KUTU AMBALAJ SEKTÖRÜ İÇİN MÜŞTERİ SİPARİŞİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ: BİR İŞLETME UYGULAMASI

CUSTOMER ORDER SCHEDULING PROBLEM FOR THE BOX PACKAGING INDUSTRY: AN APPLICATION

BÜŞRA CEYDA ÖNEMLİ

Dr. Öğr. Üyesi Ceren TUNCER ŞAKAR

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Egitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2019

BÜŞRA CEYDA ÖNEMLİ'nin hazırladığı " **Kutu Ambalaj Sektörü için Müşteri Siparişi Çizelgeleme Problemi: Bir İşletme Uygulaması** " adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Gülşah Karakaya

Başkan .....

Dr. Öğr. Üyesi Ceren Tuncer Şakar

Danışman .....

Prof. Dr. Özlem Müge Testik

Üye .....

Dr. Öğr. Üyesi Banu Yüksel Özkaya

Üye .....

Dr. Öğr. Üyesi Barbaros Yet

Üye .....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak ..... / ..... /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Aileme

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/ 06/ 2019

BÜŞRA CEYDA ÖNEMLİ

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "***Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge***" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- ☐ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

25 / 06 /2019

BÜŞRA CEYDA ÖNEMLİ

ÖZET

KUTU AMBALAJ SEKTÖRÜ İÇİN MÜŞTERİ SİPARİŞİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ: BİR İŞLETME UYGULAMASI

BÜŞRA CEYDA ÖNEMLİ

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ceren TUNCER ŞAKAR

Haziran 2019, 74 sayfa

Günümüzde işletmeler, artan rekabet ortamıyla karşı karşıya kalmaktadır. Her geçen gün müşteri ihtiyaçları ve beklentileri yükselmektedir. Müşteriler hizmet ve ürün kalitesi yüksek işletmelerden uygun fiyatlı ürün tedarik etmek istemektedirler. Birbiriyle çelişen bu amaçlara ulaşmak için işletmeler etkinliklerini daha iyi planlamaya ve daha iyi kontrol etmeye zorlanmaktadır. İşletmelerin ürettikleri ürün tek tip ya da müşteriden gelen talebe göre değişken olabilmektedir. Siparişe dayalı üretim yapılan işletmelerde rekabetçi olmak için yakın termin tarihli siparişler alınmaktadır. Bu durum siparişleri alma, yönetme ve zamanında üretip teslim etme konularında ilgili süreçlerin etkin bir şekilde yönetilebilmesini gerektirmektedir. Müşteri siparişlerinin yönetiminde üretim kapasitesi, üretim ve stok yönetimi ve bunların birbiri ile uyumlu çalışması çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında siparişe dayalı üretim yapan bir kutu ambalaj üretim işletmesi için müşteri siparişlerini çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Yapılan çalışma ile etkin bir çizelgeleme yapılarak karar vericiye destek olan bir algoritma oluşturulması hedeflenmiştir. Bu algoritmada siparişlerin günlere atanması ve gün içinde sıralanmasının yapılması iki aşamalı olarak çözülmüş ve her aşamada tam sayılı programlama modelleri

kullanılmıştır. İlk aşamada oluşturulan model siparişlerdeki ağırlıklı gecikmeyi enküçüklemekte, aynı zamanda makine kapasitelerini verimli kullanmayı amaçlamaktadır. Burada gecikmeyi hesaplarken kullanılan ağırlıklar müşterilerin işletme için sahip olduğu öneme göre bilgi ve tecrübesi yüksek uzman kişilerin görüşleriyle Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. İkinci modelde ise art arda üretilen ürünlerdeki kalıp değişimi ve gönderildikleri lokasyon değişimi enküçüklenmeye çalışılmakta, aynı zamanda uzakta olan müşterilerin siparişlerine öncelik verilmektedir. Değişen önceliklere göre farklı etkin çözümler elde etmek için genişletilmiş epsilon kısıt yöntemi kullanılmıştır.

Kutu ambalaj işletmesinde gerçekleştirilen gerçek uygulamada, önerilen algoritmanın sonuçları fabrikanın mevcut yöntem sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın performansının üstün olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, müşteri siparişleri çizelgeleme, tam sayılı programlama, AHP, epsilon kısıt yöntemi.

ABSTRACT

CUSTOMER ORDER SCHEDULING PROBLEM FOR THE BOX PACKAGING INDUSTRY: AN APPLICATION

BÜŞRA CEYDA ÖNEMLİ

Master of Engineering, Department of Industial Engineering

Assistant Prof. Dr. Ceren TUNCER ŞAKAR

June 2019, 74 pages

Today, companies face increasingly competetitive situations. Every single day, customer needs and expectation levels are rising. Customers wish to buy high quality goods with appropriate prices from suppliers that have satisfactory customer service. To reach these requests that conflict each other, companies have been pushed towards planning and controlling their activities better. Goods which are produced by companies can be of a single type or various types according to customer requests. For companies that have order-based production, accepting close deadlines for orders is important to compete with others. This is the reason why processes related to taking orders, managing orders and producing them according to delivery dates must be managed effectively. While managing customer orders, production capacity, production and inventory systems, and harmony of between them are very important.

In this thesis, scheduling of customer orders for a box packaging production company that produces order-based products is taken into consideration. This study aims to create an algorithm to support the decision maker by making efficient schedules. In this

algorithm, assigning the orders to days and sequencing the orders during the days have been solved in two stages, and in each stage integer programming models have been used. The model created in the first stage minimizes the weighted tardiness of the orders, and at the same time aims to use the machine capacities efficiently. Here, the weights used in calculating the tardiness are determined by the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, based on the knowledge and experience of experts. In the second model, the change in the mold and the destination location of the products produced successively are minimized and the orders of the customers that are distant from the company are given priority. Augmented epsilon constraint method was used to obtain different efficient solutions in alternative priorities.

In the real life application carried out in the box packaging production company, the results of the proposed algorithm are compared with the current application results of the factory. The results show that the proposed algorithm has superior performance.

Keywords: Scheduling, customer order scheduling, integer programming, AHP, epsilon constraint method

TEŞEKKÜR

Tezimin her aşamasında bana rehberlik eden, bu uzun ve zorlu yolda karşılaştığım problemlerin üstesinden gelebilmem için vermiş olduğu değerli önerileri ve sürekli olarak vermiş olduğu güven ile bu çalışmada pek çok şey borçlu olduğum kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ceren Tuncer Şakar'a en derin şükranlarımı sunarım.

Katkıları, görüş ve önerileri için değerli jüri üyelerim Dr. Öğr. Üyesi Gülşah Karakaya, Prof. Dr. Özlem Müge Testik, Dr. Öğr. Üyesi Banu Yüksel Özkaya ve Dr. Öğr. Üyesi Barbaros Yet'e teşekkür ederim.

Çalışmalarıma olan inançları ve destekleri için değerli iş arkadaşlarım ve yöneticilerime, tükenmeyen sabırları ve eşsiz destekleri ile daima yanımda bulunan eşim ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i

ABSTRACT iii

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vi

ŞEKİLLER DİZİNİ viii

ÇİZELGELER DİZİNİ ix

SİMGELER VE KISALTMALAR xi

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 4

2.1. Çizelgeleme Problemi için Genel Çalışmalar 4

2.2. Müşteri Siparişlerini Çizelgeleme Problemi için Çalışmalar 7

3. PROBLEMİN TANIMI 11

4. METODOLOJİ 19

4.1. Genel Yaklaşım 19

4.2. İşlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi 20

4.3. Siparişlerin Günlere Atanması 29

4.3.1 Tek Makine Modeli 30

4.3.2 İki Makine Modeli 35

4.4 Siparişlerin Gün İçinde Sıralanması 36

5. UYGULAMALAR 41

5.1. Birinci Modelin Uygulama Sonuçları 41

5.2. Ağırlıklar Üzerine Duyarlılık Analizi 51

5.3. İkinci Modelin Uygulama Sonuçları 58

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 64

7. KAYNAKLAR 67

EKLER 70

EK 1 – Grup 1 için tüm boşluk değerleri 70

EK 2 – Grup 2 için tüm boşluk değerleri 71

EK 3 – Grup 3 için tüm boşluk değerleri 72

EK 4 – Grup 4 için tüm boşluk değerleri 73

ÖZGEÇMİŞ 74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Tek konfeksiyon makinesine giren ürün örnek akış şeması 12
Şekil 3.2. İki konfeksiyon makinesine giren ürün örnek akış şeması 13
Şekil 3.3. Üç konfeksiyon makinesine giren ürün örnek akış şeması 13
Şekil 3.4. Mevcut durumda sipariş atama ve sıralamanın akış şeması 16
Şekil 4.1. Tek makinede üretilen ürünler için önerilen akış şeması 34
Şekil 5.1. Veri dosyası model sonuç ekranı 42
Şekil 5.2. Kapasite kullanım tablosu ekranı 43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Makinelerin İşlevleri 12
Çizelge 3.2. Makine Grupları 13
Çizelge 4.1. Önem skalası 23
Çizelge 4.2. RI Değerleri 26
Çizelge 5.1. Grup 1 karşılaştırmalı sonuçları 43
Çizelge 5.2. Grup 2 karşılaştırmalı sonuçları 47
Çizelge 5.3. Grup 3 karşılaştırmalı sonuçları 49
Çizelge 5.4. Grup 4 karşılaştırmalı sonuçları 50
Çizelge 5.5. Grup 1 %10 değiştirilen ağırlık tablosu 52
Çizelge 5.6. Grup 1 %10 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu 52
Çizelge 5.7. Grup 1 04.02.2019 tarihinde atanan işlerin atama karşılaştırılması 53
Çizelge 5.8. Grup 2 %10 değiştirilen ağırlık tablosu 54
Çizelge 5.9. Grup 2 %10 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu 54
Çizelge 5.10. Grup 3 %10 değiştirilen ağırlık tablosu 54
Çizelge 5.11. Grup 3 %10 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu 55
Çizelge 5.12. Grup 4 %10 değiştirilen ağırlık tablosu 55
Çizelge 5.13. Grup 4 %10 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu 55
Çizelge 5.14. Grup 1 %20 değiştirilen ağırlık tablosu 56
Çizelge 5.15. Grup 1 %20 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu 56
Çizelge 5.16. Grup 2 %20 değiştirilen ağırlık tablosu 56
Çizelge 5.17. Grup 2 %20 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu 56
Çizelge 5.18. Grup 3 %20 değiştirilen ağırlık tablosu 57
Çizelge 5.19. Grup 3 %20 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu 57
Çizelge 5.20. Grup 4 %20 değiştirilen ağırlık tablosu 57
Çizelge 5.21. Grup 4 %20 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu 57
Çizelge 5.22. Siparişlerin lokasyon ve uzaklık bilgileri 59
Çizelge 5.23. Sıralama modelinin tüm verisi 59
Çizelge 5.24. Grup 1 sıralama modeli sonuçları 60

Çizelge 5.25. Grup 2 sıralama modeli sonuçları 60
Çizelge 5.26. Grup 3 sıralama modeli sonuçları 61
Çizelge 5.27. Grup 4 sıralama modeli sonuçları 61
Çizelge 5.28. Genel ödünleşim tablosu yapısı 62
Çizelge 5.29. Grup 1'in ilk günü için ödünleşim tablosu 62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

MSÇP	Müşteri Siparişleri Çizelgeleme Problemi
KKO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
TA	Tabu Araştırması
GA	Genetik Algoritma
NP-zor	Polinomiyel zamanlı olmayan en zor problem kadar zor olan
TP	Tamsayılı Programlama
AHP	Analitik Hiyerarşi Proses

1. GİRİŞ

Günümüzde işletmeler, artan rekabet koşullarında varlıklarını sürdürmek için ellerindeki kaynakları en etkin şekilde kullanmalı, makine ve iş gücü verimliliğini de gözeterek müşteri taleplerine zamanında ve olumlu cevap verebilmelidir. Müşteri memnuniyetinin sağlanması ve sürdürülmesi işletmelerin öncelikli amaçlarından biridir. Üretilen ürün tek tip ya da müşteriden gelen talebe göre değişken olabilmektedir. Siparişe dayalı üretim yapan işletmelerde her müşteriden gelen ürün farklı özellikte olmakta ve bu durum ürün çeşitliliğini artırmaktadır. Artan çeşitliliğe cevap verebilmek için farklı özellikteki ürünleri üretebilen makineler kullanılmakta, dolayısıyla planlama faaliyetlerinin etkin bir şekilde yapılmasının önemi artmaktadır.

Siparişe dayalı üretim yapılan işletmeler rekabet etme gücünü arttırmak ve müşteri ihtiyaçlarına kısa sürede cevap verebilmek için yakın terminli siparişler almaktadırlar. Siparişlerin alınmasıyla başlayıp, teslim edilmesiyle son bulan tüm sürecin başarıyla tamamlanması müşteri memnuniyetinin sağlanması ve sürdürülmesi için önem arz etmektedir. Alınan siparişlerin zamanında teslim edilmesinde makine üretim kapasiteleri, planlama faaliyetleri, stok ve lojistik yönetimi çok önemlidir. Günümüz koşullarında işletmeler tek tip ürün üretmek yerine müşteri ihtiyaçlarına uygun farklı tipte ürünlerin üretimini gerçekleştirmektedir. Müşteriler de ihtiyaçlarına uygun olan farklı tipteki ürünlerden çeşitli miktarlarda talep etmektedir. Bu problem; genel olarak Müşteri Siparişlerinin Çizelgelenmesi Problemi (MSÇP) olarak adlandırılmaktadır [1]. MSÇP'de siparişlerin bazıları tek tip üründen oluşurken, bazıları farklı çeşitlerde ürünlerden oluşmaktadır.

Müşteri, siparişinin istenilen termin tarihinde teslim edilmemesi halinde siparişleri başka tedarikçilerden sağlayıp sipariş sevkiyatını öteleyebilir, bazı durumlarda da siparişi iptal edebilir. Müşteri özel üretim yapan kutu ambalaj üretim işletmelerinde, ilgili müşteri için üretilen ürünlerin başka bir müşteriye satışı mümkün değildir. Bu sebeple müşteri talebine özel ürünlerin üretildiği bu ve bunun gibi işletmeler için müşteri siparişlerinin çizelgelenmesi probleminin önemi artmaktadır.

Bu çalışmada bir kutu ambalaj üretim işletmesinde müşteri siparişlerinin çizelgelenmesi problemi ele alınmaktadır. Bu sektörde üretim iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak oluklu mukavva üretilmekte, ardından oluklu mukavvaların kutu makinelerinde işlenmesiyle kutu üretimi tamamlanmaktadır. İlgili çalışmada üretimin ikinci aşaması olan kutu üretim sürecinde siparişlerin makinelere atanması ve sıralanması işlemi gerçekleştirilecektir. Çizelgelemedeki amaç müşteri talebinin zamanında karşılanması ve makine kapasitesinin en verimli şekilde kullanılmasıdır.

Üretilen kutunun tüm özellikleri müşteri tarafından belirlendiği için tek tip ürün yoktur, çeşitlilik söz konusudur. Müşteri tarafından sipariş verildikten sonra ilgili işletme, belirlenen özelliklere göre üretilecek kutunun makine rotasını belirler, siparişlere istenilen termin tarihinden minimum sapma olacak şekilde termin tarihi ataması yapar. Ardından bu termin tarihine uygun üretim ve sevkiyat planları oluşturulur. Bazı kutular tek bir makinede üretilmekte, bazı kutular birden fazla makineye girdikten sonra son halini almaktadır. Üretim yapılan makinelerin çalışma hızları ve özellikleri birbirinden farklıdır, ancak aynı işlemi yapan ve aynı özelliklere sahip özdeş makineler de bulunmaktadır. Ürünlerin yanı sıra müşteri grubunda da çeşitlilik söz konusudur. Her müşteri grubu aynı önem seviyesine sahip değildir. Kapasitenin bir müşteri grubuyla dolu olduğu günlerde başka müşteri grubunun siparişi de istenebilmekte, makineler belirli periyotlarda bakıma alındığı için eksik vardiyalı çalışabilmektedir. Hem müşteri sayısının hem de sipariş sayısının fazla olması sebebiyle karar vericinin işi zorlaşmaktadır. İşletmenin kullandığı sistemdeki Gantt ekranı doğru çalışmadığı için yapılacak çalışma ile etkin bir çizelgeleme yapılarak karar vericiye destek olan bir algoritma oluşturulması hedeflenmiştir. Bu algoritmada siparişlerin günlere atanması ve gün içinde sıralanmasının yapılması iki aşamalı olarak çözülecek ve her aşamada tam sayılı programlama modelleri kullanılacaktır. İlk aşamada oluşturulan model siparişlerdeki ağırlıklı gecikmeyi enküçüklemekte, aynı zamanda makine kapasitelerini verimli kullanmayı amaçlamaktadır. Burada gecikmeyi hesaplarken kullanılan ağırlıklar müşterilerin işletme için sahip olduğu öneme göre belirlenmiştir. İkinci modelde ise art arda üretilen ürünlerdeki kalıp değişimi ve gönderildikleri lokasyon değişimi enküçüklenmeye çalışılmakta, aynı zamanda uzakta olan müşterilerin siparişlerine öncelik verilmektedir.

Tezin ikinci bölümünde literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölümde problemin tanımı verilmekte, dördüncü bölümde uygulanan yöntem açıklanmaktadır. Beşinci bölüm uygulanan yöntemin sonuçlarını özetlemekte ve elde edilen sonuçları mevcut sistem ile karşılaştırmaktadır. Tez, altıncı bölümde sonuçlar ve öneriler ile son bulmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Üretimde kullanılacak kaynakların; ne zaman ve nasıl kullanılacağının belirlenerek üretimi yapılacak ürünlerin sıralanması işlemine çizelgeleme denir. İyi bir çizelgeleme çalışması sayesinde ürünlerin kaynak kullanımları azaltılırak ilgili ürün üretiminin daha kısa sürede tamamlanması sağlanır [2].

Pinedo [3] çizelgelemeyi; işlerin, zaman faktörü göz önüne alınarak kısıtlı kaynaklara atamasının yapıldığı bir karar verme süreci olarak ifade etmektedir. Çizelgeleme yaparken öncelikle mevcut kaynakların neler olduğu ve bunların ne kadar olduğu tespit edilmelidir. Daha sonra her iş için ihtiyaç duyulan kaynak sayısı, bu kaynaklardaki işleme başlama zamanı ve işlem süresi gibi parametreler belirtilmelidir.

2.1. Çizelgeleme Problemi için Genel Çalışmalar

Çizelgeleme problemleri, parametrelerinin belirli (deterministik) ve rastlantısal (stokastik) olmasına göre iki alt gruba ayrılabilir. Eğer işlem süreleri, serbest kalma zamanları gibi makine ve üretime özgü veriler kesin olarak belirtilebiliyor ise problem belirli makine çizelgeleme problemi, kesin olarak belirtilemiyor ise problem rastlantısal makine çizelgeleme problemi olarak tanımlanmaktadır [4].

Çizelgeleme modellerinin performansını ölçmek amacıyla birden fazla performans ölçütü kullanılmaktadır. Literatürde performans ölçütü teslim zamanıyla ilgili olan çalışmalar analiz edildiğinde; enküçüklenmek istenen amaç fonksiyonlarından bazılarının toplam gecikme, toplam ağırlıklı gecikme, maksimum gecikme, ortalama gecikme, erken ve/veya geç teslim olduğu görülmüştür. Probleme uygunluğu açısından toplam gecikme, maksimum gecikme ve toplam ağırlıklı gecikmeyi enküçükleyen çalışmalar incelenmiş ve aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Li ve ark. [5] ele aldığı problem atölye tipi özdeş paralel makine çizelgeleme problemi olarak sınıflandırılmaktadır. Probleme konu olan her işin tamamlanma zamanı belirlidir ve talep edilen teslim tarihi bilgisi verilmiştir. Problemin iki amacı vardır; ilki son işin tamamlanma süresi enküçüklemek, ikincisi ise toplam gecikmeyi enküçüklemektir. Bunun için 0-1 karma tamsayılı bir model oluşturarak bu modeli bulanık mantık tabanlı

genetik algoritmayla çözmüşlerdir. Chang ve Su'nun [6] çalışmalarında çok sayıda iş vardır ve bu işlerin makinedeki işlem süresi belirlidir. Her iş tek makinede üretilmektedir. Her işin tamamlanma zamanı belirlidir ve talep edilen teslim tarihi bilgisi verilmiştir. Problemin iki amacı bulunmaktadır. Bunlardan ilki maksimum gecikmeyi enküçüklemek, ikincisi ise geciken iş sayısını enküçüklemektir. Bunun için sezgisel bir algoritma ve bir dal sınır algoritması geliştirmişlerdir. Oluşturdukları bir sıralamada ilk olarak iki kritik işi tanımlamışlardır. Ardından iki kritik iş arasındaki sıralamayı kritik yol olarak tanımlamış ve bunun temelinde Carlier'in ikili dallanma kuralını kullanmışlardır.

Thomalla [7] ele aldığı esnek sipariş tipi çizelgeleme problemini makine kapasite kısıtlarına Lagrange gevşetmesi uygulayan bir sezgisel algoritma ile çözmüştür. Problemin amacı teslim gecikmesi sürelerinin ağırlıklı toplamının enküçüklenmesidir. Literatürden farklı olarak modele daha önceden belirlenen bakım süreleri de eklenmiştir. Kunadilok [8] karmaşık atölye tipi çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışmanın amacı toplam ağırlıklı gecikme zamanını enküçüklemektir. Ağırlıklar geciken işler için ödenen ceza bedelleri olarak belirlenmiştir. Yazar, karmaşık atölye çizelgelemeyi; sınırsız ve sınırlı tampon kapasiteli olmak üzere ikiye ayırmıştır. İlk sınıfın çözümü için karma tamsayılı programlama, rassal kodlama tabanlı genetik algoritma (GA) ve tabu araştırması (TA) olmak üzere üç yöntem sunmuştur. İkinci sınıfın çözümü için karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Zhang ve Wu [9] atölye tipi çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışmanın amacı toplam ağırlıklı gecikme zamanını enküçüklemektir. Siparişlerin ağırlıkları müşterilerin stratejik önem seviyesine göre belirlenmiştir. Çalışmada ağırlıkların belirlenme yönteminden bahsedilmemiştir. Yazarlar problemin matematiksel modeli ile eşters modelini sunmuşlar ve bu modelin çözümü için bir blok tabanlı komşuluk yapısı tanımlamışlardır. Ayrıca problemin komşuluk özelliklerini sunarak, bu özellikleri kullanan bir tavlama benzetimi algoritması önermişlerdir. Önerdikleri algoritma ile yüksek kalitedeki çözümlere yakınsayan sonuçlar elde etmişlerdir.

Çizelgeleme probleminde enküçüklenmek istenen tek bir performans kriteri varsa bu tek kriterli çizelgeleme problemi olarak adlandırılır. Eğer birden fazla performans kriteri enküçüklenmek isteniyorsa bu problem çok kriterli çizelgeleme problemi olarak adlandırılır [10,11,12].

Çok kriterli çalışmalarda en çok kullanılan amaç fonksiyonları yayılma süresinin, toplam makine yükünün ve kritik makine yükünün en küçüklenmesidir. Xia ve Wu [13] makinelere iş atama ve atanan işleri sıralama problemlerini ayrı ayrı çözen hiyerarşik yöntembiliminden yararlanmıştır. Makinelere iş ataması için parçacık sürü optimizasyonu, atanan işleri sıralamak için tavlama benzetimi kullanılmıştır. Elde edilen çözümü test etmek amacıyla örnek problemler çözülmüş ve sonuçların mevcut durumdaki sonuçlardan daha iyi olduğu belirtilmiştir. Shi-Jin ve ark. [14] toplam makine yükü, kritik makine yükü ve yayılma süresinin ağırlıklı toplamını enküçüklemek için çok kriterli esnek sipariş tipi çizelgeleme problemini ele almıştır. Problemin çözümü için dal-sınır algoritmasına benzeyen filtrelenmiş ışın araştırma yöntemini önermiştir. Yazarlar son olarak iş başlatma kurallarının performansla ilişkisi incelemiştir. Xing ve ark. [15] çalışmalarında karınca kolonisi optimizasyonundan (KKO) yararlanan bir simülasyon modeli önermektedir. İlgili modelde yükleme ve sıralama problemleri ayrı ayrı çözülmüştür. Çalışmanın amacı makine yükleme zamanı, kritik makine yükü ve toplam makine yükü toplamını enküçüklemektir. Atanan işlerin sıralamasında ise rassal sıralama yapılmaktadır. Wang ve Yu [16] makine bakımı sürelerini içeren esnek sipariş tipi çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmanın amacı yayılma süresi, toplam makine yükü ve kritik makine yükünün ağırlıklandırılmış toplamını enküçüklemektir. Yazarlar önerdikleri modelin performansını test etmek için Kacem veri kümesini makine bakım sürelerini dâhil edecek biçimde yeniden oluşturmuşlardır. Modelin performansı, yeni oluşturulan veri kümesinde test edilmiş ve GA ile karşılaştırılmış ardından sonuçlar yorumlanmıştır. Moslehi ve Mahnam [17] çalışmalarında yayılma süresinin, makinelerin toplam yükünün ve kritik makine yükünün ağırlıklı toplamını enküçüklemek için melez parçacık sürü optimizasyonu metasezgiselini önermektedir.

Çalışmada bütünleşik yöntem bilimi kullanılarak yükleme ve sıralama problemi birlikte çözülmüş ve parçacık sürü optimizasyonundan yararlanılmıştır. Çözümün her iterasyonunda kritik yolda bulunan ürünler hali hazırda üretildiği makinelerinden alınarak üretim hızı daha yüksek makinelere yüklenmiş bu sayede yayılma süresi enküçüklenmeye çalışılmıştır. Önerilen algoritmanın performansı Kacem veri kümesi ile çözülerek test edilmiştir. Bunun sonucunda algoritma performansının literatürdeki başka algoritmalara benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelgeleme problemlerinin çeşitli versiyonlarını çözmek amacıyla tamsayılı programlama modelleri geliştirilmiştir. Bir çizelgeleme problemi tamsayılı programlama modeli olarak ifade edilebileceği için mevcut tamsayılı programlama algoritmaları ile çözülmesi mümkün olmaktadır. Ancak bu şekilde bir yaklaşım çok büyük boyuttaki problemler için uygun değildir. Çizelgeleme problemlerinin matematiksel modelinde çok sayıda değişken ve kısıta ihtiyaç duyulur. Bu nedenle mevcut tamsayılı programlama algoritmalarıyla çok büyük boyutlu problemlerin kesin çözümünde başarısız olunabilir. Bunun yanı sıra tamsayılı programlama modelinin avantajı çok kriterli problemleri tek bir amaç fonksiyonu kullanarak çözmesi ve kesin çözümler elde edebilmesidir. [18,19]

Literatürde incelenen diğer çizelgeleme problemi çalışmalarından biri ise Mishra ve ark. [20] esnek sipariş tipi çizelgeleme probleminde dış kaynak kullanımını incelediği çalışmadır. Problemin amaç fonksiyonu yayılma süresinin enküçüklenmesidir. Çalışmada çoklu sipariş, sipariş-ürün-işlem üçlüsü yer almakta ve uygun çözüm alanının tespiti amacıyla beş farklı komşu çözüm oluşturma yöntemi kullanılmaktadır. Bütünleşik yöntembilimi kullanılarak makinelere işlerin yüklenmesi ve yüklenen işlerin sıralaması problemleri birlikte çözülür.

Çok ölçütlü çizelgeleme problemlerinde yapılan diğer bir çalışma ise Gao ve ark. [21]'a aittir. Yazarlar makalelerinde yayılma süresini enküçüklemek, en büyük makine yükünü enküçüklemek ve toplam makine yükünü enküçüklemek olmak üzere üç performans kriteri belirlemişlerdir. Bu kriterler belirlenen öneme göre sıralanmış ve kriterlerin en küçüklenmesi için GA kullanılmıştır. Bütünleşik yöntembilimi kullanılarak makinelere işlerin yüklenmesi ve yüklenen işlerin sıralaması problemleri birlikte çözülmüştür. Çözüm sonuçları algoritmanın iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

2.2. Müşteri Siparişlerini Çizelgeleme Problemi için Çalışmalar

Ahmadi ve ark. [22] lens üretimi yapan bir işletme için müşteri siparişlerini çizelgeleme problemini ele almıştır. İlgili işletmede her bir ürün, bu ürünün üretimine özel bir makine tarafından üretilmektedir. Gelen her siparişte birden fazla ürün talep edilmektedir. Çalışmada, siparişte yer alan ürünlerin eş zamanlı sevk edilmesinin gerekli olduğu özellikle vurgulanmıştır. Müşteri siparişleri çizelgeleme probleminin gerçek üretim

ortamları için ne kadar önemli olduğu belirtilmiştir. Müşteri siparişlerine pozitif ağırlık atanmış ancak bunun için bir yöntem kullanılmamış ve/veya bu konunun üzerinde durulmamıştır. Siparişlerin toplam ağırlıklı tamamlanma zamanını enküçüklemek amacıyla yedi sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Son olarak bu algoritmanların performansının sınanması amacıyla örnekler çözülmüştür.

Erel ve Ghosh [23] tek makineli müşteri siparişlerini çizelgeleme problemini modellemiştir. Bunun için öncelikle her bir ürünün ait olduğu ürün aileleri tespit edilmiştir. Makinelerde her aile geçişi için hazırlık süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Problemin çözümünde bu hazırlık süreleri dikkate alınmıştır. Çalışmanın amacı siparişlerin tamamlanma süresi toplamının enküçüklenmesidir. Bunun için dinamik programlama tabanlı bir algoritma kullanılmıştır. Algoritmanın performansının test edilmesi amacıyla küçük boyutlu problemlerin çözülmesi gerektiği belirtilmiştir.

Hazır ve ark. [24] çalışmalarında tek makineli müşteri siparişi çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışmanın amacı sipariş akış süresi toplamını enküçüklemektir. Çalışmaya konu olan makinelerde ürün tipine bağlı hazırlık süresi vardır. Bu durum problem çözümünde göz önünde bulundurularak; problem tavlama benzetimi, GA, KKO, TA metasezgiselleriyle ayrı ayrı çözülmüştür. Ardından elde edilen çözümler kıyaslanmıştır. Çalışmada; ürün-sipariş sayısı, ürün tipine bağlı hazırlık süresi ve müşteri-ürün yoğunluk oranının algoritmaların performansıyla ilişkisi incelenmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir: Müşteri-ürün oranı arttıkça problem zorlaşmaktadır. Müşteri-ürün oranı düştükçe tavlama benzetimi iyi sonuçlar üretirken oran arttıkça tavlama benzetimi performansı zayıflamaktadır. Müşteri-ürün oranı arttıkça TA ve KKO performansı düşmektedir.

Hsu ve Liu [25] makalelerinde müşteri siparişlerini çizelgeleme problemi ile sipariş tipi çizelgeleme problemini birlikte çözmüştür. Problemin amacı süreç içi stok seviyesini enküçüklemektir. Mevcut iş başlatma kurallarından üç tanesi göz önüne alınarak iş başlatmada bir öncelik göstergesi oluşturmuşlardır. Daha sonra bu göstergeyi kullanarak yeni iş başlatma kuralı geliştirmişlerdir.

Leung ve ark. [26] çalışmalarında, işletmedeki her makinenin talep edilen her ürünü üretebildiği durumu ile her makinenin sadece o makineye özgü ürünü üretebildiği durumu

tek tek incelemiştir. Ürünlerin tamamlanma zamanı her iki durumda da aynıdır ve modellerin çözümü için sezgisel algoritmalara başvurulacaktır. Her ürünün üretilebildiği durum için sıralı sezgisel ve iki bileşenli sezgisel algoritmalarına benzer bir algoritma önerilmiştir. Yalnızca ilgili makineye özgü ürünlerin üretilebildiği durum için modeldeki bazı kısıtların gevşetildiği doğrusal programlama tabanlı bir sezgisel algortima ile iş başlatma kuralları önerilmiştir.

Tekbaş [27] müşteriye özgü siparişlerin üretildiği müşteri sipariş çizelgeleme problemi ile esnek sipariş tipi çizelgeleme problemini birleştirildiği çizelgeleme problemini ele almıştır. Problemin çözümü için tavlama benzetimi kullanılmıştır. İşlerin makinelere atanması ve atanan işlerin sıralanması problemleri iki farklı komşu çözüm oluşturma yöntemi kullanılarak aynı anda çözülmektedir. Modelin performansı çalışmaya konu olan işletmenin verileri kullanılarak test edilmiş ve üstünlüğü kanıtlanmıştır.

Framinan ve Gonzalez [28] siparişlerin her bir müşteriye özgü olduğu müşteri siparişlerini çizelgeleme problemini ele almıştır. Çizelgelemenin amacı gecikmenin enküçüklenmesidir. Problem NP-zor sınıfında yer almaktadır. Yazarlar problemi iki farklı karar zamanı için çözmüşlerdir. Bunlardan ilki son derece hızlı (ihmal edilebilir zaman) çözümler gerektiğinde, ileriye dönük bir mekanizma içeren yeni bir yapıcı sezgisel çözümü; ikincisi ise daha uzun karar aralıklarına izin verilen senaryolar için, son derece iyi çözümler sunmak için bir matematiksel stratejiyi içermektedir. Yaptıkları karşılaştırmalar ortaya koydukları iki teklifin de belirtilen senaryolar için verimli olduğunu göstermektedir.

Oğuz ve ark. [29] tek bir makine ortamında siparişlerin çıkış tarihlerine, vade tarihlerine, son teslim tarihlerine, işlem sürelerine, sıraya bağlı kurulum sürelerine ve gelirlerine göre tanımlandığı eşzamanlı sipariş kabul ve çizelgeleme kararlarını incelemişlerdir. Çalışmanın amacı bir siparişten elde edilen geliri en üst düzeye çıkarmaktır. Yazarlar çalışmada on beş siparişe kadar olan küçük problemin optimizasyonu için bir karma tamsayılı doğrusal programlama formülasyonu kullanmışlardır. Ayrıca büyük boyutlu problemleri çözmek için üç sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Önerilen algoritmaların üç yüz sipariş için çözüldüğü örneklerde bile verimli ve etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Literatürde yer alan çalışmalardan da görülebileceği üzere, müşteri siparişlerini çizelgeleme problemleri gerçek hayatta karşılaşılan önemli problemlerden biridir ve konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Ancak tezin konu olduğu sektörde yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmada müşterilere işletmedeki önemlerine göre ağırlık verilerek bu ağırlıklı gecikmeyi minimize etmek amaçlanmıştır. Literatürdeki çalışmaların bir kısmı ağırlıklı gecikmeyi göz önüne almaktadır, ancak ağırlıkların belirlenmesi için özel bir yaklaşım önerilmemektedir, bazı çalışmalarda ağırlıklar doğrudan gecikme bedeline göre belirlenmektedir. Bu çalışmada ise müşteri ağırlıklarını şirket yetkililerin tecrübe ve bilgilerine dayanarak belirlemek için ayrı bir yöntem kullanılmaktadır. Ayrıca, geliştirilen çizelgeleme yaklaşımı, ağırlıklı gecikme, makine verimliliği, üretimde kalıp değişimi, gönderilecek olan lokasyon değişimi, uzak müşterilen siparişlerini gün içinde önceliklendirme gibi birçok faktörü göz önüne almaktadır. Literatürdeki müşteri siparişleri çizelgeleme problemlerinin boyutu büyük ise bunların çözümünde sezgiseller tercih edilmiştir. İlgili çalışmada makineler gruplara bölünerek tamsayılı modellerle çözülmüş ve kesin sonuçlara ulaşılmıştır.

3. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada siparişe dayalı üretim yapan bir kutu fabrikası için müşteri siparişleri çizelgeleme problemi uygulaması yapılmıştır. Üretim tesisinde, üretilen kutu çeşitleri müşterinin isteklerine göre değişkenlik göstermektedir ve on beş konfeksiyon makinesi ve bir oluklu üretim makinesi olmak üzere toplam on altı makine bulunmaktadır. Normal mesai şartlarında haftada altı iş günü üretim yapılmaktadır. Bir makine dışında diğer tüm makineler üç vardiya çalışmaktadır. İhtiyaç duyulması halinde fazla mesai yapılmaktadır. Konfeksiyon makinelerinden beş tanesi tek bir müşteri grubunu çalıştığı için bu tez çalışması on adet konfeksiyon makinesini konu almaktadır.

Bir kutunun üretilmesi için öncelikle oluklu hattında levha (safiha) üretilmektedir. Ardından konveyör aracılığıyla levhalar üretim yapılacak olan makineye taşınmaktadır. Kutu üretiminin yapıldığı makineler konfeksiyon makineleri olarak adlandırılmaktadır. Konfeksiyon hatlarında üretim tamamlandıktan sonra kutular konveyör aracılığıyla çember hattına gitmekte, burada streç filmle kaplanarak mamul haliyle ambara teslim edilmektedir. Kutunun üretilmesi için gerçekleştirilen işlemlerin sıralaması sabittir. Konfeksiyon makinelerinin işlevi Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Makinelerin İşlevleri

Makine adı	İşlevi
Emba175	Oluklu eni:200-500 Oluklu boyu: 400-1720 ölçülerindeki levhalardan A-box kutu üretilmesini sağlar
Martin618	Oluklu eni:240-500 Oluklu boyu:500-1800 ölçülerindeki levhalardan A-box kutu üretilmesini sağlar
Emba245-A	Oluklu eni:368-1400 Oluklu boyu:640-2440 ölçülerindeki levhalardan A-box kutu üretilmesini sağlar
Emba245-B	Oluklu eni:368-1400 Oluklu boyu:640-2440 ölçülerindeki levhalardan A-box kutu üretilmesini sağlar
Dongfang	Oluklu mukavvaya baskı yapar ve istenen ölçülerde rotary kesim işlemini gerçekleştirir
Lmc	Oluklu mukavvaya baskı yapar
Bobst	Oluklu mukavvaya istenen ölçülerde düz kesim işlemini gerçekleştirir
Eterna Maxcut	Oluklu mukavvaya istenen ölçülerde düz kesim işlemini gerçekleştirir
Omega165-A	Kesimi yapılan kutuların yapıştırılması işlemini gerçekleştirir
Omega165-B	Kesimi yapılan kutuların yapıştırılması işlemini gerçekleştirir

Konfeksiyon makinelerinin ürettiği ürün ölçüleri, ürün tipleri ve kapasiteleri değişkenlik göstermektedir. Ancak üretim hattında özdeş makineler de bulunmaktadır. Örneğin A-

box (bir kutu çeşidi) üretimi yapan Emba245 makinesinden ve katlama-yapıştırma yapan Omega165 makinesinden iki tane bulunmaktadır. Emba175 ve Martin618 farklı makineler olmasına rağmen ürettikleri ürün tipi ve ürün ölçüleri aynıdır.

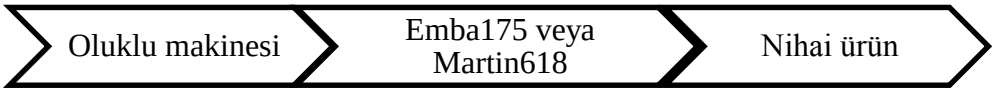
Problemin çözümü için ilk aşamada tüm bu durumlar göz önüne alınarak makineler aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

Çizelge 3.2. Makine Grupları

Makine grup adı	Makineler
Grup 1	Emba175 & Martin618
Grup 2	Emba245A & Emba245B
Grup 3	Dongfang
Grup 4	Bobst & Eterna maxcut
Grup 5	Omega165A & Omega165 B (Ürünler Bobst & Eterna Maxcut'ta üretildikten sonra bu makinelere girmektedir)

Oluklu makinesinde üretilen levhalar hemen kutu makinesine girerse ürün kalitesinde problem yaşanabilmektedir. Bu nedenle levhalar bir süre bekletilmektedir. Bazı kutular oluklu makinesinden sonra tek bir hata girerek üretilirken bazı kutular iki konfeksiyon makinesine, bazı kutular üç konfeksiyon makinesine girerek nihai ürün haline getirilmektedir.

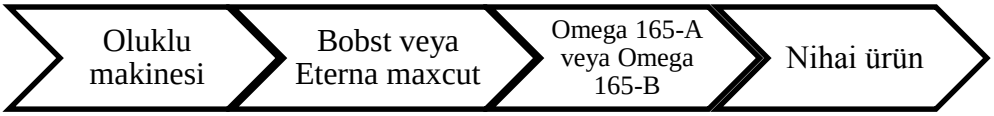
Örneğin standart A-box kutusu, ölçüsüne göre Emba175 veya Martin618 makinesinde üretilebilir. Bunun için oluklu makinesinden çıkan levhalar Emba175 veya Martin 618 makinesine gelecek ardından kutuya dönüşerek mamul ambara nihai ürün olarak teslim edilecektir. Bu tip kutuların siparişi için tek kutu makinesine atama yapılmaktadır. Örnek akış Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tek konfeksiyon makinesine giren ürün örnek akış şeması

İki konfeksiyon hattına giren ürün örneği olarak baskısız, özel kesim yapıştırmalı kutular verilebilir. Bu kutuların levhaları oluklu makinesinde üretildikten sonra Bobst veya Eterna maxcut makinesinde kesilir ve Omega makinesinde katlanıp yapıştırılarak nihai ürün halini almaktadır. Bunun için önce ilk makinenin kapasitesi kontrol edilir, eğer

uygunsa ikinci makinenin kapasitesi kontrol edilir. Her iki makinenin kapasitesinin uygun olduğu güne atama yapılır. Örnek akış Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. İki konfeksiyon makinesine giren ürün örnek akış şeması

Üç konfeksiyon hattına giren ürünlere örnek olarak dip kilitli kutu verilebilir. Lmc, Bobst, Omega165 hatlarında işlem gördükten sonra son ürün halini almaktadır. Bunun için önce ilk makinenin kapasitesi kontrol edilir eğer uygunsa ikinci makinenin kapasitesi kontrol edilir her iki makinenin kapasitesinin uygun olduğu gün için son makinenin kapasitesi kontrol edilir. Hepsi uygun ise ilgili güne atama yapılır. Örnek akış Şekil 3.3.'de verilmiştir.

Şekil 3.3. Üç konfeksiyon makinesine giren ürün örnek akış şeması

Lmc makinesinin kapasitesi Bobst ve Eterna Maxcut makinelerinin toplam kapasitesinden büyük olduğu ve Lmc makinesinde üretilmeden sadece Bobst veya Eterna Maxcut makinesinde üretilen siparişler de olduğu için siparişler atanırken Bobst ve Eterna Maxcut makinelerinin toplam kalan (kapasite-açılan sipariş miktarı) kapasitesi dikkate alınmaktadır. Bu nedenle çalışmada Lmc rotalı siparişler için ayrıca bir atama yapılmamış Grup 4'ün atanan günleri esas alınmıştır.

Levhaların üretilmesi, bekletilmesi, kutu üretimi ve sevkiyatı süreleri göz önüne alındığında ürünün müşteriye ilk teslim edilebileceği tarih sipariş verildikten sonra minimum üç iş günü sonrası olarak belirlenmiştir. Bu nedenle makineye atama yapılabilecek ilk gün siparişin geldiği günden üç iş günü sonrasıdır.

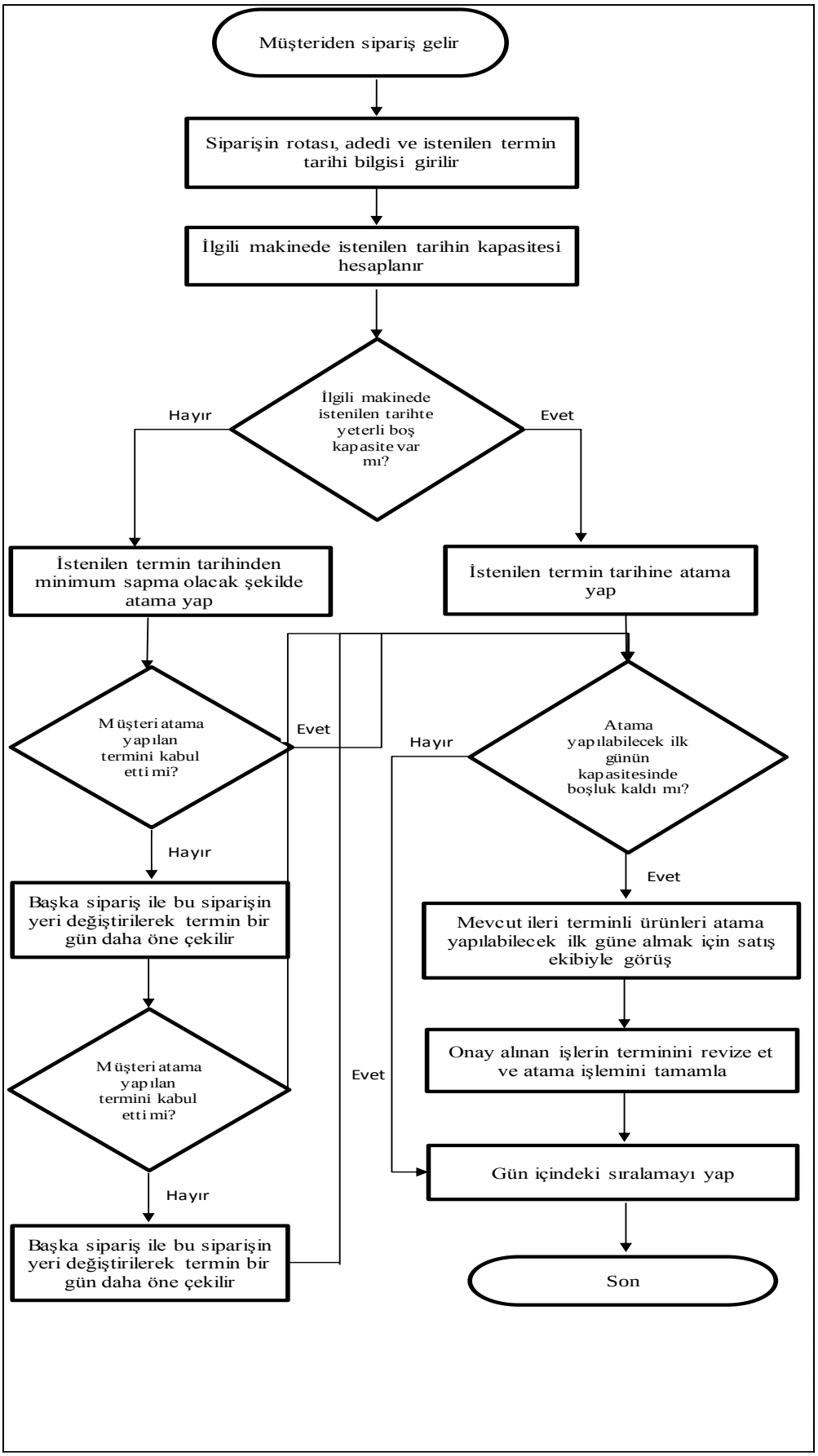
Mevcut uygulamada müşterilerden gelen siparişlerin makinelere atanması satış planlama sorumluları tarafından yapılmaktadır. Konfeksiyon makinelerinin aylık kapasitesi üst yönetim tarafından belirlenerek satış planlama sorumlularına bildirilmektedir. Fabrika

müdürü satış planlama sorumlusundan aldığı talep bilgisini de göz önüne alarak (varsa) üç vardiyanın altında çalışan makineler için o aya ait vardiya düzenini belirlemektedir. Satış planlama sorumlusu vardiya adetleri ve vardiya sayılarını çarparak ilgili güne ait toplam kapasiteyi belirlemektedir. Her ay her makine için iki defa bakım planlanmaktadır, bakımlar bir vardiya sürdüğü için makineler her ay iki vardiya eksik çalışmaktadır. Ayrıca her makinenin vardiyalık ayar hedefi vardır, eğer makine belirlenen ayarın üzerinde ise kapasiteden az, altında ise kapasite üzerinde sipariş alınmaktadır. Yani ayara ayrılan süre üretime aktarılacağı için kapasite artırılmakta ya da tam tersi olduğu için üretim süresi azalmakta ve kapasite düşürülmektedir. Bununla ilgili üretim birimi tarafından her makine için her ayar sayısına karşılık gelen makine kapasiteleri bildirilmiştir. Satış planlama sorumlusu tüm bu kısıtları göz önüne alarak gelen siparişlere müşterinin termin tarihinden az sapma olacak şekilde ve makine verimliliğini yüksek tutacak şekilde termin tarihi vermektedir. Makine verimliliğini yüksek tutmak için kapasitenin olabildiğince fazla kullanılması, atıl kapasitenin enküçüklenmesi gerekmektedir. İşletme siparişlerin günlere atanması ve sıralanması ile ilgili bir program kullanmaktadır ancak bu programın sipariş kapasite planlama ekranı doğru çalışmamaktadır. Bu nedenle satış planlama sorumlusu kullanılan programdan açılan sipariş verisini almakta, bu bilgiyi MS Excel'e (veri dosyasına) aktarmakta, toplam kapasiteden mevcut açılan siparişleri ayar sayılarını da göz önüne alarak düşmekte ve kalan kapasiteyi hesaplamaktadır. Kısaca tüm karar verme süreci veri dosyasında yapılan hesap üzerinden gerçekleştirilmektedir. İşletmede bazı müşteriler diğerlerinden daha öncelikli olmasına rağmen mevcut durumda bu durum sistematik ve nesnel olarak planlamaya dâhil edilmemektedir. Satış planlama sorumlusu siparişleri tarihlere atadıktan sonra sipariş açılabilecek ilk günün kalan kapasitesini kontrol eder. Eğer kalan kapasite başka siparişleri alabilecek kadar fazla ise mevcut açılan siparişlerin terminlerini öne çekmek için satış ekibiyle görüşür. Müşterinin onay verdiği siparişler öne çekilir, onay verilmeyenler için işlem yapılmaz ve kapasite boş kalabilir. Satış planlama sorumlusu siparişleri tarihlere atadıktan sonra üretim planlama birimi gün içindeki sıralamayı optimalliği sağlamadan gerçekleştirmektedir. Yani atama ve sıralama ayrı birimler tarafından ve optimizasyon yapılmadan yürütülmektedir.

Bir güne atanan ürünlerin sıralaması yapılırken farklı faktörler göz önüne alınmaktadır. Bu faktörler üretim verimliliği, sevkiyat verimliliği ve termin performansı ile ilgilidir ve

şu şekilde özetlenebilir: Bir üründen diğerine geçerken kalıp değişimi yapılması gerekebilir, makine ve işgücü verimliliği için bu değişimler az olmalıdır. Bu nedenle ortak kalıp kullanan ürünler peş peşe sıralanmalıdır. Üretimi tamamlanan ürünler sevkiyatları yapılırken gönderilecekleri illere göre araçlara (kamyon ya da tır) yüklenmektedir. Sevkiyat verimliliği için araçların dolu olarak gönderilmesi ve stok alanında malzemelerin uzun süre beklememesi önemlidir. Bu yüzden belirli bir ile gönderilecek olan siparişler art arda tamamlanıp o ile atanan araç bir an önce yola çıkarılmalıdır. Böylece ürün stokta minimum sürede beklemiş olur, yükleme zamanında yapıldığı için nakliye firmasının aracı bekletilmez ve müşterinin siparişi gecikmez. Aksi halde aynı araçta sevk olacak iki farklı ürün varsa biri sevk olmak için diğerinin üretilmesini bekleyecek; hem stok alanında yer kaplayacak hem de müşteriye zamanında ulaştırılamama riski doğacaktır. Son olarak da, sipariş terminlerinin söz verilen tarihlerde gerçekleştirilebilmesi için uzak illere ait siparişlerin önce tamamlanması daha iyi olacaktır. Uzak illere gece geç saatlerde araç yüklendiğinde araç şoförü yola çıkmak istememekte ve sabah yola çıkmaktadır. Aracın müşteriye varması 6-8 saat arasında değiştiği için araç vardığında mesai saati dolmuş olmaktadır. Bu nedenle ilgili müşteri siparişini zamanında teslim alamamaktadır.

İşletmede yukarıda bahsedilen faktörler göz önüne alınarak sıralama gerçekleştirilmektedir ancak bu işlem sistematik ve nesnel olarak yapılmamaktadır. Mevcut sistem sürecinin akış şeması aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.4. Mevcut durumda sipariş atama ve sıralamanın akış şeması

Tanımlanan probleme tezde geliştirilen yaklaşımı belirleyen temel koşul ve varsayımlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Müşterilerden gelen siparişler, tek ürün veya çeşitli ürünlerden oluşmaktadır.
- Siparişi oluşturan ürünlerin termin tarihi ve işlem göreceği makine aynı ya da farklı olabilir. Bu nedenle atama yapılırken her ürün ayrı değerlendirilmektedir.
- İşletmenin temel amacı, ürünleri müşterilerin istediği tarihten minimum gecikme olacak şekilde çizelgelemektir. Müşterilerin siparişlerinin gecikmesi gün bazında değerlendirilmektedir ve gecikilen günlerin şirket için önemi müşteriden müşteriye değişmektedir.
- Ürünler, belli kısıtlar dâhilinde istenilen termin tarihinden önce teslim edilebilir, hangi ürünün kaç gün erken gönderilebileceği müşteriden müşteriye değişmektedir.
- Her ürünün üretileceği makine grubu belirlidir ve her makine grubuna ayrı ayrı atama yapılmaktadır.
- Ürünler üretilirken işi yarıda bırakma yapılmamaktadır. Yani ancak üretime başlanan ürünün talep edilen miktarının tamamı üretildikten sonra, ilgili makine grubunda başka bir ürünün üretimine başlanmaktadır.
- Makine kapasiteleri ve ürünlerin kapasite kullanımı üretimde kullanılan makine vuruşu cinsindendir.
- Bir makinede bir üründen başka bir ürüne geçilirken ayar süresine gereksinim duyulmaktadır. Her ürünün ayar süresi aynı değildir bu sebeple ortalama değer alınmış ve vuruş cinsine çevrilmiştir. İlgili hesaplama işlemi, işletmenin üretim ekibi tarafından yapılmıştır.
- Makinelerin günlük kapasitesi en verimli şekilde kullanılmalıdır. Gelecekte alınacak siparişlerin istenilen termin tarihlerinden sapışını enküçüklemek için, mevcut günde atama yapılırken mümkün olduğunca yakın günlere atama yapılmalıdır. Özellikle atama yapılan ilk günün boş kalan kapasitesi minimum olmalıdır.
- Tüm ürünlerin atama işlemi tamamlandıktan sonra hala atama yapılan ilk günde boşluk kaldıysa müşteriler ile mevcut ürünlerin termininin öne çekilmesi görüşülür. Onay alınan ürünlerin termini öne çekilerek boşluk enküçüklenir. Kısacası boşluğu enküçüklemek için ikinci bir işlem yapılmaktadır.

- Ürünler önce günlere atanmakta ardından gün içinde sıralanmaktadır. Atama ve sıralama işlemleri ayrı yapılmaktadır.
- Bir güne atanan ürünlerin sıralaması yapılırken farklı faktörler göz önüne alınmaktadır. Bu faktörler üretim, sevkiyat verimliliği ve müşteri memnuniyeti ile ilgilidir. Bir üründen diğerine geçerken kalıp değişimi yapılması gerekebilir, makine ve işgücü verimliliği için bu değişimler az olmalıdır. Ek olarak, üretimi tamamlanan ürünler sevkiyatları yapılırken gönderilecekleri illere göre araçlara (kamyon ya da tır) yüklenmektedir. Bu yüzden belirli bir ile gönderilecek olan siparişlerin art arda tamamlanıp o ile atanan aracın bir an önce yola çıkması yükleme ve teslimat açısından önemlidir. Son olarak da, sipariş terminlerinin söz verilen tarihlerde gerçekleştirilebilmesi için uzak illere ait siparişlerin üretiminin önce tamamlanması daha iyi olacaktır. Eğer ürünlerin üretimi geç saatlerde (gece ya da sabaha karşı) tamamlanırsa araç şoförleri bu saatlerde yola çıkmak istememekte ve sabah mesai saatlerinde yola çıkmaktadır. Kaybedilen zaman dolayısıyla siparişler söz verilenden bir gün sonra müşteriye ulaştırılmaktadır. Mevcut sistemde bu faktörler göz önüne alınarak sıralama yapılmaktadır ancak sistematik bir yaklaşım uygulanmamaktadır.

4. METODOLOJİ

Bu bölümde problemin çözümü için geliştirilen yöntem ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Çizelgeleme ve sıralama problemleri ayrı ayrı çözülmüştür. Bunun sebepleri şu şekilde açıklanabilir: Öncelikle, bir ürün, en erken siparişin geldiği günden üç iş günü sonrasına ve en geç siparişin geldiği günden 20 iş günü sonrasında atanabilir. Yapılan atamadan sonra makine grubunda siparişin atanabileceği ilk günün siparişleri netleşmiş olur ve sıralanabilir ancak diğer günlere yeni siparişler de atanabileceği için ilgili günlerin ürünleri değişebilir, sıralamalar da değişeceği için sıralama yapmak mantıklı olmayacaktır. Ayrıca değişen işletme koşulları göz önüne alınarak sıralama yapılmalıdır. Burada farklı faktörler vardır ve mevcut koşullar göz önüne alınarak hangi faktörün önemli olduğuna karar verilir. Farklı öncelikler için farklı alternatif çözümler olacağı için sıralamayı sonra yapmak son durumu en iyi şekilde çözüme dâhil etmemizi sağlar.

Çözümün ilk aşamasında ürünler günlere atanmakta, ikinci aşamasında ise gün içinde sıralaması yapılmaktadır. İkinci aşamadaki sıralama için farklı işletme öncelikleri için farklı alternatif çözümler önerilmiştir.

4.1. Genel Yaklaşım

İşletmenin temel amacı, ürünleri müşterilerin istediği tarihten minimum gecikme olacak şekilde çizelgelemektir. Müşterilerin siparişlerinin gecikmesi gün bazında değerlendirilmekte ve gecikilen günlerin şirket için önemi müşteriden müşteriye değişmektedir. Makine grupları belirlendikten sonra değişen müşteri önemini matematiksel bir şekilde ortaya koymak için Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yönteminin uyguladığı prosedürden yararlanılarak müşteri ağırlıkları hesaplanmıştır. AHP, ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmıştır. 1977' de ise Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir. [30] Müşteriler stok yönetimini etkin bir şekilde yapabilmek için başka firmalardan tedarik ettikleri ürünleri uzun süre ambarlarında bekletmek istememekte ve belirledikleri erken teslim zamanlarına uyulmasını talep etmektedirler. Bu nedenle müşterilerin siparişlerini talep ettiklerinden erken teslim

alabilme durumları tüm müşteriler için tek tek sorgulanmış ve raporlanmıştır. Ağırlıklı gecikmenin enküçüklenmesi amaçlanarak siparişlerin günlere atandığı bir matematiksel model oluşturulmuştur. Tek makinede işlem gören ürünler ile iki makinede işlem gören ürünlerin matematiksel modelleri birbirinden farklı olduğu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Çizelgeleme modelinin koşul ve varsayımları aşağıda verilmiştir.

- Ürünler birbirinden bağımsızdır.
- Tüm makine grupları birbirinden bağımsızdır.
- Bir makine, belirli bir anda tek bir işlem gerçekleştirebilir
- Bir ürünün üretimine başladığında tamamlanmalı, yarıda bırakma yapılmamalıdır.
- Malzeme eksiği, makine arızası, operatör sorunları dikkate alınmamıştır.
- Ürünlerin hepsi belirlenen işlem sırasına uymalıdır.
- Her ürün için en yakın olası termin tarihi, siparişin geldiği günden üç iş günü sonrasıdır.

4.2. İşlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çalışmaya konu olan ürünlerin (işlerin) ağırlıkların belirlenmesi için öncelikle işletmede müşteri ve ürünler ile ilgili hangi faktörlerin göz önüne alındığını incelenmiştir. Bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Müşteri tipi
- Müşterinin ödeme performansı
- Ürünün (işin) sevk edileceği lokasyon
- Ürünün (işin) makinedeki çalışma performansı
- Ürünün (işin) adedi

İlgili faktörlerin belirlenmesinde ve kıyaslama matrislerinin oluşturulmasında tecrübesi beş yılın üzerindeki üç uzman kişi birlikte çalışıp görüş birliğiyle tek bir karar vermiştir. Faktörler tek tek açıklandıktan sonra bu faktörlerin ağırlıkların belirlenmesinde kullanıp kullanılamayacağı tartışılmış ve aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Müşteri tipi

Çalışmaya konu olan müşteriler sözleşmeli müşteriler ve piyasa müşterileri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Sözleşmeli müşteriler belirli bir süre için fiyat ve termin anlaşması yapılan müşteri grubudur. Müşterinin talep ettiği terminin anlaşmada belirlenen günden fazla gecikmesi durumunda; müşteri, işletmeye cezai yaptırımlar uygulamaktadır. Piyasa müşterilerinde böyle bir cezai yaptırım yoktur, ancak ilgili makine grubunda sözleşmeli müşteri grubunun oranı az ise piyasa müşterilerinin önemi artmaktadır. Bu faktör çok belirleyici olduğu için işlerin birbiri ile kıyaslanmasında kullanılmıştır.

Müşterinin ödeme performansı

Müşterilerin talep ettiği ürün ya da ürünlerin bedel faturası ilgili müşteriye iletilmekte ve belirlenen vade sonunda bu faturanın tahsilatının yapılması gerekmektedir. Eğer müşteriden tahsilat yapılamıyorsa ödeme alınana kadar ilgili müşterinin siparişi açılmamaktadır. Sipariş açılamayan bir ürün çizelgelemeye dâhil edilemeyeceği için bu faktör işlerin birbiri ile kıyaslanmasında kullanılmamıştır.

Ürünün (işin) sevk edileceği lokasyon

Müşterilerin faaliyet gösterdiği lokasyonlar birbirinden farklıdır bu nedenle farklı lokasyonlara sevkiyat yapılmaktadır. Sevkiyatın yapıldığı aracın (kamyon ya da tır) dolu olması sevkiyat verimliliği açısından önemlidir. Bu durum siparişlerin çizelgelemesiyle belirli bir güne ataması yapıldıktan sonra işlerin o gün içinde sıralaması yapılırken göz önüne alınmaktadır. Dolayısıyla bu faktör işlerin birbiri ile kıyaslanmasında kullanılmamıştır.

Ürünün (işin) makinedeki çalışma performansı (verimlilik)

Ürünlerin makinedeki çalışma hızları birbirinden farklıdır. Aynı makinede üretilecek ürünlerden birkaçı diğerlerine kıyasla makinede çok hızlı çalışılmakta ve kapasite kullanımı aynı adetteki başka bir ürüne göre daha az olmaktadır. Bu durum ilgili ürüne verilen termini etkilememekte sadece kapasite kullanımını etkilemektedir. Dolayısıyla bu faktör işlerin birbiri ile kıyaslanmasında kullanılmamıştır.

Ürünün (işin) adedi

Sözleşmeli ve piyasa müşterilerinin siparişlerindeki ürün (iş) adetleri farklılık göstermektedir. Her makinenin ortalama sipariş büyüklüğü; vardiyalık kapasitenin, vardiyalık ayar sayısı hedefine bölünmesiyle elde edilmektedir. İlgili makinedeki ortalama iş adedinden büyük olan işler büyük iş; küçük olanlar ise küçük iş olarak adlandırılmıştır. Örneğin makinenin vardiyalık kapasitesi 50.000, ayar sayısı hedefi 5 ise ortalama sipariş büyüklüğü 10.000 olacaktır. Bu makinede üretilecek iş 15.000 adet ise büyük iş, 5.000 adet ise küçük iş olarak adlandırılır. Ortalama iş büyüklüğünün altında kalan iş sayısı arttıkça ayar sayısı da artmakta, bu da üretim zamanının ayar zamanıyla harcanıp daha az üretim yapılmasına sebep olmakta ve üretim verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Üretim verimliliği ile satış stratejileri doğrudan ilişkilidir. Verimlilik arttıkça genel gider maliyetleri düşmekte böylece daha rekabetçi fiyatlar verilebilmektedir. Fiyat avantajı ile daha çok sipariş alınabilmektedir. Kısacası sipariş büyüklüğünün artması siparişin önemini de artırmaktadır. Belirlenen satış stratejisine göre büyük adetli ya da küçük adetli ürünlere öncelik verilebilmektedir. Belirlenen satış stratejisine göre büyük ve küçük siparişlerin önemi üretildiği makine grubuna bağlı olarak benzer ya da farklı olabilmektedir. Bu nedenle her grup için ağırlıklar ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu faktör çok belirleyici olduğu için işlerin birbiri ile kıyaslanmasında kullanılmıştır.

Yukarıda bahsedilen müşteri ve ürünler ile faktörler göz önüne alınarak aşağıdaki dört faktör belirlenmiştir. AHP işlem adımları özet olarak verildikten sonra her grup için adım adım sonuçlar verilecektir.

Adım 1: Karar Verme Problemi Tanımlanır

Müşteri ağırlıklarının belirlenmesi için aşağıdaki dört faktör belirlenmiştir.

1. Sözleşmeli müşterinin büyük işi olması
2. Sözleşmeli müşterinin küçük işi olması
3. Piyasa müşterisinin büyük işi olması
4. Piyasa müşterisinin küçük işi olması

Adım 2: Faktörler Arası Karşılaştırma Matrisi Oluşturulur

Faktörler arası karşılaştırma matrisi, *nxn* boyutundaki kare matristir. Bu matrisin köşegeni üzerinde yer alan matris bileşenleri bir (1) değerini alır. Karşılaştırma matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ . & & & . \\ . & & & . \\ . & & & . \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Faktörlerler sahip oldukları önem değerlerine göre birebir ve karşılıklı olarak karşılaştırılır. İlgili karşılaştırılmada Çizelge 4.1.'deki önem skalası kullanılır.

Çizelge 4.1. Önem skalası

Önem Değerleri	**Değer Tanımları**
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara değerler

Adım 3: Faktörlerin Yüzde Önem Dağılımları Belirlenir

Faktörlerin diğer tüm faktörlerin toplamı içerisindeki yüzde önem dağılımlarını tespit etmek için, karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörlerinden yararlanılır ve *n* adet ve *n* bileşenli *B* sütun vektörü oluşturulur. Aşağıda bu vektör gösterilmiştir:

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ . \\ . \\ . \\ b_{n1} \end{bmatrix}$$

B vektörü (4.1) formülü ile hesaplanır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \tag{4.1}$$

İlk 3 adım tüm değerlendirme faktörleri için de tekrarlanır ve sonuçta faktör sayısı kadar *B* sütun vektörü elde edilir. *n* adet *B* sütun vektörü, matris formatında bir araya getirilip aşağıda gösterilen *C* matrisi oluşturulur.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ . & & & . \\ . & & & . \\ . & & & . \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

Faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımlarını elde etmek için C matrisi kullanılır. Bunun için formül (4.2)'de gösterildiği gibi C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve Öncelik Vektörü olarak adlandırılan W sütun vektörü elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} c_{ij}}{n} \tag{4.2}$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ . \\ . \\ . \\ w_n \end{bmatrix}$$

Adım 4: Faktör Kıyaslamalarındaki Tutarlılık Ölçülür

AHP, faktörler arasında karşılaştırmalardaki tutarlılığın ölçülebilmesi için bir süreç önermektedir. Sonuçta elde edilen Tutarlılık Oranı (CR) ile faktörler arasında yapılan karşılaştırmaların tutarlılığı test edilebilmektedir. Tutarlılık oranının hesaplamasının temeli faktör sayısı ile Temel Değer adı verilen (λ) bir katsayının karşılaştırılmasına

dayanmaktadır. λ'nın hesaplanması üç adımda gerçekleşir. İlk adımda A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ . & & & . \\ . & & & . \\ . & & & . \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ . \\ . \\ . \\ w_n \end{bmatrix}$$

İkinci adıma (4.3) formülü kullanılarak bulunan D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) elde edilir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması ((4.4) formülü) ise karşılaştırmaya ilişkin temel değeri (λ) verir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1,2,\dots,n) \tag{4.3}$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i}{n} \tag{4.4}$$

λ hesaplandıktan sonra Tutarlılık Göstergesi (*CI*), (4.5) formülü kullanılarak hesaplanabilir.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \tag{4.5}$$

Son aşamada CI, Random Gösterge (RI) olarak adlandırılan standart düzeltme değerine bölünerek CR elde edilir. RI değeri Çizelge 4.2' den seçilir. İlgili işlemin formülü (4.6)'da gösterilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{4.6}$$

Çizelge 4.2. RI Değerleri

n	RI	n	RI
1	0	4	0,90
2	0	5	1,12
3	0,58	6	1,24

Eğer CR değeri 0,10'dan küçük ise karar verici yaptığı karşılaştırmada tutarlı davranmıştır. CR değeri 0,10'dan büyük ise ya AHP'de bir hesaplama hatası yapılmış ya da karar verici karşılaştırmalarda tutarlı davranmamıştır. Bu işlem sırası izlenerek her bir grup için ağırlıklar hesaplanmıştır. Örnek olarak Grup 1'in hesaplamaları ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Grup 1

Bu grupta sözleşmeli müşteri sayısı fazladır ve bu grubun makine hızları diğer gruptaki makinelerden yüksektir. Bu nedenle izlenen strateji farklılık göstermektedir. Makine hızı yüksek olduğu için büyük adetli işlerle makinenin verimli kullanılması hedeflenmiştir. Sözleşmeli müşteri sayısı fazla olduğu için de bu müşterilerin büyük adetli işlerine yüksek önem verilmiştir. Şirket gizliliğinden dolayı satış stratejilerinin tümü paylaşılamamaktadır. Grup 1 müşterilerinin ürün ağırlıkları adım adım aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

A karşılaştırma matrisi hesaplanır.

$$A=\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 5 \\ 0,50 & 1 & 2 & 4 \\ 0,33 & 0,50 & 1 & 3 \\ 0,20 & 0,25 & 0,33 & 1 \end{bmatrix}$$

B sütun matrisleri hesaplanır.

$$B1=\begin{bmatrix} 0,493 \\ 0,246 \\ 0,163 \\ 0,098 \end{bmatrix} \quad B2=\begin{bmatrix} 0,533 \\ 0,267 \\ 0,133 \\ 0,067 \end{bmatrix} \quad B3=\begin{bmatrix} 0,474 \\ 0,316 \\ 0,158 \\ 0,052 \end{bmatrix} \quad B4=\begin{bmatrix} 0,385 \\ 0,308 \\ 0,230 \\ 0,077 \end{bmatrix}$$

B sütun matrislerinin bir araya getirilmesiyle C matrisi oluşturulur.

$$C=\begin{bmatrix} 0,493 & 0,533 & 0,474 & 0,385 \\ 0,246 & 0,267 & 0,316 & 0,308 \\ 0,163 & 0,133 & 0,158 & 0,230 \\ 0,098 & 0,067 & 0,052 & 0,077 \end{bmatrix}$$

C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve ağırlıklar bulunur.

$$W=\begin{bmatrix} 0,473 \\ 0,284 \\ 0,170 \\ 0,073 \end{bmatrix}$$

Ağırlıkların tutarlığının ispatı için CR değerinin 0,10'dan küçük olması gerekir. CR değerinin hesaplanması için öncelikle A ve W matrislerinin çarpımı ile D matrisi oluşturulur.

$$D=\begin{bmatrix} 1,916 \\ 1,152 \\ 0,687 \\ 0,294 \end{bmatrix}$$

D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) elde edilir. E'lerin aritmetik ortalamasından λ , ve ardından CI değerleri hesaplanır

$$E=\begin{bmatrix} 4,050 \\ 4,058 \\ 4,041 \\ 4,037 \end{bmatrix} \quad \lambda=\frac{16,186}{4}=4,046 \quad CI=\frac{4,046-4}{4-1}=0,0156$$

$CR=\frac{CI}{RI}$ =0,017 <0,10 olduğu için ağırlıklar tutarlıdır.

Grup 2 & Grup 3

Bu gruptaki müşteriler benzer satış stratejisi ile yönetilmektedir bu nedenle aynı ağırlıklar kullanılmıştır. İlgili makinelere piyasadan gelen sipariş miktarı sözleşmeli müşterilerden gelen sipariş miktarından daha fazla olabilmektedir. Burada sözleşmeli müşteriden fazla sipariş alabilmek için tüm siparişlerine yüksek önem verilmektedir. Bu nedenle

sözleşmeli müşterilerin büyük ve küçük adetli işlerinin arasındaki önem farkı Grup 1'deki kadar fazla değildir. Şirket gizliliğinden dolayı satış stratejilerinin tümü paylaşılamamaktadır. Grup 2 ve Grup 3 müşterilerinin karşılaştırma matrisi ve ürün ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

A karşılaştırma matrisi hesaplanır.

$$A=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 5 \\ 1 & 1 & 2 & 4 \\ 0{,}50 & 0{,}50 & 1 & 3 \\ 0{,}20 & 0{,}25 & 0{,}33 & 1 \end{bmatrix}$$

$$W=\begin{bmatrix} 0{,}373 \\ 0{,}355 \\ 0{,}196 \\ 0{,}076 \end{bmatrix}$$

Ağırlıkların tutarlığının ispatı için CR değerinin 0,10'dan küçük olması gerekir

$CR = \frac{CI}{RI}$ =0,005 <0,10 olduğu için ağırlıklar tutarlıdır.

Grup 4 & Grup 5

Bu gruptaki müşteriler aynı olduğu için aynı ağırlıklar kullanılmıştır. İlgili makinelerde sözleşmeli müşteri oranı işletmedeki diğer makinelere göre yüksektir. Ve sözleşmeli müşterilerden gelen tüm siparişlere yüksek önem verilmektedir. Şirket gizliliğinden dolayı satış stratejilerinin tümü paylaşılamamaktadır. Grup 4 ve Grup 5 müşterilerinin ürün ağırlıkları adım adım aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

A karşılaştırma matrisi hesaplanır.

$$A=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 7 & 9 \\ 1 & 1 & 4 & 8 \\ 0{,}14 & 0{,}25 & 1 & 2 \\ 0{,}11 & 0{,}12 & 0{,}5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$W=\begin{bmatrix}0,471\\0,395\\0,086\\0,048\end{bmatrix}$$

Ağırlıkların tutarlığının ispatı için CR değerinin 0,10'dan küçük olması gerekir.

$CR=\frac{CI}{RI}$ =0,006 <0,10 olduğu için ağırlıklar tutarlıdır.

Yapılan işlemler sonucu her grup için ağırlıklar belirlenmiş ve CR değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan üç CR değeri de 0,10'dan küçük olduğu için ağırlıkların tutarlı olduğu ispat edilmiştir.

4.3. Siparişlerin Günlere Atanması

İşletme için müşteri memnuniyeti çok önemlidir, bu nedenle siparişleri günlere atarken öncelikli amacımız ağırlıklı gecikmeyi enküçüklemektir. Bunun yanı sıra makine verimliliği de önem arz etmektedir. Hedefimiz ağırlıklı gecikmeyi enküçüklerken; makinedeki boş kalan kapasiteyi de enküçükleyerek, kapasiteyi en yüksek seviyede kullanmaktır. Modelin çözüldüğü gün, atama yapılacak ilk günün kapasitesi en iyi şekilde kullanılmalıdır, aksi halde o günkü kapasite atıl kalacaktır, daha sonradan bu güne atama yapılması imkânı yoktur. Modelin atama yaparken kapasiteyi de verimli şekilde kullanması için amaç fonksiyonuna makinenin ilk gününün boş kalan kapasite yüzdesi de dâhil edilmiştir. Atama yapılacak ilk günün boş kalan kapasitesi B1, ikinci günün boş kalan kapasitesi B2, üçüncü günün boş kalan kapasitesi B3 olarak tanımlanmıştır. Bugünün B2 değeri yarının atama yapılacak ilk günün kapasitesidir ve B2'den atama yapılan işlerin kapasite kullanımı çıkarıldığında bu değer yarının B1 değerini oluşturacaktır. Kısacası bugünün B2'si yarının B1 değerini oluşturacaktır. Benzer durum B3 için de geçerlidir. O da iki gün sonrasının B1 değerini oluşturacaktır. Tezde kullanılan modellerde öncelikli olarak B1 düşürülmüş ardından B2 ve B3 değerleri de düşük tutulmaya çalışılmıştır. Ağırlıklı gecikmeyi enküçükleme işleminin bozulmadan makine verimliliğinin yükseltilmesi için makinenin ilk gününün boş kalan kapasite yüzdesinin bir katsayı ile çarpılmasına karar verilmiştir. Bu katsayının tespit edilmesi için her grup için 7 iş günü boyunca müşterilerden gelen ortalama 150 ürünün ortalama 15 güne atanması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar incelediğinde katsayı 10^{-4}'ten küçük olduğunda model ilk günü doldurmak için ikinci ve üçüncü güne istenen büyük adetli işleri birinci güne atayıp, birinci güne istenen işleri adetleri küçük olduğu için geciktirmiştir. Katsayı 10^{-5} ve sonrası için ise hiç erken verme eğilimi göstermeksizin sadece ağırlıklı gecikmeyi en küçüklemiş ve makinedeki boşluğu arttırmıştır. Bu nedenle katsayı 10^{-4} olarak belirlenmiştir.

Literatür incelendiğinde amaç fonksiyonuna ağırlıklı gecikmenin yanı sıra ağırlıklı erken teslimin de eklendiği görülmüştür. Ele alınan problemde erken verilme durumları her müşteri için belirlenmiş ve kısıt olarak modele eklenerek bunun aşılmaması sağlanmıştır. Bunun yerine istenirse amaç fonksiyonuna da erken verilme durumu eklenebilir.

4.3.1 Tek Makine Modeli

Grup 1, Grup 2 ve Grup 3 makinelerinin siparişleri tek makinede işlem görmektedir. Bu siparişler için çizelgeleme modelinin içerdiği parametreler, karar değişkenleri, kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

İndisler:

i: iş (ürün) sayısı

j: gün sayısı

Parametreler:

a: ayar için harcanan ortalama zamanın vuruşa çevrilmiş hali

c_j: j. gündeki kapasite

$erken_i$: i işin erken verilebilme gün sayısı

k_i: i işinin kapasite kullanımı (vuruş cinsinden)

t_i: i işinin teslim günü

tk: makine grubunun günlük genel kapasitesi

w_i : i işinin ağırlığı

n: toplam iş sayısı (i indisinin üst sınırı)

m: toplam atama yapılacak gün sayısı (j indisinin üst sınırı)

Karar değişkenleri:

$X_{i,j}$: İşin hangi güne atandığını gösteren ikili karar değişkeni; i. iş j. güne atanırsa 1, aksi takdirde 0

G_i: i. işin geciken gün sayısı

G: toplam ağırlıklı gecikme

E_i: i. işin erken verildiği gün sayısı

B1: Makineye atama yapılabilen ilk gündeki kalan boş kapasite

B2: Makineye atama yapılabilen ikinci gündeki kalan boş kapasite

B3: Makineye atama yapılabilen üçüncü gündeki kalan boş kapasite

Amaç Fonksiyonu:

Enk $\quad G + \left({}^{B1}/_{tk}\right) * 10^{-2}$ (4.7)

Kısıtlar:

$\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}} X_{ij} = 1 \quad \forall\, i$ (4.8)

$\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}} \left(X_{ij} * \mathrm{j}\right) - G_i + E_i = t_i \quad \forall\, i$ (4.9)

$G_i \leq 7 \quad \forall\, i$ (4.10)

$E_i \leq erken_i \quad \forall\, i$ (4.11)

$G = \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} w_i * G_i$ (4.12)

$\sum_{i=1}^{n} \left(X_{ij} * k_i\right) + \left(\sum_{i=1}^{n} X_{ij} * a\right) \leq c_j \quad \forall\, j$ (4.13)

$B1 = c1 - \sum_{i=1}^{n} (X_{i1} * k_i) - (\sum_{i=1}^{n} X_{i1} * a)$ (4.14)

$B2 = c2 - \sum_{i=1}^{n} (X_{i2} * k_i) - (\sum_{i=1}^{n} X_{i2} * a)$ (4.15)

$B3 = c3 - \sum_{i=1}^{n} (X_{i3} * k_i) - (\sum_{i=1}^{n} X_{i3} * a)$ (4.16)

$G, B1, B2, B3 \geq 0$ (4.17)

$G_i, E_i \geq 0 \quad \forall\, i$ (4.18)

$X_{ij} \epsilon \{0,1\} \quad \forall\, i, j$ (4.19)

Model her çözüldüğünde siparişi alınmış ancak henüz ataması yapılmamış olan tüm işler için çözülmektedir. İşlerin atanabileceği üretim periyodu belirlenirken de en uzak tarihli termin isteği olan iş göz önüne alınmaktadır. Model, atama yapılabilecek ilk gün ve bu en uzak termin tarihi olan gün arasındaki tüm günlere atama yapabilmektedir. (4.7) ile gösterilen amaç fonksiyonu tüm işler üzerinden hesaplanan toplam ağırlıklı gecikmeyi enküçüklerken aynı zamanda ilk atama gününde kalan boş kapasiteyi düşük tutmaktadır. (4.8) kısıtı ile her işin bir güne atanması sağlanır. (4.9) kısıtı ile bir işin atandığı günden ne kadar geciktiği veya ne kadar erken verildiği hesaplanır. Müşteriler için yedi günden fazla gecikme sorun oluşturmaktadır. (4.10) kısıtı ile bu gecikmenin yedi günü aşmaması sağlanır. (4.11) kısıtı ile erken verilen gün sayısının, o müşteri için erken verilebilecek gün sayısını aşmaması sağlanır. (4.12) kısıtı ile toplam ağırlıklı gecikmeyi hesaplanmaktadır. (4.13) kısıtı ile atama yapılan işlerin vuruş ve ayar sürelerinin toplamının o günün kapasitesini aşmaması sağlanır. (4.14), (4.15), (4.16) kısıtları ile sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü günün kapasitesinden; o güne atanan sipariş vuruşları ve ayar süreleri çıkarılarak kalan boşluklar hesaplanır. (4.17), (4.18), (4.19) kısıtları ile değişkenlerin alabileceği değerler kısıtlanmaktadır.

Bu modelin çözüm raporunda ürünlerin hangi günlere atandığı, erken ve geç gün sayıları, *B1, B2, B3* ve toplam ağırlıklı gecikme değerleri yer almaktadır. Bu aşamadan sonra, ağırlıklı gecikme en küçük seviyesindeyken ve *B1* de bu seviyeyi bozmayacak şekilde enküçüklenmişken, ikinci ve üçüncü günlerdeki kapasitelerin de mümkün olduğunca doldurulması hedeflenmektedir. Bu şekilde gelecekte alınabilecek olası siparişlerin terminlerini istenilen zamanda gerçekleştirebilmek için işletmeye esneklik tanınmaktadır. Kapasite olarak ilk doldurulması gereken gün birinci gündür, birinci gün en iyi seviyedeyken ikinci gün de mümkün olduğunca doldurulmalıdır. Daha sonra da birinci ve ikinci günler daha önce hesaplanan seviyelerindeyken üçüncü gün mümkün olduğunca doldurulmalıdır. Bu şekilde gelecekteki günlerin B1 değerlerinin de düşük değerlerde olması sağlanmakta, daha uzun süreli bir bakış açısıyla atama yapılmaktadır. İlk modelden elde edilen ağırlıklı toplam gecikme ve ilk günün boşluğu sırasıyla *G** ve *B1** ile gösteriliyorken, model aşağıdaki amaç fonksiyonu ve eklenen iki kısıt ile tekrar çözülür.

Enk $B2$ (4.20)

$B1 \leq B1^*$ (4.21)

$$G \leq G^* \tag{4.22}$$

Bu modelin çözümünden elde edilen ikinci gün boşluğuna da B2* diyecek olursak, model son kez aşağıdaki amaç fonksiyonu ve yeni eklenen kısıtlar ile tekrar çözülür.

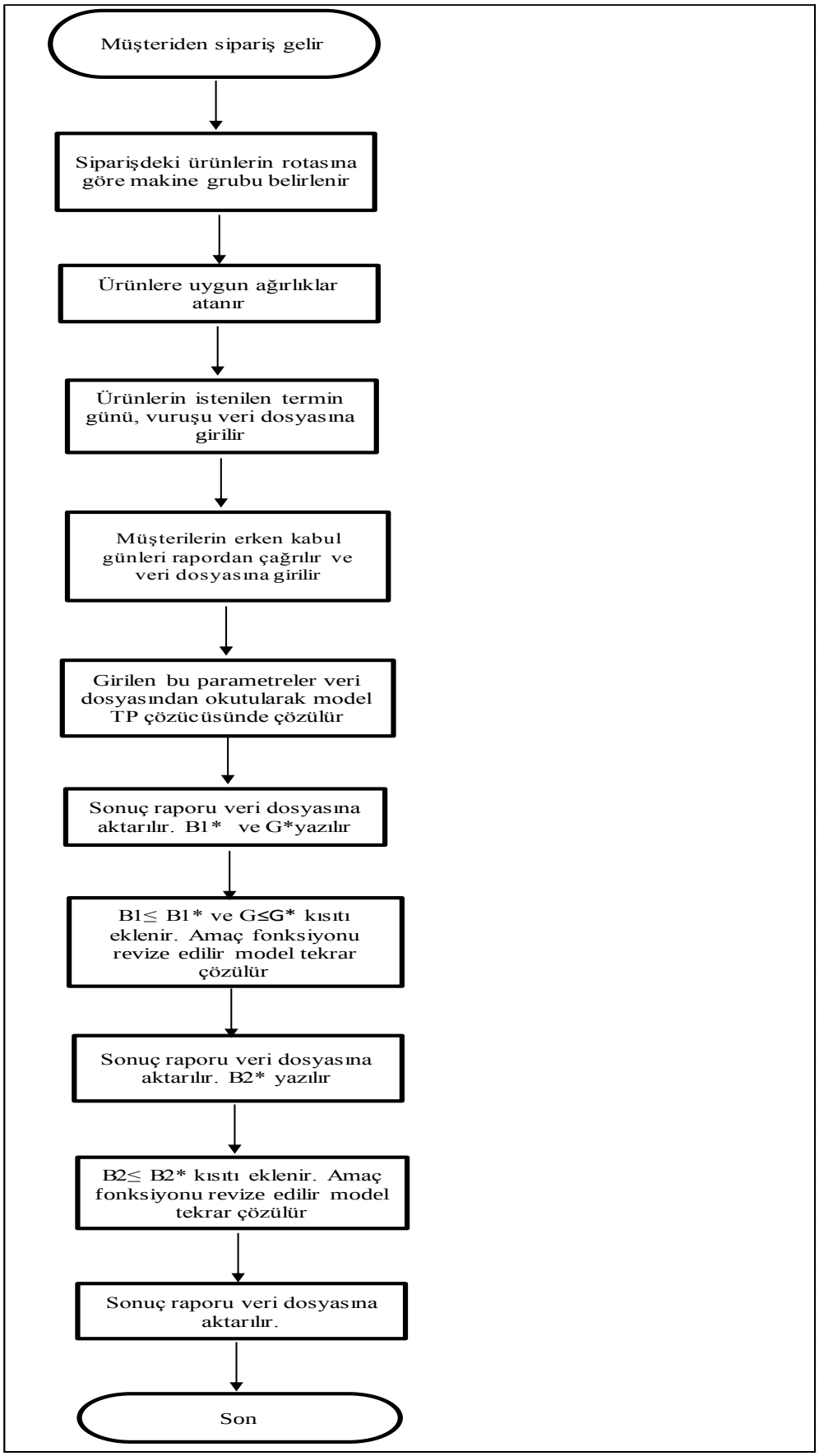
$$\text{Enk} \quad B3 \tag{4.23}$$

$$B1 \leq B1^* \tag{4.24}$$

$$B2 \leq B2^* \tag{4.25}$$

$$G \leq G^* \tag{4.26}$$

Bu son modelin çözüm raporunda ürünlerin hangi günlere atandığı, erken ve geç gün sayıları, *B1, B2, B3* ve *G* değerleri yer almaktadır. Bu çözüm nihai çözümdür. Sonuç raporu siparişlerin sıralanmasında veri olarak kullanılmak üzere kaydedilir ve ürünlerin atanan termin tarihleri satış ekibi ile paylaşılır. Önerilen yaklaşımın akış şeması Şekil 4.1.'deki gibidir.



Şekil 4.1. Tek makinede üretilen ürünler için önerilen akış şeması

4.3.2 İki Makine Modeli

Grup 4 düz kesim üretiminin yapıldığı hattır, Grup 5 ise düz kesim üretimi tamamlanan ürünlerin yapıştırılmasının yapıldığı hattır. Bir ürün Grup 4'ten sonra başka makineye girmeyebilir ancak Grup 5'te üretimi yapılacak ürün mutlaka öncül işleme ihtiyaç duyar. Bu nedenle bu iki grubun siparişleri birlikte modellenmiştir. Bu modelin varsayım ve koşulları Grup1, Grup 2 ve Grup 3'te işlem gören ürünler ile aynıdır. Bazı ürünler sadece ilk makinede işlem görmektedir, böyle olduğunda ikinci makine kapasite kullanımı 0 (sıfır) kabul edilmektedir. İki makinede de işlem görecek ürünler için ilk makinede kapasite yoksa ikinci makinede kapasite olsa bile o güne atama yapılamaz. Ya da ikinci makinede kapasite yoksa ilk makinede kapasite olsa bile o güne atama yapılamaz. Grup 5 makinesine gelen ürün sayısı diğer makinelerden daha azdır ve atıl kalabilmektedir. Buradaki üretim verimliliği diğer makineler kadar önemli değildir. İlk makinenin (Grup 4) verimliliği önemli olduğu için amaç fonksiyonunda yer almaktadır. Bu modelin varsayım ve koşulları tek makinede işlem gören ürünler ile aynıdır, bu nedenle ortak indisler, parametreler, karar değişkenleri ve kısıtları bulunmaktadır. Tek makine modelinde olmayıp iki makinede işlem gören işler için oluşturulan modelde yer alan parametreler ve kısıtlar aşağıda verilmiştir.

Parametreler:

$k1_i$: 1. Makinede işlem görecek i işinin kapasite kullanımı

$k2_i$: 2. Makinede işlem görecek i işinin kapasite kullanımı

$c1_j$: 1. Makinenin j. gündeki kapasitesi

$c2_j$: 2. Makinenin j. gündeki kapasitesi

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^{n}\left(X_{ij} * k1_i\right) + \left(\sum_{i=1}^{n} X_{ij} * a\right) \leq c1_j \quad \forall j \tag{4.27}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(X_{ij} * k2_i\right) + \left(\sum_{i=1}^{n} X_{ij} * a\right) \leq c2_j \quad \forall j \tag{4.28}$$

$$B1 = c1_1 - \sum_{i=1}^{n}(X_{i1} * k1_i) - (\sum_{i=1}^{n} X_{i1} * a) \tag{4.29}$$

$$B2 = c1_2 - \sum_{i=1}^{n}(X_{i2} * k1_i) - (\sum_{i=1}^{n} X_{i2} * a) \tag{4.30}$$

$$B3 = c1_3 - \sum_{i=1}^{n}(X_{i3} * k1_i) - (\sum_{i=1}^{n} X_{i3} * a) \tag{4.31}$$

(4.27) kısıtı ile ilk makineye atama yapılan işlerin vuruşu ve ayar sürelerinin toplamının o günün kapasitesini aşmaması sağlanır. (4.28) kısıtı ile ikinci makineye atama yapılan işlerin vuruşu ve ayar sürelerinin toplamının o günün kapasitesini aşmaması sağlanır. Önceki modelde tek makine olduğu için bu kısıt (4.13) kısıtı ile tek seferde gösterilmişti, bu modelde ise (4.13) kısıtı yerine (4.27) ve (4.28) kısıtları bulunmaktadır. (4.29), (4.30), (4.31) kısıtları ile sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü günün kapasitesinden; o güne atanan sipariş vuruşları ve ayar süreleri çıkarılarak kalan boşluklar hesaplanır. Bu kısıtlar önceki modelin (4.14), (4.15) ve (4.16) kısıtlarının yerine yazılmıştır. Daha önceki ile aynı şekilde sırayla boşluklar enküçüklenir. Önceki modelde yer alan (4.13), (4.14), (4.15), (4.16) kısıtları değiştirilerek yerine yukarıda tanımlanan kısıtlar konulmuştur. Diğer kısıtlar ve amaç fonksiyonu aynı şekilde kalarak model çözülmüştür. Akış şeması da diğer gruptaki gibidir ve Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

4.4 Siparişlerin Gün İçinde Sıralanması

Bir güne atanan ürünlerin sıralaması yapılırken işletmenin değişen öncelikleri göz önüne alınmaktadır. Bu öncelikler üretim verimliliği, sevkiyat verimliliği ve termin performansı ile ilgilidir ve şu şekilde özetlenebilir: Bir üründen diğerine geçerken kalıp değişimi yapılması gerekebilir, makine ve işgücü verimliliği için bu değişimler az olmalıdır. Bu nedenle ortak kalıp kullanan ürünler peş peşe sıralanmalıdır. Üretimi tamamlanan ürünler sevkiyatları yapılırken gönderilecekleri illere göre araçlara (kamyon ya da tır) yüklenmektedir. Sevkiyat verimliliği için araçların dolu olarak gönderilmesi ve stok alanında malzemelerin uzun süre beklememesi önemlidir. Bu yüzden belirli bir ile gönderilecek olan siparişler art arda tamamlanıp o ile atanan araç bir an önce yola çıkarılmalıdır. Böylece ürün stokta minimum sürede beklemiş olur, yükleme zamanında yapıldığı için nakliye firmasının aracı bekletilmez ve müşterinin siparişi gecikmez. Aksi halde aynı araçta sevk olacak iki farklı ürün varsa biri sevk olmak için diğerinin üretilmesini bekleyecek; hem stok alanında yer kaplayacak hem de müşteriye zamanında ulaştırılamama riski doğacaktır. Son olarak da, sipariş terminlerinin söz verilen tarihlerde gerçekleştirilebilmesi için uzak illere ait siparişlerin önce tamamlanması daha iyi olacaktır. Uzak illere gece geç saatlerde araç yüklendiğinde araç şoförü yola çıkmak istememekte ve sabah yola çıkmaktadır. Aracın müşteriye varması 6-8 saat arasında değiştiği için araç vardığında mesai saati dolmuş olmaktadır. Bu nedenle ilgili müşteri siparişini zamanında teslim alamamaktadır. Bazen şehir içi siparişlerin oranı çok olup

üretim performansı önemli olmakta, bazen şehir dışı siparişleri oranı çok olup sevkiyat verimliliği ve müşteri termin performansı önemli olmaktadır. Değişen işletme önceliklerine göre değişen ağırlıklara sahip bir matematiksel model önerilmiştir. Burada genişletilmiş epsilon kısıt yönteminden yararlanılmıştır.

Epsilon-kısıt metodunda (e-kısıt, ε–kısıt veya değiş-tokuş metodu olarak da bilinmektedir) hedef fonksiyonlarından birisi optimize edilmek üzere seçilir ve diğer hedef fonksiyonları kısıtlara dönüştürülür. Hedef fonksiyonlarının sayısının artması durumunda üst sınırların uygun bir şekilde belirlenememesi nedeniyle problemin çözümünde boş olurlu küme elde edilebilir. Bu olumsuzluğun aşılabilmesi amacıyla aralarında üst sınırların seçimi de olan alternatif metotlar önerilmiştir. [31] Alternatif metotlardan biri genişletilmiş epsilon kısıt metodudur.

Genişletilmiş epsilon-kısıt metodunda ilk olarak, her bir hedef fonksiyonunun limitlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için en yaygın olarak kullanılan metotta, bu limitlerin belirlenebilmesi amacıyla hedef fonksiyonlarının bağımsız olarak optimizasyonu sonucu ödünleşim (payoff) tablosu oluşturulur. Ödünleşim tablosunun oluşturulmasının sonrasında bir hedef fonksiyonu optimize edilmek üzere seçilir ve kalan hedef fonksiyonlarının çözüm aralıkları kısıt olarak kullanılır. f_i fonksiyonunun çözüm aralığı g_i eş aralık noktasına bölünür. Böylelikle toplamda $g_i + 1$ aralık noktası için f_i fonksiyonunun sağ tarafı parametrik olarak değiştirilir. Metodun en önemli avantajlarından birisi ise etkin küme dağılım yoğunluğunun g_i aralık noktası sayılarının değiştirilerek ayarlanabilmesidir [32].

Her modelin parametreleri ve karar değişkenleri aynı olup amaç fonksiyonları ve kısıtları işletmenin önceliğine uygun olarak değiştirilmektedir. Termin performansının öncelikli olduğu duruma ait matematiksel modelin parametreleri, karar değişkenleri, kısıtları aşağıda verilmiştir.

İndisler:

i: ürün (iş) sayısı

j: sıra sayısı

Parametreler:

k_i:i. ürünün kalıp numarası

l_i:i ürünün lokasyon numarası

u_i: i ürünün uzaklığı

ubk: izin verilen toplam kalıp değişimi sayısı

ubl: izin verilen toplam lokasyon değişimi sayısı

M: Büyük pozitif bir sayı

n: toplam iş sayısı (i indisinin üst sınırı)

Karar değişkenleri:

$X_{i,j}$: Ürünün hangi sıraya atandığını gösteren karar ikili değişkeni; i. ürün j. sıraya atanırsa 1, aksi takdirde 0

KA_j: j.sıraya atanan ürünün kalıp numarası

LO_j: j.sıraya atanan ürünün lokasyon numarası

FKA_j: j+1 ve j sıralarına atanan ürünlerin kalıp numarası farkı

FLO_j: j+1 ve j sıralarına atanan ürünlerin lokasyon numarası farkı

A_j: j sırasından j+1 sırasına geçerken kalıp değişimi olup olmadığı gösteren ikili değişken; kalıp değişimi olduysa 1, aksi takdirde 0

B_j: j sırasından j+1 sırasına geçerken lokasyon değişimi olup olmadığı gösteren ikili değişken; lokasyon değişimi olduysa 1, aksi takdirde 0

Amaç fonksiyonu

Enk $Z3 + 10^{-1} * (Z1 + Z2)$ (4.32)

Kısıtlar:

$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = 1 \quad \forall j$ (4.33)

$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \quad \forall i$ (4.34)

$Z1 = \sum_{j=1}^{n} A_j - 1$ (4.35)

$Z2 = \sum_{j=1}^{n} B_j - 1$ (4.36)

$$Z3 = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{n}(X_{ij} * j)\right) * u_i \quad (4.37)$$

$$KA_j = \sum_{i=1}^{n} X_{ij} * k_i \quad \forall j \quad (4.38)$$

$$LO_j = \sum_{i=1}^{n} X_{ij} * l_i \quad \forall j \quad (4.39)$$

$$FKA_J \geq KA_{J+1} - KA_J \quad \forall j \quad (4.40)$$

$$FKA_J \geq KA_J - KA_{J+1} \quad \forall j \quad (4.41)$$

$$FLO_J \geq LO_{J+1} - LO_J \quad \forall j \quad (4.42)$$

$$FLO_J \geq LO_J - LO_{J+1} \quad \forall j \quad (4.43)$$

$$FKA_J \leq M * A_j \quad \forall j \quad (4.44)$$

$$FLO_J \leq M * B_j \quad \forall j \quad (4.45)$$

$$Z1 \leq ubk \quad (4.46)$$

$$Z2 \leq ubl \quad (4.47)$$

$$A_j, B_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (4.48)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \quad (4.49)$$

$$KA_j, LO_j, FKA_J, FLO_J \geq 0 \quad \forall j \quad (4.50)$$

$$Z1, Z2, Z3 \geq 0 \quad (4.51)$$

(4.33) kısıtı ile her işin bir sıraya atanması sağlanır. (4.34) kısıtı ile her sıraya bir iş atanması sağlanmaktadır. (4.35) ifadesi ile toplam kalıp değişimi, (4.36) kısıtı ile toplam lokasyon değişimi hesaplanmaktadır. (4.37) kısıtı ile ağırlıklı uzaklık hesaplanmaktadır, burada kullanılan ağrılıklar her işin kaçıncı sırada olduğudur. Uzak bir teslimat yeri olan bir iş ileri sıralara atanırsa bu kriter değeri çok artmaktadır. (4.38) kısıtı ile kalıplar sıralara atanmaktadır. (4.39) kısıtı ile lokasyonlar sıralara atanmaktadır. (4.40) kısıtı ve (4.41) kısıtı ile peş peşe gelen kalıpların aynı veya farklı olduğu tespit edilmektedir. (4.42) ve (4.43) kısıtı ile peş peşe gelen lokasyonların aynı veya farklı olduğu tespit edilmektedir. (4.44) kısıtı ile peş peşe gelen işler arasında kalıp farkı varsa bu bir ikili değişken ile tutulmaktadır. (4.45) kısıtı ile peş peşe gelen işler arasında lokasyon farkı varsa bu bir ikili değişken ile tutulmaktadır. (4.46) ve (4.47) kısıtları ile toplam kalıp ve lokasyon değişimi sayıları birer üst limitle sınırlandırılabilir. Bu üst limitler değiştirilerek

model farklı etkin çözümler verecek şekilde çözülebilir. (4.48) - (4.51) kısıtlarıyla değişkenlerin alabileceği değerler kısıtlanmaktadır.

5. UYGULAMALAR

Bu bölümde önerilen algoritmanın performansının test edilmesi için çalışmaya konu olan işletmenin verileri kullanılarak bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Problem iki aşamada çözülmüştür; ilk aşamada siparişler günlere atanmış, ikinci aşamada ise gün içinde sıralama işlemi gerçekleştirilmiştir. Siparişe dayalı üretim yapan bir kutu ambalaj işletmesinin verileri kullanılarak, önerilen algoritmanın ilk aşamasının sonuçları, mevcut sistem sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Problemin ikinci aşaması için geçmişe dönük veri olmadığı için karşılaştırma yapılamamaktadır, model sonuçları paylaşılacaktır.

5.1. Birinci Modelin Uygulama Sonuçları

Bu bölümde öncelikle birinci model için oluşturulan MS Excel tabloları (veri dosyası) gösterilerek süreç aktarılacaktır. Ardından her grup için ayrı ayrı uygulama sonuçları verilecektir.

Ürünler öncelikle üretilecekleri rotalara göre makine gruplarına atanmıştır. Ardından her grup için müşteri ağırlıkları hesaplanmış, erken verilme günleri rapordan çağrılmış, ürünün istenen termin tarihi ve kapasite kullanımı veri yablosuna dosyasına girilmiştir. Modelin parametreleri veri dosyasından okutulup, GAMS programı (TP çözücüsü) kullanılarak çözülmüştür. Ortalama bir günlük sipariş modelinin TP çözücüsünde çözülmesi 0,45 saniyedir. Çözüm tamamlandıktan sonra sonuç raporu veri dosyasına aktarılıp, özet bir tablo oluşturulmaktadır. Bu tabloda ilgili ürünün hangi güne atandığı, ilgili günün tarihi ve ürünün kapasite kullanımı (vuruşu) yer almaktadır. Bu işlemin yapılması ortalama 0,30 saniyedir. Örnek olarak Şekil 5.1.'de Grup 1'in 01/02 tarihinde gelen siparişlerinin atama sonuçları gösterilmektedir. Toplam 38 ürünün ataması gerçekleştirilmiştir. Örneğin ilk üç ürünün sonuçları şöyle okunabilir: Birinci iş atama yapılabilecek ilk güne 05/02 tarihine atanmıştır, bu üründen bir tane vardır, kapasite kullanımı 3.825 vuruştur. İkinci iş atama yapılabilecek ilk güne 05/02 tarihine atanmıştır, bu üründen bir tane vardır, kapasite kullanımı 9.600 vuruştur. Üçüncü iş atama yapılabilecek ilk güne 05/02 tarihine atanmıştır, bu üründen bir tane vardır, kapasite kullanımı 75.000 vuruştur.

MODEL SONUÇLARI				
iş no	atanan gün	atanan tarih	ürün adet	ürün vuruş
1	1	05.02.2019	1	3.825
2	1	05.02.2019	1	9.600
3	1	05.02.2019	1	75.000
4	9	14.02.2019	1	2.000
5	8	13.02.2019	1	5.000
6	15	21.02.2019	1	5.000
7	9	14.02.2019	1	15.000
8	10	15.02.2019	1	3.000
9	10	15.02.2019	1	35.000
10	10	15.02.2019	1	2.000
11	10	15.02.2019	1	8.000
12	10	15.02.2019	1	32.000
13	11	16.02.2019	1	1.000
14	12	18.02.2019	1	1.000
15	12	18.02.2019	1	2.000
16	13	19.02.2019	1	75.000
17	13	19.02.2019	1	60.000
18	13	19.02.2019	1	14.000
19	13	19.02.2019	1	70.000
20	13	19.02.2019	1	2.500
21	13	19.02.2019	1	10.000
22	14	20.02.2019	1	2.000
23	14	20.02.2019	1	21.000
24	19	26.02.2019	1	8.000
25	20	27.02.2019	1	3.000
26	10	15.02.2019	1	1.000
27	16	22.02.2019	1	2.000
28	7	12.02.2019	1	2.000
29	7	12.02.2019	1	10.000
30	15	21.02.2019	1	6.000
31	15	21.02.2019	1	5.000
32	15	21.02.2019	1	4.150
33	1	05.02.2019	1	19.000
34	4	08.02.2019	1	61.629
35	5	09.02.2019	1	45.707
36	6	11.02.2019	1	4.425
37	10	15.02.2019	1	56.947
38	15	21.02.2019	1	34.373

SİPARİŞLERİ ATA

KAPASİTEYİ DÜZENLE

Şekil 5.1. Veri dosyası model sonuç ekranı

Atanan tüm ürünlerin bilgisi veri dosyasında tutulmaktadır. Siparişleri ata butonu ile siparişlerin atanan termini, kapasite kullanımı ve ürün sayısı özet tabloya aktarılmaktadır. Kapasiteyi düzenle butonu ile yeni atanan işler ve ayar süreleri, mevcut işler ve ayar

süreleri ile toplanarak toplam kapasiteden çıkarılmakta ve kalan kapasite hesaplanmaktadır. Mor boyalı günler bakım günleri olup, kapasiteleri diğer günlerden bir vardiya daha azdır. Her ayın başında bakım takvimine bakılarak ilgili günlerden kapasite düşümü gerçekleştirilmektedir. Kalan kapasite verisi bir sonraki gün modeli çalıştırırken parametre dosyasına aktarılmaktadır. Örnek kapasite kullanım tablosu ekranı Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.

Termin Tarihi	Kapasite	Yeni Atanan iş sayısı	Yeni Atanan iş vuruşu	Mevcut iş sayısı	Mevcut iş vuruşu	Toplam iş sayısı	Toplam iş vuruşu	Modele yazılacak kapasite
01.02.2019	387.500	0	0	7	3.738	7	3.738	383.762
02.02.2019	355.000			20	246.672	20	246.672	108.328
04.02.2019	330.000			30	303.659	30	303.659	26.341
05.02.2019	355.000			20	347.238	20	347.238	7.762
06.02.2019	347.500			23	293.924	23	293.924	53.576
07.02.2019	347.500			23	346.237	23	346.237	1.263
08.02.2019	295.000			19	184.535	19	184.535	110.465
09.02.2019	362.500			17	207.907	17	207.907	154.593
11.02.2019	370.000			14	270.580	14	270.580	1.920
12.02.2019	225.000			14	127.500	14	127.500	-
13.02.2019	372.500			13	276.920	13	276.920	580
14.02.2019	355.000			20	242.500	20	242.500	-
15.02.2019	337.500			27	207.500	27	207.500	-
16.02.2019	370.000			14	247.487	14	247.487	25.013
18.02.2019	372.500			13	266.640	13	266.640	10.860
19.02.2019	372.500			13	277.500	13	277.500	-
20.02.2019	355.000			20	241.402	20	241.402	1.098
21.02.2019	352.500			21	232.016	21	232.016	5.484
22.02.2019	342.500			25	215.872	25	215.872	1.628
23.02.2019	332.500			29	268.780	29	268.780	6.220
25.02.2019	287.500			18	287.003	18	287.003	497
26.02.2019	352.500			21	348.100	21	348.100	4.400
27.02.2019	287.500			22	183.880	22	183.880	103.620
28.02.2019	367.500			15	363.500	15	363.500	4.000
01.03.2019	347.500			23	264.866	23	264.866	82.634
02.03.2019	370.000			14	322.319	14	322.319	47.681
04.03.2019	285.000			48	285.000	48	285.000	-

Şekil 5.2. Kapasite kullanım tablosu ekranı

Şubat ayı boyunca talep edilen toplam 1.552 ürün için model çalıştırılmıştır. Uygulama sonuçları her bir makine grubu için ayrı ayrı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Grup 1 ölçüsü küçük A-box (bir kutu çeşidi) üretimini gerçekleştiren Emba175 ve Martin618 makinelerinin yer aldığı gruptur. Üretim kapasitesi yüksek ve sözleşmeli müşteri oranı yüksek olan gruba Şubat ayı boyunca toplam 372 ürün atanmıştır. Bir günde ortalama 19 ürünün ataması yapılmıştır. Müşterilerden gelen talep Şubat ayının ilk yarısında düşük olduğu için boş kapasite vardır, ayın ikinci yarısında talep artmış, boş kapasite azalmış ve ayın son günlerinde talep düşmüştür. Karşılaştırmalı sonuçlar Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Mevcut durumda bir günde ortalama 56.911 vuruş boşluk kalırken, model sonucu ile boşluk değeri ortalama 27.790 vuruşa indirilmiştir. Özetle boşluk değeri

%51 oranında azaltılmıştır. Müşterilerin taleplerinin az olduğu günlerde gecikme yaşanmamıştır. Ancak talepler arttığında model sonuçlarının mevcut durumdan daha iyi olduğu gözlenmektedir. Mevcut durumda bir gündeki ağırlıklı gecikme değeri ortalama 0,231 iken önerilen model ile bu değer 0,061'e düşürülmüştür. Özetle önerilen model boşluk değerlerini azaltarak kapasiteyi daha verimli kullanmış ve ağırlıklı gecikmeyi azaltmıştır.

Çizelge 5.1. Grup 1 karşılaştırmalı sonuçları

Çalışma bilgileri	**gecikme ve boşluk 1**	**model sonuçları**	**mevcut durum**
Sip açılış tarihi 01.02.2019	G B1	0 7.762	0,486 44.341
Sip açılış tarihi 04.02.2019	G B1	0 1.263	0 64.242
Sip açılış tarihi 05.02.2019	G B1	0 110.465	0 140.465
Sip açılış tarihi 06.02.2019	G B1	0 154.593	0 196.793
Sip açılış tarihi 07.02.2019	G B1	0 105.470	0 120.950
Sip açılış tarihi 08.02.2019	G B1	0 0	0 20.600
Sip açılış tarihi 11.02.2019	G B1	0 12.630	0 13.327
Sip açılış tarihi 12.02.2019	G B1	0 0	0,073 17.418
Sip açılış tarihi 13.02.2019	G B1	0 25.013	0 110.000
Sip açılış tarihi 14.02.2019	G B1	0 10.860	0,68 34.000
Sip açılış tarihi 15.02.2019	G B1	0,643 0	0,73 0
Sip açılış tarihi 16.02.2019	G B1	0 0	0,73 1.098
Sip açılış tarihi 18.02.2019	G B1	0,073 8.484	0,146 51.928
Sip açılış tarihi 19.02.2019	G B1	0,146 1.628	0,292 1.900
Sip açılış tarihi 20.02.2019	G B1	0 6.220	0,292 6.500
Sip açılış tarihi 21.02.2019	G B1	0 497	0,292 9.000
Sip açılış tarihi 22.02.2019	G B1	0 4.400	0 77.260
Sip açılış tarihi 25.02.2019	G B1	0,292 4.000	0,584 5.877
Sip açılış tarihi 26.02.2019	G B1	0 82.634	0 110.553
Sip açılış tarihi 27.02.2019	G B1	0 47.681	0 86.405
Sip açılış tarihi 28.02.2019	G B1	0 0	0,146 82.475

Grup 2 ölçüsü büyük olan A-box (bir kutu çeşidi) üretimini gerçekleştiren Emba245-A ve Emba245-B makinelerinin yer aldığı gruptur. İlgili gruba Şubat ayı boyunca toplam 614 ürün atanmıştır. Bir günde ortalama 29 ürünün ataması yapılmıştır. Müşterilerden gelen talep değişkenlik göstermektedir. Karşılaştırmalı sonuçlar Çizelge 5.2.'de verilmiştir. Mevcut durumda bir günde ortalama 38.336 vuruş boşluk kalırken, model sonucu ile boşluk değeri ortalama 25.324 vuruşa indirilerek boşluk değeri %33,9 oranında azaltılmıştır. Müşterilerin taleplerinin az olduğu günlerde gecikme yaşanmamıştır ancak talepler arttığında model sonuçlarının mevcut durumdan daha iyi olduğu gözlenmektedir. Mevcut durumda bir gündeki ağırlıklı gecikme değeri ortalama 0,400 iken önerilen model çözümü ile bu değer 0,174'e düşürülmüştür. Özetle model boşluk değerlerini düşürerek kapasiteyi daha verimli kullanmış ve ağırlıklı gecikmeyi azaltmıştır.

Çizelge 5.2. Grup 2 karşılaştırmalı sonuçları

Çalışma bilgileri	**gecikme ve boşluk 1**	**model sonuçları**	**mevcut durum**
Sip açılış tarihi 01.02.2019	G B1	0,304 550	1,59 40.000
Sip açılış tarihi 04.02.2019	G B1	0 24.312	0,456 27.000
Sip açılış tarihi 05.02.2019	G B1	0,076 288	0,152 37000
Sip açılış tarihi 06.02.2019	G B1	0,804 0	0,956 34.000
Sip açılış tarihi 07.02.2019	G B1	0,076 675	0,304 1.000
Sip açılış tarihi 08.02.2019	G B1	0,228 315	0,304 30.000
Sip açılış tarihi 11.02.2019	G B1	0,076 0	0,152 0
Sip açılış tarihi 12.02.2019	G B1	0,196 20	0,348 1.000
Sip açılış tarihi 13.02.2019	G B1	0,873 530	1,025 5.000
Sip açılış tarihi 14.02.2019	G B1	1,05 1.795	1,126 25.000
Sip açılış tarihi 15.02.2019	G B1	0,152 117	0,228 500
Sip açılış tarihi 16.02.2019	G B1	0 76.253	0 80.003
Sip açılış tarihi 18.02.2019	G B1	0 59.196	0 80.000
Sip açılış tarihi 19.02.2019	G B1	0 22.000	0,152 25.000
Sip açılış tarihi 20.02.2019	G B1	0 48.281	0 68.000
Sip açılış tarihi 21.02.2019	G B1	0 38.110	0 46.000
Sip açılış tarihi 22.02.2019	G B1	0 6.000	0,304 6.500
Sip açılış tarihi 23.02.2019	G B1	0 129.630	0 131.000
Sip açılış tarihi 25.02.2019	G B1	0 52.880	0,076 55.880
Sip açılış tarihi 26.02.2019	G B1	0 46.615	0,304 98.000
Sip açılış tarihi 27.02.2019	G B1	0 47638	0,456 50.000
Sip açılış tarihi 28.02.2019	G B1	0 1.917	0,076 2.500

Grup 3 Dongfang makinesinin yer aldığı gruptur. İlgili gruba Şubat ayı boyunca toplam 237 ürün atanmıştır. Bir günde ortalama 14 ürünün ataması yapılmıştır. Makinenin bir günlük toplam kapasitesi diğer gruplardan düşüktür, müşterilerden gelen talep ise yüksektir, bu nedenle birinci günün kalan boş kapasitesi diğer makine gruplarına göre daha düşüktür. Model ve mevcut durumun karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 5.3.'te

verilmiştir. Mevcut durumda bir günde ortalama 3.093 vuruş boşluk kalırken, model sonucu ile boşluk değeri ortalama 626 vuruşa indirilerek, boşluk değeri %79,6 oranında azaltılmıştır. Mevcut durumda bir gündeki ağırlıklı gecikme değeri ortalama 1,992 iken önerilen model ile bu değer 1,873'e düşürülmüştür. Özetle model boşluk değerlerini düşürerek kapasiteyi daha verimli kullanmış ve ağırlıklı gecikmeyi azaltmıştır.

Çizelge 5.3. Grup 3 karşılaştırmalı sonuçları

Çalışma bilgileri	**gecikme ve boşluk 1**	**model sonuçları**	**mevcut durum**
Sip açılış tarihi 01.02.2019	G B1	2,354 0	2,612 1.000
Sip açılış tarihi 05.02.2019	G B1	1,486 211	2,246 5.000
Sip açılış tarihi 06.02.2019	G B1	1,652 265	1,728 11.952
Sip açılış tarihi 07.02.2019	G B1	2,238 1.116	2,39 1.667
Sip açılış tarihi 08.02.2019	G B1	2,238 1.824	2,39 2.000
Sip açılış tarihi 11.02.2019	G B1	3,599 388	3,675 856
Sip açılış tarihi 13.02.2019	G B1	4,018 58	4,094 7.000
Sip açılış tarihi 14.02.2019	G B1	2,896 108	2,972 675
Sip açılış tarihi 15.02.2019	G B1	2,712 516	2,972 1.100
Sip açılış tarihi 19.02.2019	G B1	0,912 1.998	0,988 2.000
Sip açılış tarihi 20.02.2019	G B1	0,456 404	0,912 5.000
Sip açılış tarihi 21.02.2019	G B1	1,546 883	1,622 1.000
Sip açılış tarihi 22.02.2019	G B1	0,862 0	0,912 0
Sip açılış tarihi 25.02.2019	G B1	0,608 0	1,216 1.000
Sip açılış tarihi 26.02.2019	G B1	1,572 540	1,648 9.000
Sip açılış tarihi 27.02.2019	G B1	0,532 1.200	0,532 1833
Sip açılış tarihi 28.02.2019	G B1	1,903 1.130	2,023 1.500

Grup 4 Bobst ve Eterna Maxcut makinelerinin yer aldığı gruptur. İlgili gruba Şubat ayı boyunca toplam 329 ürün atanmıştır. Bir günde ortalama 18 ürünün ataması yapılmıştır. Model ve mevcut durumun karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 5.4.'te verilmiştir. Mevcut durumda bir günde ortalama 15.488 vuruş boşluk kalırken, model sonucu ile boşluk değeri ortalama 5.331 vuruşa indirilerek boşluk değeri %65,5 oranında azaltılmıştır. Mevcut durumda bir gündeki ağırlıklı gecikme değeri ortalama 0,611 iken önerilen model ile bu değer 0,419'a düşürülmüştür. Özetle model boşluk değerlerini düşürerek kapasiteyi daha verimli kullanmış ve ağırlıklı gecikmeyi azaltmıştır.

Çizelge 5.4. Grup 4 karşılaştırmalı sonuçları

Çalışma bilgileri	**gecikme ve boşluk 1**	**model sonuçları**	**mevcut durum**
Sip açılış tarihi 01.02.2019	G B1	0 1.667	0 1.700
Sip açılış tarihi 04.02.2019	G B1	0 3.071	0 3.071
Sip açılış tarihi 06.02.2019	G B1	0 0	0,172 1.000
Sip açılış tarihi 07.02.2019	G B1	0 18.167	0,172 21.000
Sip açılış tarihi 08.02.2019	G B1	0 5.378	0 36.000
Sip açılış tarihi 11.02.2019	G B1	0 889	0,838 14.000
Sip açılış tarihi 12.02.2019	G B1	0,048 528	0,096 10.000
Sip açılış tarihi 13.02.2019	G B1	0 8.293	0,048 37.000
Sip açılış tarihi 15.02.2019	G B1	0 23.181	0,516 30.000
Sip açılış tarihi 18.02.2019	G B1	0 4.783	0,096 36.000
Sip açılış tarihi 19.02.2019	G B1	0,086 7.250	0,172 32.000
Sip açılış tarihi 20.02.2019	G B1	0 18.000	0,395 34.750
Sip açılış tarihi 21.02.2019	G B1	0 1.614	0,395 4.000
Sip açılış tarihi 22.02.2019	G B1	2,912 2.167	3,008 2.200
Sip açılış tarihi 25.02.2019	G B1	1,580 83	1,676 83
Sip açılış tarihi 26.02.2019	G B1	0,395 0	0,471 0
Sip açılış tarihi 27.02.2019	G B1	0,471 283	0,491 500
Sip açılış tarihi 28.02.2019	G B1	1,185 600	1,233 1000

Grup 5, Omega165-A ve Omega165-B makinelerinin olduğu makine grubudur. Bu makine grubunda üretim yapılacak ürünlerin mutlaka Grup 4'te üretilmesi gerekmektedir. Modelin çözümü Grup 4 ile birlikte gerçekleştirilmiştir. İkincil makine olduğu için

müşterilerden gelen talep diğer makine grupları kadar yüksek değildir, bu nedenle boş kapasite kalmaktadır. İşletme, boş kalan kapasite çok yüksek olduğunda vardiya kapatmaktadır. Bu nedenle amaç fonksiyonunda sadece Grup 4'ün kalan boş kapasitesi enküçüklenmiş ve iki makine grubu birlikte çözülmüştür. Bu grubun da önerilen model sonuçlarında ağırlıklı gecikmesi mevcut duruma göre daha düşüktür.

Mevcut durumda boşlukların en küçüklenmesi işlemi tüm siparişlerin atanmasından sonra ikinci bir iş olarak yapılmaktadır. Bu durum satış planlama sorumlusu için ekstra bir iş yükü olmakta ve minimum yarım saat zamanını almaktadır. Model bu işlemi atama esnasında yaptığı için ilgili kişi için iş yükünü de ortadan kaldırmıştır. Özel sektörün yoğun çalışma temposunda beş dakika bile önemliyken böylesi bir iyileştirme çok değerlidir.

Boşluk2 ve Boşluk3'ün enküçüklenmesi ile daha sonraki günlerde çözülen modeller için de B1 değerlerinin düşük olması sağlanmıştır. Ayrıca, Boşluk2 ve Boşluk3'ün enküçüklenmesi ile işletmeye esneklik getirilmiştir. Bu durum şöyle açıklanabilir. Erken teslim almayı kabul eden bir müşteriye istediği termin tarihinden önceye atama yapıldı ve kapasite dolduruldu ise kapasitesi dolu olan güne acil siparişi gelen müşterinin siparişi, bu sipariş ötelenerek alınabilir. Böylece her iki müşteri için de mağduriyet yaşanmamış olur. Bütün boşluk değerleri EK.'de yer almaktadır. Grup 1 için boşluk değerleri EK-1'de, Grup 2 için boşluk değerleri EK-2'de, Grup 3 için boşluk değerleri EK-3'te, Grup 4 için boşluk değerleri EK-4'te yer almaktadır.

5.2. Ağırlıklar Üzerine Duyarlılık Analizi

Ele alınan sektörün dinamik yapısı nedeniyle uygulanan satış stratejileri değişebilir ya da farklı bir karar verici farklı ağırlıklar kullanarak modeli çözmek isteyebilir. Bunun için değişen ağırlıkların sonuca olan etkisini tespit etmek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Her grup için ağırlıklar ilk etapta %10 oranında değiştirilerek 5 günlük sipariş verisiyle her grup için model tekrar çözülmüştür. Sonuçlar her grup için ayrı ayrı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Grup 1 için sözleşmeli müşterilerin büyük işinin ağırlığı artırılırken, küçük işinin ağırlığı azaltılmıştır. Piyasa müşterisinin büyük işinin ağırlığı artarken küçük işinin ağırlığı azaltılmıştır. Belirlenen yeni ağırlıklar ile model 5 günde toplam 74 iş için çözülmüştür. Ağırlık tablosu Çizelge 5.5.'deki gibidir.

Çizelge 5.5. Grup 1 %10 değiştirilen ağırlık tablosu

Faktör	Ağırlık	%10 oranında değiştirilen ağırlık
Sözleşmeli müşterinin büyük işi	0,473	0,520
Sözleşmeli müşterinin küçük işi	0,284	0,255
Piyasa müşterisinin büyük işi	0,170	0,187
Piyasa müşterisinin küçük işi	0,073	0,038

Sonuçlar incelendiğinde ilk durumda istenilen termin tarihinden 1 gün öncesine atanan işlerin ağırlığı azaltıldığında tam termin gününe atandığı eğer istenilen termin tarihine atandı ise bir gün geciktirildiği gözlemlenmiştir. Ancak bu işlerin sayısı çok azdır. Erken verilme durumu 0 olan işlerin ağırlık değişse bile aynı güne atandığı görülmüştür. Ayrıca atama yapılacak günün boş kapasitesi, o güne ataması yapılacak işlerin kapasite kullanımı toplamından çok yüksek olduğu günlerdeki işlerin ağırlık değişse bile aynı güne atandığı görülmüştür. Toplam değişimin görülmesi için özet bilgi Çizelge 5.6.'daki gibidir. Bir gündeki değişimin aktarılabilmesi için Çizelge 5.7.'de 04.02.2019 tarihinde ataması yapılan işler verilmiştir.

Çizelge 5.6. Grup 1 %10 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu

Sipariş açılış tarihi	Toplam iş sayısı	Atama günü değişen iş sayısı	B1'deki değişim yüzdesi
04.02.2019	23	8	50
05.02.2019	9	0	0
06.02.2019	17	2	0
07.02.2019	8	1	0
08.02.2019	17	1	0

Çizelge 5.7. Grup 1 04.02.2019 tarihinde atanan işlerin atama karşılaştırılması

iş no	ağırlık	istenen termin	ilk atama	ağırlık değişince atama
1	0,227	14	13	14
2	0,227	9	8	8
3	0,227	15	14	14
4	0,227	11	10	10
5	0,567	12	12	12
6	0,567	12	12	12
7	0,227	13	12	13
8	0,227	13	12	13
9	0,227	13	12	13
10	0,227	13	12	13
11	0,227	15	14	14
12	0,001	1	1	1
13	0,001	1	1	1
14	0,001	1	1	1
15	0,001	1	1	1
16	0,001	1	1	1
17	0,001	1	1	1
18	0,001	1	1	2
19	0,001	1	1	1
20	0,204	1	1	1
21	0,001	1	1	2
22	0,001	3	2	2
23	0,001	5	2	3

Diğer gruplar için sonuçlar tablolar halinde özetlenmiştir. Grup 2 için ağırlık tablosu Çizelge 5.8'deki gibidir. Toplam değişimin görülmesi için özet bilgi Çizelge 5.9.'daki gibidir.

Çizelge 5.8. Grup 2 %10 değiştirilen ağırlık tablosu

Faktör	Ağırlık	%10 oranında değiştirilen ağırlık
Sözleşmeli müşterinin büyük işi	0,373	0,335
Sözleşmeli müşterinin küçük işi	0,355	0,319
Piyasa müşterisinin büyük işi	0,196	0,215
Piyasa müşterisinin küçük işi	0,076	0,131

Çizelge 5.9. Grup 2 %10 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu

Sipariş açılış tarihi	Toplam iş sayısı	Atama günü değişen iş sayısı	B1'deki değişim yüzdesi
01.02.2019	31	3	0
04.02.2019	25	1	0
05.02.2019	23	1	0
06.02.2019	50	18	0
07.02.2019	21	2	0

Grup 3 için ağırlık tablosu Çizelge 5.10.'daki gibidir. Toplam değişimin görülmesi için özet bilgi Çizelge 5.11.'deki gibidir.

Çizelge 5.10. Grup 3 %10 değiştirilen ağırlık tablosu

Faktör	Ağırlık	%10 oranında değiştirilen ağırlık
Sözleşmeli müşterinin büyük işi	0,373	0,335
Sözleşmeli müşterinin küçük işi	0,355	0,390
Piyasa müşterisinin büyük işi	0,196	0,186
Piyasa müşterisinin küçük işi	0,076	0,097

Çizelge 5.11 Grup 3'ün %10 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu

Sipariş açılış tarihi	Toplam iş sayısı	Atama günü değişen iş sayısı	B1'deki değişim yüzdesi
01.02.2019	17	3	0
05.02.2019	17	3	0
06.02.2019	12	1	0
07.02.2019	16	1	0
08.02.2019	15	2	0

Grup 4 için ağırlık tablosu Çizelge 5.12.'deki gibidir. Toplam değişimin görülmesi için özet bilgi Çizelge 5.13.'teki gibidir.

Çizelge 5.12. Grup 4 %10 değiştirilen ağırlık tablosu

Faktör	Ağırlık	%10 oranında değiştirilen ağırlık
Sözleşmeli müşterinin büyük işi	0,471	0,423
Sözleşmeli müşterinin küçük işi	0,395	0,355
Piyasa müşterisinin büyük işi	0,086	0,094
Piyasa müşterisinin küçük işi	0,048	0,126

Çizelge 5.13. Grup 4 %10 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu

Sipariş açılış tarihi	Toplam iş sayısı	Atama günü değişen iş sayısı	B1'deki değişim yüzdesi
01.02.2019	36	2	0
04.02.2019	15	2	0
06.02.2019	10	0	0
07.02.2019	6	0	0
08.02.2019	6	1	0

Ağırlık değerlerinin %10 değiştirilmesiyle hesaplanan atama değerlerindeki değişimin çok az olduğu görülmüştür. Bu nedenle ağırlıklar %20 değiştirilerek model tekrar çözülmüştür. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.14. Grup 1 %20 değiştirilen ağırlık tablosu

Faktör	Ağırlık	%20 oranında değiştirilen ağırlık
Sözleşmeli müşterinin büyük işi	0,473	0,567
Sözleşmeli müşterinin küçük işi	0,284	0,227
Piyasa müşterisinin büyük işi	0,170	0,204
Piyasa müşterisinin küçük işi	0,073	0,001

Çizelge 5.15. Grup 1 %20 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu

Sipariş açılış tarihi	Toplam iş sayısı	Atama günü değişen iş sayısı	B1'deki değişim yüzdesi
04.02.2019	23	14	100
05.02.2019	9	0	0
06.02.2019	17	2	0
07.02.2019	8	3	0
08.02.2019	17	1	0

Çizelge 5.16. Grup 2 %20 değişen ağırlık tablosu

Faktör	Ağırlık	%20 oranında değiştirilen ağırlık
Sözleşmeli müşterinin büyük işi	0,373	0,298
Sözleşmeli müşterinin küçük işi	0,355	0,284
Piyasa müşterisinin büyük işi	0,196	0,235
Piyasa müşterisinin küçük işi	0,076	0,182

Çizelge 5.17 Grup 2 %20 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu

Sipariş açılış tarihi	Toplam iş sayısı	Atama günü değişen iş sayısı	B1'deki değişim yüzdesi
01.02.2019	31	5	0
04.02.2019	25	1	0
05.02.2019	23	3	0
06.02.2019	50	25	0
07.02.2019	21	4	0

Çizelge 5.18. Grup 3 %20 değiştirilen ağırlık tablosu

Faktör	Ağırlık	%20 oranında değiştirilen ağırlık
Sözleşmeli müşterinin büyük işi	0,373	0,298
Sözleşmeli müşterinin küçük işi	0,355	0,426
Piyasa müşterisinin büyük işi	0,196	0,156
Piyasa müşterisinin küçük işi	0,076	0,118

Çizelge 5.19. Grup 3 %20 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu

Sipariş açılış tarihi	Toplam iş sayısı	Atama günü değişen iş sayısı	B1'deki değişim yüzdesi
01.02.2019	17	5	0
05.02.2019	17	3	0
06.02.2019	12	2	0
07.02.2019	16	2	0
08.02.2019	15	5	0

Çizelge 5.20. Grup 4 %20 değiştirilen ağırlık tablosu

Faktör	Ağırlık	%20 oranında değiştirilen ağırlık
Sözleşmeli müşterinin büyük işi	0,471	0,376
Sözleşmeli müşterinin küçük işi	0,395	0,316
Piyasa müşterisinin büyük işi	0,086	0,103
Piyasa müşterisinin küçük işi	0,048	0,204

Çizelge 5.21. Grup 4 %20 değişen ağırlıklar ile hesaplanan atama değişim tablosu

Sipariş açılış tarihi	Toplam iş sayısı	Atama günü değişen iş sayısı	B1'deki değişim yüzdesi
01.02.2019	36	3	0
04.02.2019	15	2	0
06.02.2019	10	0	0
07.02.2019	6	0	0
08.02.2019	6	1	0

Ağırlıkların %20 değiştirilmesiyle bile sonuçlarda çok fazla değişim olmamıştır. Bu nedenle ağırlıkların kesin olarak bilinemeyeceği göz önüne alındığında bile sonuçların büyük ölçüde geçerli olacağı düşünülmektedir.

5.3. İkinci Modelin Uygulama Sonuçları

Çizelgeleme ve sıralama problemleri ayrı ayrı çözülmüştür. Bunun sebepleri şu şekilde açıklanabilir: Öncelikle, bir ürün, en erken siparişin geldiği günden üç iş günü sonrasına ve en geç siparişin geldiği günden 20 iş günü sonrasına atanabilir. Yapılan atamadan sonra makine grubunda siparişin atanabileceği ilk günün siparişleri netleşmiş olur ve sıralanabilir, ancak diğer günlere yeni siparişler de atanabileceği için ilgili günlerin ürünleri değişebilir, sıralamalar da değişeceği için sıralama yapmak mantıklı olmayacaktır. Ayrıca, değişen işletme koşulları göz önüne alınarak sıralama yapılmalıdır. Burada farklı faktörler vardır ve mevcut koşullar göz önüne alınarak hangi faktörün önemli olduğuna karar verilir. Farklı öncelikler için farklı alternatif çözümler olacağı için sıralamayı sonra yapmak son durumu en iyi şekilde çözüme dâhil etmemizi sağlar.

Bu bölümde öncelikle üç faktörden bir tanesi ana kriter seçilerek Şubat ayına atanan tüm siparişler için sıralama işlemi gerçekleştirilecektir. Ardından örnek bir gün için en önemli faktör ve daha az öneme sahip faktörler belirlenip, bunların üst sınırları küçültülerek farklı farklı çözümler gösterilecektir.

Teze konu olan işletme için müşteri memnuniyetini sağlamak en önemli amaçtır. Bu nedenle ikinci modelin çözümünde yer alan faktörlerden uzak illere ait siparişlerin önce tamamlanması en önemli faktördür kabulü ile çözüm gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle her bir gruba ait siparişlerin atama sonuçları alınarak bunların kalıp kodu, lokasyon ve uzaklıkları belirlenir. Kalıp kodu ve sevk ili işletmenin kullandığı programdan alınır. Kalıp için her grupta son 3 hane alınmıştır. Lokasyon için alfabetik sıraya göre 1'den 7'ye kadar sıra verilmiştir. Uzaklık ise Eskişehir ile sevk edilecek lokasyonlar arasındaki ortalama uzaklıktır.

Çizelge 5.22. Siparişlerin lokasyon ve uzaklık bilgileri

SEVK İLİ	LOKASYON	UZAKLIK
AFYON	1	135
ANKARA	2	235
ANTALYA	3	420
BİLECİK	4	82
BURDUR	5	295
ÇANKIRI	6	380
ESKİŞEHİR	7	10
KARABÜK	8	425
KARAMAN	9	450
KONYA	10	340
KÜTAHYA	11	80
STOK	12	0

Çizelge 5.23. Sıralama modelinin tüm verisi

atanan tar	sip vuruş	firma_ad	urun_ad	sevk il	kalıp kodu	kalıp	lokasyon	uzaklik
05.02.2019	3.825	DOĞADAN (	07.1002.007 MİGROS-TANSAŞ 48'I	ANKARA	0	0	2	235
05.02.2019	9.600	DOĞADAN (	07.9999.007 MIGROS 12'LIK KOLI	ANKARA	EM1_035	35	2	235
05.02.2019	75.000	DOĞADAN (	01.9996.007 DOĞADAN 12'LİK HO	ANKARA	0	0	2	235
05.02.2019	19.000	TEKİNAK G	BERRAK SPAGHETTİ 200GRX40	ÇANKIRI	EM1_007	7	6	380
05.02.2019	10.000	ELVAN GID	1400006489 CANDY BREAK KOL	ESKİŞEHİR	0	0	7	10
05.02.2019	5.000	ETİ GIDA SA	20009795-28604(G0A1B0) BROWN	BİLECİK	EM1_028	28	4	82
05.02.2019	50.000	ETİ GIDA SA	20009757-40318(G0A0B0) NEGRO I	ESKİŞEHİR	EM1_170	170	7	10
05.02.2019	5.000	ETİ GIDA SA	20008865-27314(G0A1B0) CİN POR	ESKİŞEHİR	EM1_157	157	7	10
05.02.2019	3.000	ETİ GIDA SA	20008970-16299(G0A1BO) WHOLA	ESKİŞEHİR	EM1_109	109	7	10
05.02.2019	32.000	ETİ GIDA SA	20005799-24115(G0A2B0) BURÇAK	ESKİŞEHİR	EM1_050	50	7	10
05.02.2019	3.500	ETİ GIDA SA	20008438-76124(G0A0B0) COCOA	ESKİŞEHİR	0	0	7	10
05.02.2019	1.400	ETİ GIDA SA	20010292-11399(G0A0B0) KOMBO	ESKİŞEHİR	EM1_143	143	7	10
05.02.2019	9.000	ETİ GIDA SA	20008293-35110(G0A0B0) ABOX-B	ESKİŞEHİR	EM1_117	117	7	10
05.02.2019	5.000	ETİ GIDA SA	20007677-32788(G1A1B1) PETİTO I	ESKİŞEHİR	0	0	7	10
05.02.2019	5.600	NUH'UN AN	NUK VERONELLİ O.P.P. LINGUI	ANKARA	0	0	2	235
05.02.2019	8.850	PAŞABAHÇ	55072 B.DK.2X1 170X266X162 MM	ESKİŞEHİR	0	0	7	10
05.02.2019	4.063	PAŞABAHÇ	2000074708-53702 B.DK.2X8 411X1	ESKİŞEHİR	0	0	7	10
05.02.2019	23.000	UNILEVER S	67637874 ELİDOR 500ML SEREND	KONYA	0	0	10	340
05.02.2019	100.000	UNİLEVER S	15057622-M TİPİ	KONYA	0	0	10	340
05.02.2019	3.152	ÜLKER BİSK	40044545 1077-1 KL İKRAM KREM	ANKARA	EM1_024	24	2	235
05.02.2019	3.000	ÜLKER BİSK	40044545 1077-1 KL İKRAM KREM	ANKARA	EM1_024	24	2	235

Kalıp değişiminin olabilecek en yüksek değeri sıralaması yapılacak iş sayısı olarak belirlenmiştir. Lokasyon değişiminin olabilecek en yüksek değeri sıralaması yapılacak iş sayısı olarak belirlenmiş ve model çözülmüştür. Çizelge 5.24. Grup 1 için, Çizelge 5.25. Grup 2 için, Çizelge 5.26. Grup 3 için ve Çizelge 5.27. Grup 4 için ikinci model sonuçlarını vermektedir.

Çizelge 5.24. Grup 1 sıralama modeli sonuçları

01.02.2019		02.02.2019		04.02.2019		05.02.2019		06.02.2019	
Z1	6	Z1	10	Z1	6	Z1	7	Z1	12
Z2	6	Z2	4	Z2	4	Z2	5	Z2	4
Z3	42250	Z3	13839	Z3	11610	Z3	22615	Z3	17791
07.02.2019		**08.02.2019**		**09.02.2019**		**11.02.2019**		**12.02.2019**	
Z1	7	Z1	8	Z1	5	Z1	6	Z1	6
Z2	4	Z2	5	Z2	7	Z2	3	Z2	2
Z3	6305	Z3	6591	Z3	8726	Z3	2156	Z3	3355
13.02.2019		**14.02.2019**		**15.02.2019**		**16.02.2019**		**18.02.2019**	
Z1	15	Z1	3	Z1	7	Z1	6	Z1	4
Z2	5	Z2	1	Z2	3	Z2	2	Z2	3
Z3	25549	Z3	375	Z3	2733	Z3	2115	Z3	9320
19.02.2019		**20.02.2019**		**21.02.2019**		**22.02.2019**		**23.02.2019**	
Z1	13	Z1	5	Z1	12	Z1	12	Z1	8
Z2	4	Z2	5	Z2	6	Z2	6	Z2	4
Z3	7885	Z3	12751	Z3	27130	Z3	17940	Z3	5650
25.02.2019		**26.02.2019**		**27.02.2019**		**28.02.2019**		**01.03.2019**	
Z1	5	Z1	2	Z1	4	Z1	3	Z1	6
Z2	4	Z2	3	Z2	5	Z2	3	Z2	5
Z3	7730	Z3	11110	Z3	10733	Z3	7330	Z3	26015

Çizelge 5.25. Grup 2 sıralama modeli sonuçları

01.02.2019		02.02.2019		04.02.2019		05.02.2019		06.02.2019	
Z1	6	Z1	8	Z1	9	Z1	7	Z1	4
Z2	4	Z2	2	Z2	7	Z2	3	Z2	4
Z3	36280	Z3	8340	Z3	52040	Z3	29330	Z3	29949
07.02.2019		**08.02.2019**		**09.02.2019**		**11.02.2019**		**12.02.2019**	
Z1	6	Z1	8	Z1	7	Z1	5	Z1	8
Z2	3	Z2	7	Z2	6	Z2	4	Z2	4
Z3	20595	Z3	24575	Z3	53285	Z3	28270	Z3	27395
13.02.2019		**14.02.2019**		**15.02.2019**		**16.02.2019**		**18.02.2019**	
Z1	8	Z1	8	Z1	7	Z1	5	Z1	3
Z2	5	Z2	6	Z2	5	Z2	7	Z2	4
Z3	20910	Z3	18620	Z3	92305	Z3	48105	Z3	31320
19.02.2019		**20.02.2019**		**21.02.2019**		**22.02.2019**		**23.02.2019**	
Z1	4	Z1	5	Z1	8	Z1	7	Z1	9
Z2	6	Z2	4	Z2	6	Z2	6	Z2	5
Z3	59346	Z3	39197	Z3	47078	Z3	36424	Z3	36520
25.02.2019		**26.02.2019**		**27.02.2019**		**28.02.2019**		**01.03.2019**	
Z1	2	Z1	4	Z1	11	Z1	10	Z1	8
Z2	4	Z2	6	Z2	6	Z2	3	Z2	3
Z3	4562	Z3	25025	Z3	65526	Z3	29340	Z3	13185

Çizelge 5.26. Grup 3 sıralama modeli sonuçları

01.02.2019		02.02.2019		04.02.2019		05.02.2019		06.02.2019	
Z1	11	Z1	10	Z1	7	Z1	11	Z1	9
Z2	3	Z2	2	Z2	1	Z2	2	Z2	2
Z3	6267	Z3	6265	Z3	3735	Z3	9335	Z3	6465
07.02.2019		**08.02.2019**		**09.02.2019**		**11.02.2019**		**12.02.2019**	
Z1	8	Z1	9	Z1	8	Z1	6	Z1	9
Z2	1	Z2	2	Z2	2	Z2	2	Z2	3
Z3	5925	Z3	5550	Z3	4735	Z3	7280	Z3	11665
13.02.2019		**14.02.2019**		**15.02.2019**		**16.02.2019**		**18.02.2019**	
Z1	9	Z1	10	Z1	10	Z1	8	Z1	7
Z2	3	Z2	3	Z2	4	Z2	1	Z2	2
Z3	10188	Z3	11435	Z3	12580	Z3	13285	Z3	2970
19.02.2019		**20.02.2019**		**21.02.2019**		**22.02.2019**		**23.02.2019**	
Z1	7	Z1	7	Z1	8	Z1	8	Z1	12
Z2	3	Z2	3	Z2	2	Z2	1	Z2	2
Z3	5046	Z3	3541	Z3	4520	Z3	8550	Z3	11696
25.02.2019		**26.02.2019**		**27.02.2019**		**28.02.2019**		**01.03.2019**	
Z1	5	Z1	8	Z1	12	Z1	7	Z1	9
Z2	3	Z2	2	Z2	3	Z2	3	Z2	3
Z3	1435	Z3	10860	Z3	8980	Z3	1569	Z3	7795

Çizelge 5.27. Grup 4 sıralama modeli sonuçları

01.02.2019		02.02.2019		04.02.2019		05.02.2019		06.02.2019	
Z1	16	Z1	20	Z1	11	Z1	11	Z1	11
Z2	0	Z2	0	Z2	0	Z2	0	Z2	0
Z3	1900	Z3	2310	Z3	910	Z3	1200	Z3	780
07.02.2019		**08.02.2019**		**09.02.2019**		**11.02.2019**		**12.02.2019**	
Z1	15	Z1	9	Z1	14	Z1	9	Z1	20
Z2	2	Z2	0	Z2	1	Z2	0	Z2	1
Z3	4040	Z3	550	Z3	1585	Z3	660	Z3	3760
13.02.2019		**14.02.2019**		**15.02.2019**		**16.02.2019**		**18.02.2019**	
Z1	11	Z1	12	Z1	10	Z1	10	Z1	8
Z2	2	Z2	1	Z2	0	Z2	1	Z2	0
Z3	1415	Z3	1270	Z3	780	Z3	885	Z3	550
19.02.2019		**20.02.2019**		**21.02.2019**		**22.02.2019**		**23.02.2019**	
Z1	11	Z1	12	Z1	11	Z1	11	Z1	12
Z2	1	Z2	3	Z2	1	Z2	1	Z2	2
Z3	1620	Z3	3385	Z3	1005	Z3	2035	Z3	1190
25.02.2019		**26.02.2019**		**27.02.2019**		**28.02.2019**		**01.03.2019**	
Z1	11	Z1	13	Z1	13	Z1	15	Z1	11
Z2	0	Z2	1	Z2	1	Z2	1	Z2	0
Z3	910	Z3	1425	Z3	1610	Z3	1970	Z3	780

Bahsedildiği gibi, bu çözümler ağırlıklı mesafenin en önemli kriter alınarak enküçüklendiği, ağırlıklı mesafe en küçük değerindeyken de kalıp ve lokasyon

değişiminin mümkün olduğunca düşük tutulduğu değerlerdir. Ancak, sıralama yapılacağın günün koşullarına bağlı olarak kalıp veya lokasyon değişimi de enküçüklenmek istenebilir. Ağırlıklı uzaklık, kalıp değişimi ve lokasyon değişimi kriterlerinin farklı değerleri için alternatif çözümler de karar vericiye sunulabilir. Bu amaçla genişletilmiş epsilon kısıt yöntemi kullanılarak çözümler oluşturulabilir. Örnek olarak Grup 1'in ilk gün sıralaması ele alınmıştır.

Genişletilmiş epsilon kısıt yönteminde öncelikle ödünleşim tablosu oluşturulur. Tüm amaç fonksiyonlarının enküçükleme olduğu bir problemde ödünleşim tablosunun her satırı için ayrı bir amaç fonksiyonu enküçüklenir. Bu çözümlerin her birinde diğer amaç fonksiyonları için elde edilen değerler de hasaplanır ve satırdaki ilgili yerlere yazılır. Köşegen değerleri ilgili faktörlerin amaç fonksiyonlarının en iyi değerlerini gösterir ve ilgili faktörlerin alt sınır değerini oluşturur. Ardından her bir sütunun en büyük değerleri alınarak ilgili faktörlerin üst sınırları oluşturulur. Alt ve üst sınır değerleri belirlendikten sonra ilgili faktörün üst sınırı ve alt sınırı arasındaki tüm değerler birer birer azaltılarak çözümler oluşturulur. Ödünleşim tablosunun genel yapısı aşağıdaki çizelgede verilmiştir; Zab, a amaç fonksiyonu eniyilendiğinde elde edilen b amaç fonksiyonu değerini göstermektedir.

Çizelge 5.28. Genel ödünleşim tablosu yapısı

	Z1	Z2	Z3
Min Z1	Z1*	Z12	Z13
Min Z2	Z21	Z2*	Z23
Min Z3	Z31	Z32	Z3*

Grup 1'in ilk gün sıralaması için çözümler yapıldığında aşağıdaki ödünleşim tablosu elde edilmektedir.

Çizelge 5.29. Grup 1'in ilk günü için ödünleşim tablosu

	Z1	Z2	Z3
Min Z1	5	8	52.670
Min Z2	6	6	42.250
Min Z3	6	6	42.250

Z1 için alt ve üst sınırlar 5 ve 6, Z2 için ise 6 ve 8 olarak bulunmuştur. Bunun devamında sıralama modeli *ubk* değerleri için 5 ve 6, *ubl* değerleri için 6, 7 ve 8 kullanılarak bunların her kombinasyonu ile çözülür.

Ele alınan grup ve gün için bu prosedür sonrasında ödünleşim tablosundaki çözümler elde edilmektedir, daha fazla alternatif çözüm çıkmamaktadır. Karar verici sıralama yapılacak günün koşullarına bağlı olarak kalıp değişimini mümkün olduğunca düşük istiyorsa Z1=5, Z2=8, Z3=52.670 değerleine sahip olan çözümü seçebilir. Lokasyon değişimi ve ağırlıklı uzaklık daha önemli ise Z1=6, Z2=6, Z3=42.250 çözümü seçilmelidir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada siparişe dayalı üretim yapan bir kutu ambalaj işletmesi için müşteri siparişlerinin çizelgelemesi ve sıralaması amacıyla bir yaklaşım önerilmiştir. Yaklaşım siparişlerin günlere atanması ve sıralanması için iki tamsayılı matematiksel model çözmektedir. Atama modelinin amacı ağırlıklı gecikmeyi en küçüklerken, atama yapılabilir ilk günün boş kalan kapasitesini enküçüklemektir. Literatür incelendiğinde ilgili sektörde yapılan benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ağırlıklı gecikme üzerine geliştirilen amaç fonksiyonuna sahip çalışmalar olmasına rağmen bunların hiçbirinde ağırlıkların hesaplanma yöntemi yer almamıştır. Literatürdeki çalışmaların birçoğunda özellikle de problemin boyutu büyüdüğünde sezgisel yöntemler kullanılmış, bu çalışmada ise model tamsayılı programlama ile çözülerek kesin sonuçlara ulaşılmıştır. İkinci aşamada model sıralama işlemini gerçekleştirmektedir. Farklı öncelikler için farklı alternatif çözümler olacağı için sıralamayı sonra yapmak son durumu en iyi şekilde çözüme dâhil etmemizi sağlamıştır. Literatür incelendiğinde sıralama problemi aynı anda ya da farklı zamanlarda çözülebilmektedir. Ancak çalışmada yer aldığı gibi farklı öncelikler için bu önceliklere uygun sıralama oluşturan modellere rastlanmamıştır.

Problemin çözümü için öncelikle siparişler günlere atanmıştır, ardından gün içinde sıralama işlemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen modeli sınamak amacıyla 2019 Şubat ayında açılan sipariş verisi kullanılarak mevcut durum ve model sonuçları karşılaştırılmıştır. Şubat ayı boyunca talep edilen toplam 1.552 ürün için model çalıştırılmıştır. Uygulama sonuçları her bir makine grubu için ayrı ayrı hesaplanmış ve her grup için modelin üstünlüğü kanıtlanmıştır. Sırasıyla her grup için iyileştirmeler aşağıdaki gibidir:

Grup 1 için toplam 372 ürünün günlere atanması yapılmıştır. Önerilen model ile makinelerdeki boşluk değeri %51 oranında azaltılmıştır. Mevcut durumda bir gündeki ağırlıklı gecikme değeri ortalama 0,231 iken önerilen model ile bu değer 0,061'e düşürülmüştür. Grup 2 için toplam 614 ürünün günlere atanması yapılmıştır. Önerilen model ile boşluk değeri %33,9 oranında azaltılmıştır. Mevcut durumda bir gündeki ağırlıklı gecikme değeri ortalama 0,400 iken önerilen model çözümü ile bu değer 0,174'e düşürülmüştür. Grup 3 için toplam 237 ürünün günlere atanması yapılmıştır. Önerilen model ile boşluk değeri %79,6 oranında azaltılmıştır. Mevcut durumda bir gündeki

ağırlıklı gecikme değeri ortalama 1,992 iken önerilen model ile bu değer 1,873'e düşürülmüştür. Grup 4 için 329 ürünün günlere atanması yapılmıştır. Önerilen model ile boşluk değeri %65,5 oranında azaltılmıştır. Mevcut durumda bir gündeki ağırlıklı gecikme değeri ortalama 0,611 iken önerilen model ile bu değer 0,419'a düşürülmüştür. Grup 5'in çözümü Grup 4 ile birlikte gerçekleştirilmiştir. İkincil makine olduğu için müşterilerden gelen talep diğer makine grupları kadar yüksek değildir, bu nedenle boş kapasite kalmaktadır. İşletme, boş kalan kapasite çok yüksek olduğunda vardiya kapatmaktadır. Bu nedenle amaç fonksiyonunda sadece Grup 4'ün kalan boş kapasitesi enküçüklenmiş ve iki makine grubu birlikte çözülmüştür. Bu grubun da önerilen model sonuçlarında ağırlıklı gecikmesi mevcut duruma göre daha düşüktür. Özetle model boşluk değerlerini düşürerek kapasiteyi daha verimli kullanmış ve ağırlıklı gecikmeyi azaltmıştır.

Mevcut durumda boşlukların en küçüklenmesi işlemi tüm siparişlerin atanmasından sonra ikinci bir iş olarak yapılmaktadır. Bu durum satış planlama sorumlusu için ekstra bir iş yükü olmakta ve minimum yarım saat zamanını almaktadır. Model bu işlemi atama esnasında yaptığı için ilgili kişi için iş yükünü de ortadan kaldırmıştır. Özel sektörün yoğun çalışma temposunda beş dakika bile önemliyken böylesi bir iyileştirme çok değerlidir.

İkinci modelde ataması yapılan işlerin gün içinde sıralanması işlemi yapılmıştır. Sıralama işleminin atama işleminden ayrı yapılması karar vericinin sıralama yaparkenki son durumu en iyi şekilde çözüme dâhil etmesi ve değişen koşullara uyum sağlayan bir sıralama işlemi yapmasını sağlamıştır. Ayrıca sıralama işlemi sistematik hale getirilmiştir.

Siparişlerin günlere atanması işleminde eski atama tarihleri değiştirilmeden yeni gelen siparişler mevcut günlere atanmıştır. Kapasitenin dolu olduğu zamanlarda müşterilerin acil siparişlerine yanıt verebilmek için eski atama tarihli siparişler ile yeni ataması yapılan siparişler arasında yer değişikliği yapılmaktadır. Ancak mevcut uygulamada bu durum sistematik olmayan bir şekilde ve müşterilerle müzakereler ile yürütülmektedir. Gelecek çalışmalarda bu atama günü değişikliği sürecinin şirket içerisinde resmi ve sistematik olarak tanımlanması, arkasından da bu durumun modele dâhil edilmesi düşünülebilir.

Böylece karar vericiye olan ihtiyaç azaltılacak, ilgili kişinin azalan iş yükü ile başka işleri gerçekleştirilmesi sağlanabilecektir.

Mevcut durumda başka bir departman tarafından yapılan sıralama işlemi, bu çalışmada çözümün ikinci aşaması olarak atamayı yapan kişi tarafından yapılmıştır. Sıralama yaparken işlerin yetişmemesi durumu ancak makine arızası, operatör sorunları ve üretimde zaman zaman ortaya çıkan kağıt ve palet yokluğu gibi sorunlar yaşandığı zaman gerçekleşmektedir. İleride oluklu makinesi sıralaması, kağıt ve palet yokluğu kısıtları göz önüne alınarak bu modelin geliştirilmesi önerilmektedir.

Siparişlerin günlere atanması işleminde makine arızası, operatör problemleri, çevresel faktörler dikkate alınmamıştır. Bu gibi olası senaryolar için simülasyon yapılabılabilir. Örneğin makine arızası olduğu zaman duruş yaşanılan vardiya sayısı, atama yapılacak toplam vardiya sayısından düşülerek mevcutta azalan kapasite, modelde de gösterilebilir. Çevresel faktörlerden örneğin yağışın çok fazla olduğu durumlarda uzak lokasyonlara yapılan sevkiyatlarda yolun kapalı olması sebebiyle sorun yaşandığı için gün içinde sıralanmasında bu işlerin son sırada yer alması önerilmektedir.

Ele alınan çalışmada sadece ilgili makine grubuna özel sıralama işlemi yapılmıştır Aynı müşterinin ürünleri aynı günde farklı makine gruplarında üretilebilir ancak bunların peş peşe üretilmesi durumu sıralama yapılırken göz önüne alınmamıştır. Bunun sebebi birden fazla makine grubunda işi olan müşterilerin siparişleri genelde çok sayıda olduğu için araç doluluğunun tek bir makine grubundaki işle sağlanabilmesidir. Ancak sektörün dinamik yapısı göz önüne alındığında araç doluluğunun sağlanamadığı durumların olabileceği düşünülmektedir. Sorunun çözümü için aynı güne atanan tüm işleri birlikte değerlendirilerek sıralama işleminin buna göre yapılabilir ya da atama yapılmadan önce bu durum dikkate alınarak atama işlemi gerçekleştirebilir. Yalnızca bu duruma bakılarak atama ve sıralama yapılması diğer öncelikleri etkilediği için işletmenin en önemli önceliğinin her zaman sevkiyat verimliliği olması durumu için ayrıca bir çalışma yapılması önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

[1] F.M. Julien and M.J Magazine, Scheduling customer orders: an alternative production scheduling approach: Journal of Manufacturing and Operations Management, 3 **(1990)** 77–199.

[2] A. Güldalı, Seri İş-Akışlı Atölye Çizelgelemesinde Sezgisel Teknikler, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1990.**

[3] M. Pinedo, Scheduling Theory, Algorithms and Systems, third edition, Prentice-Hall Newyork, 13-389, **2008**.

[4] K. R. Baker and D. Trietsch, Principles of sequencing and scheduling, John Wiley & Sons, New Jersey, **2009**.

[5] X. Li, Y.Farouk, A. Lionel, A Multi Objective Meta-heuristic with A Fuzzy Logic Controller for Solving A Scheduling Problem. Computational Intelligence: Foundations and Applications: Proceedings of the 9th International FLINS Conference, Emei, CHINA, 02-04 August **2010**.

[6] P. C. Chang and L. H. Su, Scheduling n Jobs on One Machine to Minimize The Maximum Lateness with a Minimum Number of Tardy Jobs, Computers and Industrial Engineering, 40 **(2001)** 349-360.

[7] C.S. Thomalla, Job shop scheduling with alternative process plans, International Journal of Production Economics, 74 **(2001)** 125-134.

[8] J. Kunadilok, Heuristics For Scheduling Reentrant Flexible Job Shops With SequenceDependent Setup Times and Limited Buffer Capacities, Ph.D. Thesis, Clemson University, A Dissertation Presented to the Graduate School of Clemson University, USA, **2007**.

[9] R. Zhang ve C. Wu, "A Simulated annealing algorithm based on block properties for the job shop scheduling problem with total weighted tardiness objective", Computers & Operations Research, 38 **(2011)** 854-867.

[10] Y. Donoso, R. Fabregat, JL. Marzo, A Multi-Objective Optimization Scheme for Multicast Routing: A Multitree Approach: Telecommunications Systems Journal. Kluwer Academic Publishers. 27 **(2004)** 2-4

[11] T. Weise, GPGPU-based Parallel Algorithms for Scheduling Against Due Date <http://www.it-weise.de>, (Erişim tarihi: **16.04.2019**).

[12] M. Pinedo, Scheduling Theory, Algorithms and Systems, third edition, Prentice-Hall Newyork, 13-389, **2008**.

[13] W. Xia and Z. Wu, An effective hybrid optimization approach for multiobjective flexible job-shop scheduling problems, Computers &Industrial Engineering, 48 **(2005)** 409–425.

[14] W. Shi-Jin, Z. Bing-Hai and X. Li-Feng, A filtered-beam-search-based heuristic algorithm for flexible job-shop scheduling problem, International Journal of Production Research, 46 **(2007)** 3027-3058.

[15] L. Xing, Y.Chen and K.Yang, Multi-objective flexible job shop schedule: Design and evaluation by simulation modeling, Applied Soft Computing, 9 **(2009)** 362-376.

[16] S. Wang and J. Yu, An effective heuristic for flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities, Computers and Industrial Engineering, 59 **(2010)** 436-447.

[17] G. Moslehi and M. Mahnam, A Pareto approach to multi-objective flexible job-shop scheduling problem using particle swarm optimization and local search, International Journal of Production Economics, 129 **(2011)** 14-22.

[18] Morton, T. E., Pentico, D. W., Heuristic Scheduling Systems, Wiley, New York, **1993**.

[19] Pinedo, M. L., Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Prentice-Hall, Englewood, **1995**.

[20] N. Mishra, A. K. Choudhary, and M.K. Tiwari, Modeling the planning and scheduling across the outsourcing supply chain: a Chaos-based fast Tabu-SA approach, International Journal of Production Research, 46 **(2007)** 3683-3715

[21] J. Gao, L.Sun, and M. Gen, A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems, Computers and Operations Research, 35 **(2008)** 2892-2907.

[22] R. Ahmadi, U. Bagchi and T. A. Roemer, Coordinated Scheduling of Customer Orders for Quick Response, Naval Resource Logistics, 52 **(2005)** 493-512

[23] E. Erel and J. B. Ghosh, Customer order scheduling on a single machine with family setup times: complexity and algorithms, Applied Mathematics and Computation, 185 **(2007)** 11–18

[24] O. Hazır, Y. Gunalay and E. Erel, Customer order scheduling problem: a comperative metaheuristics study, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 37 **(2008)** 589-598

[25] S. Hsu and C. H. Liu, Improving delivery efficiency of the customer order scheduling problem in a job shop, Computers and Industrial Engineering, 59 **(2009)** 856-866

[26] J. Y. T. Leung, H. Li and M. Pinedo, Scheduling orders on either dedicated or flexible machines in parallel to minimize total weighted completion time, Annals of Operations Research, 159 **(2008)** 107-123

[27] H. Tekbaş, Esnek sipariş tipi üretim sistemlerinde müşteri siparişlerinin çizelgelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, **2011**.

[28] J. M. Framinan and P.P.- Gonzalez, Order Scheduling with Tardiness Objective: Improved Approximate Solutions European Journal of Operational Research, 266 **(2017)** 840-850

[29] C. Oğuz, F.S. Salman, Z. B. Yalçın, Order acceptance and scheduling decisions in make-to-order systems, International Journal of Production Economics,125 **(2010)** 200-211

[30] T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw Hill. International, Translated to Russian, Portuguese, and Chinese, Revised editions, Paperback, Pittsburgh: RWS Publications ,**1980**

[31] R.T.Marler, J.S. Arora, Survey of multi-objective optimization methods for engineering, Structural and Multidisciplinary Optimization, 6, **(2004)**, 369-395.

[32] G. Mavrotas, Effective implementation of the ε -constraint method in multiobjective mathematical programming problems, Applied Mathematics and Computation, 2, **(2009)** 455-465.

EKLER

EK 1 – Grup 1 için tüm boşluk değerleri

Çalışma bilgileri	Boşluk değerleri	model sonuçları	mevcut durum
Sip açılış tarihi 01.02.2019	B1 B2 B3	7762 53576 89263	44341 71187 73396
Sip açılış tarihi 04.02.2019	B1 B2 B3	1263 241704 192593	64242 134304 191793
Sip açılış tarihi 05.02.2019	B1 B2 B3	110465 255093 218250	140465 253293 178250
Sip açılış tarihi 06.02.2019	B1 B2 B3	154593 137250 87400	196793 120950 141100
Sip açılış tarihi 07.02.2019	B1 B2 B3	105470 87400 122250	120950 122100 165350
Sip açılış tarihi 08.02.2019	B1 B2 B3	0 122250 118630	20600 197350 118880
Sip açılış tarihi 11.02.2019	B1 B2 B3	12630 60853 325500	13327 102553 315400
Sip açılış tarihi 12.02.2019	B1 B2 B3	0 325500 179000	17418 233000 264600
Sip açılış tarihi 13.02.2019	B1 B2 B3	25013 70860 0	110000 152100 79405
Sip açılış tarihi 14.02.2019	B1 B2 B3	10860 0 46848	34000 140090 18348
Sip açılış tarihi 15.02.2019	B1 B2 B3	0 1098 8484	0 0 85507
Sip açılış tarihi 18.02.2019	B1 B2 B3	8484 42848 30535	51928 134013 92729
Sip açılış tarihi 19.02.2019	B1 B2 B3	1628 720 33019	1900 0 38000
Sip açılış tarihi 20.02.2019	B1 B2 B3	6220 33019 73000	6500 86500 77260
Sip açılış tarihi 21.02.2019	B1 B2 B3	497 39400 206000	9000 77260 186500
Sip açılış tarihi 22.02.2019	B1 B2 B3	4400 103620 127500	77260 86500 171073
Sip açılış tarihi 25.02.2019	B1 B2 B3	4000 101934 157003	5877 102553 171000
Sip açılış tarihi 26.02.2019	B1 B2 B3	82634 47681 90715	110553 99000 105000
Sip açılış tarihi 27.02.2019	B1 B2 B3	47681 90715 157003	86405 92475 107948
Sip açılış tarihi 28.02.2019	B1 B2 B3	0 10718 258022	82475 31248 124792

EK 2 – Grup 2 için tüm boşluk değerleri

Çalışma bilgileri	Boşluk değerleri	model sonuçları	mevcut durum
Sip açılış tarihi 01.02.2019	B1	0	1000
	B2	0	0
	B3	3048	7000
Sip açılış tarihi 05.02.2019	B1	211	5000
	B2	1476	2000
	B3	1535	3000
Sip açılış tarihi 06.02.2019	B1	265	11952
	B2	0	0
	B3	1116	1152
Sip açılış tarihi 07.02.2019	B1	1116	1667
	B2	1392	2000
	B3	388	5000
Sip açılış tarihi 08.02.2019	B1	1824	2000
	B2	1392	6000
	B3	388	1166
Sip açılış tarihi 11.02.2019	B1	388	856
	B2	529	900
	B3	58	6750
Sip açılış tarihi 13.02.2019	B1	58	7000
	B2	108	675
	B3	516	1100
Sip açılış tarihi 14.02.2019	B1	108	675
	B2	516	1100
	B3	470	583
Sip açılış tarihi 15.02.2019	B1	516	1100
	B2	470	583
	B3	0	0
Sip açılış tarihi 19.02.2019	B1	1998	2000
	B2	404	1200
	B3	883	1000
Sip açılış tarihi 20.02.2019	B1	404	5000
	B2	883	1000
	B3	2999	8000
Sip açılış tarihi 21.02.2019	B1	883	1000
	B2	0	0
	B3	0	6000
Sip açılış tarihi 22.02.2019	B1	0	0
	B2	0	0
	B3	0	0
Sip açılış tarihi 25.02.2019	B1	0	1000
	B2	540	2000
	B3	1833	8000
Sip açılış tarihi 26.02.2019	B1	540	9000
	B2	1833	1200
	B3	1130	1500
Sip açılış tarihi 27.02.2019	B1	1200	1833
	B2	1130	1500
	B3	1875	2000
Sip açılış tarihi 28.02.2019	B1	1130	1500
	B2	1875	2000
	B3	1347	1500

EK 3 – Grup 3 için tüm boşluk değerleri

Çalışma bilgileri	Boşluk değerleri	model sonuçları	mevcut durum
Sip açılış tarihi 01.02.2019	B1 B2 B3	550 181 58812	40000 0 17000
Sip açılış tarihi 04.02.2019	B1 B2 B3	24312 45488 126252	27000 56000 116252
Sip açılış tarihi 05.02.2019	B1 B2 B3	288 94302 70645	37000 76000 10000
Sip açılış tarihi 06.02.2019	B1 B2 B3	0 985 5360	34000 0 5500
Sip açılış tarihi 07.02.2019	B1 B2 B3	675 315 74450	1000 39840 40000
Sip açılış tarihi 08.02.2019	B1 B2 B3	315 44214 72735	30000 40000 60000
Sip açılış tarihi 11.02.2019	B1 B2 B3	0 0 37139	0 0 50000
Sip açılış tarihi 12.02.2019	B1 B2 B3	20 7808 117795	1000 60000 80000
Sip açılış tarihi 13.02.2019	B1 B2 B3	530 4495 118880	5000 32000 94000
Sip açılış tarihi 14.02.2019	B1 B2 B3	1795 1140 101967	25000 44000 110000
Sip açılış tarihi 15.02.2019	B1 B2 B3	117 76253 161539	500 77000 160000
Sip açılış tarihi 18.02.2019	B1 B2 B3	76253 161539 195050	80003 164039 196300
Sip açılış tarihi 19.02.2019	B1 B2 B3	59196 156550 161758	80000 159000 140000
Sip açılış tarihi 20.02.2019	B1 B2 B3	48281 123000 144160	68000 124250 145000
Sip açılış tarihi 21.02.2019	B1 B2 B3	38110 103910 133380	46000 122000 102000
Sip açılış tarihi 22.02.2019	B1 B2 B3	6000 129630 92080	6500 131000 93000
Sip açılış tarihi 25.02.2019	B1 B2 B3	55880 104140 139500	55880 141000 96000
Sip açılış tarihi 26.02.2019	B1 B2 B3	46615 137000 82084	98000 80000 90000
Sip açılış tarihi 27.02.2019	B1 B2 B3	47638 60184 92600	50000 30184 122600
Sip açılış tarihi 28.02.2019	B1 B2 B3	1917 86222 131940	2500 90000 133000

EK 4 – Grup 4 için tüm boşluk değerleri

Çalışma bilgileri	Boşluk değerleri	model sonuçları	mevcut durum
Sip açılış tarihi 01.02.2019	B1	1667	1700
	B2	6750	7000
	B3	19500	21000
Sip açılış tarihi 04.02.2019	B1	3071	3071
	B2	9500	20000
	B3	11833	26000
Sip açılış tarihi 06.02.2019	B1	0	
	B2	25333	42000
	B3	27644	33250
Sip açılış tarihi 07.02.2019	B1	18167	21000
	B2	23711	36000
	B3	22431	27000
Sip açılış tarihi 08.02.2019	B1	5378	36000
	B2	22431	27000
	B3	7389	11000
Sip açılış tarihi 12.02.2019	B1	889	14000
	B2	31361	39000
	B3	18292	22000
Sip açılış tarihi 13.02.2019	B1	528	10000
	B2	12458	27000
	B3	53646	22000
Sip açılış tarihi 14.02.2019	B1	8293	37000
	B2	42313	21000
	B3	5013	13000
Sip açılış tarihi 18.02.2019	B1	23181	30000
	B2	44389	40000
	B3	27450	32000
Sip açılış tarihi 20.02.2019	B1	4783	36000
	B2	18917	47000
	B3	67167	45000
Sip açılış tarihi 21.02.2019	B1	7250	32000
	B2	49167	22000
	B3	34114	22000
Sip açılış tarihi 22.02.2019	B1	34750	18000
	B2	34114	4000
	B3	708	22000
Sip açılış tarihi 23.02.2019	B1	1614	4000
	B2	24042	24000
	B3	5661	28000
Sip açılış tarihi 25.02.2019	B1	2167	2200
	B2	4161	4500
	B3	83	500
Sip açılış tarihi 27.02.2019	B1	83	83
	B2	2000	1000
	B3	2117	5000
	B1	0	0
Sip açılış tarihi 26.02.2019	B2	283	6000
	B3	3017	1000
	B1	283	500
Sip açılış tarihi 27.02.2019	B2	600	1000
	B3	1075	1200
	B1	600	1000
Sip açılış tarihi 28.02.2019	B2	1075	1200
	B3	2561	3000

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 24/06/2019

Tez Başlığı / Konusu: Kutu Ambalaj Sektörü için Müşteri Siparişi Çizelgeleme Problemi: Bir İşletme Uygulaması

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 67 sayfalık kısmına ilişkin, 24/06/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1- Kaynakça hariç
2- Alıntılar hariç
3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

24/06/2019

Adı Soyadı: Büşra Ceyda ÖNEMLİ
Öğrenci No: N16127720
Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği
Programı: Endüstri Mühendisliği
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Ceren TUNCER ŞAKAR

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:	Büşra Ceyda Önemli
Doğum yeri	:	Eskişehir
Doğum tarihi	:	11.05.1991
Medeni hali	:	Evli
Yazışma adresi	:	Aydıntepe mahallesi Necmettin Erbakan Caddesi No:28/5
Elektronik posta adresi	:	bceydaonemli@hotmail.com
Yabancı dili	:	İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Lisans	:	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

İş Tecrübesi

2017- (devam ediyor)	:	Modern Ambalaj- Satış Planlama Şefi
2014-2017	:	Modern Ambalaj- Satış Planlama Mühendisi