106	0,123	0,097	0,113	0,077	0,516	0,1032	0,0156
3	Ön ağ overlok(x1)	Ön Hazırlık	Ön	DÜZ DİKİŞ	0,09	0,086	0,101	0,079	0,093	0,063	0,422	0,0844	0,013
4	Saat cep ağzı kıvrıma +Toplama	Ön Hazırlık	Ön	DÜZ DİKİŞ	0,09	0,086	0,101	0,079	0,093	0,063	0,422	0,0844	0,013
5	Saat cep takma	Ön Hazırlık	Ön	ÇİFT İĞNE	0,26	0,25	0,291	0,229	0,268	0,182	1,22	0,244	0,0371
6	Saat Cep Punteriz	Ön Hazırlık	Ön	PUNTERİZ	0,12	0,115	0,134	0,106	0,124	0,084	0,563	0,1126	0,0171
7	Karşılık regüle	Ön Hazırlık	Ön	MANUEL	0,06	0,058	0,067	0,053	0,062	0,042	0,282	0,0564	0,0085
8	Karşılık astar montaj (x2)	Ön Hazırlık	Ön	REÇME	0,17	0,163	0,19	0,15	0,175	0,119	0,797	0,1594	0,0241
9	Cep torbası kapama (x2)	Ön Hazırlık	Ön	3OV DİKİŞ	0,23	0,207	0,235	0,207	0,23	0,207	1,086	0,2172	0,0126
10	Cep torbası gaze+çevirme (x2)	Ön Hazırlık	Ön	DÜZ	0,27	0,243	0,275	0,243	0,27	0,243	1,274	0,2548	0,0145
11	Arka cep ağzı kıvrıma-Aparalı (x2)	Arka Hazırlık	Arka	DÜZ DİKİŞ	0,15	0,144	0,147	0,143	0,146	0,143	0,723	0,1446	0,0016
12	Arka cep ağzı kıvrıma Toplama (x2)	Arka Hazırlık	Arka	MANUEL	0,06	0,058	0,059	0,057	0,058	0,057	0,289	0,0578	0,0007
13	Arka Cep Ağzı kıvrıma	Arka Hazırlık	Arka	OTO	0,10	0,096	0,098	0,095	0,097	0,095	0,481	0,0962	0,0012
14	Arka cep takma (x2)	Arka Hazırlık	Arka	JAM	0,45	0,432	0,441	0,428	0,437	0,428	2,166	0,4332	0,0051
15	Arka Cep Ütü	Arka Hazırlık	Arka	VİBERMAC	0,40	0,384	0,392	0,38	0,388	0,38	1,924	0,3848	0,0047
16	Arka cep takma (x2)	Arka Hazırlık	Arka	VİBERMAC	0,49	0,47	0,48	0,466	0,475	0,466	2,357	0,4714	0,0054
17	Conta takma (x2)	Arka Grup	Arka	KOLLU	0,27	0,259	0,265	0,257	0,262	0,257	1,3	0,26	0,0031
18	Arka panel overlok (x2)	Arka Grup	Arka	3OV DİKİŞ	0,36	0,346	0,353	0,342	0,349	0,342	1,732	0,3464	0,0042
19	Arka panel overlok (x2)	Arka Grup	Arka	OTO	0,27	0,259	0,265	0,257	0,262	0,257	1,3	0,26	0,0031
20	Conta Regüle (x2)	Arka Grup	Arka	MANUEL	0,11	0,106	0,108	0,105	0,107	0,105	0,531	0,1062	0,0012
21	Arka orta çatma	Arka Grup	Arka	KOLLU	0,20	0,192	0,196	0,19	0,194	0,19	0,962	0,1924	0,0023
22	Arka regula	Arka Grup	Arka	MANUEL	0,15	0,144	0,147	0,143	0,146	0,143	0,723	0,1446	0,0016
23	Açık Patlet takma+çıma	Ön Grup	Ön	DÜZ DİKİŞ	0,25	0,24	0,245	0,238	0,243	0,238	1,204	0,2408	0,0028
24	Açık patlete fermuar takma	Ön Grup	Ön	ÇİFT İĞNE	0,18	0,173	0,176	0,171	0,175	0,171	0,866	0,1732	0,002
25	Patlet üstü baskı dikiş	Ön Grup	Ön	ÇİFT İĞNE	0,20	0,192	0,196	0,19	0,194	0,19	0,962	0,1924	0,0023
26	Ön cep ağzı biye (x2)	Ön Grup	Ön	BİYE	0,30	0,288	0,294	0,285	0,291	0,285	1,443	0,2886	0,0035
27	Ön cep karşılık tutturma (x2)	Ön Grup	Ön	BIÇAKLI	0,32	0,307	0,314	0,304	0,31	0,304	1,539	0,3078	0,0038

28	Yıkama talimatı takma-Rafyalı	Ön Grup	Ön	DÜZ DİKİŞ	0,19	0,182	0,186	0,181	0,184	0,181	0,914	0,1828	0,0019
29	Kapalı patlet takma+uç tutturma	Ön Grup	Ön	DÜZ DİKİŞ	0,20	0,192	0,196	0,19	0,194	0,19	0,962	0,1924	0,0023
30	Ön birleştirme	Ön Grup	Ön	DÜZ DİKİŞ	0,27	0,259	0,265	0,257	0,262	0,257	1,3	0,26	0,0031
31	Ön alt bağlama	Ön Grup	Ön	ÇİFT İĞNE	0,25	0,24	0,245	0,238	0,243	0,238	1,204	0,2408	0,0028
32	Ön punteriz(x2)	Ön Grup	Ön	PNTRZ	0,16	0,154	0,157	0,152	0,155	0,152	0,77	0,154	0,0019
33	Ön panel overlok (x2)	Ön Grup	Ön	3OV DİKİŞ	0,29	0,278	0,284	0,276	0,281	0,276	1,395	0,279	0,0031
34	Ön panel overlok (x2)	Ön Grup	Ön	OTO	0,22	0,211	0,216	0,209	0,213	0,209	1,058	0,2116	0,0027
35	Kemer hazırlık - çift kemer ekleme	Montaj-Giriş	Birleştirme	3OV DİKİŞ	0,15	0,144	0,147	0,143	0,146	0,143	0,723	0,1446	0,0016
36	Kemer tela (x2)- (Toplamasız)	Montaj-Giriş	Birleştirme	TELA	0,12	0,115	0,118	0,114	0,116	0,114	0,577	0,1154	0,0015
37	Kemer tela toplama	Montaj-Giriş	Birleştirme	MANUEL	0,07	0,067	0,069	0,067	0,068	0,067	0,338	0,0676	0,0008
38	Kemer çizim (Toplamalı)	Montaj-Giriş	Birleştirme	MANUEL	0,16	0,154	0,157	0,152	0,155	0,152	0,77	0,154	0,0019
39	Ön patlet regula	Montaj-Giriş	Birleştirme	MANUEL	0,11	0,106	0,108	0,105	0,107	0,105	0,531	0,1062	0,0012
40	Ön ve Arka Panel Eşleme	Montaj-Giriş	Birleştirme	MANUEL	0,04	0,038	0,039	0,038	0,039	0,038	0,192	0,0384	0,0005
41	Bacak arası çatma	Montaj-Giriş	Birleştirme	KOLLU	0,33	0,317	0,323	0,314	0,32	0,314	1,588	0,3176	0,0035
42	Panel çevirme+kemer koyma	Montaj-Giriş	Birleştirme	MANUEL	0,18	0,173	0,176	0,171	0,175	0,171	0,866	0,1732	0,002
43	Yan çatma	Montaj-Giriş	Birleştirme	5OV DİKİŞ	0,45	0,432	0,441	0,428	0,437	0,428	2,166	0,4332	0,0051
44	Yan çıma(emniyet dikişi ile)	Montaj-Giriş	Birleştirme	DÜZ/ÇİFT İĞNE	0,40	0,384	0,392	0,38	0,388	0,38	1,924	0,3848	0,0047
45	Kemer Büzgü Dikişi	Montaj-Giriş	Birleştirme	3OV DİKİŞ	0,18	0,173	0,176	0,171	0,175	0,171	0,866	0,1732	0,002
46	Kemer takma (çift kemer)	Montaj-Giriş	Birleştirme	KEMER	0,32	0,307	0,314	0,304	0,31	0,304	1,539	0,3078	0,0038
47	Kemer Uç-İç Temizlik	Montaj-Giriş	Birleştirme	MANUEL	0,34	0,326	0,333	0,323	0,33	0,323	1,635	0,327	0,0039
48	Kemer ucu yapma-alt	Montaj-Giriş	Birleştirme	DÜZ DİKİŞ	0,35	0,336	0,343	0,333	0,34	0,333	1,685	0,337	0,0039
49	Kemer ucu yapma-üst	Montaj-Giriş	Birleştirme	DÜZ DİKİŞ	0,40	0,384	0,392	0,38	0,388	0,38	1,924	0,3848	0,0047
50	Yan Açma ütü+ters düz	Montaj-Çıkış	Birleştirme	ÜTÜ	0,30	0,288	0,294	0,285	0,291	0,285	1,443	0,2886	0,0035
51	Paça kıvrırma	Montaj-Çıkış	Birleştirme	DÜZ DİKİŞ	0,37	0,355	0,363	0,352	0,359	0,352	1,781	0,3562	0,0043
52	Köprü hazırlık	Montaj-Çıkış	Birleştirme	APARA	0,07	0,067	0,069	0,067	0,068	0,067	0,338	0,0676	0,0008
53	Köprü takma	Montaj-Çıkış	Birleştirme	KÖPRÜ	0,24	0,23	0,235	0,228	0,233	0,228	1,154	0,2308	0,0028
54	Yan çıma punteriz (x2)	Montaj-Çıkış	Birleştirme	PUNTERİZ	0,20	0,192	0,196	0,19	0,194	0,19	0,962	0,1924	0,0023
55	Kalite Kontrol	Montaj-Çıkış	Birleştirme	MANUEL	0,26	0,25	0,255	0,247	0,252	0,247	1,251	0,2502	0,0031
56	Meto temizleme	Montaj-Çıkış	Birleştirme	MANUEL	0,16	0,154	0,157	0,152	0,155	0,152	0,77	0,154	0,0019
57	İlik açma	Montaj-Çıkış	Birleştirme	İLİK	0,09	0,086	0,088	0,086	0,087	0,086	0,433	0,0866	0,0008
ek	Ağ, yan ve pens sağlamlaştırma	Montaj-Çıkış	Birleştirme	3OV DİKİŞ	0,15	0,144	0,147	0,143	0,146	0,143	0,723	0,1446	0,0016

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Atakan Tahsin

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 17.12.1991

Medeni Hali : Bekar

E-Mail : atakan_tahsin@hotmail.com

Adres (Ev) : Merkez Mah. Namık Kemal Cad. Fatih Sok. Gürkan Apt.No:48

Daire: 21 Avcılar / İstanbul

Telefon Cep : 0534 384 41 68

Eğitim Durumu:

Yüksek Lisans : İstanbul Arel Üniversitesi
2015-2017 Fen Bilimleri Enstitüsü / Endüstri Mühendisliği Anabilim
Dalı, Mühendislik Yönetimi Bölümü

Lisans : Malatya İnönü Üniversitesi
2010-2015 Mühendislik Fakültesi / Kimya Mühendisliği

Lise : Sabancı 50.Yıl Anadolu Lisesi / Fen Bilimleri
2006-2010

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi: Baykanlar Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti.- Üretim Planlama Müh.