

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selehaddin Erdem ÖZKAN

**FARKLI KAPASİTELİ PARALEL MAKİNELERİN DİNAMİK ÇİZELGELENMESİ
İÇİN SEZGİSEL BİR ALGORİTMA VE UYGULAMASI**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2009

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KAPASİTELİ PARALEL MAKİNELERİN DİNAMİK
ÇİZELGELENMESİ İÇİN SEZGİSEL
BİR ALGORİTMA VE UYGULAMASI**

Selehaddin Erdem ÖZKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 15/05/2009 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....
Prof. Dr. Rızvan EROL
Danışman

İmza.....
Prof.Dr.Osman BABAARSLAN
Üye

İmza.....
Yrd.Doç. Dr. S.Noyan OĞULATA
Üye

Bu tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI KAPASİTELİ PARALEL MAKİNELERİN DİNAMİK
ÇİZELGELENMESİ İÇİN SEZGİSEL BİR ALGORİTMA VE
UYGULAMASI**

Selehaddin Erdem ÖZKAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Rızvan EROL

Yıl : 2009, **Sayfa :** 75

Jüri : Prof. Dr. Rızvan EROL
Prof. Dr. Osman BABAARSLAN
Yrd.Doç. Dr. S.Noyan OĞULATA

Günümüzde gelişen teknoloji ve ürünlerle birlikte üretim sistemleri oldukça karmaşık hale gelmiştir. Bu durum işletmelerin dinamik koşullar altında üretim çizelgeleri oluşturmalarını zorlaştırmakta ve yeni çizelgeleme algoritmalarına ihtiyaç oluşturmaktadır.

Bu çalışmada önerilen yeni dinamik çizelgeleme algoritması ile farklı kapasiteli paralel makinelerin bulunduğu üretim sistemlerinde; geciken siparişlerin oranını ve üretim için harcanan hazırlık sürelerini azaltmak, makine kullanım kapasitesini arttırmak ve yarı mamul stok seviyesini düşürmek amaçlanmaktadır.

Algoritmanın test edilmesi için bir tekstil firmasından alınan gerçek veriler kullanılarak simülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sezgisel algoritmanın performansı EDD ve SPT iş sıralama kurallarını içeren algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı senaryolarda algoritmanın tutarlılığı test edilmiş ve belirli şartlar altında, paralel makinelerin çizelgelenmesi için etkin olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : üretim planlama, simülasyon, çizelgeleme, atölye tipi üretim sistemi, paralel makineler

ABSTRACT

MSc THESIS

A HEURISTIC ALGORITHM FOR DYNAMIC SCHEDULING OF PARALLEL MACHINES AND ITS APPLICATION
--

Selehaddin Erdem ÖZKAN

**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor : Prof. Dr. Rızvan EROL

Year : 2009, **Pages :** 75

Jury : Prof. Dr. Rızvan EROL

Prof. Dr. Osman BABAARSLAN

Assist. Prof. Dr. S.Noyan OĞULATA

By development of technology and products, increasing complexity and dynamic conditions have made necessary development of new scheduling algorithms. Mathematical modelling is inadequate for solving complex scheduling problems.

In this study, the proposed new dynamic heuristic scheduling algorithm aims to maximize machine capacity usage ratio, and to decrease total setup time, the rate of late jobs and work -in process inventory.

To test this algorithm, simulation experiments are built upon real datas which are collected from a textile facility. Performance of the developed heuristic algorithm is compared with performance of EDD and SPT dispatching rules. Furthermore, consistency of the algorithm is validated under circumstances and it's seen that the algorithm is practible at scheduling paralel machines.

Keywords : production planning, scheduling, job-shop production systems, parallel machines, simulation

TEŞEKKÜR

Öğrenim süresince her konuda yardımcı olan ve bana her aşamada yol gösteren danışmam hocam Prof. Dr. Rızvan EROL'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim. Tez metnin iyileştirilmesindeki değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Osman BABAARSLAN ve Yrd. Doç. Dr. S. Noyan OĞULATA' ya ve öğrenimim boyunca yardımlarını eksik etmeyen Endüstri Mühendisliği Öğretim Görevlisi İrfan MACİT'e teşekkür ederim. Bu çalışma süresince her konuda desteğini esirgemeyen eşime ve aileme en içten sevgi ve saygılarımla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	5
1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Varsayımlar.....	8
1.3.1. Kapsam.....	8
1.3.2. Varsayımlar.....	9
1.4. Çalışmanın Aşamaları.....	10
1.5. Tezin Organizasyonu.....	10
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
2.1. Çizelgeleme Algoritmaları.....	12
2.2. Paralel Makinelerin Çizelgelenmesi.....	13
2.3. Tekstilde Paralel Makinelerin Çizelgelenmesi.....	17
2.4. Literatürün Değerlendirilmesi.....	18
3.MATERYAL VE METOD.....	21
3.1. Materyal.....	21
3.2. Metod.....	22
3.2.1. Sistemin Tanımı.....	22
3.2.2. Çizelgeleme Sisteminin Amaçları.....	24
3.2.3. Problemin Matematiksel Modeli.....	26
3.2.3.1. Notasyon.....	26
3.2.3.2. Matematiksel Modelin Çözümü.....	28
3.2.3.3. Matematiksel Modelin Değerlendirilmesi.....	30
3.2.4.Geliştirilen Sezgisel Çizelgeleme Algoritması.....	31

3.2.5. Karşılaştırma Yapılacak İş Sıralama Kuralları.....	32
3.2.6. Simülasyon Analizi.....	33
3.2.7. Performans Kriterlerinin Belirlenmesi.....	36
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. İşletme Verileri ve Analizi.....	37
4.2. Sezgisel Algoritmanın Uygulanması.....	41
4.2.1. Çizelgenin Oluşturulması.....	42
4.2.2. Sezgisel Algoritmanın Matematiksel Model İle Karşılaştırılması.....	45
4.3. Simülasyon Sonuçları.....	47
4.3.1. Mevcut Durum.....	47
4.3.2. Sipariş Geliş Sıklığının Etkileri.....	48
4.3.2.1. Sip. Geliş Sıklığı – Ü. A. Kapasite Kul.Oranı İlişkisi.....	48
4.3.2.2. Sip. Geliş Sıklığı – Geciken iş Yüzdesi İlişkisi.....	51
4.3.2.3. Sip. Geliş Sıklığı – Yarı Mamul Miktarı İlişkisi.....	53
4.3.2.4. Sip. Geliş Sıklığı – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi.....	55
4.3.3. Sipariş Büyüklüğünün Etkileri.....	57
4.3.3.1. Sip. Büyüklüğü – Ü. A. Kapasite Kul.Oranı İlişkisi.....	57
4.3.3.2. Sip. Büyüklüğü – Geciken iş Yüzdesi İlişkisi.....	59
4.3.3.3. Sip. Büyüklüğü – Yarı Mamul Miktarı İlişkisi.....	61
4.3.3.4. Sip. Büyüklüğü – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi.....	63
4.3.4. Ürün Kompozisyonunun Etkileri.....	65
4.3.4.1. Ürün Kompozisyonu – Ü. A. K. K.Oranı İlişkisi.....	65
4.3.4.2. Ürün Kompozisyonu – Toplam Haz. Süresi İlişkisi.....	67
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
5.1. Çalışma Özeti.....	69
5.2. Sonuçlar.....	69
5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler.....	70
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	73
EKLER.....	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

2.1. Literatür Karşılaştırma Tablosu.....	18
3.1. İşletmede Bulunan Boyama Kazanları.....	23
3.2. Amaç Fonksiyonları Hedef Değerleri Tablosu	29
4.1. Renk Grubu Geçişine Göre Hazırlık Süreleri.....	37
4.2. Geçmiş Bir Yıla Ait Günlük Sipariş Miktarları.....	38
4.3. Örnek Problem Verileri.....	41
4.4. Örnek İşlerin Makinelere Atanması.....	42
4.5. Örnek İşlerin Ağırlıklandırılması.....	43
4.6. Örnek İşlerin Sıralanması.....	43
4.7. Örnek İşler İçin Gerekli Minimum Hazırlık Süreleri.....	44
4.8. Örnek İşler İçin Gerekli Maksimum Hazırlık Süreleri.....	44
4.9. Örnek Çizelgeye Göre Gerekli Maksimum Hazırlık Süreleri.....	45
4.10. Algoritma – Matematiksel Model Performans Karşılaştırması.....	46
4.11. Mevcut Durum – Sezgisel Algoritma Performans Karşılaştırması.....	47
4.12. Değişken Sipariş Geliş Sıklığı – Kapasite Kullanım Oranı Sonuçları.....	49
4.13. Değişken Sipariş Geliş Sıklığı – Geciken İş Yüzdesi Sonuçları.....	51
4.14. Değişken Sipariş Geliş Sıklığı – Yarı Mamul Miktarı Sonuçları.....	53
4.15. Değişken Sipariş Geliş Sıklığı – Toplam Hazırlık Süresi Sonuçları.....	55
4.16. Değişken Sipariş Büyüklüğü – Kapasite Kullanım Oranı Sonuçları.....	57
4.17. Değişken Sipariş Büyüklüğü – Geciken İş Yüzdesi Sonuçları.....	59
4.18. Değişken Sipariş Büyüklüğü – Yarı Mamul Miktarı Sonuçları.....	61
4.19. Değişken Sipariş Büyüklüğü – Toplam Hazırlık Süresi Sonuçları.....	63
4.20. Farklı Ürün Kompozisyonu – Kapasite Kullanım Oranı Sonuçları.....	65
4.21. Farklı Ürün Kompozisyonu – Toplam Hazırlık Süresi Sonuçları.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

1.1. Üretim Planlama ve Kontrol Süreci.....	3
3.1. İplik Boyama Prosesi.....	24
3.2. Simülasyon Modeli Akış Şeması.....	35
4.1. Günlük Gelen Sipariş Miktarına Ait Histogram Grafiği.....	39
4.2. Sipariş Büyüklüklerine Ait Histogram Grafiği.....	40
4.3. İşletmeye Gelen Siparişlerin Renk Dağılımı.....	41
4.4. Örnek Çizelge – I.....	42
4.5. Örnek Çizelge – II.....	43
4.6. Örnek Çizelge – III.....	43
4.7. Örnek Problem - Nihai Çizelge.....	45
4.8. Örnek Problem – Matematiksel Modelin Oluşturduğu Çizelge.....	46
4.9. Sipariş Geliş Sıklığı – Ü.A. Kapasite Kullanım Oranı İlişkisi.....	50
4.10. Sipariş Geliş Sıklığı – Geciken İş Yüzdesi İlişkisi.....	52
4.11. Sipariş Geliş Sıklığı – Yarı Mamul Miktarı İlişkisi.....	54
4.12. Sipariş Geliş Sıklığı – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi.....	56
4.13. Sipariş Büyüklüğü – Ü.A. Kapasite Kullanım Oranı İlişkisi.....	58
4.14. Sipariş Büyüklüğü – Geciken İş Yüzdesi İlişkisi.....	60
4.15. Sipariş Büyüklüğü – Yarı Mamul Miktarı İlişkisi.....	62
4.16. Sipariş Büyüklüğü – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi.....	64
4.17. Renk Kompozisyonu – Ü.A. Kapasite Kullanım Oranı İlişkisi.....	66
4.18. Renk Kompozisyonu – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi.....	68

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Günümüzde gelişen teknoloji ve ürünlerle birlikte üretim sistemleri oldukça karmaşık hale gelmiştir. Endüstri devrimiyle birlikte ürünlerin daha kolay ulaşılabilir olması müşterilerin taleplerini arttırmış, artan müşteri taleplerini karşılamak amacıyla işletmeler de üretim kapasitelerini arttırmaya başlamıştır. Büyüyen işletmelerde üretim kolayca koordine edilemez hale gelmiş ve bu durum üretim planlama ve kontrol sistemleri ihtiyacını doğurmuştur.

Üretim planlaması işletmenin mevcut kaynaklarını rasyonel olarak kullanarak istenilen kalitede mamullerin üretilebilmesi konusunda karar alma işlemidir. Başka bir ifadeyle üretim planlaması, işletmenin üretim faaliyetlerinin istenilen miktar, kalite, yer, ve zamanda; kimler tarafından nasıl, ne şekilde ve ne zaman yapılacağına ilişkin faaliyetlerden meydana gelmektedir. Üretim planlaması ile başarmak istenen, belirli bir mamulün üretimini istenilen miktarda ve nitelikte gerçekleştirmektir. Bunun sağlanabilmesi, gerekli üretim faaliyetlerinin yeterli miktarda ve uygun zamanda sağlanabilmesi ile mümkün olur. Üretimi düşünülen mamulün nitelikleri ve miktarı; hammadde, malzeme, işgücü ve sermaye maliyetleri gibi üretim faktörleriyle doğrudan ilgili olmaktadır. İşletme yöneticileri, üretim planlamasını gerçekleştirebilmek için, ilk olarak gelecekte yapılacak üretim faaliyetleri sonucu elde edilecek mamullerin piyasada olabileceği durumu ve gelecekte teknolojiden etkilenebilme gibi hususları, birtakım tahmin metodlarına göre önceden tespit ederler. Bu tahminlerden sonra planlama faaliyetleri başlar. Üretim planlaması, üretim sistemlerinin gelişmesine paralel olarak daha çok önem kazanmaya başlamıştır.

Üretim planlama ve kontrol bir üretim yönetimi etkinliği olarak üretilecek ürünü belirlemek, üretim için donanım gereğini saptamak ve ürünlerin istenen kalite ve maliyette, istenen sürede, doğru zamanlarda ve istenen miktarlarda oluşumunu sağlayacak çizelgeleme, programlama çalışmalarını kapsar. Diğer bir ifadeyle gelecekteki faaliyetlerin (veya miktarlarının) düzeylerini veya limitlerini belirleyen

ve gerekli zamanlarda önlem alan fonksiyona üretim planlama ve kontrol denir.

Görüldüğü üzere Üretim Planlama ve Kontrol, planlama ve kontrol olmak üzere iki ana faaliyetten oluşmaktadır. Üretim planlama ne zaman, ne miktarda, nerede ve hangi olanaklar ile üretimin yapılacağı ile ilgilenirken; üretim kontrol planlanan üretime uygunluğu denetler ve aksaklıkları gidermeye çalışır.

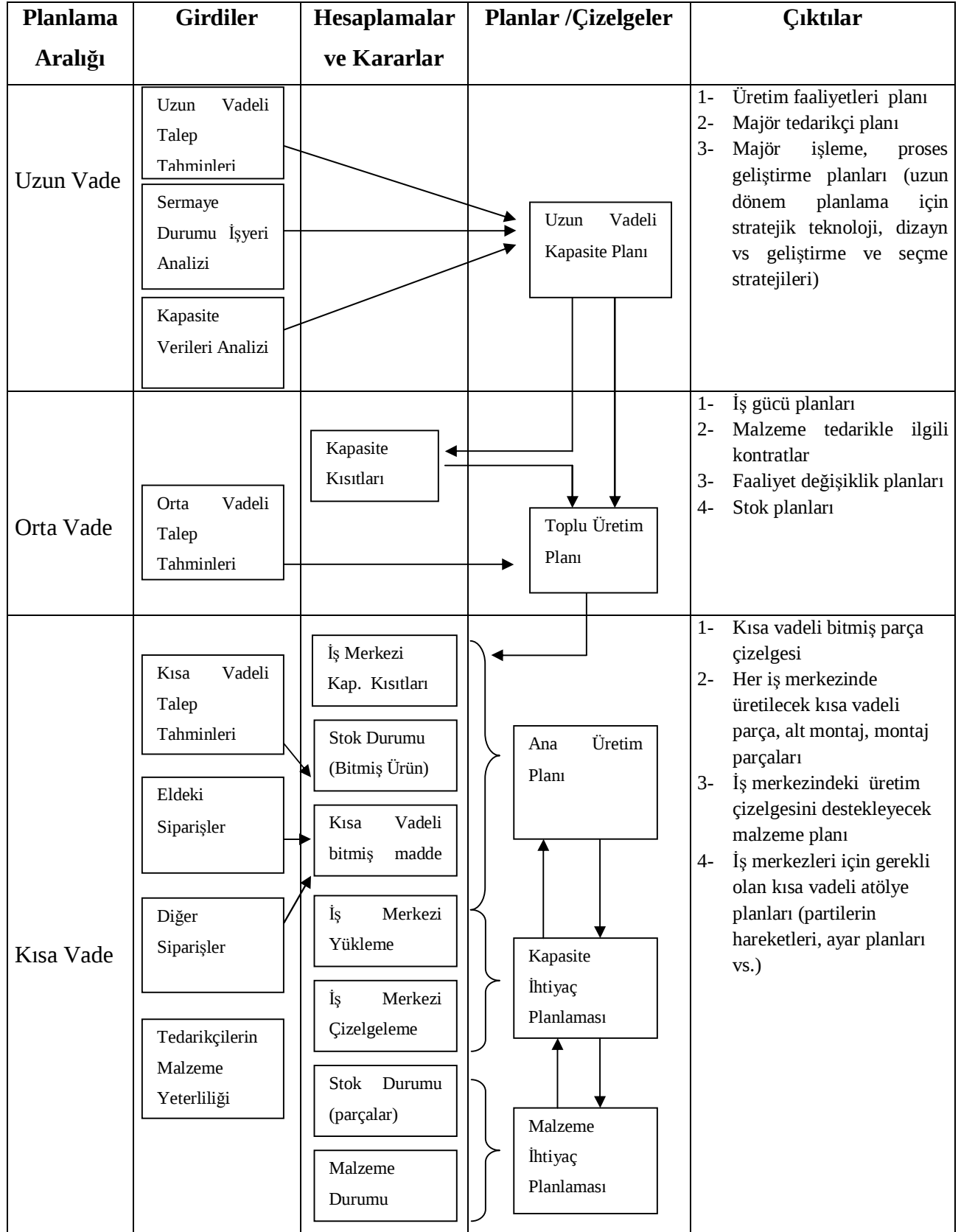
Üretim planlamanın aşamaları şu şekilde ifade edilebilir:

- 1- Üretim planının kapsayacağı zaman aralığı tespit edilir
- 2- Ekonomik stok düzeyleri ve gerekli kapasiteler hesaplanır
- 3- Talep tahminleri yapılır
- 4- Plan dönemi başındaki ve sonundaki stok düzeyleri belirlenir
- 5- Başlangıç ve bitiş stokları arasındaki fark bulunur
- 6- Planlama dönemi içinde üretilmesi gereken miktar bulunur
- 7- Üretilmesi gereken miktar dönem dilimlerine dağıtılır

(Kobu 1981)

Üretim planlama ve kontrol süreci; zaman açısından uzun, orta ve kısa dönemli planlama olarak incelenebilir (Şekil 1.1) .

- I. Uzun Dönemli Planlama :** Firmanın hedeflediği ürün kalitesi, fiyat seviyesi ve pazar payını elde edilebilmesi için gerekli tesis, üretim kapasitesi, işgücü ve işletme bilgisinin bulunurluğunun kontrolünü ve ya gerekiyorsa yatırım ihtiyaçlarının tespitini gerçekleştirdiği; firmanın 2 yıldan 10 yıla kadar hedeflerini içeren faaliyetlerdir.
- II. Orta Dönemli Planlama:** Temel ürün aileleri için 12 aydan 18 aya kadar kapasite ve işgücü gereksinimlerinin belirlenmesidir. Bunlar yapılırken önce talep tahminleri belirlenir ve tahminleri karşılayacak ana üretim çizelgeleri (MPS) oluşturulur.
- III. Kısa Dönemli Planlama:** Malzememe ihtiyaç planlama, kapasite planlama, detaylı çizelgeleme ve üretim kontrol aşamalarını içerir.



Şekil 1.1 Üretim Planlama ve Kontrol Süreci

Çizelgeleme: En yalın hali ile çizelgeleme; eldeki işlerin bir grup kaynağa atanması işlemidir. Bir işletmede ürünlerin üretilmesi veya işlemlerin yerine getirilmesi için zaman ve sıralama açısından bir plan yapısıdır. Bu plan üretim çizelgesidir (Çelikçapa F., 1999). Bir işletmenin neyi, ne zaman, nerede ve ne kadar üreteceği çizelgelerde ayrıntılı hale getirilir.

Çizelgeleme problemlerinin çözümü için kullanılan algoritmalar; kesin ve sezgisel algoritmalar olarak ikiye ayrılmaktadır. Kesin algoritmalar çok fazla bilgisayar zamanına ihtiyaç duymaktadır ve karmaşık problemlerde çözüm bulmak imkansız hale gelmektedir.

Sezgisel Algoritmalar: Bu algoritmalar iyi çözüm sunarlar fakat çoğunlukla optimum çözümü değil de optimuma yakın bir çözüm sağlarlar. Sezgisel algoritmalar optimum çözüm sunan algoritmalarından daha hızlı çözüm verirler. Matematiksel algoritma kullanan çoğu karar destek sistemleri sezgisel algoritmaları kullanmaktadır. Çünkü iyi bir sezgisel algoritma çok hızlı bir şekilde optimuma yakın bir çözüm sağlayacaktır.

Çizelgeleme problemleri, optimum çözümün bulunmasının zor olduğu problemlerdendir. m makine ($m > 2$) ve n işin olduğu bir durumda $(n!)^m$ kadar atama yapılabileceği için doğrusal programlama veya benzeri optimum sonucu veren deterministik yöntemleri kullanmak ya çok zaman almakta yada çözüm sağlayamamaktadır. Bu yüzden çizelgeleme problemlerinde sezgisel yöntemlerin kullanılması daha uygun olmaktadır. Bu yöntemler sayesinde optimum çözüm bulunamasa da, uygun çözüm kümesi içinden optimuma yakın bir çözümün seçilmesi mümkün olabilmektedir.

Atölye Tipi Üretim Sistemleri: Esnek, genel amaçlı makinelerin kullanıldığı; hazırlık zamanlarının uzun ve ürüne göre farklı olduğu; parti büyüklüğünün ve her bir ürün için gerekli üretim zamanının yüksek değişkenlik gösterdiği üretim sistemleri, atölye tipi üretim sistemleridir.

Paralel Makinelerde Çizelgeleme: İşletmelerde aynı işi yapan birden fazla makinenin bulunduğu durumlarda çizelgeleme problemine makine seçimi boyutu eklenmektedir. Aynı işi yapan birden fazla makinenin bulunması kapasite artışı ve işletmelere esneklik sağlarken, eldeki kapasiteyi verimli yönetmek ciddi bir problem

haline gelmektedir. Özellikle hazırlık sürelerinin yüksek olduğu üretimlerde; her bir paralel makine fazladan hazırlık süresi anlamına geldiği için makinelerin doğru çizelgelenmesi daha kritik hale gelmektedir.

Tek makineli çizelgeleme probleminde çizelgelenecek işler belirli iken, paralel makinelerin olduğu durumlarda her bir makineye hangi işlerin atanacağı ek bir problemdir. Paralel makinelerin çizelgelenmesinde karşılaşılan bir başka zorluk ise, makine kapasitelerini optimum şekilde kullanabilmektedir. Özellikle farklı büyüklüklerde siparişlerin geldiği durumlarda, ortalama kapasite kullanım oranları ekonomik olarak düşük kalabilmektedir. Bunun önüne geçebilmek için işletmeler eşdeğer makineler yerine farklı kapasiteli paralel makineler almaktadır. Bu durumda paralel makinelerin çizelgelenmesi probleminde makine atama çok daha zorlaşmaktadır.

Paralel makinelerin çizelgelenmesi probleminde karşılaşılan bir başka durum ise iş ayırma ve ya birleştirme problemidir. Üretim sistemine bağlı olarak; bazı durumlarda bir iş birden fazla makinede tamamlanabilmekte veya aynı özellikteki birkaç sipariş birleştirilerek bir makinede aynı anda üretilabilmektedir. İşlerin birleştirilmesi veya ayrılması durumunda, bu işlerin teslim tarihlerine uygun şekilde en uygun çizelgenin hazırlanması ek bir problem haline gelmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Artan farklı müşteri istekleri (özel ürünler, tam zamanında üretim) ve rekabet; işletmelerin üretimlerini az sayıda standart üründen birbirinden farklı çok sayıda ürüne kaydırmasına sebep olmaktadır. Bunun yanında üretim miktarları da değişkenlik göstermektedir. İşletmeler talepte yaşanan bu hızlı değişimi karşılayabilmek için üretim sistemlerini esnekleştirmek amacıyla atölye tipi üretime kaydırmak zorunda kalmaktadır. Bu esneklik, işletmelerin en az yatırımla en çok işi yapabilmelerini sağlamaktadır. Ancak bu durum, üretimin planlanması ve gerçekleştirilmesi sırasında bazı zorluklara yol açmaktadır. Bu zorlukları şöyle sıralayabiliriz:

1 – Her ürün ya da proses değişiminde hazırlık sürelerinin uzun olması:

Esnek makinelerde her ürün yada proses değişiminde bazı makine parçalarının ve ya ayarlarının değiştirilmesi yada en azından temizlik vb. hazırlıklar gerekmektedir. Bu tür hazırlıklar makine çalışırken yapılamadığı için hazırlık süresi boyunca makine kullanılamaz ve kapasite kaybı olur. Ancak makinede bir işten sonra yapılacak işin aynı yada benzer özelliklerde olması hazırlık süresini minimize etmeye yarar.

2 – Darboğaz makinelerin boşa kalma maliyetlerinin yüksek olması:

Darboğaz makineler tüm üretim sisteminin performansını etkilemektedir. Özellikle darboğaz makinelerin boşa kalması diğer makinelerinde boşa kalmasına sebep olmakta ve sistemde ortalama yarı mamul miktarının artmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden darboğaz makinelerin boşa kalma maliyeti yüksek olmaktadır.

3 – Teslim tarihi esnekliklerinin azalması (artan müşteri hassasiyeti):

Günümüzde müşteriler siparişlerinin artık kısa sürede ve tam zamanında üretilmesini (JIT) istemektedir. Tam zamanında üretimlerin yapılamadığı durumlarda işletmeler müşterilerine ceza ödemek ve ya indirim yapmak zorunda kalabilmektedir. Bu durum teslim tarihi kriterini daha önemli hale getirmektedir.

4 – Değişken şartlar sebebiyle aynı ürün dahi olsa farklı partilerdeki üretimin aynı şartlarda yapılamaması (proses kontrolde güçlükler):

Esnek şartlarda üretim yapmanın bir başka dezavantajı ise, üretim süreçlerinin kontrol edilmesinin zor hale gelmesidir. Bir makinede üretilen ürünlerin sıkça değiştiği durumlarda makine ayarları ve ortam şartlarının istenilen şekilde sürekliliği sağlanamadığından kalite problemlere ortaya çıkmaktadır. Bu da bazı siparişlerin yeniden üretilmesini gerektirmekte ve yeniden üretilen siparişler çizelgelenen tüm işleri etkilemektedir.

5 – Kalitesiz ürünlerin maliyeti (üretimin başında ve sonundaki telefler):

Birçok makinede, üretilen ürün tipi değiştiğinde makine ayarlarını yaparken sabit miktarlarda telefler olmaktadır. Bir diğer durumda ise sürekli parti değişikliği olan ürünlerde prosesi kontrol etmek zorlaşmakta ve parti farkları kalitesizlik boyutuna ulaşabilmekte ve ürünler telefe çıkabilmektedir. Bu telefleri en azından oransal olarak azaltmanın yolu bir seferde mümkün olan en fazla miktarda üretim

yapmaktır. Bunun için eğer üretim şartları el veriyorsa; farklı siparişlere ait aynı özelliklere sahip ürünler birlikte üretilebilmekte veya makine ayar değişikliğini hiç gerektirmeyecek veya çok az gerektirecek şekilde işler sıralanmaktadır. Bu tür durumlarda; çizelgelemede karşılaşılan en büyük problem ise teslim süresi kısıdı ile kalitesiz ürün maliyeti arasında ne kadar ödün verilebileceğinin hesaplanmasıdır.

Statik üretim sistemlerinde optimum çizelgeleme mümkün iken dinamik atölye tipi üretim sistemlerinde optimum çözümü sağlayan çizelgeyi bulmak çok zordur. Bu yüzden optimala yakın çözüm veren çizelgeleme algoritmaları kullanılmaktadır.

İşletmeler bazı prosesler için; farklı parti büyüklüklerini karşılayabilmesi amacıyla aynı işi yapan, farklı kapasiteli paralel makinelere sahip olabilmektedir. Farklı kapasiteli ama aynı işi yapan makineler işletmelere minimum parti büyüklüğü, az üretimler için düşük maliyet, özel üretimler için kapasite ve teslim tarihi esnekliği ve avantajı sağlamaktadır. Ancak bu, atölye tipi üretim sistemlerinde çizelgeleme problemlerine bir de optimum makine atama boyutu eklemektedir.

Tekstilde Çizelgeleme: Tekstil üretiminin en temel özelliği çalıştığı hammaddenin doğası gereği değişkenliği ve çok fazla sayıda prosese sahip olmasıdır. Özellikle doğal elyafla üretim yapılan işletmelerde hammaddenin kalitesinde süreklilik sağlanamadığından oluşan kalite farkları siparişlerin yeniden üretilmesini zorunlu hale getirmektedir. Çok fazla sayıda prosese sahip olmak ise üretimin dengeli ve problemsiz bir şekilde planlanmasını zorlaştıracak fazla sayıda kısıt anlamına gelmektedir. Tekstil sektörü, dinamikleri gereği rekabetin ve değişimin çok fazla olduğu bir sektördür. Artık müşteriler daha çok sayıda sipariş vermekte, ancak sipariş miktarlarını azaltmakta; kendileri için özelleştirilmiş ürünleri çok daha kısa teslim sürelerinde istemeye başlamışlardır. Daha önceden kitle üretim yapan tekstil sektörü özellikle boyama ve terbiye gibi bitmiş ürüne katma değeri yüksek olan proseslerde esnek, atölye tipi üretime geçmek zorunda kalmaktadır. Bu durum kullanılan makinelerin de esnekleşmesi zorunlu hale getirmiştir. Esnek üretimde makine hazırlık sürelerinin yüksek olması sebebiyle, tekstil işletmeleri müşterilerine

siparişleri zamanında teslim edebilmek için darboğaz makineleri paralel makineler olarak desteklemektedir.

Tüm bu kısıtlar altında tekstilde üretim planlama yapmak ve optimum çizelgeyi elde etmek çok zor hale gelmektedir. Özellikle sistemde aynı anda bulunan siparişlerin ve bunların üretildiği makinelerin çok fazla sayıda olması ve kısa teslim süreleri çizelgelerin performansını etkilemektedir. Sistemdeki verilerin ve kısıtların çokluğu, verilerin analizinde ve çizelgenin hazırlanmasında bilişim sistemlerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Paralel makinelerin optimum çizelgelenmesi problemi; tekstil sektöründe verimlilik, stok maliyeti müşteri memnuniyeti açısından çözülmesi gereken önemli problemlerdendir. Rekabet ve farklı müşteri istekleri arttıkça da bu konu daha önemli hale gelecektir.

Bu çalışmada örnek olarak; pamuklu kumaş üreten bir tekstil fabrikasının farklı kapasitelere sahip atölye tipi üretim yapan iplik boyama bölümüne ait çizelgeleme problemi, gerçek veriler ile ele alınmıştır. Bu bölümde, aynı işi yapabilen farklı kapasiteli esnek makineler bulunmakta ve bir ürün için gerekli hazırlık süresi o makinede bir önce üretilen ürüne göre değişmektedir.

Bu çalışmanın amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir ;

Farklı kapasiteli paralel makinelerin çizelgelenmesinde

- i. Üretim anında makine kapasite kullanım oranlarının maksimize edilmesi
- ii. Geciken işlerin minimize edilmesi
- iii. Yarı mamul stok seviyelerinin minimize edilmesi
- iv. Toplam hazırlık süresinin minimize edilmesi

1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Varsayımlar

1.3.1. Kapsam

Bu çalışma kapsamında aşağıda belirtilen özelliklere sahip bir atölye tipi üretim sistemi dikkate alınmıştır:

- Birden fazla ürün üretilmektedir.
- Her bir siparişin farklı miktarlarda olabilmektedir.
- Aynı işlemi yapan farklı kapasiteli paralel makineler vardır. Makineler işlemleri aynı sürelerde yapabilmektedir.
- Ele alınan makinelerde farklı siparişlere ait aynı yarı mamuller birlikte üretilmektedir.
- Bir siparişe ait yarı mamuller tek bir makinede üretilmek zorundadır.
- Bir ürün için gerekli hazırlık süresi, aynı makinede üretilen bir önceki ürüne bağlıdır.

1.3.2. Varsayımlar

Ele alınan sistemle ilgili aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır;

- i. Bir siparişe yalnızca bir makinede üretilir.
- ii. Farklı siparişlere ait aynı renkteki yarı mamül ihtiyaçları makinenin kapasitesi ölçüsünde birleştirilebilir.
- iii. Bu proseste ele alınan siparişlerin daha önceki ve daha sonraki proseslerden bağımsız olduğu varsayılmıştır.
- iv. Her bir sipariş için dört gün ile yedi gün arasında değişen teslim tarihi vardır.
- v. Kalitesizlikten dolayı yeniden üretim oranı uzun dönemli işletme tecrübesi olarak %7 olarak alınmıştır.
- vi. Bu işletmeye gelen siparişler üç renk tonunda; beyaz, açık renk ve koyu renk olarak ele alınacaktır.
- vii. Hazırlık süreleri siparişlerin renkleriyle ilgili olarak hesaplanacaktır. Renklerde değişim yoksa hazırlık süresi de olmadığı varsayılacaktır.

1.4. Çalışmanın Aşamaları

Çalışmanın amaçlarına ulaşabilmesi için aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilecektir;

- 1) Problemin ortaya konması : Problemin sebepleri, karar değişkenleri, kısıtları, elde edilmek istenen sonuçlar ve gerekli veriler belirlenecek ve problemin formülasyonu gerçekleştirilecektir.
- 2) Literatürün incelenmesi ve değerlendirilmesi : Problem ile ilgili yapılan benzer çalışmalar incelenecek; konuya katkıları ve eksiklikleri vurgulanacak ve yapılacak çalışmanın orijinal katkıları belirlenecektir.
- 3) Algoritmanın geliştirilmesi ve karşılaştırılması: Ele alınan problem için; kabul edilen varsayımlar altında istenilen amaçlara ulaşılmasını sağlayacak algoritmalar geliştirilecek ve performansı test etmek için diğer algoritmalar tespit edilecektir.
- 4) Çalışmanın yapılacağı işletmenin şartlarının belirlenmesi:
- 5) Simülasyon modelinin kurulması: Geliştirilen ve karşılaştırma yapılacak algoritmalara uygun simülasyon modelleri oluşturulacaktır. Simülasyon modellerinde kullanılacak kontrol parametreleri, parametre değerleri, ısınma süreleri(*warm-up period*) ve replikasyon sayıları belirlenecektir.
- 6) Deneylerin Yapılması: Geçmiş verilerden elde edilecek deney setleriyle simülasyon çalıştırılacaktır. Elde edilecek sonuçlar tablolar ve grafikler halinde özetlenecektir.
- 7) Karşılaştırmalar ve Sonuçların Değerlendirilmesi: Geliştirilen algoritmanın performansı, artıları ve geliştirilmesi gereken yönleri değerlendirilecektir.
- 8) Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler: Bu çalışmanın üzerine yapılabilecek çalışmalar için çözüm önerileri sıralanacaktır.

1.5. Tezin Organizasyonu

Tezin bundan sonraki bölümlerinde şu açıklamalar yer almaktadır:
İkinci bölümde, bu konuda ve benzer konularda yapılan önceki çalışmalar değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan veriler ve çalışma için

kullanılacak metotlardan bahsedilmiştir. Çalışmada örnek olarak incelenen sistemin karakteristik özellikleri incelenerek detaylı açıklamalarda bulunulmuştur. Dördüncü bölümde, seçilen metotlar uygulandığında elde edilen çıktılar yorumlanmıştır. Beşinci bölümde araştırmanın en önemli sonuçları paylaşılmış ve sonraki çalışmalar için de önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Çizelgeleme Algoritmaları

Kompleks çizelgeleme problemlerinin bilgisayar yardımı olmadan çözülmesi çok zordur. Bunun yanında birçok problemde bilgisayar yardımıyla da olsa optimum yada uygun bir çözümün bulunması, gerçek zamanda mümkün olmamaktadır.

Literatüre bakıldığında, çizelgeleme ile ilgili çalışmaların bilgisayarın gelişmeye ve yaygınlaşmaya başladığı 1970 li yıllardan sonra yoğunlaştığı görülmektedir. Buradan anlaşılaacağı üzere teorik çalışmalar pratikte bilgisayar yardımıyla çözülecek şekilde yapılmaktadır.

Farklı kısıtlara ve önceliklere sahip farklı çizelgeleme problemleri için birçok çalışma yapılmıştır. Statik üretim şartlarına sahip; az sayıda ya da benzer ürünlerin üretildiği işletmelerde çizelgeleme problemlerinin çözümü için uygun algoritmalar geliştirilmiştir. Ancak esnek üretim imkanının bulunduğu atölye tipi üretimin çizelgelenmesi dinamik etkenlerden dolayı zor olmaktadır. Zaten çalışmaların asıl konusunu da, atölye tipi üretim ya da benzeri çizelgeleme problemleri oluşturmaktadır. Statik çizelgeleme yöntemleri daha çok teorik çalışmalardır. Bu tür çalışmalar dinamik çizelgeleme yöntemlerine de temel oluşturmaktadır.

Ouelhadj ve Petrovic (2004), üretim sistemlerinde dinamik çizelgeleme problemlerinin yapısını genel olarak incelemişlerdir. Statik çizelgeleme ile **gerçek zaman olaylarının** göz ardı edildiğini belirtmişlerdir. Gerçek zaman olaylarını **kaynağa bağlı** (resource related) ve **işe bağlı** (job related) olarak ikiye ayırmışlardır.

- i. Kaynağa bağlı olaylara makine bozuklukları, operatörün hasta olması, alet ekipman yetersizliği, kapasite yetersizliği, tedarik gecikmeleri, malzeme azlığı ve ya uygunsuzluğu örnek olarak verilebilir.
- ii. İşe bağlı olaylar ise acil işler, iptal edilen işler, teslim tarihi değişikliği, işlerin çok erken ve ya çok geç gelmesi, iş önceliklerinde değişim ve proses sürelerinin değişimi olarak sıralanabilir.

Muhlemann , Lockett ve Farn (1982) , işlem sürelerinin belirsiz olduğu, makine arızalarının önceden bilinmediği dinamik atölye tipi üretim sistemlerinde, akış zamanının proses zamanına oranı , ortalama kuyrukta bekleme süresi , ortalama gecikme zamanı , geç kalan işlerin toplam işe oranı gibi oluşturdukları performans kriterlerini, EDD, SPT, S/OPR ve LWKR algoritmalarıyla test etmiş ve belirsizliğin arttığı ortamlarda en iyi sonucu LWKR algoritmasının verdiğini saptamışlardır.

Ovacık ve Uzsoy (1994), hazırlık zamanlarının işlem sırasına bağlı olduğunu dikkate alarak tek makineli sistemde hazırlık sürelerinin kısaltılması amaçlı oluşturdukları algoritmayı dinamik sistemler için geliştirmiş olup çizelgelemenin yapılabilmesi için sistemin, her an sistemde hangi işlerin beklediği o an için işlem görüp görmediği, yapılmamış işler, teslim tarihi ve makinelerdeki hazırlık zamanları ve duruş zamanlarının bilinmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Algoritmanın bir özelliği de sistemi bütün olarak dikkate alarak çizelgeleme yapabilmesidir. Algoritmanın test aşamasında sipariş sayısı sınırsız, teslim tarihi zamanları, işlem süreleri ve işlerin sisteme gireceği sürelerin bilindiği varsayılmıştır. Algoritma 1000 ayrı sistemde, 72 parametre kombinasyonu için test edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarında en iyi performans veren değerler belirlendikten sonra EDD ve EDD-LI dağıtım kurallarından sırasıyla % 152, % 132 daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

2.2. Paralel Makinelerin Çizelgelenmesi

Prakash (1997), özdeş paralel makinelerin ikili kritere göre çizelgelenmesi için matematiksel programlama ile optimum çözüm bulmaya çalışmış ve bu problemin NP-çok zor bir problem olduğunu belirtmiştir. Çok küçük problemler dışında matematiksel programlama ile paralel makinelerin çizelgelenmesi çok uzun sürdüğü için; sezgisel metotların kullanılmasını önermektedir.

Gupta Ve Ho (2000), aynı özelliklere sahip iki paralel makinenin optimum makespan (işlerin tümünün bitmesi için gereken süre) kısıtı altında akış sürelerinin minimize edilmesi için çizelgelenmesi problemini incelemişlerdir. Öncelikle SPT (en küçük işlem süresi) sıralama kuralıyla oluşturulan minimum makespan değerine sahip çizelgeleri bulup aralarında en küçük akış süresine sahip olanını

belirledikleri bir arama algoritması geliştirmişlerdir. Akış süresi ve makespan değerlerinin en küçüklenmesi kriterlerinin etkin ve kullanışlı birer kriter olduğunu; makine sayısının ikiden fazla olduğu kompleks üretim sistemlerinin çizelgelenmesinin uygulanmasının önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Oey Ve Mason (2001), kompleks atölye tipi üretim sistemlerinde makine gruplarının çizelgelenmesi problemlerini incelemişlerdir. Bir prosese atanmış birden fazla ve birbirinden farklı özelliklere sahip makine gruplarının olduğu, ard arda gelen işlerin özelliklerine bağlı olarak kurulum zamanlarının değiştiği, reproses durumlarının gerçekleştiği durumları kompleks üretim sistemleri olarak tanımlamışlardır. Öncelikle makine gruplarının genel olarak çizelgelendiği daha sonra gruplardaki her bir makinenin ayrıntılı olarak çizelgelendiği; minimum gecikme kısıtı altında çalışan, CPM temelli bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmanın, kompleks atölye tipi üretim sistemlerinin çizelgelemesinde karşılaşılan olanaksız çizelgelerin (infeasible schedules) baştan elenmesini sağlayarak problemin çözüm süresini kısaltabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Devpura, Fowler ve Carlyle (2001), aynı özelliklere sahip paralel makinelerin çizelgelenmesi için tamsayılı programlamaya dayanan, her bir makine için atanan işlerin, oluşturulan tek bir kolonda (column generation – sub scheduling) gösterildiği, herhangi bir makineye atanmayan bir işin kalmadığı sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. n (iş sayısı), m (makine sayısı) ve ortalama makine başına düşen iş sayısı (n/m) değerleri arttıkça, çözüm süresinin uzadığı ama tamsayılı programlama kullanılarak geliştirilen algoritmanın etkin bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır.

Hocine, T'kindt ve Tran (2006); aynı özellikli paralel makinelerin iki kritere göre çizelgelenmesi için iki farklı genetik algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmalar kesin bir çözüme ulaşamasa da bu yöntemlerin hızlı bir şekilde olanaklı çizelgeler ürettiği gözlemlenmiştir. Ancak makine ve atanacak iş sayısının fazla olduğu durumlarda genetik algoritma yapısını kurmanın çok zor olduğunu belirtmişlerdir.

So (1990); aynı özelliklere sahip paralel makinelerin, bir tip üründen diğerine geçildiğinde hazırlık sürelerinin değiştiği durumda çizelgelenmesi için kullanılabilecek 3 sezgisel algoritmayı karşılaştırmıştır. Çözüme ulaşmak için

dinamik programlamanın kullanıldığı algoritmalar ile optimuma yakın çözümler elde etmiş ve toplam hazırlık süresini minimize eden algoritmaların toplam akış süresini de minimize edecekleri için etkin olduklarını belirtmiştir.

Luh, Ghou ve Zhang (1998); bir atölye tipi üretim sisteminde; bir ürünün üretilmesi için gerekli hazırlık süresinin kendinden önce üretilen ürüne göre değiştiği durumda optimum çizelgeleme problemini ele almışlardır. Ele aldıkları üretim sisteminde farklı boyutlarda üretilen ürünler için farklı paralel makineler bulunmaktadır. Bir ürün için gerekli hazırlık süresi o makinede bir önce üretilen ürüne göre değişmektedir. Bu tür üretim hazırlıklarını “grup-bağımlı” hazırlık olarak nitelendirmişlerdir. Ayrıca her bir makine önünde kısıtlı kapasitede stok alanı bulunduğunu ve yer olmadığında bir işin alternatif bir makineye atanması gerektiğini belirtmişlerdir. Optimala yakın bir çizelge elde edebilmek için, problemi matematiksel olarak modellemişler ve daha sonra ana problemi alt problemlere ayırmış ve Lagrange çapanları yöntemiyle her bir alt problemi çözmeye çalışmışlardır. Bu yöntemde her bir işin olası bir makineye atanması durumunda oluşacak maliyetleri (ve cezaları) minimuma indirmek hedeflenmektedir. Bilgisayar yardımıyla, problemin önceden belirli bir iterasyon sayısı veya çözüm süresine göre çözüldüğünü belirtmişlerdir. Farklı durumlar için önerdikleri çözüm yöntemini test etmişler ve benzer üretim sistemlerinde etkin olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Monma ve Potts (1993); aynı özellikteki işlerin birleştirilerek birim makine kapasitesini aşmayacak şekilde partilere ayrılabilirdiği özdeş makinelere ait bir üretim sisteminde işlerin tümünün maksimum tamamlanma süresini minimize eden bir sezgisel çizelgeleme algoritması elde etmeye çalışmışlardır. Geliştirdikleri algoritmada N iş ve M makinenin olduğu bir durumda, öncelikle her bir iş grubunun rastgele çizelgesi oluşturulmakta ve bu durumda işlerin tümünün tamamlanması için gereken maksimum zaman hesaplanmaktadır. Algoritmanın sonunda elde edeceği çizelgenin en az bu rastgele çizelgeden daha iyi bir sonuç vermesi gerekmektedir. Bir iş grubunun atanacağı makine sayısı o iş grubunun iş toplam iş miktarının birim makine kapasitesine bölünmesiyle elde edilir. İş yükü en fazla olan makinenin boşa çıkma zamanı, işlerin tümünün en son tamamlandığı zamanı denk gelir. Bu yüzden

toplam iş yükü (işlem + hazırlık süresi) en az olan makinelere sırasıyla işler atanır. Geliştirilen algoritmanın amacı işleri makinelere mümkün olduğunca eşit oranda bölmek ve hazırlık sürelerini minimize etmektir. Elde edilen algoritmanın özdeş makinelerin kullanıldığı ve aynı tip işlerin birleştirilebildiği durumlarda kullanılabileceği görülmüştür. Sezgisel algoritmanın en kötü durumda, tüm işlerin en kısa zamanda bitirilebildiği optimum çizelgenin $2 - 1/M$ katı kadar zamanda işleri bitirebileceğini hesaplamışlardır.

Doğramacı ve Surkis (1979); birbirinden bağımsız N işin özdeş M adet makinede işlerin toplam gecikmesini minimize edecek şekilde çizelgelenmesini sağlayacak sezgisel bir algoritma geliştirmeye çalışmışlardır. Oluşturdıkları lineer programlama modeli ile istedikleri optimum çizelgeyi elde etmeyi başarmışlar ancak hem çözüm süresinin çok uzun olması hem de büyük sistemlerde pratikte kullanımın zor olmasından dolayı lineer programlamanın uygun bir yöntem olmadığını belirtmişlerdir. Ancak lineer programlama modeli ile elde edilen sonuçlar sezgisel algoritmanın performansını kıyaslamak için kullanılmıştır. Geliştirdikleri sezgisel algoritmada tüm işleri SPT (kısa işlem süresine sahip olan öncelikli), EDD (en erken teslim tarihine sahip olan öncelikli) ve SLACK (aylak süresi = teslim tarihi-işlem süresi en az olan öncelikli) iş sıralama kurallarına göre sıralamışlar ve en az toplam gecikmesi olan iş sıralama kuralını çizelge olarak seçmişlerdir. Toplamda 560 farklı durum için lineer programlama, sezgisel algoritma ve rastgele çizelgeleme yöntemleri ile işleri çizelgelemişler ve her bir yöntemin ortalama toplam gecikmesini hesaplamışlardır. Daha sonra sezgisel algoritmanın lineer programlama modeline göre ortalama ne kadar süre daha fazla geciktiğini, rastgele çizelgeleme yönteminin lineer programlama modeline göre ne kadar süre daha fazla geciktigine oranlamışlar ve **0.15** gibi düşük bir değer bulmuşlardır. Bu sonucun sezgisel algoritmanın lineer programlama modelinin optimum sonucuna yakın bir sonuç verebildiğini gösterdiğini ve algoritmanın pratikte kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

2.3. Tekstilde Paralel Makinelerin Çizelgelenmesi

Serafini (1994), farklı özellikteki paralel dokuma tezgâhlarının bulunduğu bir tekstil işletmesinde, dokunacak olan siparişlerin birden fazla makineye bölünerek üretilebileceği bir durumda minimum gecikme kısıdı altında çizelgelenmesi problemini ele almıştır. Birbirinden farklı özellikteki işlerin bulunduğu probleme doğrusal programlama ile çözüm aramış ve makinelerin aynı özellikte olduğunun varsayıldığı durumlarda doğrusal programlamanın minimum gecikmeli optimum çizelgeyi oluşturabildiğini görmüştür. Ancak farklı özellikteki makinelerin bulunduğu durumlarda doğrusal programlama ile yalnızca çok küçük problemlerde çözüm sağlayabilmiştir. Modelin, daha karmaşık problemlerin çözümü için hazırlanacak karar destek sistemlerinde kısıtların belirlenmesinde karar vericiye yardımcı olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Ruiz ve Maroto (2004), tekstil ve benzeri sektörlerde karşılaşılan sıra bağımlı hazırlık süreleri ve makine seçimi problemini ele almışlardır. Tüm işlerin bitirilmesi için gereken süre (*makespan*) değerini minimize edecek şekilde bir çizelgenin elde edilebilmesi için genetik algoritma yöntemini kullanarak uygun bir çözüm aramışlardır. Geliştirdikleri yeni yaklaşım, ebeveyn çözümlerden alt çözümlere ‘benzer iş sıralarının aktarılması’ yöntemini içermektedir. Geliştirdikleri algoritmanın performansını 1320 farklı deneyle; daha önce aynı problemin genetik algoritma yöntemiyle çözümü için geliştirilen 9 farklı genetik yaklaşımla karşılaştırmışlardır. Geliştirdikleri yaklaşım en yakın rakibine göre %53 oranında daha iyi sonuç vermiştir. Genetik algoritmanın çizelgeleme probleminde etkin olarak kullanılabileceğini; ancak genel bir çözüm sunamayacağını ve matematiksel programlama vb. yöntemlere göre daha hızlı ama daha kötü sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

2.4. Literatürün Değerlendirilmesi

Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında, genel olarak paralel makinelerin dinamik çizelgelenmesiyle ilgili deterministik ve stokastik şartlara göre çok sayıda çalışma yapıldığı fakat her problemin özüne göre farklı algoritmaların geliştirilmesi gerektiği görülmüştür.

Optimum çizelgeleme için en iyi yöntem matematiksel programlama olarak ifade edilmiştir. Ancak matematiksel programlamanın çok küçük problemler dışında bir çözüm oluşturması gerçek zamanda pek mümkün değildir. Atanacak paralel makinelerin ve işlerin sayısının ikiden fazla, çizelgeleme kriterinin ise birden fazla olmadığı durumlarda iş sıralama kuralları ile kullanılan algoritmalar optimuma yakın ve çok hızlı sonuçlar üretebilmektedir.

Çizelgeleme kriterinin birden fazla olduğu durumlarda ise sezgisel algoritmaların optimuma yakın ve diğer yöntemlere göre hızlı sonuçlar üretebildiği görülmüştür. Gerçek sistemlerde genelde çok kriterli çizelgeleme problemiyle karşılaşılmasına rağmen bu konuda yapılan çok fazla çalışma bulunmamaktadır.

Çizelge 2.1 Literatür Karşılaştırma Tablosu

YIL	ARAŞTIRMACI	AMAÇ	YÖNTEM	KRİTERLER & PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ
2006	Hocine, T'kindt ve Tran	Özdeş paralel makinelerin ikili kritere göre çizelgenmesi	Genetik algoritma	Makespan minimizasyonu Minimum gecikme
2004	Ouelhadj ve Petrovic	Üretim sistemlerinde dinamik çizelgeleme problemlerinin yapısının incelenmesi	-	Kaynağa bağlı (resource related) İşe bağlı (job related)
2001	Devpura, Fowler ve Carlyle	Aynı özelliklere sahip paralel makinelerin çizelgenmesi için tamsayılı programlamaya dayanan sezgisel bir algoritmanın geliştirilmesi	Tamsayılı programlama	Herhangi bir makineye atanmayan işin kalmaması Çözüm süresi
2001	Oey ve Mason	Hazırlık zamanlarının ard arda gelen işlere bağlı olarak değiştiği, reproses durumlarının gerçekleştiği ve bir prosese atanmış birden fazla ve birbirinden farklı özelliklere sahip makine gruplarının çizelgeleme probleminin incelenmesi	CPM temelli algoritma	Minimum gecikme
2000	Gupta ve Ho	Özdeş paralel makinelerin optimum makespan kısıtı altında akış sürelerinin minimize edecek çizelgeleme probleminin incelenmesi	İş sıralama kuralları	En küçük akış süresi Makespan (İşlerin bitmesi için geçen süre)
1998	Luh, Ghou ve Zhang	Grup-Bağımlı hazırlık sürelerine sahip atölye tipi üretim sistemlerinin optimala yakın çizelgenmesi	Matematiksel modelleme, Lagrange çarpınları	Makespan, Kısa Çözüm Süresi
1997	Prakash	Özdeş paralel makinelerin çizelgenmesinde matematiksel programlama ile optimum çözümünün bulunması	Matematiksel modelleme	Akış süresi, Ağırlıklı akış süresi, Toplam gecikme, Maksimum gecikme ve Geciken işlerin sayısı

Çizelge 2.1 Literatür Karşılaştırma Tablosu

YIL	ARAŞTIRMACI	AMAÇ	YÖNTEM	KRİTERLER & PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ
1994	Ovacık ve Uzsoy	Hazırlık zamanlarının işlem sırasına bağlı olduğu tek makine sistemi hazırlık sürelerinin minimize etmek için geliştirilen algoritmanın test edilmesi	Dal-sınır yöntemi İş sıralama kuralları	Hazırlık süresi minimizasyonu
1993	Monma ve Potts	Aynı Özellikteki İşlerin Birleştirilerek Partiler Halinde Farklı Makinelerde Üretilmesi Durumunda Minimum Tamamlanma Süresi	Sezgisel	Minimum Makespan
1982	Muhlmann , Lockett ve Farn	İşlem sürelerinin belirsiz olduğu, makine arızalarının önceden bilinmediği üretim sistemlerinde en iyi sonucu veren algoritmanın belirlenmesi	İş sıralama kuralları (EDD, SPT, S/OPR, LWKR) Lineer	Akış zamanın proses zamanına oranı Ortalama kuyrukta bekleme süresi Ortalama gecikme zamanı Geç kalan işlerin toplam işe oranı
1979	Doğramacı ve Surkis	Bağımsız işlerin özdeş makinelerde toplam gecikmeyi minimize edecek şekilde çizelgelenmesi sezgisel bir algoritma geliştirilmesi	programlama, İş Sıralama Kuralları (EDD, SPT, SLACK)	Minimum Gecikme

3. MATERYAL VE METOD**3.1. Materyal**

Atölye tipi üretim sistemlerinde farklı kapasiteli paralel makinelerin çizelgelenmesi probleminin ele alındığı bu çalışmada, yeni bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmanın diğer dağıtım kuralları ile karşılaştırılması ve algoritmanın iyileştirilerek probleme çözüm önerileri geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Sunulacak algoritmanın performansının ortaya konmasında gerçek verilerle çalışmanın daha sağlıklı sonuçlar doğuracağı düşünülmüştür. Bu çalışma için örnek olarak; pamuklu kumaş üreten bir tekstil fabrikasının farklı kapasitelere sahip atölye tipi üretim yapan iplik boyama departmanının gerçek verileri ele alınmıştır.

Bu işletme, 12.000.000 metre / yıl gömleklik kumaş üreten entegre bir tekstil fabrikasıdır. İşletme çok geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Ağırlıklı olarak ihracata yönelik çalışan işletmenin ürettiği kumaşlardaki en belirgin özelliği renk kartelasının geniş olmasıdır. İşletmenin güçlü yanlarından biri 7000' den fazla renkte üretim yapabilmesidir. Farklı renklerde boyanmış renkli ipliklerle çok farklı kombinasyonlar oluşturulabilmekte; ayrıca müşterilere özel renkler de çalışılabilmektedir. İşletmenin gelişmiş iplik boyama kabiliyeti müşterilerin işletmeyi tercih etmesinde rol oynamaktadır. Bu yüzden İplik Boyama Departmanı işletmenin pazarlama/satış faaliyetleri açısından çok önemlidir.

Siparişler mevsimsel olarak değişmekte, bazı ana renklere sürekli talep olmakla birlikte bazı renklere olan talep modaya göre değişebilmektedir. Örneğin; siyah, beyaz ve mavi gibi ana renkler kumaşlarda zemin rengi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bir sipariş için boyanacak ürün miktarı ve renkler genellikle 4-5 hafta önceden bilinmektedir. Çok fazla renk olmasından dolayı talep tahminleri yapılarak önden üretim yapmak mümkün olmamaktadır. Sadece birkaç ana renkte stok için boyama yapılmaktadır.

Tekstil sektöründe artan rekabet ve Uzak Doğu ülkelerinin yarattığı baskı sonucunda teslim süreleri, maliyet ve kalite konuları çok fazla önem kazanmıştır. Ürettiği ürünlerin yarısından fazlasını ihraç etmekte olan firmanın siparişleri teslim sürelerinde yetiştirememesi veya kalitesizlik durumlarında müşterilerine ceza

ödemesi söz konusu olabilmektedir. Cezai bir durum oluşmasa bile firma prestij ve müşteri kaybedebilmektedir. Tam zamanında ve kaliteli üretim hem işletmenin maliyetlerini azaltmakta hem de artan rekabet ortamında müşteri memnuniyetini sağlamaktadır.

İşletmede yapılan boyamalarda %7 dolayında reproses görülmektedir. Reprosese uğrayacak işler yeniden boyama sırasına girmektedir.

Günde ortalama 60 – 65 boyamanın yapıldığı departmanda kapasite kullanımlarının arttırılmasını ve geciken işlerin en aza indirilmesini sağlayacak çizelgenin hazırlanmasını sağlayacak algoritmanın geliştirilebilmesi için geçmiş bir yıla ait aşağıda sıralanan veriler toplanmıştır;

- i. Siparişlerin giriş çıkış tarihleri
- ii. Siparişlerin özellikleri (renk ve sipariş miktarı)
- iii. Kalitesizlik ve yeniden üretim oranları
- iv. Her bir siparişin üretildiği makine
- v. Birleştirilen siparişler ve üretim esnasında makine kapasite kullanım değerleri
- vi. Üretimler için gerekli hazırlık süreleri

3.2 METOD

3.2.1. Sistemin Tanımı

İşletmeye, ağırlıklı olarak yukarıda belirtilen 73 renk olmak üzere miktar açısından düzensiz siparişler gelmektedir. Siparişler, olası renk birleşimleri (aynı renk) için haftada 2 gün programlanarak İplik Boya İşletmesi'ne iletilmektedir.

Farklı özellikte ama aynı renkteki iplikler aynı kazanda boyanabilmektedir. Ancak parti farkı kabul edilemediğinden bir siparişin birden çok kazana bölünmesi mümkün değildir (maksimum kazan kapasitesi sınırının aşılması durumu hariç).

İşletmede 1 bobinden 594 bobine kadar farklı adetlerde boyayabilen kazanlar mevcuttur. Bazı sipariş miktarları için o seviyede boyayacak kazan bulunmamaktadır (örneğin 252-297 bobin arası).

Bu tür siparişler için iş emri en yakın üst seviyeye tamamlanmakta ve fazla boyanan bobinler stoğa alınmaktadır. Her zaman için bir iş üst seviye kapasiteye sahip başka bir kazanda boyanabilmekte ancak maliyet açısından tercih edilmemektedir. İşletmede bulunan iplik boyama kazanları ve kapasiteleri Çizelge 3.1’ de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. İşletmede Bulunan Boyama Kazanları

Miktar	Minimum Kapasite	Maksimum Kapasite
8 adet	1	8
4 adet	15	42
4 adet	44	91
3 adet	94	154
1 adet	160	252
2 adet	297	594

Bir iş boyanmadan yeni program verildiğinde; aynı renkten farklı bir siparişle birleşip bir üst seviye kazanda boyanması mümkün olmaktadır. İşletme maliyeti ve üretimin kontrol edilebilmesi açısından büyük kapasiteli kazanların kullanımı tercih edilmektedir. Mevcut durumda işletmenin kazan doluluk seviyesi %75 civarındadır.

Bir kazanın hazırlık süresi, temel olarak hangi renkten hangi renge geçilmiş olmasına bağlıdır (koyu renk **a** açık renk geçişi).

Sipariş gelişleri Ki-Kare veya Kolmogorov - Smirnov testleri kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiş ve en uygun istatistiksel dağılım kullanılmıştır.

Her bir renk için işlem süresi aynı ve sabit olarak aynı alınmıştır. Renkler beyaz, açık ve koyu renk olarak üçe ayrılmıştır ve bir önce boyanan renkten bir sonraki boyanan renge geçerken gerekli hazırlık zamanı farklı ama sabit değerlerle hesaplanmıştır. Hazırlık süreleri Tablo 3.1 ‘ de renk grubu geçişlerinde gereken hazırlık süreleri dakika olarak gösterilmiştir.

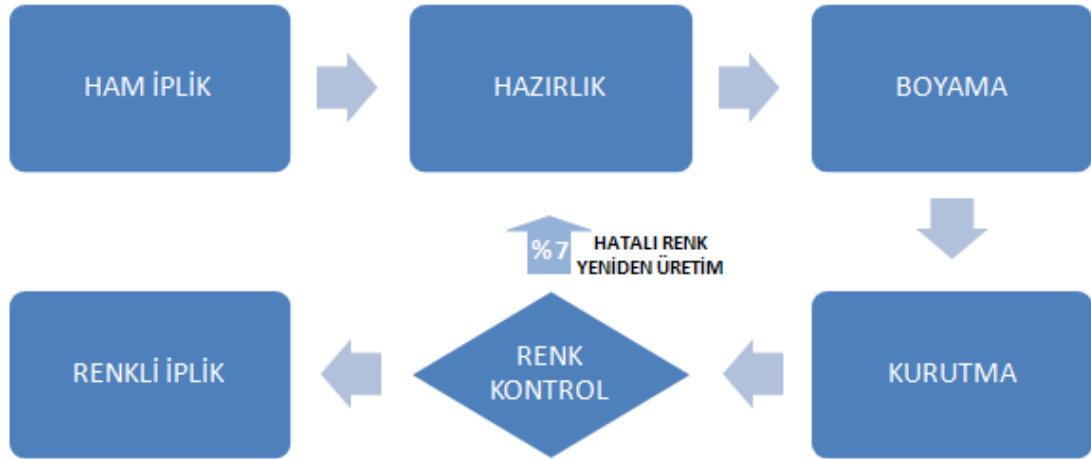
Ele alınan atölye tipi üretim sisteminde, siparişler birbirinden bağımsız ve rassal şekilde 1 ila 594 bobin arasında değişen miktarlarla gelmekte ve kapasitesi uygun herhangi bir makinede boyanabilmektedir. Gelen siparişler iptal edilmemektedir.

Siparişler tek başına boyanabileceği gibi aynı renk diğer siparişlerle birleştirilerek daha yüksek kapasiteli bir kazanda boyanabilmektedir.

Boyama kapalı kazanlarda gerçekleştirilen kontrollü bir kimyasal prosestir. Boyama süreleri beyaz hariç tüm renkler için yaklaşık olarak aynıdır ve miktara göre değişmez. Çalışmada işlem süresi beyaz hariç tüm renkler için 6 saat ve beyaz içinde 4,5 saat olarak alınmıştır. Bir siparişin işlem süresi makineden makineye değişmemektedir.

Makinelere gelen aynı renk siparişler için hazırlık gerekmemektedir. Çalışma kapsamında makine duruşları dikkate alınmamıştır. Kalitesizlik probleminden ötürü yeniden boyamalar gerçekleştirilmektedir. Bu durum uzun dönem işletme tecrübesi olarak %7 olasılıkla gerçekleşmektedir.

Özet olarak ele alınan problem; farklı paralel makineli, tek işlem, çok ürünlü ve çok kriterli bir çizelgeleme problemidir.



Şekil 3.1 İplik Boyama Prosesi

3.2.2 Çizelgeleme Sisteminin Amaçları

Çok çeşitli ürün gereksinimleri yüzünden, atölye türü sistemler maksimum esneklik üzerine kurulmalıdırlar. Partiler herhangi iki iş istasyonu arasında serbestçe

hareket edebilmeli ve operasyonlar farklı sıralarda gerçekleştirilebilmelidir. Her bir iş istasyonu çok farklı operasyonları yapabilmelidir. Bu sistemlerde, ürünler birbirinden çok farklı olabileceği için çalışanlardan istenen tecrübe ürüne dayalı olmaktan ziyade üretim proseslerine dayalıdır. Aynı şekilde, atölye türü sistemler fiziksel ve yönetsel açıdan daha çok proses fonksiyonları etrafında organize olmuşlardır.

Aslında, üretim sistemleriyle ilgili temel gerçeklerden bir tanesi prosese göre yerleşimin ürüne göre yerleşimden her zaman daha az etkin olduğudur. Atölye türü üretimde genelde işlerin toplam akış süresinin %95'ini üretken olmayan faaliyetlerle geçirdikleri bilinmektedir. Geriye kalan %5'lik süre hazırlık ve operasyon için harcanan sürelerdir. Yalnız, çoğu üretim sisteminin düşük üretim hacmi ürüne göre yerleşimi ekonomik kılmayabilir. Rastgele ulaşan siparişler ve operasyon sürelerindeki belirsizlikler çizelgelemeyi zorlaştıran unsurlardır. Eğer kapasite yatırımlarını kısar ve yüksek makine kullanım oranlarını hedeflersek, kuyruk teorisinden biliyoruz ki, makine kuyruklarında uzun beklemeler olacaktır (EROL R. 2001) .

m makine ($m > 2$) ve n işin olduğu bir durumda $(n!)^m$ kadar atama yapılabileceği için doğrusal programlama veya benzeri optimum sonucu veren deterministik yöntemleri kullanmak ya çok zaman almakta yada çözüm sağlayamamaktadır. Örneğin, sadece 5 makinede 10 adet işin çizelgelenmesinde 6×10^{31} adet alternatif bulunmaktadır. Birçok çalışmaya rağmen çoğu çizelgeleme problemi kısa sürede çözülmekten çok uzaktır. Bu yüzden statik ve dinamik sezgisel çizelgeleme kuralları geliştirilmiştir. Bu kuralların kullanıldığı algoritmalar ile çizelgeleme problemine hızlı bir şekilde olanaklı çözümler üretmek mümkün olmaktadır.

Günümüzde artan müşteri istekleri, global düzeyde yaşanan rekabet şirketleri hızlı, tam zamanında ve daha düşük maliyetlerle üretim yapmaya zorlamaktadır. Bu durum üretim sistemlerini karmaşıklaştırmakta ve elle yapılan çizelgelerin yetersiz ve etkisiz olmasına sebep olmaktadır.

Belirtilen faktörler ışığında, bir işletmenin istenilen şartlarda üretim yapabilmesi için aşağıdaki amaçlara uygun bir üretim çizelgeleme sistemine ihtiyacı vardır.

- i. Makine kapasite kullanım oranlarının maksimize edilmesi
- ii. Geciken işlerin minimize edilmesi
- iii. Yarı mamul stok seviyelerinin minimize edilmesi
- iv. Toplam hazırlık süresinin minimize edilmesi
- v. Çizelge hazırlama/çözüm sürelerinin kısa olması

3.2.3 Problemin Matematiksel Modeli

Ele alınan çizelgeleme probleminin hem matematiksel olarak ifade edilmesi hem de optimum sonucunun bulunabilirliğinin testi için matematiksel modeli oluşturulmuş ve problemin çözümü aranmıştır.

3.2.3.1 Notasyon

İndisler;

- i :sipariş numarası $i = 1, 2, 3, \dots, N$
m :makine numarası $m = 1, 2, 3, \dots, M$
r :renk numarası $r = 1, 2, 3, \dots, R$
j : ürün grubu $j = 1, 2, 3, \dots, J$

Parametreler;

- N : Çizelgelenecek işlerin sayısı
 M : Makine sayısı
 R_i : i. siparişin rengi
 z_i : Üretime başlanan zaman
 d_i : i. siparişin teslim edilmesi gereken zaman
 q_i : i siparişinin büyüklüğü (adet)
 w_i : i. siparişin önem faktörü $w_i = (0, 1]$
 F_i : i. işin akış süresi

C_i : i. işin tamamlanma zamanı

B_m : m. makinenin bir seferde en fazla üretebileceği miktar (adet)

K_m : m. makinenin bir seferde en az üretebileceği miktar (adet)

H_{jn} : j. grup işten n. grup işe geçerken gerekli hazırlık süresi

S_m : m. makineye atanan toplam iş yada iş grubu sayısı

$$G_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer i. sipariş j.gruba ait bir iş ise,} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$X_{ims} = \begin{cases} 1, & \text{eğer i. sipariş m.makinede s. sırada üretilirse,} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$V_{mjns} = \begin{cases} H_{jn}, & \text{eğer m.makinede (s-1). j. gruba ait bir iş üretildikten sonra s. sırada.} \\ n. & \text{gruba ait bir iş üretilirse gereken hazırlık süresi,} \\ 0, & \text{sıradaki iş aynı gruba aitse} \end{cases}$$

Kısıtlar:

$\forall m, s; \sum_{i=1}^{S_m} X_{ims} * q_i \leq B_m$: Bir makinede s. sırada üretilen işlerin toplam miktarı o makinenin kapasitesini geçemez.

$\forall m, s; \sum_{i=1}^{S_m} X_{ims} * q_i \leq B_m$: Bir makinede s. sırada üretilen işlerin toplam miktarı o makinenin kapasitesini geçemez.

Çıktılar:

T_i : i. işin gecikmesi (pozitif gecikme $(C_i - d_i, 0)$)

$$\bar{T} = \frac{\sum_i T_i}{N} \quad : \text{Ortalama pozitif gecikme}$$

$$\bar{F} = \frac{\sum_i F_i}{N} \quad : \text{Ortalama akış süresi}$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_i F_i * q_i}{N} \quad : \text{Ortalama stok miktarı}$$

$$\bar{R}_m = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{S_m} X_{ims} * q_i / B_m}{S_m} \quad : \text{m. makinenin ortalama üretim anında kapasite kullanım oranı}$$

$$Z = \sum_m \sum_{j=1}^{S_m} V_{mjns} \quad : \text{toplam hazırlık süresi}$$

Amaç Fonksiyonu:

Min $\bar{T}$ Minimum ortalama gecikme

Min $\bar{F}$ Minimum ortalama akış süresi

Min $\bar{Q}$ Minimum ortalama yarı mamul stoğu

$\forall m$ için Max $\bar{R}_m$ Her bir makine için maksimum ortalama üretim anında kapasite kullanım oranı

Min Z Tüm işlerin üretilmesi için minimum toplam hazırlık süresi

3.2.3.2 Matematiksel Modelin Çözümü

Oluşturulan matematiksel modelde birden fazla amaç fonksiyonu olduğu için salt doğrusal programlama ile çözülmesi mümkün olmamaktadır. Üretim planlama problemleri doğası gereği genellikle doğrusaldır ve bu doğrusal programlamayı uygun bir optimizasyon yaklaşımı haline getirir. Ancak ne yazık ki, geleneksel doğrusal programlama ve beraberindeki amaç fonksiyonu çatışan amaçları ele

almada yetersiz esnekliktedir ve genellikle çok sınırlayıcı olarak kabul edilirler.

Hedef Programlama, çok sayıda hedef veya amaçların bulunduğu doğrusal programlama problemlerine uygulanan bir yöntemdir. Doğrudan amaçları optimize eden doğrusal programlamanın aksine, hedef programlama, hedef değerler ve gerçekleşmiş sonuçlar arasındaki sapmaları minimize ederek, çatışan amaçları yönetmek amacıyla kullanılır.

İşin içine karmaşık hedefler girdiği zaman, problemin çözümünde doğrusal programlama yöntemi yetersiz kalmaktadır. Bu noktadan itibaren karar problemlerini çözmede Hedef Programlama Yönteminden yararlanılmaya başlanır. Bu yöntemde karar vericiden her bir amaç için erişilmesini arzu ettiği bir hedef değer belirlemesi istenir. Bu yöneme göre tercih edilen çözüm, bu hedef değerlerden sapmaları en küçükleyen çözüm olmaktadır.

Hedef programlamada her bir amaç fonksiyonu için kullanılan hedef değerleri Çizelge 3.3’ te belirtilmiştir. Hedef değerleri belirlenirken; hedefin amacına uygun şekilde mümkün olabilecek en düşük veya en yüksek değerler alınmıştır.

Çizelge 3.2. Amaç Fonksiyonları Hedef Değerleri Tablosu

Hedef Adı	Amaç	Hedef Değeri
Ortalama Gecikme	Minimizasyon	0
Ortalama Akış Süresi	Minimizasyon	6
Ortalama Stok	Minimizasyon	0
Üretim Anında Makine Kapasite Kullanım Oranı	Maksimizasyon	% 100
Toplam Hazırlık Süresi	Minimizasyon	0

Tek Makinenin Olduğu Durum

Oluşturulan matematiksel model öncelikle tek bir makine için az sayıda sipariş verisiyle test edilmiştir. Modelin çözümü için LINGO 8 bilgisayar programı kullanılmıştır. Tek makine için modelin çözüm sağlayabildiği görülmüştür. Tek makinenin olduğu durumlarda matematiksel modelleme optimum sonucu verebilmektedir. Sistemde bulunan sipariş adetleri arttıkça çözüm süresi

uzamaktadır; ancak çözüm süresi sistemde aynı anda $N=200$ siparişin bulunduğu durum için 7 dakika gibi ihmal edilebilecek bir düzeydedir.

İki Özdeş Makinenin Olduğu Durum

Matematiksel model kapasiteleri aynı olan iki özdeş makinenin bulunduğu durumda test edilmiş ve sistemde aynı anda $N=120$ siparişin bulunduğu duruma kadar çözüm sağlayabildiği görülmüştür. Sistemde aynı anda daha fazla siparişin bulunduğu iki özdeş makineli durumlarda matematiksel model çözüm sağlayamamaktadır. $N=120$ adet sipariş ve $M=2$ makinenin olduğu durumda çözüm süresi 16 dakika olmaktadır.

İki Farklı Makinenin Olduğu Durum

Matematiksel model kapasiteleri farklı olan iki özdeş makinenin bulunduğu durumda test edilmiş ve sistemde aynı anda $N=45$ siparişin bulunduğu duruma kadar çözüm sağlayabildiği görülmüştür. Sistemde aynı anda daha fazla siparişin bulunduğu iki farklı makineli durumlarda matematiksel model çözüm sağlayamamaktadır. $N=45$ adet sipariş ve $M=2$ makinenin olduğu durumda çözüm süresi 26 dakika olmaktadır.

İkiden Fazla Makinenin Olduğu Durumlar

Matematiksel model makine sayısının 3 ve daha fazla olduğu durumlar için de test edilmiştir. Yalnızca özdeş makinelerin bulunduğu durum için çözüm sağlanabilmiştir. Ancak bu çözüm de $N=7$ adet sipariştan fazlası için mümkün olmamaktadır.

3.2.3.3 Matematiksel Modelin Değerlendirilmesi

Ele alınan çizelgeleme probleminin matematiksel modelinin hedef programlama yöntemi ile kısıtlı şartlar altında çözülebileceği görülmüştür. İki özdeş veya farklı makinenin olduğu durumlarda sipariş sayısı kısıdı altında matematiksel model ile optimum sonuç bulunabilir. Ancak, gerçek problemde birbirinden farklı kapasitelere sahip 22 makine ve sistemde aynı anda ortalama 300'e yakın sipariş bulunmaktadır. Bu da problemin çözümü için matematiksel modelin bir baz oluşturabileceğini ama tek başına yeterli olmayacağını göstermektedir.

3.2.4 Geliştirilen Sezgisel Çizelgeleme Algoritması

Üretim sistemleri daha karmaşık bir hal aldıkça çizelgelere etki eden parametre sayısı ve bunların dinamiklerinde artış olmaktadır. Bu yüzden; çizelgelere etki eden parametrelere ait verilerin otomatik sistemler veya manuel olarak veritabanlarına girilebildiği, karmaşık algoritmaların hızla çözülebildiği bilgisayar programları hazırlanmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen algoritmanın da ancak bilgisayar yardımı ile uygulanması mümkün olmaktadır.

Geliştirilen algoritmanın matematiksel modelde olduğu gibi birden fazla hedefi mümkün olduğunca aynı anda sağlaması hedeflenmektedir. Bu yüzden algoritmanın aynı anda işleri geciktirmeyecek, kapasite kullanım oranlarını yüksek tutacak, ortalama akış sürelerini ve ortalama yarı mamul stok seviyelerini minimize edecek şekilde çalışması istenmektedir. Ayrıca çizelgenin dinamik olarak herhangi bir durumda güncellenmesi istenmektedir. Bu yüzden algoritma her bir üretimin bitiminde yeniden çalıştırılmalıdır. Tüm bunların manuel olarak yapılması imkansız olduğundan işletmenin bu algoritmayı kullanabilmesi için bilgisayar ortamında bir çizelgeleme programı geliştirilmelidir.

Geliştirilen algoritma şu şekildedir:

- i. Birleştirilebilecek olan aynı renk siparişler belirlenir. Her bir kazan için, minimum kazan kapasitesinden aşağı olmayacak ve maksimum kazan kapasitesini geçmeyecek şekilde siparişler birleştirilir.

$$\forall s, m, \text{ için } K_m \leq \sum q_i * X_{ims} \leq B_m$$

- ii. Sırasıyla; üretim anında makine kullanım kapasitesini maksimum yapacak şekilde kapasiteye göre makine atamaları gerçekleştirilir.

Her bir makine grubuna atanan işler için;

- iii. Toplam hazırlık süresini minimum yapacak şekilde siparişler sıralanır.
Her i için, Min Z
- iv. Sıralamaya göre gecikecek iş varsa bir önceki işle sırası değiştirilir ve iii. adıma dönülür. $C_i \leq d_i$

- v. Üretim anında makine kapasite kullanımına göre siparişlerin ağırlıkları belirlenir. Ağırlıklar (w_i) (0-1) aralığında ü.a. kapasite kullanım yüzdesine denk gelecek şekilde alınacaktır.
- vi. Ağırlığı (w_i), yüksek olan önce üretilecek şekilde işler sıralanır.
- vii. iii. ve vi. adımdaki sıralamaları toplamı en az olan iş en önce olacak şekilde işler sıralanır. Eşitlik durumunda ağırlığı (w_i) yüksek olan iş önce üretilir.
- viii. Teslim süreleri dikkate alınmadan en iyi durumda olabilecek minimum toplam hazırlık süresi hesaplanarak alt sınır olarak alınır.
 $A.S. = \text{Min } Z$
- ix. Teslim süreleri dikkate alınmadan; en kötü durumda olabilecek maksimum toplam hazırlık süresi hesaplanarak üst sınır olarak alınır.
 $U.S. = \text{Max } Z$
- x. vii. Adımda oluşturulan çizelge en iyi ile en kötü durumun ortalamasında ya da daha az toplam hazırlık süresinde işi bitiriyorsa çizelge kabul edilir. Aksi halde işler sadece hazırlık süresine göre sıralanır.
 $Z \leq (A.S. + U.S.) / 2$
- xi. Herhangi bir makine üretimi bitirdiğinde i. adıma dönülür ve algoritma baştan çalışır.

3.2.5 Karşılaştırma Yapılacak İş Sıralama Kuralları

Geliştirilen algoritmanın performansının karşılaştırılabilmesi için aşağıda belirtilen iş sıralama kuralları belirlenmiştir.

İşletmelerde kullanılan en yaygın iş sıralama kuralı en “Yakın Termin Zamanlı” yani EDD (Earliest Due Date) kuralıdır. EDD sıralama kuralı, özellikle gecikmeleri en aza indirmek için kullanılmaktadır. Değişkenliğin az olduğu sistemlerde performansı yüksek olmakla birlikte bu çalışmada ele alınan dinamik bir sistemde düşük performans gösterebilir. Ayrıca EDD sonucunda yüksek miktarlarda yarı mamul ve mamul stoğu oluşabilmektedir. Ancak yine de EDD günümüzde en çok kullanılan iş sıralama kuralı olduğu için geliştirilen algoritmanın minimum

performansının belirlenmesi için bir alt sınır olacaktır. Şu anda işletme bu kurala göre plan yapmaktadır.

“En Kısa İşlem Süresi” yani SPT (Shortest Processing Time) karşılaştırma yapılmak için seçilen bir diğer iş sıralama kuralıdır. Bu çalışmada SPT parametresi en düşük olan iş en sona bırakılarak minimum stok seviyesiyle çalışma hedeflenmiştir. Ancak bu kural kullanıldığında işlerin gecikmesi beklenmektedir.

Geliştirilen algoritma hem işleri geciktirmemeyi, hem de kısa işlem süresi olanı (hazırlık süresi) sona bırakmayı hedeflemektedir. Bu yüzden hem EDD hem de SPT (ağırlıklandırılmış en kısa işlem süresi) kurallarını içerdiği söylenebilir. Bu yüzden karşılaştırma için EDD ve SPT kuralları seçilmiştir.

3.2.6 Simülasyon Analizi

Simülasyon geliştirilen veya yeniden düzenlenen sürecin proses işlemlerini tamamlamada ve deneme çalışmalarını yürütmeye ve süreçlerin hata zamanlarını tahmin etmek için yapılan deneysel çalışmadır. Kesin bir matematiksel çözüme ulaşmanın çok zor olduğu sistem ve faaliyetlerin, en iyiye yakın çözümlerin bulunması için bilgisayar ortamında canlandırılması olarak adlandırılmaktadır.

Geliştirilen simülasyon modeli, incelenen iplik boyama işletmesinin şartları ve verileri analiz edilerek oluşturulmuştur. Bu model aşağıda belirtilen aşamaları içermektedir:

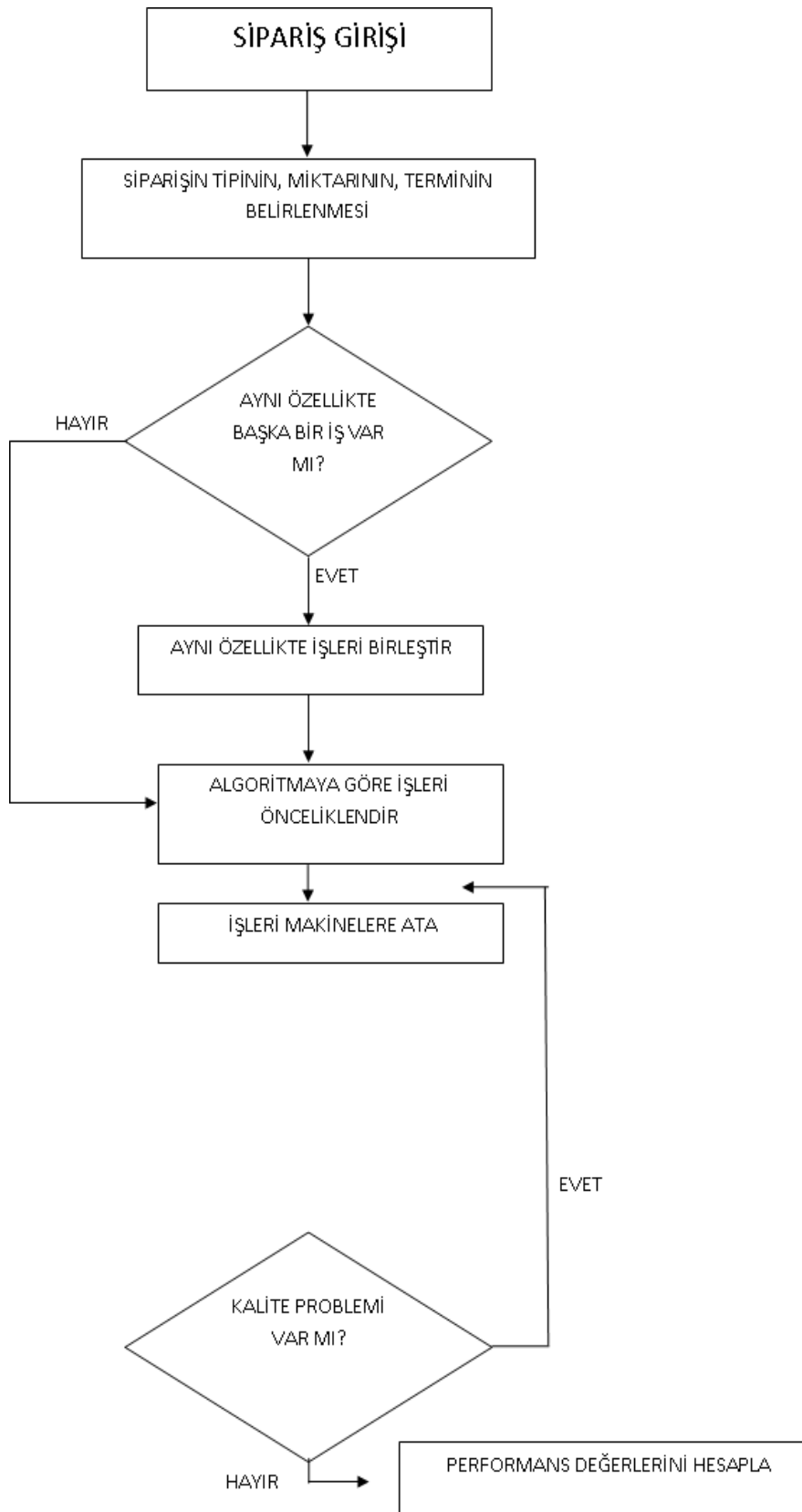
- i. Sisteme yeni bir sipariş girişinin sağlanması
- ii. Her bir sipariş için tip, miktar vb. özelliklerin belirlenmesi
- iii. Aynı özellikteki işlerin birleştirilmesi
- iv. Geliştirilen sezgisel algoritmaya göre sistemde üretime girmemiş olan tüm işlerin öncelik sırasının belirlenmesi
- v. Siparişlerin öncelik sırasına göre işleminden geçmesi
- vi. Performans kriterlerinin hesaplanması

Ayrıca işletmenin şimdi sahip olduğu şartlar dışında karşılaşılabileceği durumlar için aşağıda belirtilen değişken parametrelere göre de simülasyon deneyleri hazırlanmıştır:

- i. Değişken sipariş geliş sıklığı
- ii. Daha az ya da daha çok ortalama sipariş büyüklüğü
- iii. Daha farklı renk dağılımı

Oluşturulan simülasyon modeline ait iş akışı Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Belirtilen şekilde oluşturulan simülasyon modeli; geliştirilen algoritma ve karşılaştırma yapılacak EDD ve SPT kuralları ile birlikte siparişlerin geliş hızı, büyüklükleri ve dağılımları değiştirilerek test edilmiştir.

Simülasyon modeli ARENA programı ile oluşturulmuş ve parametreleri daha kolay değiştirebilmek için Visual Basic programı ile bir ara yüz hazırlanmıştır. Simülasyon modeli her bir deney için; istatistiksel olarak yeterliliği test edildikten sonra 20' şer kez tekrarlanmıştır (20 replikasyon) .



Şekil 3.2 Simülasyon Modeli Akış Şeması

3.2.7 Performans Kriterlerinin Belirlenmesi

Geliştirilen algoritmanın yeterliliğini ortaya koymak için 5 performans kriteri belirlenmiştir.

Üretim anında makine kapasite kullanım oranı : Makinenin üretim yaptığı anda kapasitesinin ne kadarının dolu olduğunu gösteren bir orandır.

Kapasite kullanım oranının işletme yönetimi açısından yüksek tutulması istenmektedir. Çünkü makinenin dolu ya da boş olması işlem süresini ve bir makine dolusu yapılan üretimin sabit maliyetini düşürmemektedir. Bu da birim üretim maliyetlerinin yüksek olmasına sebep olmaktadır.

Ü. A. Kapasite Kullanım Oranı = (İşlem Gören Sipariş Miktarı / Makine Kapasitesi)

Geciken iş yüzdesi: Termininden sonra üretilen işlerin tüm üretilen siparişlerin sayısına oranını ifade eder.

Geciken İş Yüzdesi : (Geciken İşlerin Sayısı / Üretilen Tüm İşlerin Sayısı x 100)

Sistemdeki yarı mamul miktarı: Sistemde telse süresinden önce işlem gören siparişlerin toplam miktarlarının zamana göre ağırlıklı ortalamasıdır.

Toplam Hazırlık Süresi: Her bir üretim için harcanan hazırlık süresinin toplanmasıyla bulunmaktadır. Makinenin atıl kalmasına sebep olduğu için düşük olması istenmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA**4.1 İşletme Verileri ve Analizi**

İplik Boya Departmanı'na; Planlama Departmanı tarafından, teslim süresi önceliğine göre müşteri işlerinde kullanılacak ipliklerin boyama programı verilmektedir. İşletmede, 7000'den fazla renk çalışlabilmektedir. Ancak bu çalışmaya konu olarak işletme tarafından belirlenmiş olan, en çok kullanılan (%85) 73 adet renge ait veriler kullanılacaktır.

Firmada her bir sipariş için yukarıda belirtilen veriler; bilgisayar ortamında, veritabanında eksiksiz bir şekilde tutulmaktadır. 1 yıl geriye dönük veriler toplanarak istatistiksel olarak incelenerek %95 güvenilirlikle sipariş geliş hızlarının üstel dağılıma uyduğu belirlenmiştir.

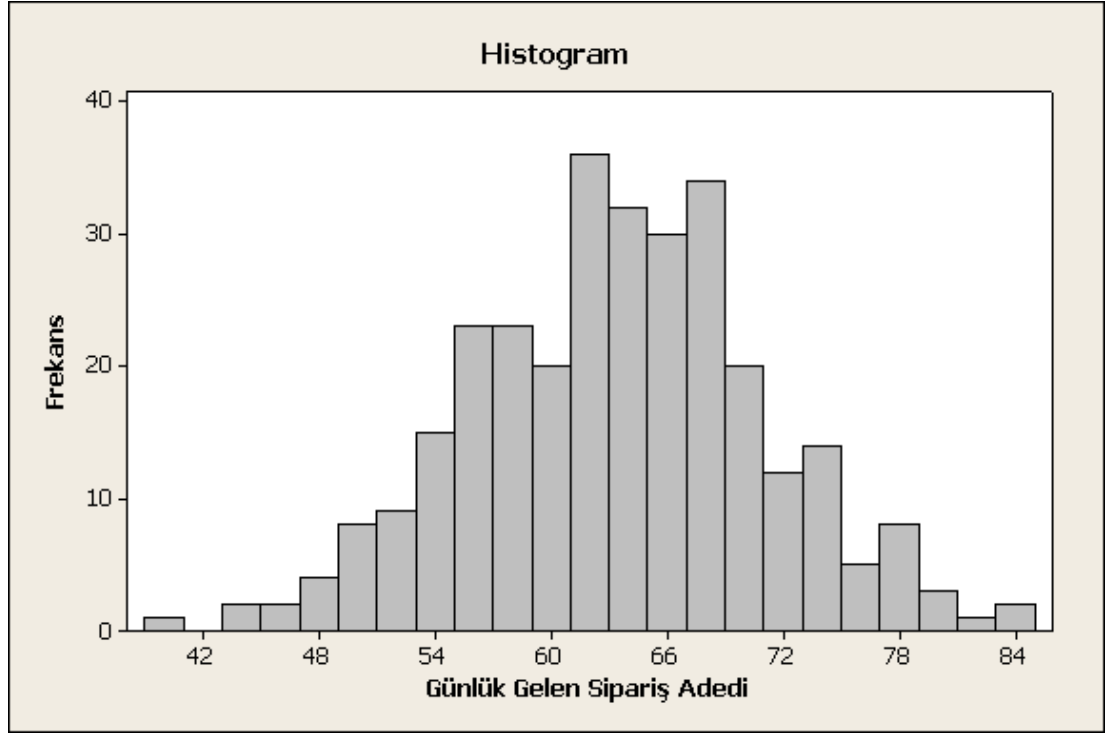
Çizelge 4.1 Renk Grubu Geçişine Göre Hazırlık Süreleri

(dakika)	Beyaza	Açık Renge	Koyu Renge
Beyazdan	15	35	35
Açık Renkten	80	40	55
Koyu Renkten	135	70	40

İşletmeye Poisson dağılımına uygun şekilde günde ortalama 63 sipariş gelmektedir. Bu durum işletmenin verileri incelenerek işletme yetkilileri ile birlikte karar verilerek işletmeye gelebilecek günlük en yüksek 90 ve en düşük 15 sipariş için de; geliştirilen algoritmanın performansının incelenmesine karar verilmiştir. İşletmenin geçmiş bir yıla ait günlük gerçekleşen sipariş miktarları Çizelge 4.2' de belirtilmiştir.

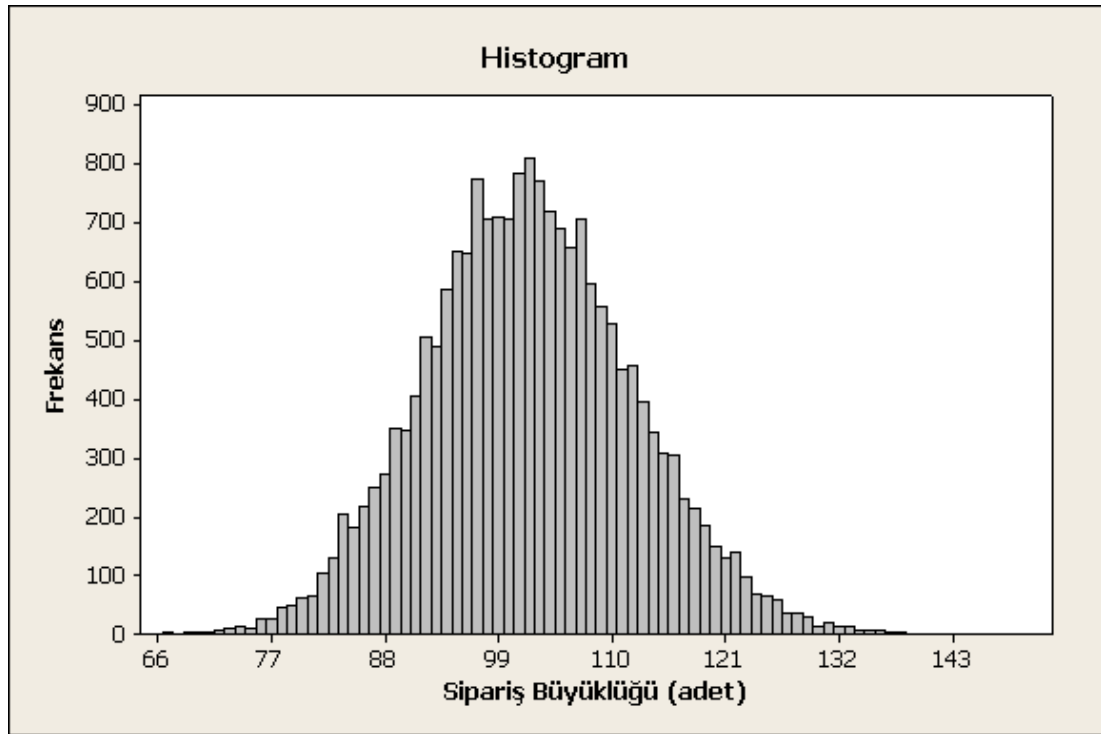
Çizelge 4.2 Geçmiş Bir Yıla Ait Günlük Sipariş Miktarları

Gün	Boyama Adedi	Gün	Boyama Adedi	Gün	Boyama Adedi	Gün	Boyama Adedi	Gün	Boyama Adedi	Gün	Boyama Adedi
1	62	51	67	101	56	151	65	201	61	251	73
2	58	52	70	102	63	152	67	202	64	252	57
3	66	53	81	103	71	153	50	203	63	253	64
4	72	54	64	104	62	154	52	204	62	254	57
5	72	55	60	105	51	155	63	205	64	255	55
6	74	56	60	106	66	156	64	206	55	256	69
7	70	57	67	107	67	157	63	207	65	257	64
8	61	58	68	108	44	158	70	208	68	258	56
9	67	59	59	109	63	159	56	209	54	259	54
10	55	60	67	110	54	160	47	210	60	260	67
11	57	61	72	111	62	161	67	211	76	261	78
12	80	62	67	112	73	162	73	212	61	262	51
13	67	63	68	113	53	163	63	213	52	263	56
14	69	64	57	114	55	164	61	214	77	264	52
15	73	65	74	115	56	165	68	215	66	265	56
16	61	66	56	116	69	166	75	216	61	266	70
17	50	67	66	117	62	167	54	217	77	267	73
18	66	68	64	118	67	168	62	218	56	268	65
19	77	69	68	119	56	169	50	219	65	269	48
20	68	70	68	120	61	170	61	220	70	270	59
21	65	71	66	121	53	171	52	221	58	271	69
22	70	72	59	122	55	172	59	222	57	272	74
23	62	73	63	123	45	173	61	223	60	273	71
24	69	74	57	124	63	174	62	224	63	274	62
25	59	75	53	125	66	175	56	225	80	275	53
26	77	76	65	126	68	176	78	226	62	276	72
27	57	77	50	127	60	177	58	227	65	277	66
28	66	78	56	128	60	178	39	228	84	278	76
29	64	79	71	129	67	179	66	229	63	279	72
30	68	80	62	130	66	180	51	230	68	280	73
31	78	81	66	131	65	181	63	231	62	281	49
32	62	82	54	132	69	182	65	232	63	282	58
33	65	83	65	133	65	183	60	233	55	283	48
34	62	84	60	134	59	184	64	234	68	284	68
35	68	85	79	135	74	185	56	235	68	285	58
36	57	86	63	136	57	186	64	236	61	286	56
37	61	87	63	137	57	187	66	237	54	287	69
38	60	88	57	138	53	188	72	238	57	288	73
39	69	89	72	139	67	189	57	239	59	289	57
40	63	90	59	140	63	190	45	240	65	290	62
41	75	91	66	141	62	191	70	241	65	291	58
42	56	92	63	142	61	192	68	242	85	292	60
43	66	93	69	143	72	193	50	243	68	293	62
44	67	94	64	144	52	194	73	244	71	294	69
45	53	95	67	145	70	195	61	245	63	295	68
46	56	96	64	146	51	196	59	246	54	296	54
47	48	97	67	147	60	197	73	247	58	297	68
48	61	98	78	148	61	198	56	248	73	298	62
49	44	99	57	149	50	199	64	249	65	299	75
50	70	100	70	150	62	200	61	250	55	300	49



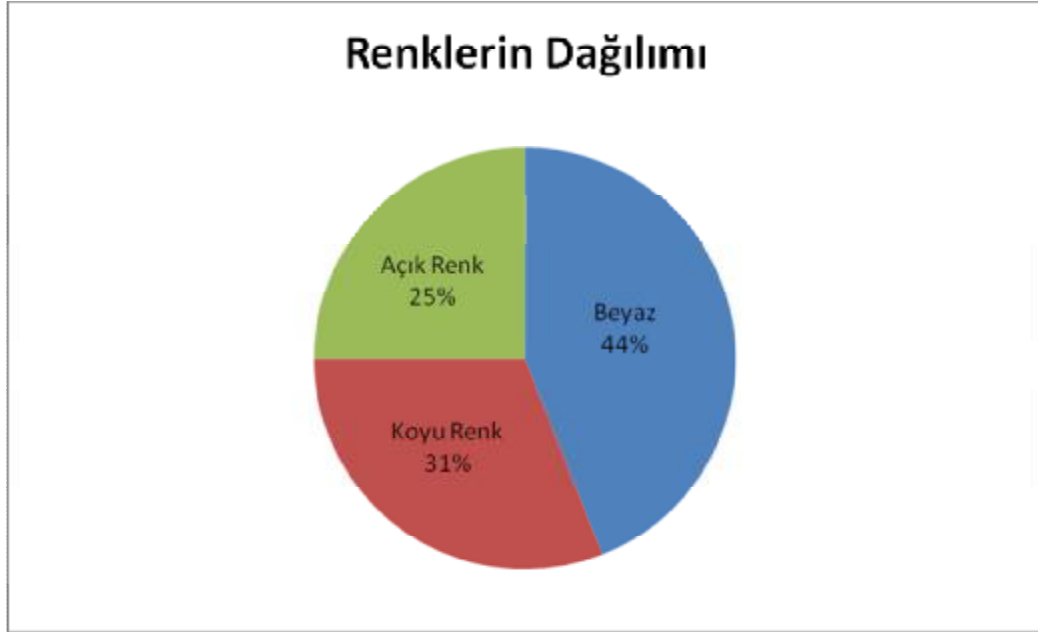
Şekil 4.1 Günlük Gelen Sipariş Miktarına Ait Histogram Grafiği

İşletmeye 1 ila 594 bobin arasında çok farklı miktarlarda siparişler gelebilmektedir. Bu siparişlerin uzun dönem ortalaması 102 bobindir ve sipariş miktarları Poisson dağılımına uymaktadır.. Ortalama sipariş büyüklüğü içinse 80 ve 120 bobin ortalamalarda algoritmanın performansının incelenmesine karar verilmiştir.



Şekil 4.2 Sipariş Büyüklüklerine Ait Histogram Grafiği

İşletmeye gelen siparişlerin % 44'ü beyaz, % 25'i açık renkli ve % 31'i koyu renklidir. Beyaz ağırlıklı boyamada hazırlık sürelerinin düşük olmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.3 İşletmeye Gelen Siparişlerin Renk Dağılımı

4.2. Sezgisel Algoritmanın Uygulanması

Bu bölümde, geliştirilen sezgisel algoritma bir grup test verisiyle uygulanacak ve elde edilen çözüm matematiksel programlama ile elde çözüm ile karşılaştırılacaktır. Karşılaştırma için matematiksel modelin çözüm üretebildiği $N=7$ sipariş bulunan ve birbirinden farklı kapasiteli $M=2$ makinenin bulunduğu bir durumda Çizelge 4.3' te belirtilen veriler kullanılmıştır. Örnek veri setinin bir adet 1-8 ve bir adette 15-42 bobin boyama kapasiteli iki makine için çizelgesi hazırlanacaktır. İlk üretimlerde her iki makinede de üretilecek ilk üretilecek ürün grubuna göre hazırlık süresi gerektiği varsayılmıştır.

Çizelge 4.3 $N=7$ Siparişlik Örnek Problem Verileri

İş No	Renk NO	Renk Grubu	Sipariş Miktarı (adet)	Teslim Süresi (gün)
1	1	Beyaz	16	1
2	3	Açık Renk	7	2
3	1	Beyaz	9	3
4	12	Koyu Renk	18	1
5	35	Açık Renk	3	4
6	69	Açık Renk	6	4
7	35	Açık Renk	5	9

4.2.1 Çizelgenin Oluşturulması

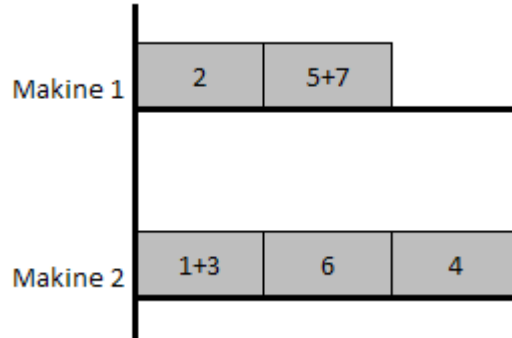
Örnek problem için geliştirilen sezgisel algoritma ile çizelgenin nasıl oluşturulduğu sırasıyla anlatılmıştır.

- i. Öncelikle birleştirilebilecek siparişler belirlenir: Aynı renkte olan 1+3 ve 5+7 siparişleri birleştirilir. Birleştirilen siparişlerden herhangi birinin teslim süresi aşılmadıkça bu siparişler tek bir sipariş gibi kabul edilir.
- ii. Sırasıyla makine kapasitelerini aşmayacak şekilde işler makinelere atanır.

Çizelge 4.4 Örnek İşlerin Makinelere Atanması

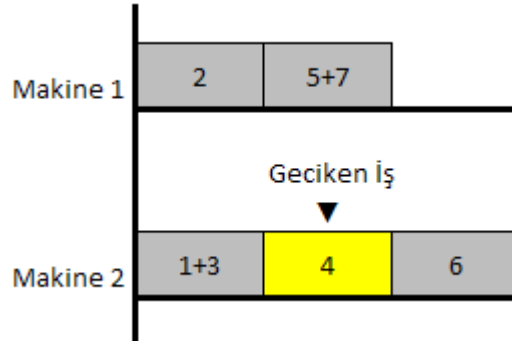
M₁ (1-8)	M₂ (15-42)
2	1+3
5+7	4
	6

- iii. Toplam hazırlık süresini minimum yapacak şekilde işler sıralanır.



Şekil 4.4 Örnek Çizelge - I

- iv. Sıralamaya göre gecikecek iş varsa bir önceki işle sırası değiştirilir ve iii. adıma dönülür.



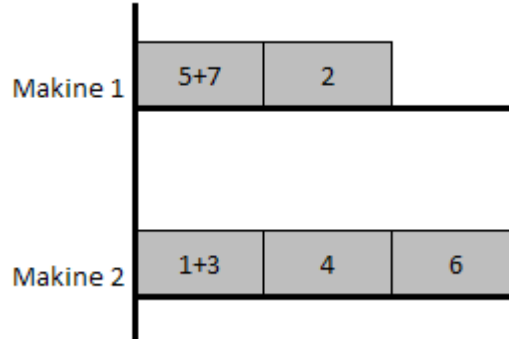
Şekil 4.5 Örnek Çizelge – II

- v. Üretim anında makine kapasite kullanım oranına göre işler ağırlıklandırılır.

Çizelge 4.5 Örnek İşlerin Ağırlıklandırılması

M1	W_i	M2	W_i
2	$7/8=0.87$	1+3	$25/42=0.59$
5+7	$8/8=1$	4	$18/42=0.42$
		6	$16/42=0.38$

- vi. Ağırlığı (w_i), yüksek olan önce üretilecek şekilde işler sıralanır.



Şekil 4.6 Örnek Çizelge – III

- vii. iii. ve vi. adımdaki sıralamaları toplamı en az olan iş en önce olacak şekilde işler sıralanır. Eşitlik durumunda ağırlığı (w_i) yüksek olan iş önce üretilir.

Çizelge 4.6 Örnek İşlerin Sıralanması

M1	Sıra ₁ + Sıra ₂	M2	Sıra ₁ + Sıra ₂
5+7	$2+1=3$	1+3	$1+1=2$
2	$1+2=3$	4	$2+2=4$
		6	$3+3=6$

- viii. Teslim süreleri dikkate alınmadan en iyi durumda olabilecek minimum toplam hazırlık süresi hesaplanarak alt sınır olarak alınır.

$$A.S. = \text{Min } Z$$

Şekil 4.4' te belirtilen çizelge hazırlandığında M_1 için $0 \rightarrow 2 \rightarrow 5+7$ ve M_2 için $0 \rightarrow 1+3 \rightarrow 6 \rightarrow 4$ durumlarında gerekli toplam hazırlık süresi Çizelge 4.7' de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7 Örnek İşler İçin Gerekli Minimum Hazırlık Süreleri

M1	Hazırlık Süresi (dakika)	M2	Hazırlık Süresi (dakika)
$0 \rightarrow 2$	A.Renk: 40	$0 \rightarrow 1+3$	Beyaz: 15
$2 \rightarrow 5+7$	A.Renk $\rightarrow$ A.Renk: 40	$1+3 \rightarrow 6$	Beyaz $\rightarrow$ A.Renk: 35
		$6 \rightarrow 4$	A.Renk $\rightarrow$ K.Renk: 55
TOPLAM	80		105
185 Dakika			

- ix. Teslim süreleri dikkate alınmadan; en kötü durumda olabilecek maksimum toplam hazırlık süresi hesaplanarak üst sınır olarak alınır.

$$U.S. = \text{Max } Z$$

En uzun hazırlık süresine göre çizelge hazırlandığında M_1 için $0 \rightarrow 5+7 \rightarrow 2$ ve M_2 için $0 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 1+3$ durumlarında gerekli toplam hazırlık süresi Çizelge 4.8' de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8 Örnek İşler İçin Gerekli Maksimum Hazırlık Süreleri

M1	Hazırlık Süresi (dakika)	M2	Hazırlık Süresi (dakika)
$0 \rightarrow 2$	A.Renk: 40	$0 \rightarrow 6$	A.Renk: 40
$2 \rightarrow 5+7$	A.Renk $\rightarrow$ A.Renk: 40	$6 \rightarrow 4$	A.Renk $\rightarrow$ K.Renk: 55
		$4 \rightarrow 1+3$	K.Renk $\rightarrow$ Beyaz: 135
TOPLAM	80		230
310 Dakika			

- x. vii. adımda oluşturulan çizelge en iyi ile en kötü durumun ortalamasında ya da daha az toplam hazırlık süresinde işi bitiriyorsa çizelge kabul edilir. Aksi halde işler sadece hazırlık süresine göre sıralanır.

$$Z \leq (A.S. + U.S.) / 2$$

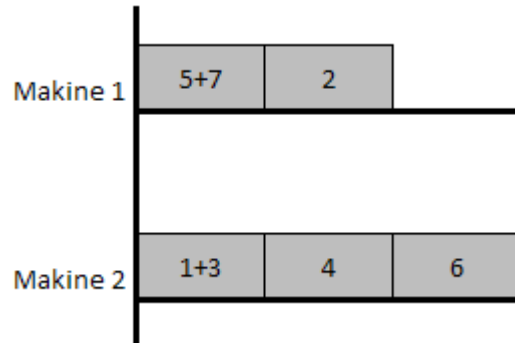
Çizelge 4.9 Örnek Çizelgeye Göre Gerekli Maksimum Hazırlık Süreleri

M1	Hazırlık Süresi (dakika)	M2	Hazırlık Süresi (dakika)
0 à 5+7	A.Renk: 40	0 à 1+3	Beyaz: 15
5+7 à 2	A.Renk à A.Renk: 40	1+3 à 4	Beyaz à K.Renk: 35
		4 à 1+3	K.Renk à A.Renk: 70
TOPLAM	80		120
200 Dakika			

$$Z=200 \leq (185 + 310.) / 2 ?$$

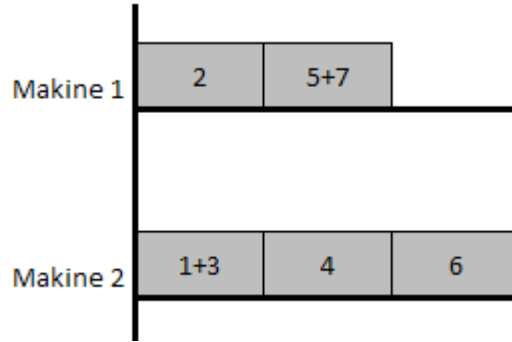
$$Z=200 \leq 247.5 \text{ P}$$

- xi.** Herhangi bir makine üretimi bitirdiğinde i. adıma dönülür ve algoritma baştan çalışır. Örnek problemde sisteme eklenen bir iş olmadığı için Şekil 4.7’ de belirtilen nihai çizelgeye göre üretime devam edilir.

**Şekil 4.7** Örnek Problem – Nihai Çizelge

4.2.2 Sezgisel Algoritmanın Matematiksel Model İle Karşılaştırılması

Sezgisel Matematiksel modelin LINGO programıyla çözülmesi sonucu elde edilen çizelge Şekil 4.8’ de, her iki yöntemin performansının karşılaştırması ise Çizelge 4.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Örnek Problem – Matematiksel Modelin Oluşturduğu Çizelge

Çizelge 4.10 Algoritma – Matematiksel Model Performans Karşılaştırması

Performans Kriteri	Algoritma	Matematiksel Model
M. Kapasite Kullanım Oranı	% 70	% 70
Geciken İş Yüzdesi	% 0	% 0
Ortalama Yarı Mamul Miktarı (adet)	41,38	41,73
Toplam Hazırlık Süresi (dakika)	200	185

Çizelge 4.10’ da görüldüğü üzere, geliştirilen sezgisel algoritma ve matematiksel modelin makine kapasite kullanım oranı ve geciken iş yüzdesi performansları aynı olmuştur. Daha fazla sipariş ve makinenin bulunduğu daha kompleks durumlarda algoritmanın iş geciktirmesi mümkündür. Ancak sonuçlar algoritmanın işleri geciktirmeme ve makine kapasite kullanım oranlarını maksimize etme hedeflerine uygun şekilde hareket ettiğini göstermektedir. Ortalama yarı mamul miktarı kriterine bakıldığında; matematiksel modelin hedef programlama yoluyla elde edilen sonuçlarda algoritmadan % 0.8 oranında daha fazla yarı mamul miktarı ile çalıştığı görülmektedir. Ancak matematiksel çözümün verdiği bu çok küçük ödün; algoritmadan % 7.5 oranında daha kısa toplam hazırlık süresinde işleri bitirebilen çizelgeyi oluşturmasını sağlamıştır.

Sonuçlara genel olarak bakıldığında; geliştirilen sezgisel matematiksel modele yakın şekilde çözüm üretebildiği görülmüştür. Ayrıca çözüm süreleri de karşılaştırıldığında aynı şartlardaki bir bilgisayarda (Centrino Core 2 Duo 1.86 GHz, 2GB Ram); sistemde aynı anda $N=45$ adet sipariş ve birbirinden farklı kapasiteli $M=2$ makinenin olduğu durumda LINGO ile çözüm süresi 26 dakika olurken algoritma için Delphi programlama diliyle yazılan programda çözüm süresi 1

dakikadır. Sezgisel algoritmanın matematiksel modele iyi ve hızlı bir alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür.

4.3. Simülasyon Sonuçları

Geliştirilen algoritmanın karşılaştırılması için hazırlanan simülasyon deneyleri; hem mevcut durum hem de farklı sipariş geliş hızları, sipariş büyüklükleri ve dağılımlarına göre gerçekleştirilmiştir. Her bir algoritma için oluşturulan deneyler tekrarlanmış ve sonuçlar grafiklerle özetlenmiştir. Her bir değişen parametrenin etkileri sırasıyla üretim anında kapasite kullanım oranı, geciken iş yüzdesi, sistemdeki, yarı mamul miktarı ve toplam hazırlık süresine göre değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalarda geliştirilen algoritma “PRJ” kısaltması ile belirtilmiştir.

4.3.1 Mevcut Durum

İşletmenin verileri analiz edilerek elde edilen istatistiksel dağılımlar kullanılarak mevcut şartlar altında simülasyon deneyi yapılmış ve algoritmanın performansı işletmenin bir yıllık geçmiş performans değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.11 Mevcut Durum – Sezgisel Algoritma Performans Karşılaştırması

Performans Kriteri	Mevcut Durum	PRJ
M. Kapasite Kullanım Oranı	% 75	% 89
Geciken İş Yüzdesi	% 4	% 5
Ortalama Yarı Mamul Miktarı (adet)	1894	1217
Toplam Hazırlık Süresi (saat)	5047	3264

Çizelge 4.11’ den anlaşılacağı üzere geliştirilen sezgisel algoritma makine kapasite kullanım oranında % 15, ortalama yarı mamul miktarında % 36, toplam hazırlık süresinde ise % 34 daha iyi performans göstermiştir. Mevcut durumda teslim süresi kriterine göre çizelgeleme yapıldığı için geciken iş yüzdesi % 4 iken,

geliştirilen sezgisel algoritmada bu oran %5 olmuştur. Aradaki fark ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Sonuçlara bakıldığında geliştirilen sezgisel algoritmanın mevcut işletme şartlarında hedeflenen performans iyileşmelerini sağladığı görülmüştür. Farklı durumlar için de algoritmanın performansı test edilmiştir.

4.3.2 Sipariş Geliş Sıklığının Etkileri

Siparişlerin geliş sıklığı, bir çizelgenin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Özellikle mevsimsel dalgalanmaların yaşandığı durumlarda belirli bir zaman için etkin olan bir algoritma, başka bir zamanda etkinliğini yitirebilmektedir. Bu yüzden işletme yetkililerinin de fikirleri alınarak farklı iki durum içinde simülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda işletmeye günde ortalama 63 sipariş gelmekte iken; günde ortalama 15 ve 90 siparişin geldiği durumlarda deneyler hazırlanmıştır. Bu deneyler sezgisel algoritmanın performansını test etmek amacıyla seçilen EDD ve SPT iş sıralama kuralları ile de yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

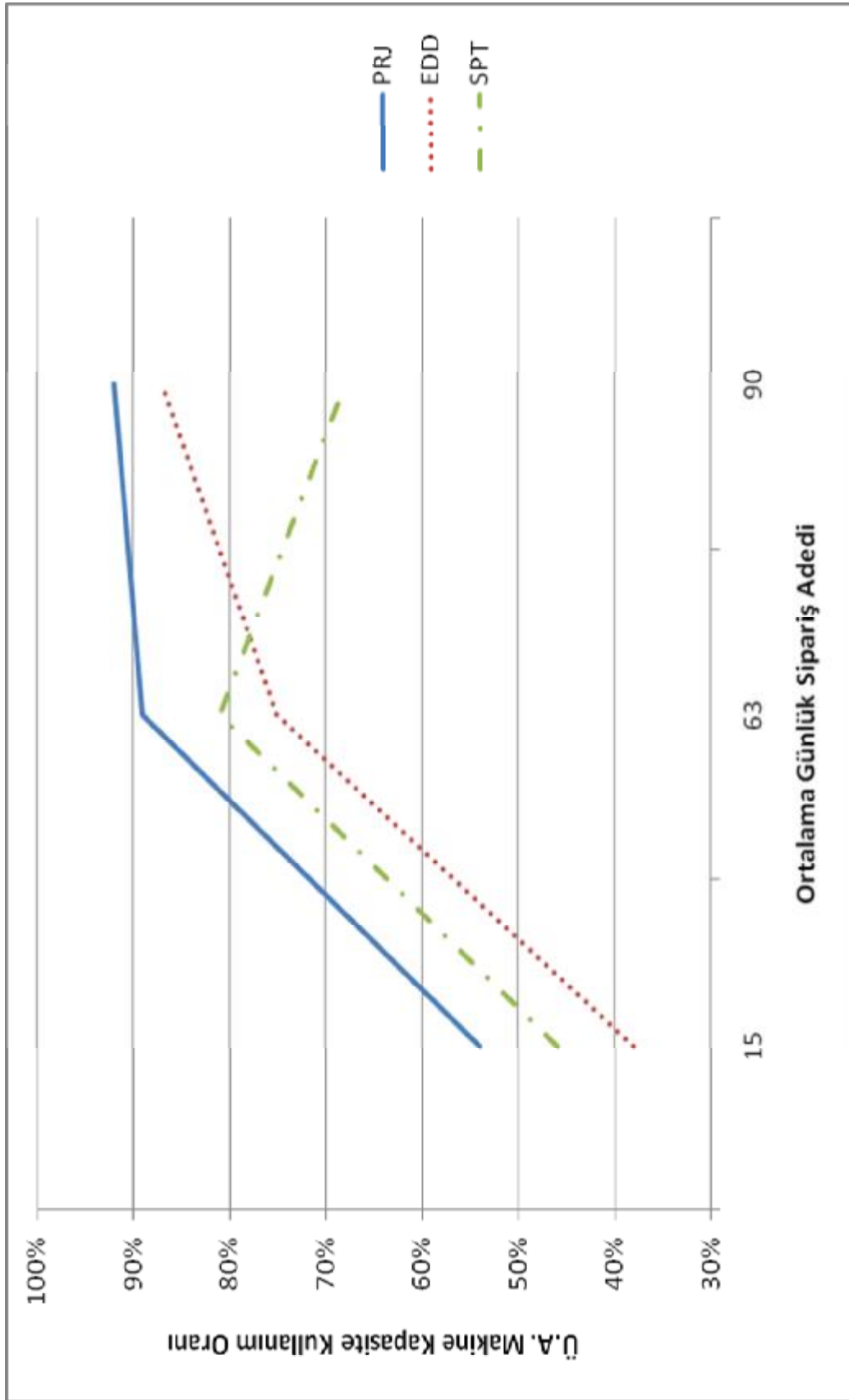
4.3.2.1 Sipariş Geliş Sıklığı – Üretim Anında Kapasite Kullanım Oranı İlişkisi

Şekil 4.9 ‘ da görüldüğü üzere siparişlerin geliş hızlarının azalması ile üretim anında kapasite kullanım oranı azalmaktadır. Her durumda geliştirilen algoritmanın en yüksek performansı gösterdiği görülmektedir.

Düşük sipariş geliş hızında EDD en kötü performansı gösterirken, yüksek sipariş geliş hızında SPT en kötü performansı göstermektedir.

Çizelge 4.12 Değişken Sipariş Geliş Sıklığı – Kapasite Kullanım Oranı Sonuçları

Makine Kapasite Kullanım Oranı			
Günlük Sipariş Adedi	PRJ	EDD	SPT
15	54%	38%	38%
63	89%	75%	75%
90	92%	87%	87%



Şekil 4.9 Sipariş Geliş Sıklığı – Ü.A. Kapasite Kullanım Oranı İlişkisi

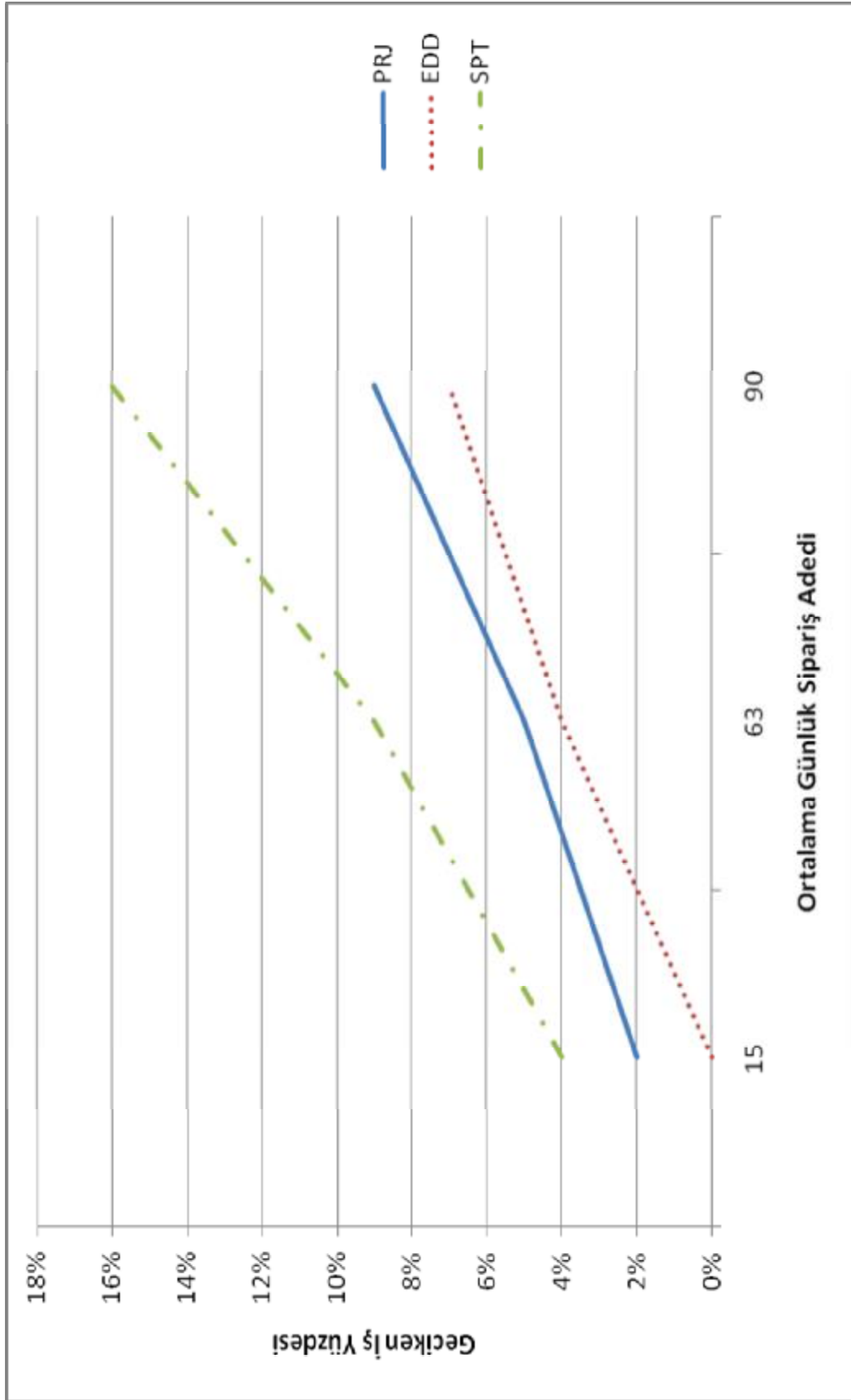
4.3.2.2 Sipariş Geliş Sıklığı – Geciken İş Yüzdesi İlişkisi

Şekil 4.10 ‘ da görüldüğü gibi siparişlerin geliş hızlarının azalması ile geciken iş oranı azalmakta ve siparişlerin sıklığı arttıkça işlerin geciken iş oranı artmaktadır. Bu bilgi işletmeye ne zaman kapasite arttırımı yapması gerektiği konusunda yardımcı olabilir.

Beklenildiği üzere, her durumda EDD en yüksek performansı göstererek en düşük oranda işin gecikmesini sağlamıştır. Geliştirilen algoritma ise EDD’ ye yakın bir performans sergilemiştir. SPT ise en kötü performansı göstermektedir.

Çizelge 4.13 Değişken Sipariş Geliş Sıklığı – Geciken İş Yüzdesi Sonuçları

Geciken İş Yüzdesi			
Günlük Sipariş Adedi	PRJ	EDD	SPT
15	2%	0%	4%
63	5%	4%	9%
90	9%	7%	16%



Şekil 4.10 Sipariş Geliş Sıklığı – Geciken İş Yüzdesi İlişkisi

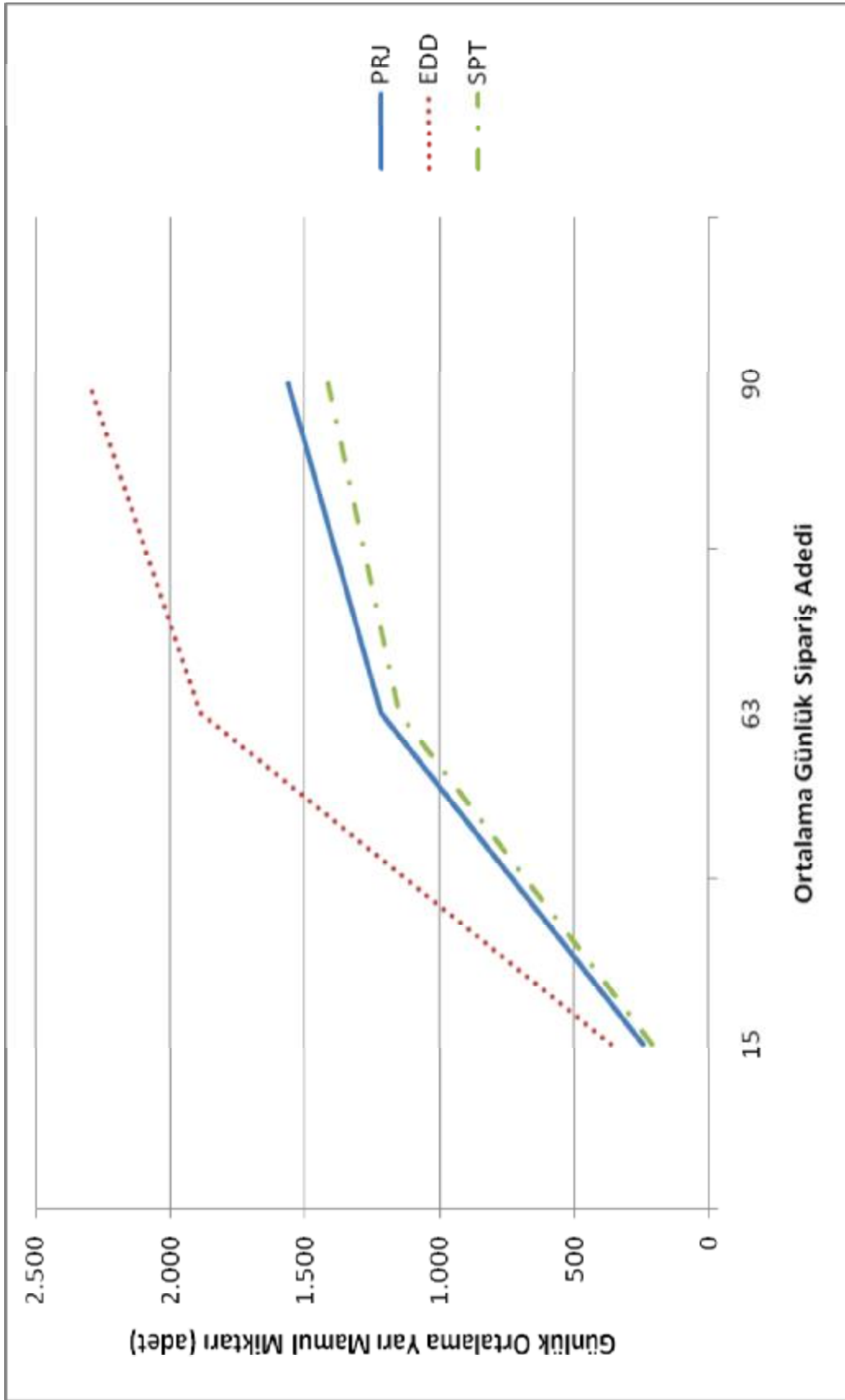
4.3.2.3 Sipariş Geliş Sıklığı – Yarı Mamul Miktarı İlişkisi

Şekil 4.11’ de görüldüğü gibi, siparişlerin geliş hızının azalması ile sistemde bulunan ortalama yarı mamul miktarı azalmaktadır. Sipariş geliş sıklığı arttıkça sistemde oluşan yarı mamul miktarı artmaktadır.

Sipariş geliş sıklığının çok yüksek olmadığı durumlarda geliştirilen algoritma SPT kuralına çok yakın şekilde düşük ortalama yarı mamul miktarını elde etmiştir. Ancak siparişlerin çok sık geldiği durumda en iyi performansı SPT kuralı göstermiştir. EDD kuralı her üç durumda da en yüksek ortalama yarı mamul miktarını oluşturarak en kötü performansı göstermiştir.

Çizelge 4.14 Değişken Sipariş Geliş Sıklığı – Yarı Mamul Miktarı Sonuçları

Yarı Mamul Miktarı (adet)			
Günlük Sipariş Adedi	PRJ	EDD	SPT
15	243	365	210
63	1.217	1.890	1.149
90	1.561	2.300	1.413



Şekil 4.11 Sipariş Geliş Sıklığı – Yarı Mamul Miktarı İlişkisi

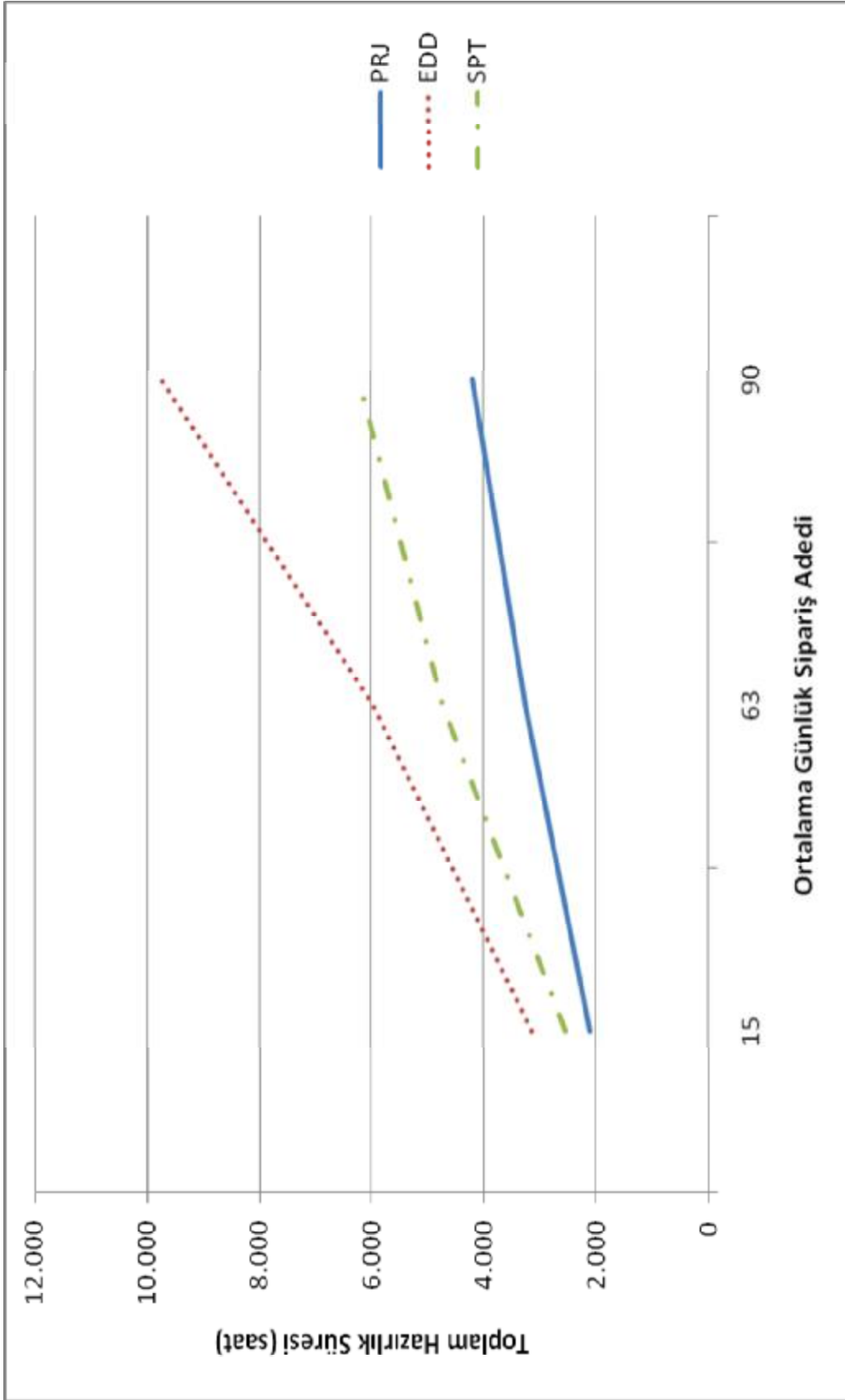
4.3.2.4 Sipariş Geliş Sıklığı – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi

Şekil 4.12’ de görüldüğü üzere siparişlerin geliş sıklığı azaldığında toplam hazırlık süresi azaltmaktai arttığında ise toplam hazırlık süresi artmaktadır.

Her durumda geliştirilen algoritma çok iyi bir performans göstermiş ve minimum toplam hazırlık süresinde siparişlerin üretilebilmesini gerçekleştirmiştir. EDD kuralı ise en kötü performansı gösteren kural olmuştur.

Çizelge 4.15. Değişken Sipariş Geliş Sıklığı –Toplam Hazırlık Süresi Sonuçları

Toplam Hazırlık Süresi (saat)			
Günlük Sipariş Adedi	PRJ	EDD	SPT
15	2.114	3.156	2.549
63	3.264	5.971	4.726
90	4.213	9.748	6.219



Şekil 4.12 Sipariş Geliş Sıklığı – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi

4.3.3 Sipariş Büyüklüğünün Etkileri

Sipariş büyüklüğü, özellikle makine kapasitelerinin farklı olduğu durumlarda çizelgelerin performansını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Kapasite kullanım oranları ve sipariş birleştirebilme kabiliyeti ortalama sipariş büyüklüğüne göre değişebilmektedir. Ayrıca mevsimsellik etkisiyle de ortalama sipariş büyüklüğü değişebilmektedir. Bu yüzden işletme yetkililerinin de fikirleri alınarak farklı iki durum içinde simülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda işletmeye ortalama 102 adet bobin büyüklüğünde sipariş gelmekte iken; ortalama 80 ve 120 adet sipariş büyüklüğünün olduğu durumlarda deneyler hazırlanmıştır. Bu deneyler sezgisel algoritmanın performansını test etmek amacıyla seçilen EDD ve SPT iş sıralama kuralları ile de yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

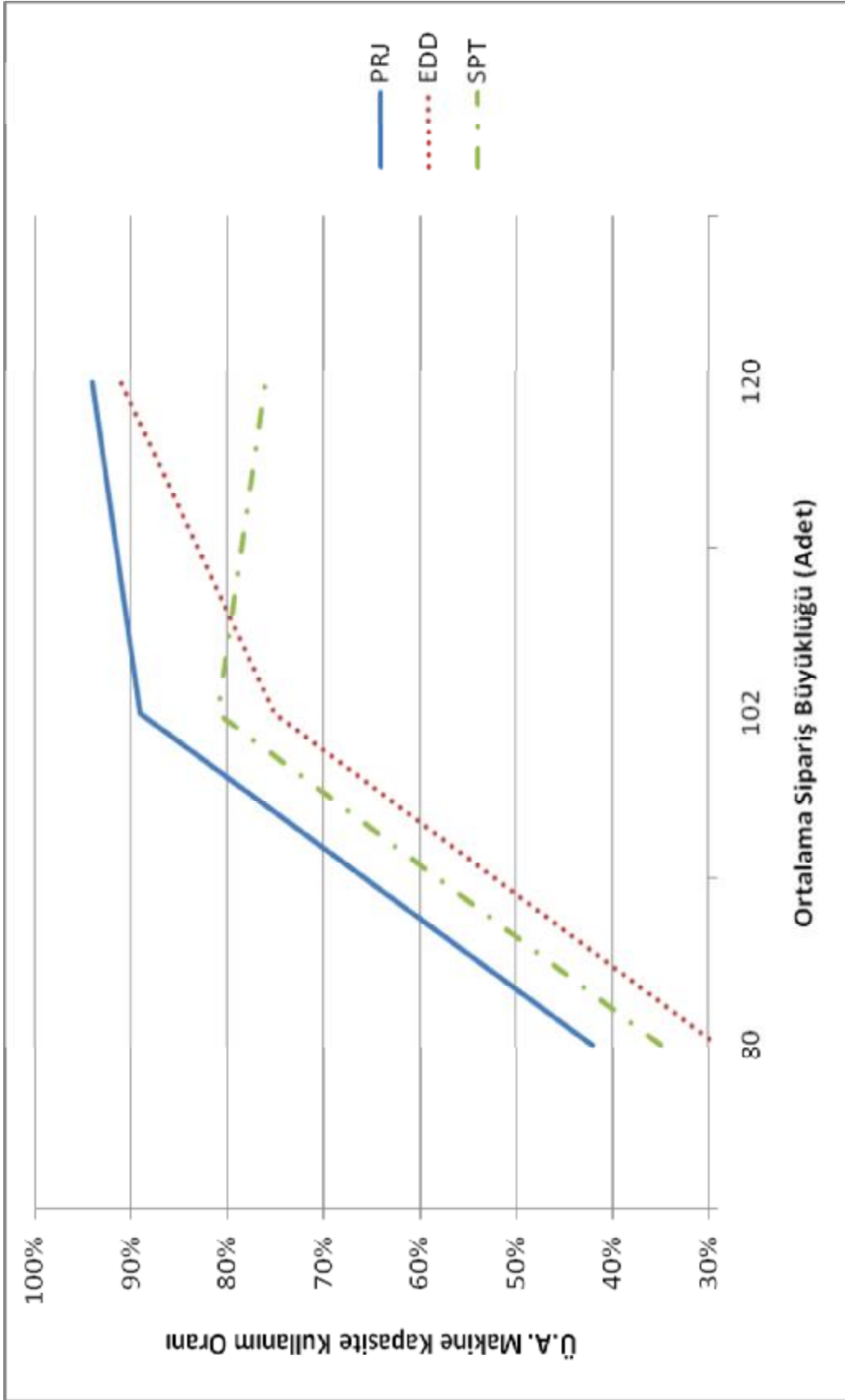
4.3.3.1 Sipariş Büyüklüğü – Üretim Anında Kapasite Kullanım Oranı İlişkisi

Şekil 4.13’ te görüldüğü üzere siparişlerin ortalama büyüklüklerinin azalması ile üretim anında kapasite kullanım oranı azalmaktadır. Yine her durumda geliştirilen algoritmanın en yüksek performansı gösterdiği görülmektedir.

Düşük sipariş büyüklüğünde EDD en kötü performansı gösterirken, yüksek sipariş büyüklüğünde SPT en kötü performansı göstermektedir.

Çizelge 4.16 Değişken Sipariş Büyüklüğü –Kapasite Kullanım Oranı Sonuçları

Makine Kapasite Kullanım Oranı			
Ortalama Sipariş Büyüklüğü (adet)	PRJ	EDD	SPT
80	42%	29%	35%
102	89%	75%	81%
120	94%	91%	76%



Şekil 4.13 Sipariş Büyüklüğü – Ü.A. Kapasite Kullanım Oranı İlişkisi

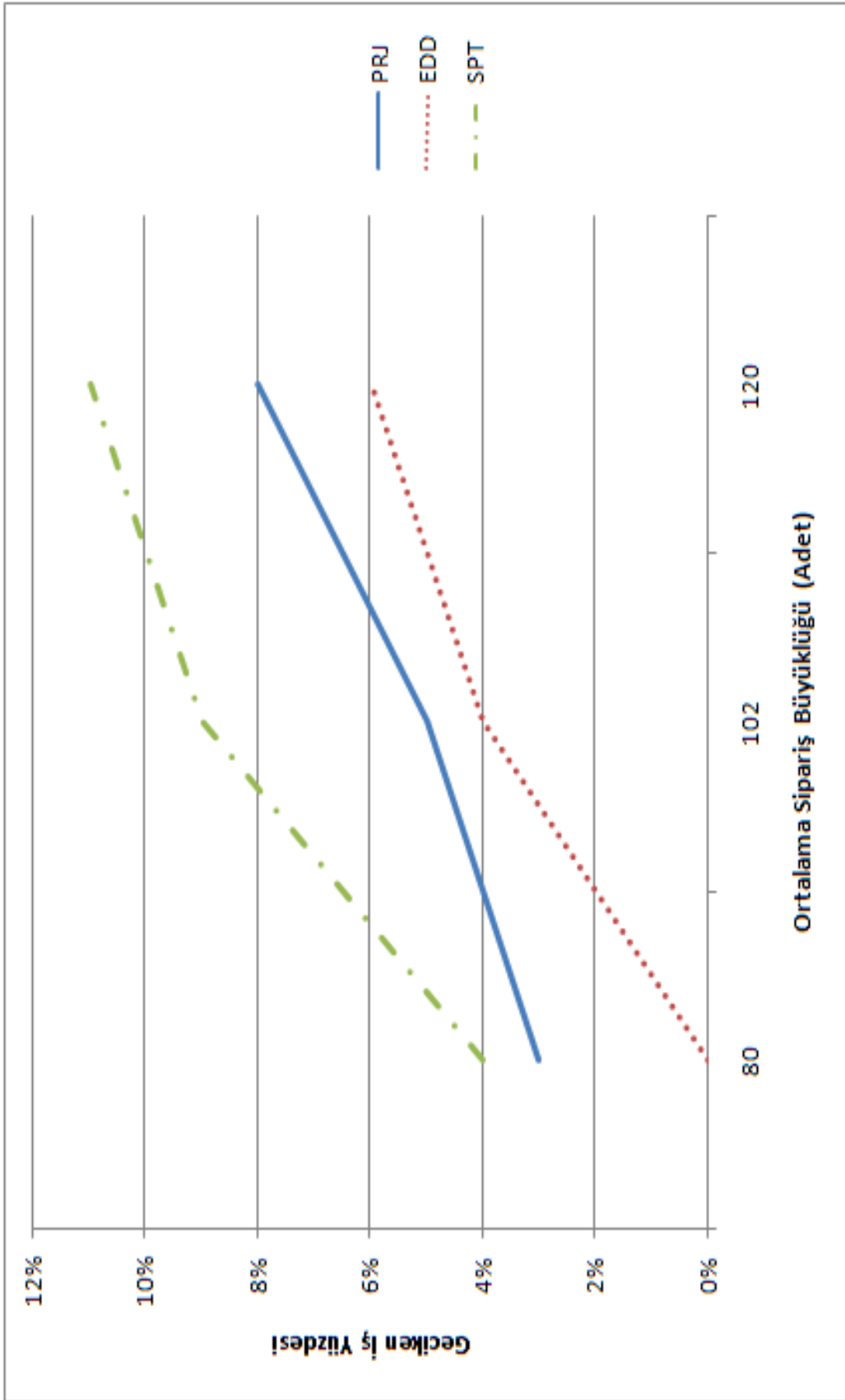
4.3.3.2 Sipariş Büyüklüğü – Geciken İş Yüzdesi İlişkisi

Şekil 4.14’ te görüldüğü üzere siparişlerin ortalama büyüklüğü azaldığında geciken iş yüzdesi azalmakta, arttığında ise geciken iş yüzdesi artmaktadır.

Her durumda EDD kuralı en iyi performansı göstermiş ve minimum geciken iş yüzdesi ile siparişlerin üretilebilmesini gerçekleştirmiştir. Geliştirilen algoritma ise ikinci performansa sahiptir.

Çizelge 4.17 Değişken Sipariş Büyüklüğü –Geciken İş Yüzdesi Sonuçları

Geciken İş Yüzdesi			
Ortalama Sipariş Büyüklüğü (adet)	PRJ	EDD	SPT
80	3%	0%	4%
102	5%	4%	9%
120	8%	6%	11%



Şekil 4.14 Sipariş Büyüklüğü – Geciken İş Yüzdesi İlişkisi

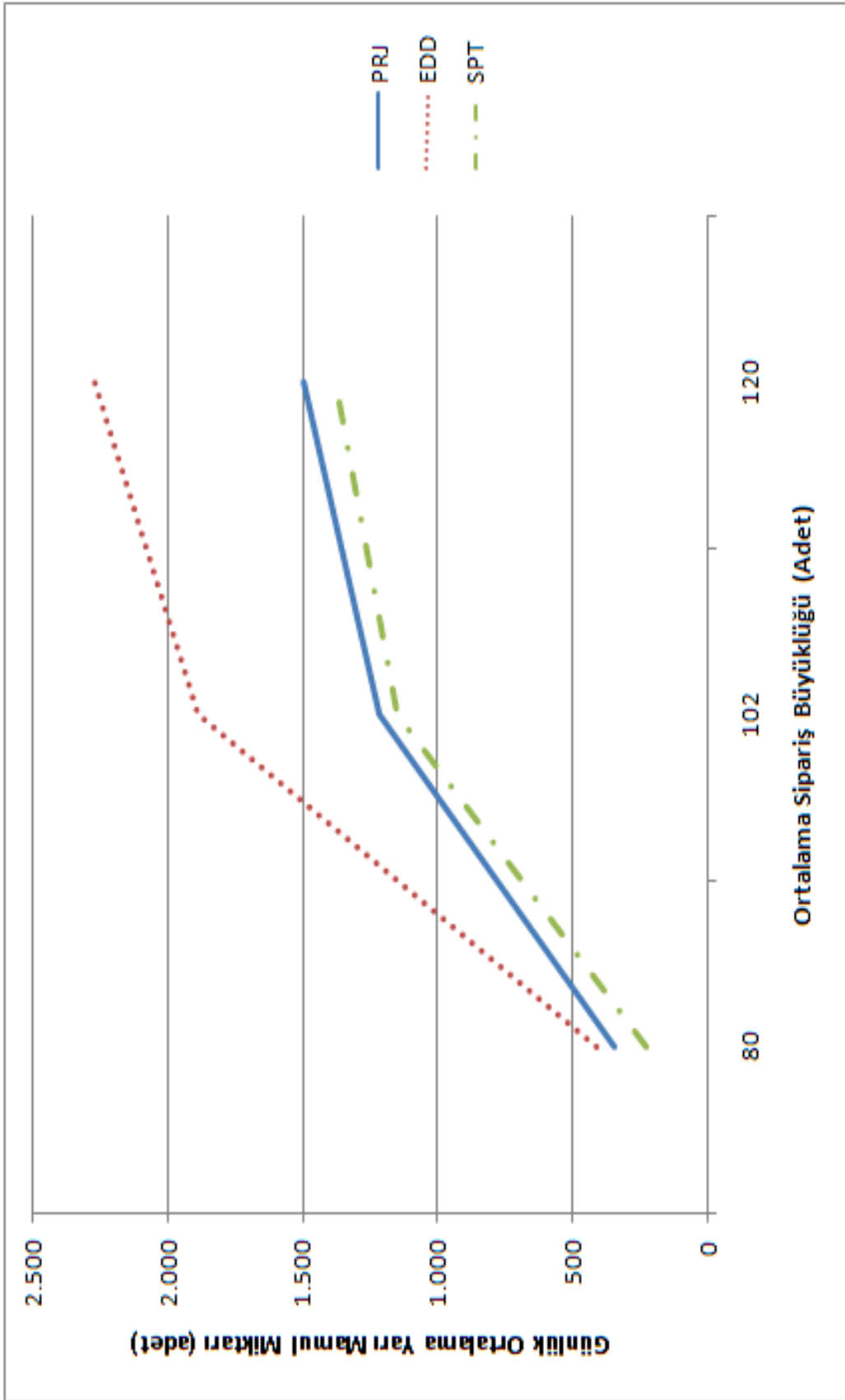
4.3.3.3 Sipariş Büyüklüğü –Yarı Mamul Miktarı İlişkisi

Şekil 4.15’ te görüldüğü ve beklenildiği üzere, siparişlerin ortalama büyüklüğünün azalması ile sistemde bulunan ortalama yarı mamul miktarı azalmaktadır. Siparişlerin ortalama büyüklüğü arttıkça sistemde oluşan yarı mamul miktarı artmaktadır.

Siparişlerin ortalama büyüklüğünün düşük olduğu durumlarda geliştirilen algoritma SPT kuralına çok yakın şekilde düşük ortalama yarı mamul miktarını elde etmiştir. Ancak siparişlerin ortalama büyüklüğü arttıkça en iyi performansı SPT kuralı göstermiştir. EDD kuralı her üç durumda da en yüksek ortalama yarı mamul miktarını oluşturarak en kötü performansı göstermiştir.

Çizelge 4.18 Değişken Sipariş Büyüklüğü –Yarı Mamul Miktarı Sonuçları

Yarı Mamul Miktarı (adet)			
Ortalama Sipariş Büyüklüğü (adet)	PRJ	EDD	SPT
80	3%	0%	4%
102	5%	4%	9%
120	8%	6%	11%



Şekil 4.15 Sipariş Büyüklüğü – Ortalama Yarı Mamul Miktarı İlişkisi

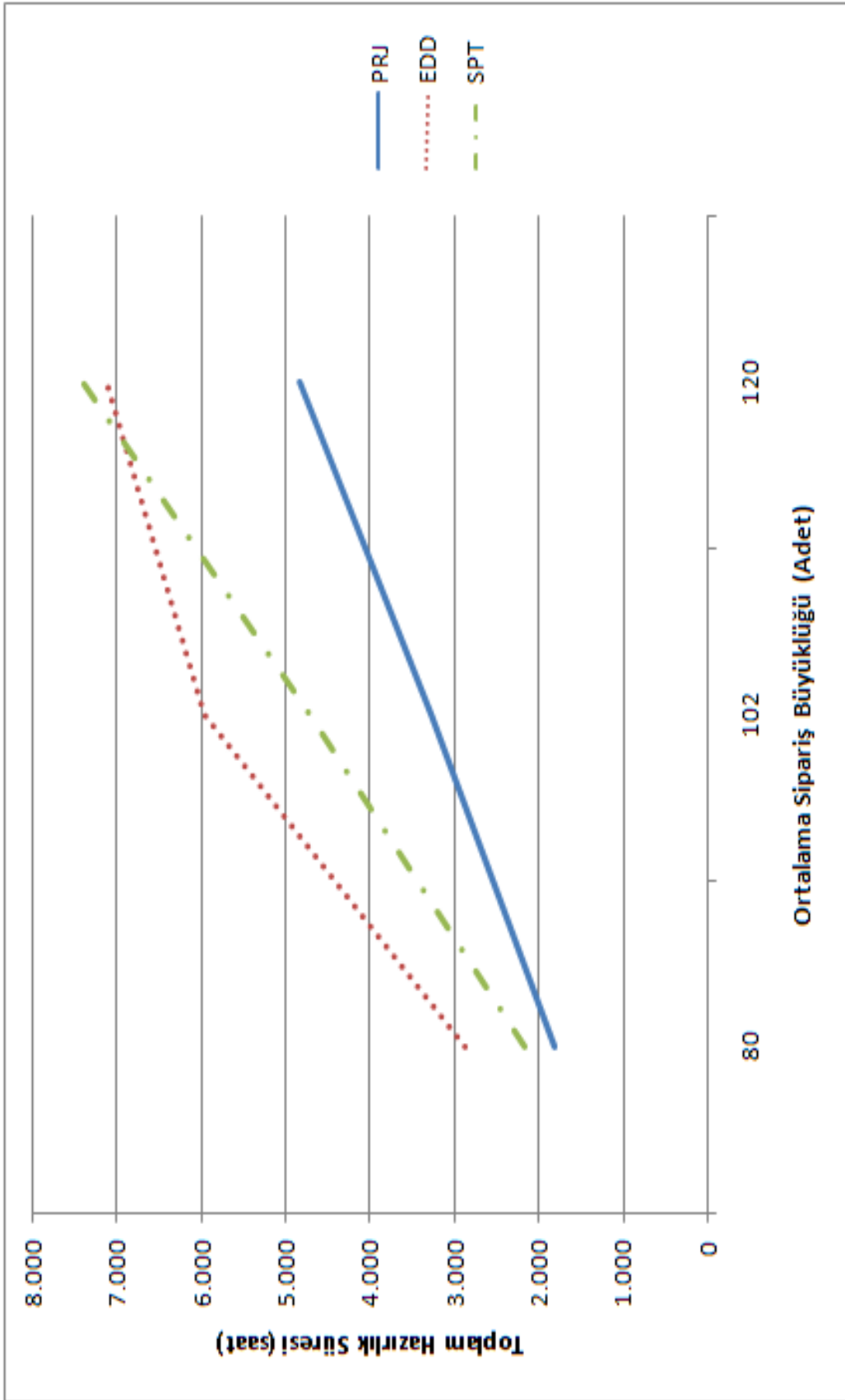
4.3.3.4 Sipariş Büyüklüğü – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi

Şekil 4.16’ da görüldüğü üzere siparişlerin ortalama büyüklüğü azaldığında toplam hazırlık süresi azaltmakta, arttığında ise toplam hazırlık süresi artmaktadır.

Her durumda geliştirilen algoritma çok iyi bir performans göstermiş ve minimum toplam hazırlık süresinde siparişlerin üretilebilmesini gerçekleştirmiştir. EDD kuralı ortalama sipariş büyüklüğünün az olduğu durumda en kötü performansı gösterirken, ortalama sipariş büyüklüğü arttığında ise SPT kuralı en kötü performansı göstermiştir. Bu durum ortalama sipariş büyüklüğünün az olduğu durumlarda SPT kuralının daha etkin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.19 Değişken Sipariş Büyüklüğü – Toplam Hazırlık Süresi Sonuçları

Toplam Hazırlık Süresi (saat)			
Ortalama Sipariş Büyüklüğü (adet)	PRJ	EDD	SPT
80	3%	0%	4%
102	5%	4%	9%
120	8%	6%	11%



Şekil 4.16 Sipariş Büyüklüğü –Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi

4.3.4 Ürün Kompozisyonunun Etkileri

Ürün kompozisyonu, hazırlık sürelerinin ürün tiplerine bağımlı olduğu üretim sistemlerinde çizelgelerin performansını etkileyen faktörlerden biri olmaktadır. Toplam hazırlık süresi ve akış süresi ürün kompozisyonuna göre değişebilmektedir. Bunun yanında ürün kompozisyonu ortak üretim fırsatlarını da etkilemektedir. Mevcut durumda işletmeye gelen siparişlerin % 44'ü beyaz, % 25'i açık renkli ve % 31'i koyu renklidir. Beyaz ağırlıklı boyama, hazırlık sürelerinin düşük olmasını sağlamaktadır. Modada oluşabilecek bir değişimin işletmeyi ve algoritmanın performansını nasıl etkileyeceğini görebilmek amacıyla işletme yetkilileri tarafından gelen siparişlerin % 31'i beyaz, % 25'i açık renk ve % 44'ü koyu renk olduğu durum için de deney hazırlanmıştır. Bu deneyler sezgisel algoritmanın performansını test etmek amacıyla seçilen EDD ve SPT iş sıralama kuralları ile de yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

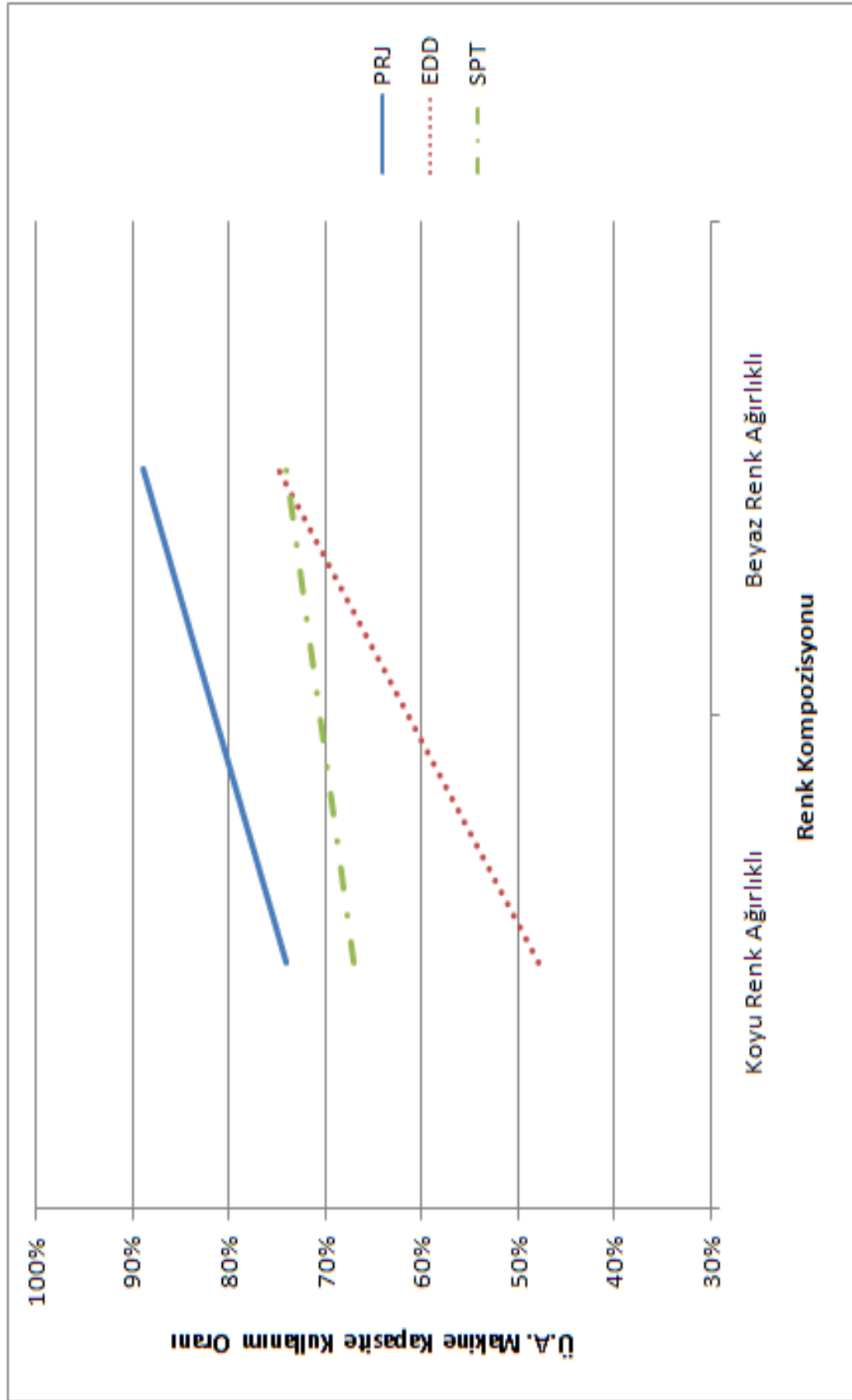
4.3.4.1 Ürün Kompozisyonu – Üretim Anında Kapasite Kullanım Oranı İlişkisi

Şekil 4.17 ' de görüldüğü üzere siparişlerin kompozisyonu koyu beyazdan koyu renklere kaydıkça üretim anında kapasite kullanım oranı azalmaktadır. Yine her durumda geliştirilen algoritmanın en yüksek performansı gösterdiği görülmektedir.

Koyu rengin fazla oluğu durumlarda EDD en kötü performansı gösterirken, SPT' nin performansı algoritmaya yakın bir değer göstermektedir.

Çizelge 4.20 Farklı Ürün Kompozisyonu – Kapasite Kullanım Oranı Sonuçları

Makine Kapasite Kullanım Oranı			
Renk Kompozisyonu	PRJ	EDD	SPT
Koyu Renk Ağırlıklı	74%	48%	67%
Beyaz Renk Ağırlıklı	89%	75%	74%



Şekil 4.17 Renk Kompozisyonu –Ü.A. Makine Kapasite Kullanım Oranı İlişkisi

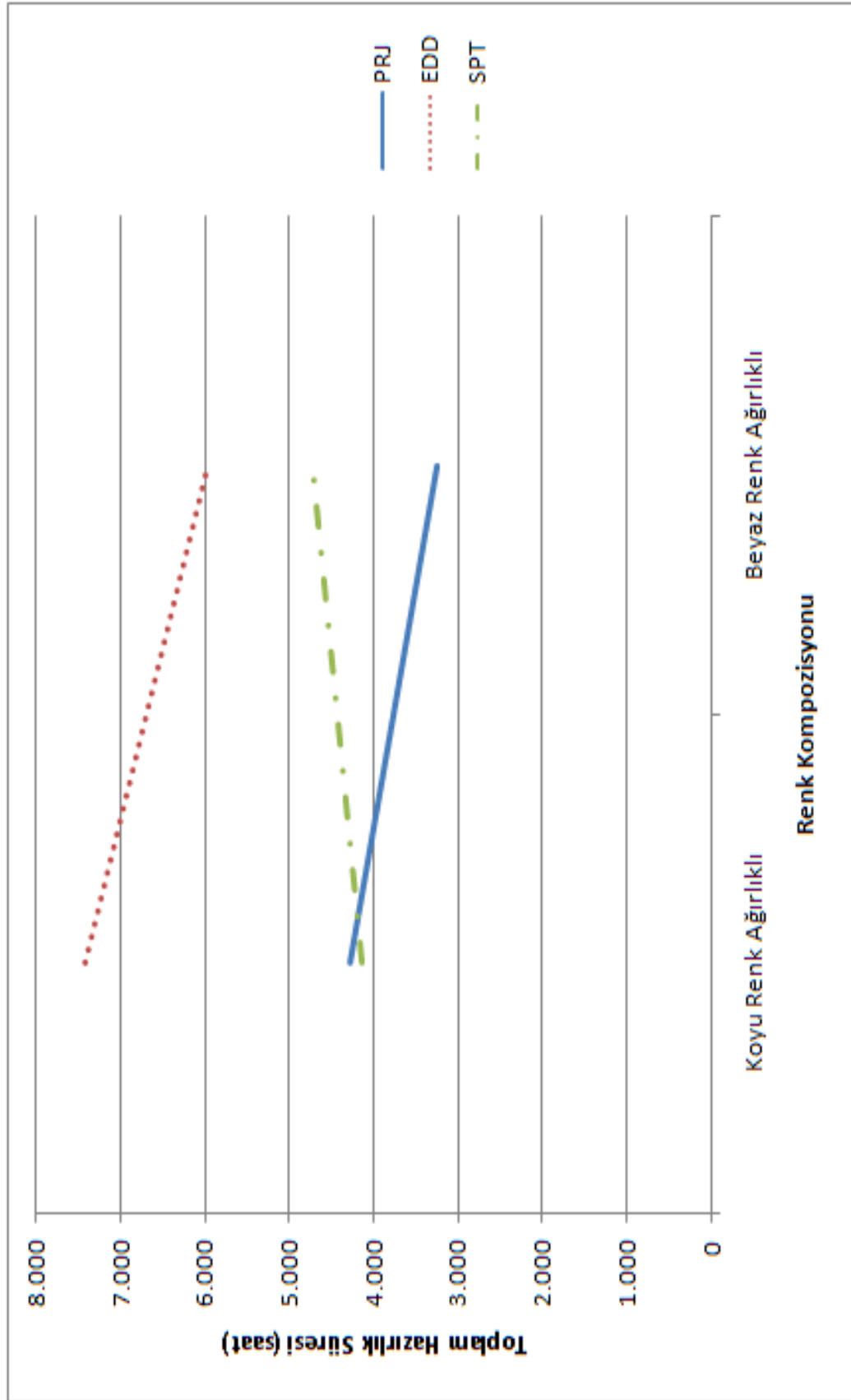
4.3.4.2 Ürün Kompozisyonu – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi

Şekil 4.18’ de görüldüğü üzere siparişlerin kompozisyonu koyu beyazdan koyu renklere kaydıkça genel olarak toplam hazırlık süresi artmaktadır. Koyu renklerin hazırlık süresinin beyaz rengin hazırlık süresine göre daha uzun olmasından dolayı bu zaten beklenen bir durumdur.

Koyu rengin fazla oluşu durumlarda EDD en kötü performansı gösterirken, SPT’ nin performansı en iyi olmuştur; hatta SPT koyu renk ağırlıklı durumda beyaz renk ağırlıklı duruma göre daha az toplam hazırlık süresinde üretim yapılabilmesini sağlamıştır. Bu durumun sebebi SPT iş sıralama kuralının, hazırlık sürelerinin daha fazla olduğu durumlarda PRJ ve EDD’ ye göre daha etkin olabilmesidir. SPT kuralı işlerin daha az toplam hazırlık süresinde bitirilebilmesini sağlamakta; ancak bunu yaparken üretim anında makine kapasite kullanım oranlarını düşürmektedir.

Çizelge 4.21 Ürün Kompozisyonu – Toplam Hazırlık Süresi Sonuçları

Toplam Hazırlık Süresi (saat)			
Renk Kompozisyonu	PRJ	EDD	SPT
Koyu Renk Ağırlıklı	4286	7432	4153
Beyaz Renk Ağırlıklı	3264	5971	4726



Şekil 4.18 Renk Kompozisyonu – Toplam Hazırlık Süresi İlişkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Çalışma Özeti

Atölye tipi üretim sistemlerinde uygun iş sıralama kurallarının kullanılması, hem siparişlerin müşterilere zamanında teslim edilmesini sağlamakta, hem de stok seviyelerini ve toplam ihtiyaç duyulan hazırlık sürelerini azaltarak işletmelere kapasite ve maliyet avantajı sağlamaktadır.

Literatürde çizelgeleme konusunda oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Ancak farklı kapasiteli paralel makinelerin çizelgelenmesi için benzer bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışmalarda büyük çoğunlukla matematiksel model kullanılmakla beraber; matematiksel modellemenin çok küçük sistemler dışında çözüm üretemediği bilinmektedir. Ele alınan problemde olduğu gibi siparişlerin birleştirildiği bir uygulamaya rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada farklı kapasiteli paralel makinelerin bulunduğu atölye tipi üretim sistemlerinin çizelgelenmesi için; iş sıralama kuralları yerine kullanılabilecek dinamik bir algoritma geliştirilmiştir.

Geliştirilen algoritma; EDD ve SPT iş sıralama kurallarını aynı anda temsil ederek ikisinin de güçlü yanlarından faydalanmaya çalışmaktadır.

5.2. Sonuçlar

Gerçek bir atölye tipi üretim sisteminin verileri ile farklı durumlar için oluşturulan simülasyon ile gerçek sistemdeki akış modellenmiş ve değişen durumlarda algoritmaların performansı gözlenmiştir.

Geliştirilen sezgisel algoritmanın; matematiksel programlama için gereken çözüm süresinin % 5'inden daha kısa zamanda, matematiksel programlama ile elde edilecek optimum çözüme yakın çizelge üretebildiği görülmüştür. Ayrıca, algoritmanın özellikle siparişleri birleştirerek toplam hazırlık sürelerinde ciddi bir azalma sağladığı görülmüştür. Geliştirilen algoritma, EDD iş sıralama kuralına göre

% 45, SPT iş sıralama kuralına göre ise % 31 oranında daha az toplam hazırlık süresi ile üretimleri gerçekleştirebilmiştir.

Bu çalışma ile öncelikle karmaşık atölye tipi üretim sistemlerinin çizelgelenebilmesi için, bilgisayar ortamında anlık verilere ulaşmanın gerekliliği anlaşılmıştır.

Kompleks üretim sistemlerinin çizelgelenmesi için matematiksel modeller yetersiz kalmaktadır. Dinamik algoritmalar daha hızlı ve daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Bir algoritma mevcut şartlara göre geliştirilebilir. Ancak geliştirilen algoritmanın değişken şartlara göre test edilmesi ve erektiğinde revize edilmesi gerekmektedir.

Birbirine yakın problemler için benzer yaklaşımlarla çözümler aranabilir. Ancak özünde her işletmenin kendine özgü dinamikleri olduğundan, her işletme kendi özgü bir algoritma geliştirmek zorundadır.

5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

Yapılan çalışma; farklı iş sıralama kuralları ile karşılaştırılarak tes edilebilir. Ayrıca simülasyon verileri, gerçek verilerle değiştirilerek sistemin performansı test edilebilir.

İşletmelerde her zaman işler planlandığı gibi yürüyemeyebilir. Bu yüzden insan müdahalesine açık bir karar destek sistemi hazırlanarak daha interaktif bir çizelgeleme sistemi elde edilebilir.

İncelenen üretim sistemi karmaşık bir yapıya sahip olduğundan; ele alınan probleme kuyruk teorisi ile bir çözüm aranmamıştır. Ancak her bir makine için kuyruk teorisi çalışmaları ile farklı algoritmalar geliştirilebilir. Ayrıca genetik algoritma ve benzeri sezgisel metotlar ile alternatif yöntemler denenebilir.

KAYNAKLAR

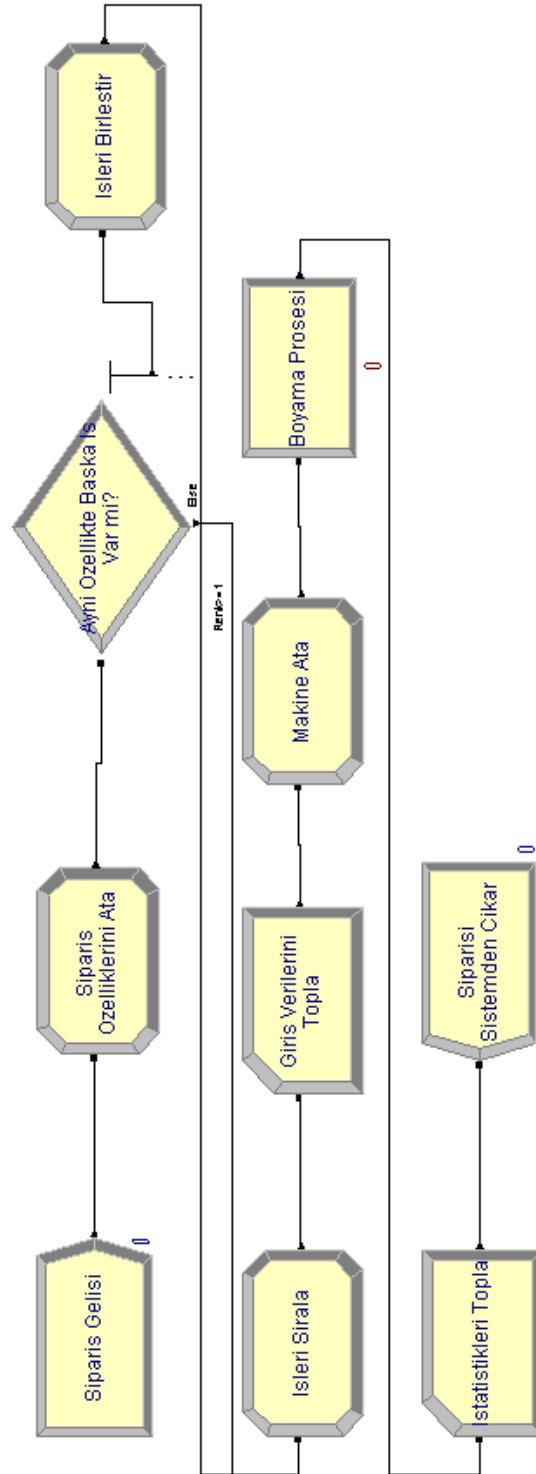
- DEVPURA A., FOWLER J.W., CARLYLE M., PEREZ I., 2000, Minimizing total weighted tardiness on a single batch processing machine with incompatible job families, Proceedings of the Symposium on Operations Research : 366-71.
- EROL, R., 2001. Simülasyon Ders Notları, Ç.Ü. Endüstri Mühendisliği, Adana
- FISHMAN G.S., 1978. Principles Of Discrete Event Simulation ,John Wiley, NewYork
- GUPTA J. N. D., HO J. C., WEBSTER S., 2000, Bicriteria optimisation of the makespan and mean flowtime on two identical parallel machines, Journal of Operational Research Society, 51 : 1330-1339
- HOCİNE K.B., T'KINDT V., TRAN D.D., 2006, Two evolutionary algorithms for a uniform parallel machines scheduling problem with two criteria, Proceedings of MOPGP2006 (7th Int. Conf. on Multi-Objective Programming and Goal Programming) Conference
- KOPFER, F., BIERWIRTH, G., MATTFELD, R., RIXEN, E., 1995, Survey of Job shop Scheduling Techniques. National Institute of Standards, Gaithersburg, 47-55.
- LIO, I., YOU, G., 1992. Evolutionary Algorithms for Job-Shop Scheduling. Int. J. Appl. Math. Comput. Science, France, 91-103.
- MASON S.J., OEY K, 2001, Scheduling and dispatching: scheduling batch processing machines in complex job shops, Proceedings of 33rd Winter Simulation Conference
- MUHLEMANN A.P., LOCKETT A.G., FARN C.K. ,1982, Job shop scheduling heuristics and frequency of scheduling, International Journal of Production Research, 20 : 227-41.
- MONTGOMERY, D. C., 1991, Design and Analysis of Experiments, 3rd ed., Wiley: New York, , 468
- NAKASUKA, Y., YOSHIDA, B., 1992. Learning-Based Scheduling Of Flexible Manufacturing Systems Using Case-Based Reasoning. European Journal of Operational Research ,39, 18(3).
- OUELHADJ D., PETROVIĆ S., 2004, Survey Of Dynamic Scheduling in Manufacturing Systems, Journal Of Scheduling, 10 : 10951-008

- OVACIK M., UZSOY R., 1994, Exploiting Shop Floor Status Information to Schedule Complex Job Shops. *Journal of Manufacturing Systems*, 13 : 73-84
- PRAKASH, D., 1997, Bi-criteria scheduling problems on parallel machines, M.Sc. Thesis, Department of Industrial and System Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, U.S.A.
- STERN, D., ve AVIVI, S., 1990. *Computer Simulation Techniques*. Jon Willy and Sons, Inc., New York,3.
- TORAMAN, A., ve GÖZLÜ, S., 1984. Üretim Planlama ve Kontrol. İstanbul Teknik Üniversitesi Basımevi, 116.
- SO K. C., 1990, Some Heuristics for Scheduling Jobs on Parallel Machines with Setups, *Management Science*, Vol. 36, No. 4.
- LUH P., GOU L. ve ZHANG Y., 1998, Job Shop Scheduling with Group-Dependent Setups, Finite Buffers and Long Time Horizon, *Operations Research*, Vol. 76
- MONMA C., POTTS C., 1993, Analysis of Heuristics for Preemptive Parallel Machine Scheduling with Batch Setup Times, *Operations Research*, Vol. 41
- DOĞRAMACI A., SURKIS J., 1979, Evaluation of a Heuristic Scheduling Independent Jobs on Parallel Identical Processors, *Management Science*, Vol. 25
- RUIZ R., MAROTO CONCEPCION., 2004, A Genetic Algorithm For Hybrid Flowshops With Sequence Dependent Setup Times and Machine Eligibility, *European Journal of Operational Research*
- SERAFINI P., 1994, Scheduling Jobs On Several Machines With The Job Splitting Property, *European Journal of Operational Research*, *Operations Research*, Vol. 44

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İskenderun’ da doğan S. Erdem ÖZKAN; sırasıyla ilk öğrenimini İskenderun Namık Kemal İlkokulu ve İstiklal Makzume Anadolu Lisesi ortaokul kısmında, orta öğrenimini Adana Fen Lisesi’nde ve daha sonra lisans öğrenimini Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ nde tamamlamıştır. Evli olan S. Erdem ÖZKAN, halen bir işletmede Üretim Planlama Yöneticisi olarak çalışmaktadır.

EK 1. ARENA SİMÜLASYON MODELİ



EK 2. ÖRNEK PROBLEM LINGO MODELİ

```
MODEL:
! One machine job selection;
SETS:

! There are seven jobs each of which has a Due Date,
Processing Time, Value, and a flag variable Y
indicating if the job has been selected.;
JOB/1..7/: ! Each job has a...;
    DD, ! Due date;
    Q, ! Job quantity;
    ST, ! setup time;
    VAL, ! Value if job is selected;
    Y, ! = 1 if job is selected, else 0;
    COL, ! colour;
    GRP; ! colour group;

    MACHINE/1..3/: ! Each job has a...;
    SC, ! Smallest capacity;
    MC; ! Maximum capacity;

ENDSETS

DATA:
COL = 1 3 1 12 35 69 35;
DD = 1 2 3 1 4 4 9;
GRP = 1 2 1 3 2 2 2;
Q = 16 7 9 18 3 6 5;
SC = 1 15;
MC = 8 41;
ENDDATA

! Maximize the total value of the jobs taken;
MAX = TVAL;
TVAL = @SUM( JOB: VAL * Y);

! For the jobs we do, we do in due date order;
@FOR( JOB( J):

    ! Only jobs with earlier due dates can
    precede job J, and jobs must be completed
    by their due dates;
    @SUM( JOB( I)| DD( I) #LT# DD( J) #OR#
        ( DD( I) #EQ# DD( J) #AND# I #LE# J):
        PT( I) * Y( I)) <= DD( J);

    ! Jobs assigned to a machine can't exceed the machine's maximum
    capacity;
    @SUM( JOB( I)| Q(I) #LT# Q( I) #OR#
        ( Q( I) #EQ# Q( J) #AND# I #LE# J):
        * Y( I)) <= MC( J);

    ! Make the Y's binary;
    @BIN( Y);
);
END
```