



**BİR BOYUTLU ÇOK AMAÇLI KESME
PROBLEMLERİNİN MODELLENMESİ VE
ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI**

Yüksek Lisans Tezi

Duygu ALTÜRK

Eskişehir 2019

**BİR BOYUTLU ÇOK AMAÇLI KESME PROBLEMLERİNİN MODELLENMESİ
VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI**

Duygu ALTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Nergiz KASIMBEYLİ

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mayıs 2019

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 1401F013 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Duygu Altürk'ün “Bir Boyutlu Çok Amaçlı Kesme Problemlerinin Modellenmesi ve Çözüm Yaklaşımları” başlıklı tezi 23/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı) :	Dr. Öğr. Üyesi Nergiz KASIMBEYLİ	
Üye :	Doç. Dr. Tuğba SARAÇ	
Üye :	Doç. Dr. Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK	

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

BİR BOYUTLU ÇOK AMAÇLI KESME PROBLEMLERİNİN MODELLENMESİ VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Duygu ALTÜRK

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mayıs 2019

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Nergiz KASIMBEYLİ

Bu çalışmada, bir boyutlu kesme ve ana malzeme seçimi problemi ele alınmıştır. Bu problemin matematiksel modelinin kurulması ve çözülmesindeki temel zorluklarından biri, kesme planlarının parametre kümesi olarak kullanılmak istenmesidir. Oluşturulması gereken kesme planlarının toplam sayısının çok fazla olması, hem kesme planları kümesinin oluşturulmasını hem de problemin çözüm sürecini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu problem için önceden kesme planları kümesi oluşturulmaksızın, yeni bir üç amaçlı matematiksel model önerilmiştir. Amaç fonksiyonları, kesme kayıpları (fire), farklı ana malzeme türü sayısı ve talep fazlası kesilen ürün miktarlarını en küçükleyecek şekilde formüle edilmiştir. Geliştirilmiş olan matematiksel model için sezgisel çözüm algoritması sunulmuş ve hem model hem de algoritma test problemleri üzerinde yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Bir boyutlu kesme problemi, Ana malzeme seçimi problemi, Çok amaçlı eniyileme, Kesme kaybı en küçüklenmesi.

ABSTRACT

MODELING AND SOLUTION APPROACHES FOR A ONE DIMENSIONAL MULTI OBJECTIVE CUTTING PROBLEMS

Duygu ALTÜRK

Department of Industrial Engineering

Eskişehir Technical University , Institute of Graduate Education, May 2019

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Nergiz KASIMBEYLİ

In this thesis, a one-dimensional cutting stock problem is studied. One of the main difficulties in formulating and solving mathematical models for one-dimensional cutting stock problems, is the use a set of cutting patterns as a parameter set. Since the total number of cutting patterns to be generated may be numerous, both the generation and the use of such a set, lead to computational difficulties in solution process. In this thesis, a new three-objective linear integer programming model that does not use a set of cutting patterns, is formulated. The objectives are related to the trim loss amount, the total number of different standard lengths used, and the production amount that exceeds the given demand for each cutting order. A solution algorithm for the presented mathematical model is given. Both the mathematical model and the solution algorithm are illustrated on test problems.

Keywords: One dimensional cutting stock problem, stock size selection, trim loss minimization, Multi objective optimization.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince benden değerli yardım, fikir ve bilgilerini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi. Sn. Nergiz KASIMBEYLİ'ye, manevi destekleri ile bana güç veren sevgili aileme ve eşime sonsuz teşekkür ederim.



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Duygu ALTÜRK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KESME PROBLEMLERİ	3
2.1. Kesme Problemlerinin Tanımı	4
2.2. Kesme Problemlerinde Boyut	5
2.2.1. Bir boyutlu kesme	6
2.2.2. İki boyutlu kesme	7
2.2.3. Birbuçuk boyutlu kesme	7
2.2.4. Üç boyutlu problemler	8
2.3. Ana Malzemelerin Seçimi	8
2.4. Kesme Problemlerinin Bazı Önemli Kısıtları	9
2.4.1. Üst üste gelmeme kısıtı	9
2.4.2. Kesim inceliği	10
2.4.3. Dik açılı (ortogonal) kesim	10
2.4.4. Giyotin Kesim	11
2.4.5. Kesme Problemlerinde Dikkate Alınan Amaçlar	12
3. KESME PROBLEMİ ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	13
3.1. Analitik Metotlar	13
3.1.1. Doğrusal programlama	13
3.1.2. Tam sayılı doğrusal programlama	14

3.2. Sezgisel Metotlar	14
3.2.1. Doğrusal programlama	14
3.2.1.1. Doğrusallık varsayımı	15
3.2.1.2. Toplanabilirlik varsayımı	15
3.2.1.3. Bölünebilirlik varsayımı	15
3.2.1.4. Kesinlik varsayımı	16
3.2.2. İlk uygun azalan sezgisel metot	16
3.2.3. Ardışık sezgisel prosedür	18
3.2.4. Melez çözüm yaklaşımı	19
3.3. Metasezgisel Metotlar	19
4. SKALERLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	21
4.1. Ağırlıklandırılmış Toplam Yöntemi	21
5. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODEL	23
5.1. Kümeler ve Parametreler	23
5.2. Karar Değişkenleri	23
5.3. Matematiksel Modelin Amaç Fonksiyonları	24
5.4. Matematiksel Model	24
6. GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL ALGORİTMA	26
6.1. Sezgisel Algoritma	27
7. ÇÖZÜLEN ÖRNEK PROBLEMLER VE HESAPLAMA SONUÇLARI	30
7.1. Test Problemi	30
7.1.1. Test problemi için sezgisel algoritma ile elde edilen çözüm sonuçları	30
7.1.2. Tek amaçlı-firenin en küçüklenmesi şeklinde 7.1 probleminin ele alındığı durum	32
7.1.3. Üç amaçlı (en küçük fire, en küçük ana malzeme çeşidi, en küçük talepten fazla üretim) şeklinde 7.1 probleminin ele alındığı durum	33

7.2. Literatürden Seçilen Problemler İçin Sezgisel Algoritma İle Elde	
Edilen Çözüm Sonuçları	35
7.2.1. Deneme 1	35
<i>7.2.1.1. Deneme 1'in sezgisel algoritma ile çözüm sonuçların ve</i>	
<i>literatür sonucuyla karşılaştırılması</i>	<i>35</i>
7.2.2. Deneme 2	36
<i>7.2.2.1. Deneme 2'nin sezgisel algoritma ile çözüm sonuçları ve</i>	
<i>literatür sonucuyla karşılaştırılması</i>	<i>37</i>
7.2.3. Deneme 3	39
<i>7.2.3.1. Deneme 3'ün sezgisel algoritma ile çözüm sonuçları ve</i>	
<i>literatür sonucuyla karşılaştırılması</i>	<i>39</i>
7.2.4. Deneme 4	42
<i>7.2.4.1. Deneme 4'ün sezgisel algoritma ile çözüm sonuçları ve</i>	
<i>literatür sonucuyla karşılaştırılması</i>	<i>42</i>
8. SONUÇ	46
KAYNAKÇA	47

TABLÖLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
TABLO 7.1. Sezgisel algoritma ile elde edilen çözümün amaç fonksiyonu değerleri	31
TABLO 7.2. Sezgisel algoritma ile elde edilen çözümde üretilen ürün miktarı ..	31
TABLO 7.3. Sezgisel algoritma ile elde edilen çözümde kullanılan ana malzeme sayısı	31
TABLO 7.4. (P1) Probleminin amaç fonksiyonu için bulunan değeri	32
TABLO 7.5. (P1) Problemi için elde edilen ana malzeme türleri	32
TABLO 7.6. (P1) Problemi için elde edilen üretilecek ürün adetleri	33
TABLO 7.7. (P) Probleminin GAMS paketi ile bulunan amaç fonksiyonları değerleri	34
TABLO 7.8. (P) Probleminin GAMS paketi ile elde edilen üretilecek ürün adetleri	34
TABLO 7.9. (P) Probleminin GAMS paketi ile bulunan ana malzeme miktarları	34
Tablo 7.10. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 1 problemi için bulunan amaç fonksiyonları değerleri	35
Tablo 7.11. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 1 problemi için kullanılan ana malzeme sayısı	35
Tablo 7.12. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 1 problemi için oluşturulan kesme planları	36
Tablo 7.13. Deneme 1 problemi 2011'deki algoritma için bulunan amaç fonksiyonları	36
Tablo 7.14. Deneme 1 problemi 2011'deki algoritma için kullanılan ana malzeme sayısı	36
Tablo 7.15. Deneme 1 problemi 2011'deki algoritma için oluşturulan kesme planları	36
Tablo 7.16. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 2 problemi için bulunan amaç fonksiyonları	37
Tablo 7.17. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 2 problemi için kullanılan ana malzeme sayısı	37

Tablo 7.18. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 2 problemi için kullanılan ana malzeme sayısı	37
Tablo 7.19. Deneme 2 problemi 2011'deki algoritma için bulunan amaç fonksiyonları değerleri	38
Tablo 7.20. Deneme 2 problemi 2011'deki algoritma için kullanılan ana malzeme sayısı	38
Tablo 7.21. Deneme 2 problemi 2011'deki algoritma için oluşturulan kesme planları	38
Tablo 7.22. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 3 problemi için bulunan amaç fonksiyonları	39
Tablo 7.23. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 3 problemi için kullanılan ana malzeme sayısı	39
Tablo 7.24. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 3 problemi için oluşturulan kesme planları	40
Tablo 7.25. Deneme 3 problemi 2011'deki algoritma için bulunan amaç fonksiyonları değerleri	40
Tablo 7.26. Deneme 3 problemi 2011'deki algoritma için kullanılan ana malzeme sayısı	41
Tablo 7.27. Deneme 3 problemi 2011'deki algoritma için oluşturulan kesme planları	41
Tablo 7.28. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 4 problemi için bulunan amaç fonksiyon değerleri	42
Tablo 7.29. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 4 problemi için kullanılan ana malzeme sayısı	43
Tablo 7.30. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 4 problemi için kullanılan kesme planları	43
Tablo 7.31. Deneme 4 problemi 2011'deki algoritma için bulunan amaç fonksiyon değerleri	44
Tablo 7.32. Deneme 4 problemi 2011'deki algoritma için kullanılan ana malzeme sayısı	44
Tablo 7.33. Deneme 4 problemi 2011'deki algoritma için oluşturulan kesme planları	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Kesme problemi tanımları	5
Şekil 2.2. Bir boyutlu kesme problemi	6
Şekil 2.3. İki boyutlu kesme problemi	7
Şekil 2.4. Üç Boyutlu Kesme Problemi	8
Şekil 2.5. Üst üste gelmeme kısıtı	9
Şekil 2.6. Kesim inceliği	10
Şekil 2.7. Dik açılı kesim	11
Şekil 2.8. Dik açılı olmayan kesim	11
Şekil 2.9. Bir boyutlu giyotinli kesim örneği	12
Şekil 3.1. Kesme planı 1	17
Şekil 3.2. Kesme planı 2	17
Şekil 3.3. Kesme planı 3	18
Şekil 3.4. Kesme planı 4	18

1. GİRİŞ

Bir boyutlu malzeme kesme problemleri, genellikle ana malzeme olarak nitelendirilen uzun bir çubuktan (örneğin metal, ahşap, plastik bir çubuk veya saç rulo vb.), sipariş parçaları olarak nitelendirilen daha kısa parçaların kesilmesi problemidir. Bu tür problemlerde, daha kısa parçalar, bu parçalara olan talepler (sipariş miktarları) kadar kesilmek istenmektedir. Sipariş edilen parçalar, talepler doğrultusunda ana malzemeden kesildiğinde, ana malzemenin hiçbir siparişi karşılamayacak kadar kısa olarak kalan kısmına fire denir. Her bir ana malzemeden arta kalan ve tek başına hiçbir siparişi karşılayamayacak boyutta olan bu küçük parçalar aslında çok büyük paralar karşılığında satın alınmış olduğundan, onların da maliyeti üretici firma tarafından satılacak ürünün fiyatına eklenmek zorundadır. Fire miktarının artması, aslında daha yüksek üretim maliyeti demektir. Fire maliyetinin artması, üretici firmanın rekabet gücünü olumsuz etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Fire maliyetinin düşürülmesi, bu yüzden önemli bir problem haline gelmektedir. Ayrıca kesme problemlerinde kullanılan ana malzemelerin farklı boyutlarda tedarigi, bu malzemelerin depolarda çok fazla yer kaplamasına sebep olmaktadır. Ana malzemelerin depolanmasının maliyeti de satılacak ürünün fiyatına katma değer yaratmayan maliyet kalemi olarak eklenir. Bu nedenle, kesme problemlerinde ana malzeme seçimi de oldukça önem arz etmektedir.

Günümüz yoğun rekabet koşulları altında ayakta kalmak isteyen işletmeler, maliyetlerini en küçükleyecek ve etkinliklerini arttırmak zorundadır. Kağıt, cam, çelik, metal, tekstil, deri vb. birçok endüstride faaliyet gösteren işletmeler, maliyetlerini ve süreçlerinin etkinliğini önemli ölçüde etkileyen kesme problemleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu problemlerin çoğu, belirli büyüklükteki parçalardan, üretim maliyetlerini ve fire miktarını en küçükleyecek ya da karı en büyükleyecek gibi amaç fonksiyonlarını eniyileyerek, belirli büyüklük ve miktarlarda daha kısa parçaların kesilmesini içerir [1].

Genellikle kesme problemleri, çözüm üretilmesi açısından zor olarak bilinen tam sayılı problemler sınıfına aittir. Hatta bu problemler, çözüm zorluğu açısından NP-zor (NP-hard) olarak bilinen problem sınıfına dahil edilmektedir. Yani, problem karmaşıklıkla çözüm süresi üstel biçimde (2^n , 3^n gibi) artmaktadır. Bu yüzden bir boyutlu kesme ve ana malzeme seçimi problemi günümüzde de güncelliğini koruyan ve üzerinde yoğun olarak çalışılan konulardan biridir. Bu tür problemleri çözmek için,

genellikle kesme ile ana malzeme seçiminin ayrı ayrı ele alındığı yaklaşımlar daha fazla araştırılmıştır.

Literatürde bu problem daha çok elde var olan tek çeşit ana malzeme türüne göre toplam fireyi en küçükleyecek kesme planlarının bulunması problemi şeklinde ele alınmıştır [2][3]. Bu problemde aslında iki farklı yaklaşımla ele alınabilmektedir. Birinci yaklaşım, elde var olan ana malzeme türü ve kesilecek sipariş parçalarının boyutları dikkate alınarak ve olası bütün kesme planları oluşturularak, bunların içinden talepler doğrultusunda fireyi en küçükleyecek kesme planlarının seçilmesine dayanır. Fakat bu yaklaşım, olası kesme planlarının çok büyük sayıda olmasından dolayı hesapsal zorluklara neden olmaktadır [4][5]. İkinci yaklaşım ise, kesme planlarının bir parametre olarak kullanılmadığı bir yaklaşımdır. Bu durumda matematiksel model, sadece en iyi kesme planlarının bulunacağı şekilde formüle edilir.

Bu çalışmada, birden fazla ana malzeme çeşidinin var olduğu durumda kesme planlarının bir parametre olarak kullanılmadığı yaklaşım çalışılmış, hem ana malzeme türünün, hem firenin, hem de talep fazlası üretiminin en küçüklenmesi problemi aynı matematiksel modelde ele alınmış ve sezgisel bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen sezgisel yöntem ve matematiksel model örnek bir test problemi seçilerek çözülmüş ve sonuçları tartışılmıştır. Ayrıca geliştirilen yeni sezgisel yöntem literatürdeki bazı problemlerle de karşılaştırılmıştır.

2. KESME PROBLEMLERİ

Kesme problemleri ilk olarak 1939 yılında Kantorovich tarafından ele alınmış ve bu çalışma 1960 yılında yayınlanmıştır. Çalışmada, bir boyutlu kesme problemi, her biri n adet makinada yapılabilecek m adet işin çizelgelenmesi probleminin bir uzantısı olarak tanımlanmış ve bu doğrultuda fireyi en küçükleyen tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir [6].

Gilmore ve Gomory 1961 yılında yayınlanan çalışmalarında bir boyutlu kesme problemleri için sütun oluşturma tekniğini geliştirmişlerdir [7]. Ayrıca problemin iki ve daha fazla boyutlu versiyonlarının çözümü için sütun oluşturma yöntemi yine Gilmore ve Gomory [6] tarafından 1964 yılında geliştirilmiştir. Bu yıllardan itibaren kesme problemleri ile ilgili çok fazla sayıda çalışma yapılmıştır.

Çok amaçlı bir yapı benimseyen Zilla ve Ittai, bir boyutlu kesme problemleri ile ilgilenmiş, 1994 yılında talep edilenden fazla kesilen malzeme sayısını en küçüklemek ve tekrar kullanılabilirlik artık ana malzemenin en büyüklenmesi amaçlarını benimsemişlerdir. Metal kesme atölyesinde bir uygulama yapılmıştır. Problemin çözümü için bir algoritma geliştirilmiştir. Ancak bu algoritma küçük boyutlu problemler üzerinde etkin sonuç vermiştir. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için ise sezgisel bir yaklaşım kullanılarak çözüme ulaşılmıştır [8].

Chu and Anyotonio 1999 yılında bir boyutlu kesme problemleri için fireyi ve kesme süresini en küçüklemeyi hedefleyen dinamik programlama metodunu kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Uygulama demir profil kesme işlemi yapan firmada kullanılmıştır [9].

Kolen ve Spieksma 2000 yılında bir boyutlu kesme problemleri üzerine kesme firesini ve kullanılan malzeme sayısını en küçüklemeyi amaçlayan bir çalışma yapmıştır [10].

Cizman ve Cernetic 2004 yılında bir boyutlu kesme problemlerinde birden fazla ana malzeme kullanarak fire miktarını en küçüklemeye çalışmışlardır. Matematiksel modele dayanan bir karar destek sistemi geliştirmişler ve geliştirdikleri sistemi bir parke üretim atölyesinde uygulamışlardır [11].

Gasimov ve arkadaşları 2004 yılında kesme sürecinde elde edilmesi gereken sipariş parçalarına uygun ana malzeme belirlenmesi problemi üzerinde durmuştur. Çalışmada amaç fire maliyetini ve toplam ana malzeme maliyetini en küçükmektir. Problemin çözümünde doğrusal ve doğrusal olmayan karma tamsayılı çok ölçütlü iki model önerilmiştir. Modellerin konveks olmayan yapısından dolayı daha önce geliştirilmiş olan skalerleştirme yöntemi kullanılmış, ağırlıklandırma yöntemi ile bulunamayan pareto en iyi çözümler bulunmuştur. Bir örnek üzerinde, geliştirilen çözüm yöntemi açıklanmıştır [12].

Kasimbeyli ve ark. 2011 yılında yaptıkları çalışmada bir boyutlu kesme ve ana malzeme seçimi problemlerini incelemiştir. Geliştirilen matematiksel model ile kesme planları kümesinin önceden türetilmesine ihtiyaç duyulmadan, hem kesme probleminin hem de ana malzeme seçimi problemi tek bir matematiksel modelde ele almışlardır. Modelde birbiriyle çelişen iki amaç ele alınmıştır. Birinci amaç toplam fireyi en küçüklerken diğer amaç ise kesilecek ana malzeme çeşitlerinin sayısını en küçüklemeektir [13].

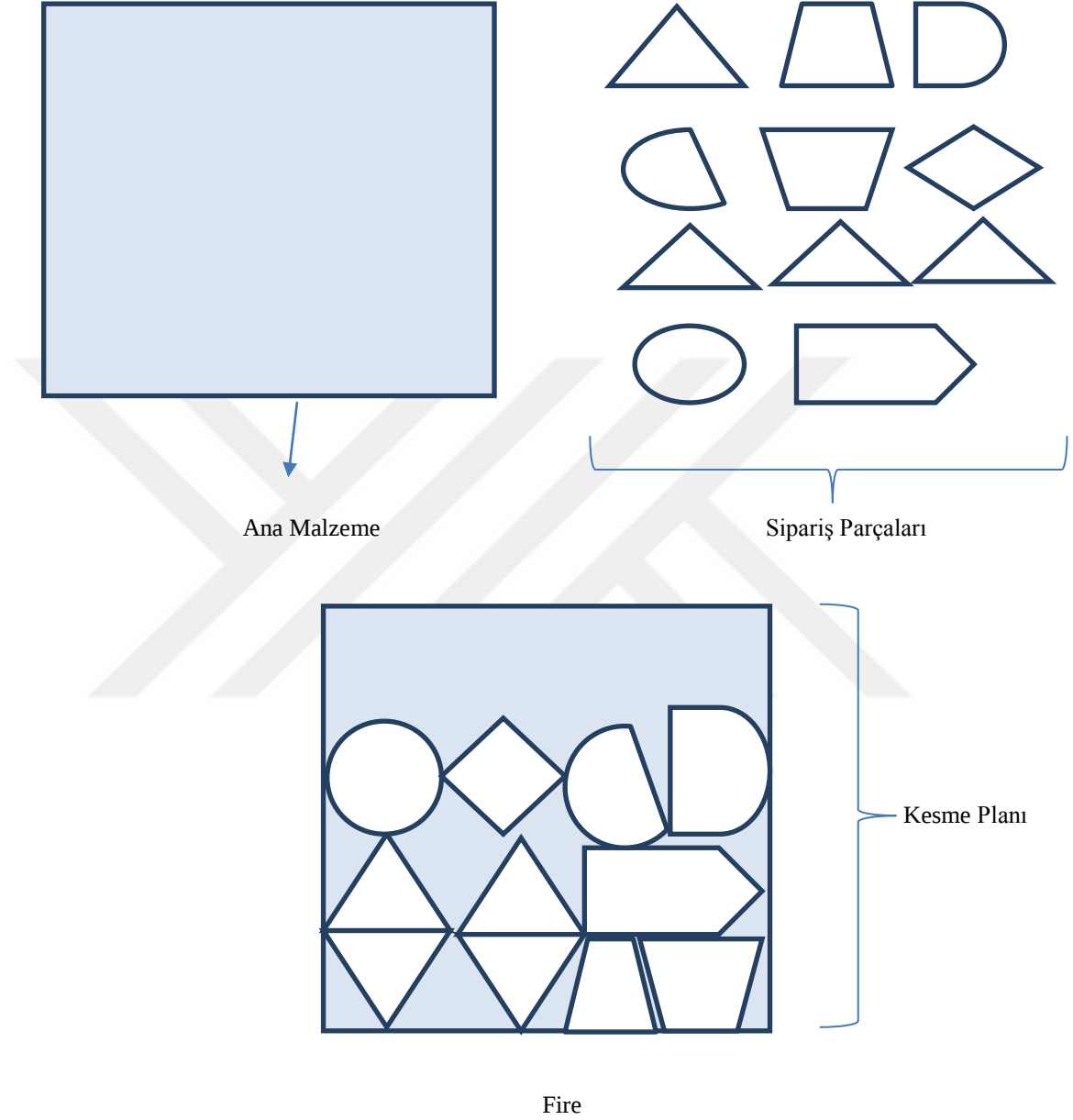
Bu çalışmada, önceden kesme planları kümesi oluşturulmaksızın, yeni bir üç amaçlı matematiksel model geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonları, kesme kayıpları (fire), farklı ana malzeme türü sayısı ve literatürden farklı olarak talep fazlası kesilen ürün miktarları en küçükleyecek şekilde bir model geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan matematiksel model için sezgisel çözüm yaklaşımı sunulmuş ve hem model hem de sezgisel algoritma test problemleri üzerinde yorumlanmıştır.

2.1. Kesme Problemlerinin Tanımı

Tekstil, deri, kağıt, cam, kereste, ağaç, mobilya ve metal gibi birçok endüstri dalında sık bir biçimde karşılaşılan malzeme kesme problemi, belirli boyuttaki bir malzemeden, daha küçük boyuttaki parçaların kesilmesi problemi olarak tanımlanabilir.

Kesim işleminin yapılacağı malzemeye ana malzeme, ana malzemeden kesilmesi istenen daha küçük parçalara ise sipariş parçası ya da ürün denilmektedir. Kesme planları, kesilecek sipariş parçalarının ana malzemeye yerleşim düzenini gösteren modellerdir. Sipariş edilen parçaların hepsinin üretiminin sağlanması için kesme planları tekrar edilebilir ya da kalan taleplere göre yeni kesme planları oluşturulabilir.

Her bir ana malzemeden arta kalan ve tek başına hiçbir siparişi karşılayamayacak boyutta olan küçük parçalara ise fire denir (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kesme problemi tanımları

2.2. Kesme Problemlerinde Boyut

Kesme problemleri kesilecek ana malzemenin boyutuna göre (rulo, levha veya çubuk vb. olmasına göre) bir, bir buçuk, iki veya üç boyutlu kesme problemi olarak adlandırılabilir.

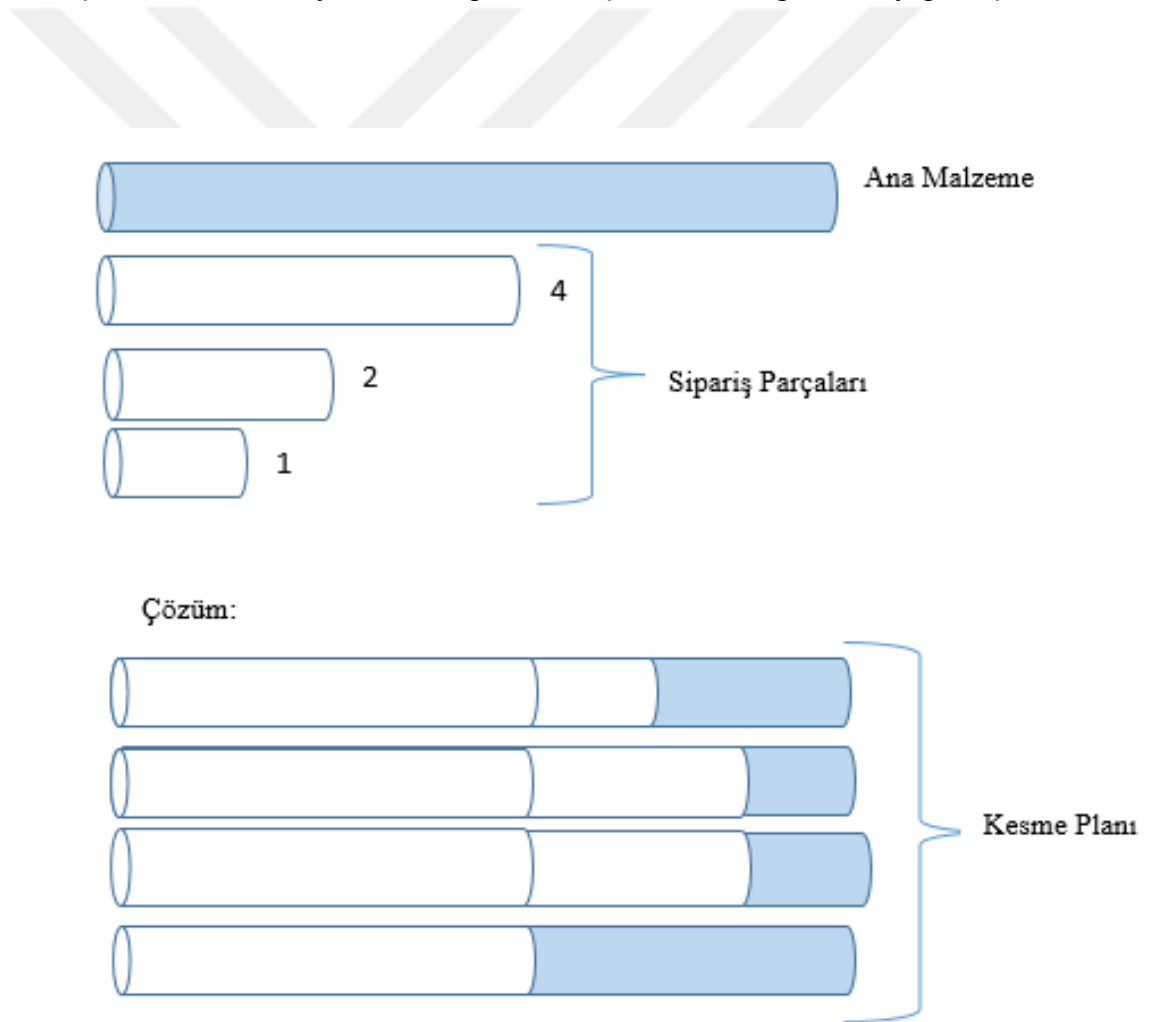
2.2.1. Bir boyutlu kesme

Kağıt rulo, demir çubuk gibi ana malzemelere uygulanan bu çeşit kesimde, ikinci ve üçüncü boyutların, kesimi yapılacak sipariş parçaları açısından önemi yoktur.

Kullanıldığı alanlara örnek olarak;

- Klasik sırt çantası,
- Demir çubukların kesilmesi,
- Montaj hattı dengeleme,
- Bellek tahsisi verilebilir.

Şekil 2.2’de bir boyutu kesme problemi için örnek bir gösterim yapılmıştır.



Şekil 2.2. Bir boyutlu kesme problemi

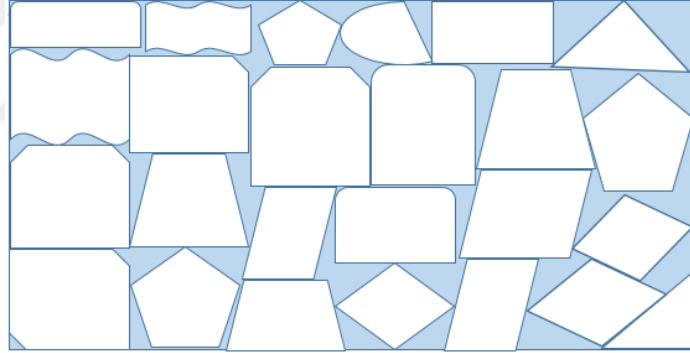
2.2.2. İki boyutlu kesme

İki boyutlu kesme problemi sac, cam, sunta gibi ana malzemelerden kesilecek parçaların, ana malzemeler üzerine yerleştirilirken kullanılan ana malzeme sayısını ya da toplam fireyi en küçükleyecek şekilde yerleştirilmesi problemidir.

Kullanıldığı bazı alanlar;

- Gemi yapımında çelik levhaların yerleştirilmesi
- Mobilya yapımı için kerestelerin kesilmesi
- Gazete sayfalarına haberlerin yerleştirilmesi
- Kutu yapımında mukavva ve kartonların kesilmesidir.

Şekil 2.3'te iki boyutlu kesme problemi için örnek bir gösterim yapılmıştır.



Şekil 2.3. İki boyutlu kesme problemi

2.2.3. Birbuçuk boyutlu kesme

Ana malzemenin sonsuz uzunlukta varsayıldığı iki boyutlu kesme probleminin özel bir durumudur.

- Kumaş rulolarının kesme problemi bu grup için örnek olarak verilebilir.

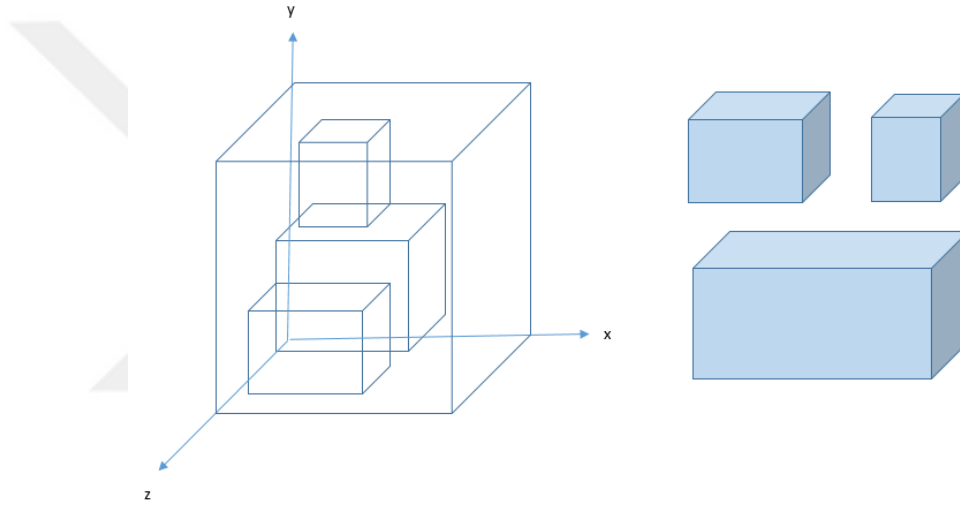
2.2.4. Üç boyutlu problemler

Üç boyutlu problemlere belirli hacimdeki bir konteynır içine, aynı ya da farklı şekil ve uzunluklardaki birden fazla sayıdaki kutunun yerleştirilmesi örnek verilebilir.

Şekil 2.4'te üç boyutu kesme problemi için örnek bir gösterim yapılmıştır.

Kullanıldığı bazı alanlar;

- Konteynır yükleme,
- Ambalaj kutularına yerleştirme yapılması olarak verilebilir.



Şekil 2.4. Üç boyutlu kesme problemi

2.3. Ana Malzemelerin Seçimi

Kesme probleminin diğer önemli özelliği, kesilecek ana malzemelerin seçimidir ve üç şekilde incelenir.

- Tek çeşit ana malzemenin olması durumu,
- Aynı boyutta birden fazla ana malzemenin olması durumu,
- Farklı boyutlarda ve miktarlarda ana malzemenin olması durumudur. (Bu durumda hangi ana malzeme çeşidinin seçileceği de ayrı bir problem konusu olmuş olur.)

2.4. Kesme Problemlerinin Bazı Önemli Kısıtları

Kesme problemlerindeki bazı önemli kısıtları boyut farkı olmaksızın şöyle sıralayabiliriz:

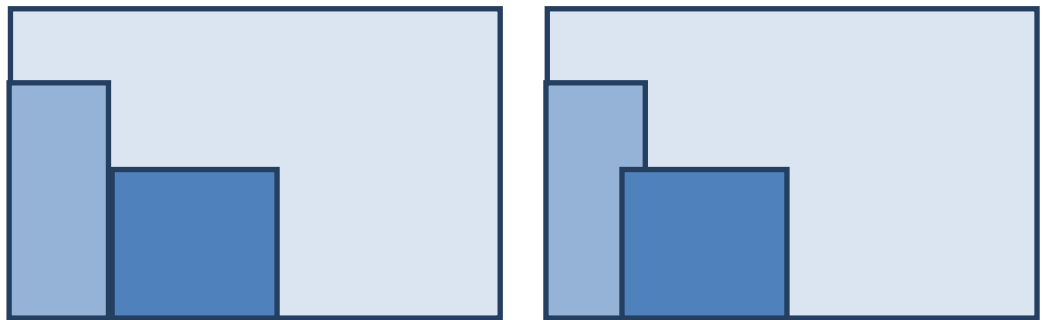
- Sipariş edilen parçaların boyutunun ana malzemenin boyutundan küçük olması gerekmektedir.
- Kesilecek sipariş parçalarının kesme planı yerleşiminde üst üste gelmemeleri gerekmektedir.
- Kesim işleminin sipariş parçasının uzunluğunu etkilemeyecek incelikte yapılması gerekmektedir.
- Sipariş edilen parçaların kesim işlemi, talep edilen miktar ile sınırlandırılır ya da sınırlandırılmayabilir.
- Sipariş edilen parçaların ya da ana malzemelerin birden fazla olması durumunda kesme ya da kesilme işleminin parçaya ya da ana malzemeye göre bir önceliğinin olup olmayacağı belirlenebilir.

Bu kısıtlara ek olarak genellikle dikdörtgen parçaların kesiminde karşılaşılan başka kısıtlar da vardır. Bunlara örnek olarak dik açılılık (ortogonal), giyotinle kesim, kademeli kesme ve döndürme kısıtı verilebilir.

2.4.1. Üst üste gelmeme kısıtı

Kesilecek sipariş parçalarının kesme planı yerleşiminde üst üste gelmemeleri gereklidir.

Şekil 2.5'te soldaki yerleşim parçaların üst üste gelmeme kısıtını sağlar. Sağdaki yerleşim ise bu kısıtı sağlamaz.

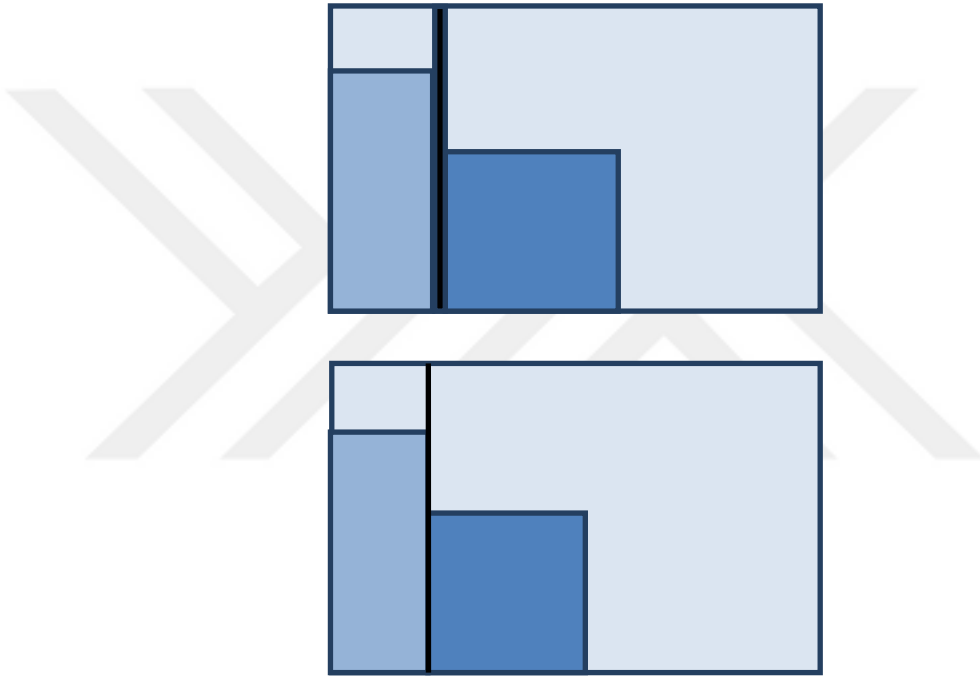


Şekil 2.5. Üst üste gelmeme kısıtı

2.4.2. Kesim inceliği

Kesme işleminde kabul edilen önemli varsayımlardan biri kesim işleminin sipariş parçasının uzunluğunu etkilemeyecek incelikte yapılacağı varsayımdır.

Şekil 2.6'daki üstteki şekilde kesim inceliğinin sipariş parçalarının uzunluğunu etkilediği bir kesim kalınlığı gösterilmiştir. Altındaki şekilde ise kesim inceliğinin sipariş parçalarının uzunluğunu etkilemediği bir kesim kalınlığı gösterilmiştir.

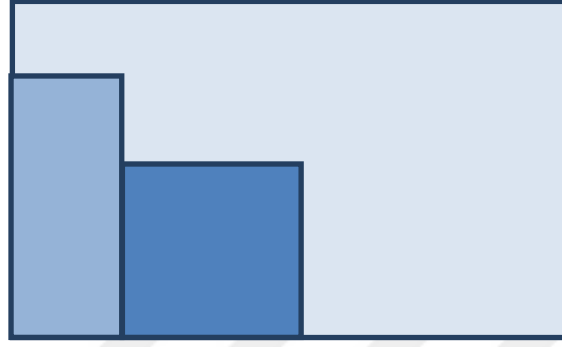


Şekil 2.6. Kesim inceliği

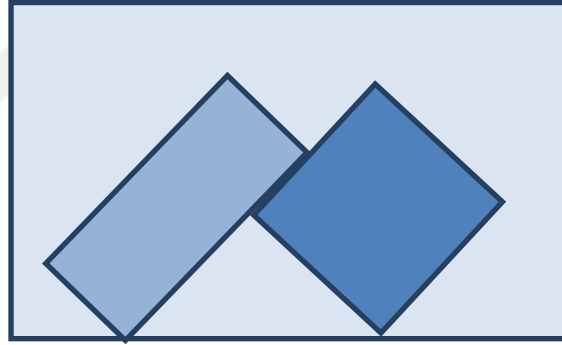
2.4.3. Dik açılı (ortogonal) kesim

İki boyutlu kesme problemlerinde kesimi yapılacak parçalar genellikle ana malzemenin x ve y eksenlerine paralel olacak şekilde yerleştirilmektedir. Dik açılı olmayan kesme bazı durumlarda fireyi azaltabilir. Fakat üretim sektöründe kullanılan çoğu tezgah dik açılı olmayan kesime izin vermemektedir. Bu sebeple kesme problemlerinin çözümünde (boyutu önemsiz) kesimi yapılacak parçalar daha çok ana malzemeye paralel yerleştirilir.

Şekil 2.7’deki yerleşimde kesimi yapılacak parçalar ana malzemenin kenarlarına paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu yerleşim ortogonal kesime örnek bir yerleşimdir. Alttaki yerleşimde ise ortogonal olamayan bir yerleşim bulunmaktadır.



Şekil 2.7. Dik açılı (ortogonal) kesim

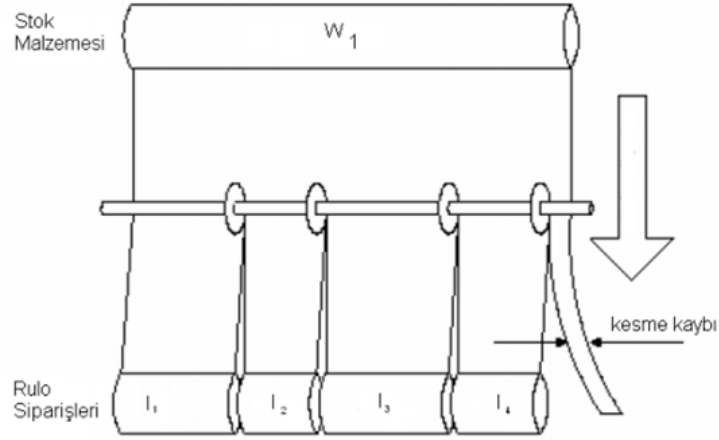


Şekil 2.8. Dik açılı olmayan (ortogonal olmayan) kesim

2.4.4. Giyotin kesim

Kesme problemlerinde kesme işlemi ana malzemenin bir ucundan diğer ucuna kadar yapılırsa giyotinli kesme olarak adlandırılır. Giyotin kesim, saçların kesilmesi gibi işlemlerde kullanılmaktadır. Kesme işlemi bir uçtan diğer uca yapılamadığı takdirde ise giyotinsiz kesme olarak adlandırılır. Kesme işlemi parçaların uzunluklarına göre sonlandırılabilir.

Şekil 2.8’de bir boyutlu kesme problemlerinin giyotin ile kesme işlemine örnek verilmiştir.



Şekil 2.9. Bir boyutlu giyotinli kesim örneği [14]

2.4.5. Kesme Problemlerinde Dikkate Alınan Amaçlar

Kesme problemlerinde ana malzemeden arta kalan, tek başına hiçbir siparişi karşılayamayacak boyutta olan bu küçük parçalar aslında büyük paralar karşılığında satın alınmış olduğundan, onların da maliyeti üretici firma tarafından satılacak ürünün fiyatına eklenmek zorundadır. Daha çok fire, aslında daha yüksek üretim maliyeti demektir. Fire maliyetinin artması ise üretici firmanın rekabet gücünü olumsuz etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Fire maliyetinin düşürülmesi, bu yüzden kesme problemlerinin en önemli amacı haline gelmektedir. Bu problem, hem optimal kesme planlarının bulunması problemi, hem de toplam kullanılan ana malzeme boyutunun en küçüklenmesi problemi şeklinde ele alınabilmektedir. Literatür çalışmalarına bakıldığında sipariş parçalarını karşılayabilecek olan ana malzeme türü çeşidi birden fazla ise depolama, taşıma vs. maliyetleri hesaba katılarak kullanılan ana malzeme türü sayısını en küçüklemek de benimsenen amaçlar arasındadır. Diğer yandan oluşturulacak kesme planı sayısının hazırlık maliyetlerinin ya da oluşturma maliyetlerinin en küçüklenmesi, kesme planından kalan kullanılmayan kısmın daha sonra kullanılabilir olması da dikkate alınan amaçlardandır.

3. KESME PROBLEMİ ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Kesme problemlerine ait çözüm yöntemleri analitik metotlar, sezgisel metotlar ve metasezgisel metotlar olarak üç grupta incelenebilir. Analitik metotlar, yüksek oranda problemin çözümü için en iyi çözümü bulurken, büyük problemler için kullanıldığında hesaplama süresinin artması gibi dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajlardan dolayı, son yıllarda kesme problemlerinin çözümü için analitik yaklaşımların uygulandığı nadir görülmektedir.

İkinci grupta ise sezgisel metotlar değerlendirilir. Sezgisel yöntemler; probleme özgü olarak oluşturulan, problemin en iyi çözümünü garanti etmeyen ancak kısa sürede iyi çözümler verebilen yöntemlerdir [15].

Üçüncü grupta ise metasezgisel metotlar yer almaktadır. Metasezgisel metotlar problemleri bazı doğal oluşum süreçlerini referans alarak, kabul edilir bir süre içerisinde iyi çözümler üretirler. Literatürde en çok karşılaşılan metasezgisel metotlar şu şekildedir; tabu araştırması, tavlama benzetimi, karınca kolonisi algoritması, açgözlü rassallaştırılmış uyarlamalı arama yordamı.

3.1. Analitik Metotlar

Kesme problemleri için kullanılan analitik yöntemler; doğrusal programlama, tamsayı programlama, dinamik programlama, dal sınır algoritması çözüm yöntemleridir.

3.1.1. Doğrusal programlama

Doğrusal programlara dayalı olarak geliştirilen yöntemlerin çoğunu Gilmore ve Gomory'nin 1961 yılında bir boyutlu kesme problemi için geliştirdiği sütun oluşturma tekniğini temel alarak geliştirilen bazı ek algoritmalar oluşturur.

Sütun geliştirme yöntemi, eldeki problemi çözen başlangıç bir çözüm, sezgisel olarak bulunduktan sonra her bir aşamada eldeki çözümü iyileştiren temel dışı değişkenlerin temele girmesi amaçlanır. Temel dışı değişkenlerin indirgenmiş maliyetleri hesaplanırken, problemin tüm temel dışı değişken sütunları üzerinde işlem

yapmak yerine, en büyük indirgenmiş maliyete sahip temel dışı değişkeni bulmak amacıyla yardımcı (slave) problem oluşturulur. Bu problem sırt çantası problemi şeklinde formüle edilerek temele girecek temel dışı değişken belirlenir.

Sütun oluşturma tekniğinde, her sütun bir kesme planıdır. Her tekrarda temele girecek olan sütun sırt çantası problemi olarak ele alınıp çözülerek bulunmaktadır. Doğrusal programlama problemleri çözümü için grafik ve simpleks yöntemlerden biri ile tercih edilebilir [6].

3.1.2. Tam sayılı doğrusal programlama

Tamsayılı doğrusal programlama, değişkenlerinden bazılarının veya tamamının tamsayılı (ya da kesikli) değerler aldığı bir doğrusal programlama türüdür. Doğrusal programlama modeli ile tamsayılı doğrusal programlama arasındaki fark, doğrusal programlama modelinde karar değişkenlerinin sıfır ve sıfırdan büyük olma koşulu aranırken, tamsayılı doğrusal programlama da değişken değerlerinin sıfıra eşit ve sıfırdan büyük tamsayı almaları şartının istenmesidir. Tam sayılı doğrusal programlama çözümleri için, dal-sınır ve kesme düzlemi olarak iki yöntem geliştirilmiştir [14].

3.2. Sezgisel Metotlar

Sezgisel yöntemler; problemin en iyi çözümünü garanti etmeyen ancak kısa sürede iyi çözümler verebilen, ele alınan probleme özgü olarak oluşturulan yöntemlerdir. Sezgisel yöntemler, metasezgisel yöntemler gibi küçük değişikliklerle her tür probleme uygulanamaz. Sezgisel yöntemler genellikle metasezgiseller için başlangıç çözümü oluşturma aşamasında kullanılır.

Sezgisel metotlardan bazıları; doğrusal programlama yöntemi, ilk uygun azalan sezgisel metot, ardışık sezgisel prosedür ve melez çözüm yaklaşımıdır.

3.2.1. Doğrusal programlama

Doğrusal programlama, eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntemdir. 1947’de George Dantzig doğrusal programlama problemlerinin çözümünde

kullanılan etkin bir yol olan simpleks algoritmayı buldu ve bu buluşla birlikte doğrusal programlama, sıklıkla ve hemen hemen her sektörde kullanılmaya başlandı. Doğrusal programlama, değişkenlere ve kısıtlara bağlı kalarak amaç fonksiyonunu en uygun (en büyük ya da en küçük) kılmaya çalışır [16].

Doğrusal programlama modelinden tutarlı sonuçların elde edilmesi çeşitli varsayımlara bağlıdır. Doğrusal programlama ile ilgili çeşitli varsayımlar ve tanımlar şöyledir:

- Doğrusallık varsayımı
- Toplanabilirlik varsayımı
- Bölünebilirlik varsayımı
- Kesinlik varsayımı

3.2.1.1. Doğrusallık varsayımı

Bir doğrusal programlama modelinde amaç fonksiyonunun karar değişkenlerinin bir doğrusal fonksiyonu olması (doğrusal olması) gerçeğinin iki gerekçesi vardır. Amaç fonksiyonuna her karar değişkeninden gelen eklemeler karar değişkenlerinin değerleri ile doğru orantılıdır ve bir karar değişkeninin yaptığı katkı, diğer karar değişkenlerinin yaptığı katkıdan bağımsızdır [17].

3.2.1.2. Toplanabilirlik varsayımı

Bu varsayım değişik üretim faaliyetlerine kaynak olan üretim girdilerinin toplamının her bir işlem için ayrı ayrı kullanılan girdilerin toplamına eşit olduğunu gösterir. Örneğin bir iş iki saatte, diğeri üç saatte yapılıyorsa, iki işi birden yapmak için beş saate ihtiyaç vardır [17].

3.2.1.3. Bölünebilirlik varsayımı

Bu varsayım, her karar değişkeninin ondalıklı bir sayı olabileceğini ve karar değişkeni değerlerinin tamsayı olmasının zorunluluğunun olmadığını gösteren varsayımdır. Fakat bu varsayım her her problem sonucu için mümkün değildir. Örneğin

bazı problemlerde sonuç 1,5 adet masa üretilmesi gerek gibi bir sonuca varabilir ve o zaman bu problem bölünebilirlik varsayımını sağlamaz. Bu tip problemleri çözerken de tamsayı programlama yöntemi kullanılır.

3.2.1.4. Kesinlik varsayımı

Bu varsayım, tüm parametrelerin (amaç fonksiyonu katsayısı, sağ el tarafı ve teknolojik katsayı) kesin olarak bilinmesini öngörür. Eğer bu değerler tam olarak bilinmiyorsa, sonuç güvenilir olmayacaktır. [17]

3.2.2. İlk uygun azalan sezgisel metot

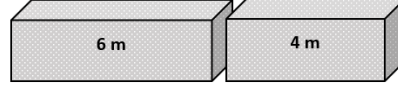
İlk uygun azalan sezgisel metot şu şekilde uygulanmaktadır. Öncelikle en büyük uzunluğa sahip sipariş parçası herhangi bir kesme planında tüm siparişin karşılanması veya ana malzemede yer kalmayınca kadar ana malzemeye yerleştirilir. En büyük uzunluktaki sipariş parçası kesme planına yerleşemediği durumda sonraki en uzun sipariş parçası kesme planına yerleştirilir. Kesme planına herhangi bir sipariş parçasının yerleşmemesi durumunda kesme planı hazırdır. Toplam ana malzeme sayısı ve sipariş parçalarının talep miktarını aşmaması kısıtı altında kesme planı tekrarlanır. Daha sonra talep miktarları ve ana malzemeler güncellenerek, süreç tekrarlanarak yeni kesme planları oluşturulur. Süreç tüm sipariş parçalarının taleplerinin karşılanması ile sonlanır.

İlk uygun azalan sezgisel metot için bir boyutlu kesme probleminde bir örnek şu şekilde açıklanabilir;

- 10 metre boyunda ana malzemeler bulunmaktadır ve mevcut siparişlerin karşılanabilmesi için yeterli miktarda ana malzemenin var olduğu varsayılmaktadır.
- Mevcut ana malzemeden 6 metre, 4 metre ve 3 metre boyutlarındaki sipariş parçalarından; 6 metre sipariş parçasından 20 adet, 4 metre sipariş parçasından 25 adet, 3 metre sipariş parçasından ise 38 adet talep edilmektedir.

Öncelikle, müşteri siparişleri büyükten küçüğe doğru sıralanır ($6m > 4m > 3m$). 10 metrelik ana malzemeye öncelikle eni en büyük olan 6 metrelik sipariş parçası

yerleştirilir, ana malzemeden geriye kalan 4 metrelik kısma ise 4 metrelik sipariş parçası yerleştirilerek ilk kesme planı elde edilir (Bkz. Şekil 3.1).

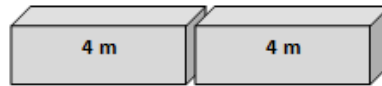


Şekil 3.1. Kesme planı 1

Elde edilen bu kesme planında 6 metrelik ve 4 metrelik sipariş parçalarından az sayıda sipariş edilen parça sayısı kadar uygulanmalıdır. Şekil 3.1’de gösterilen kesme planı için kesme işlemi 20 kez tekrar edilir. Bu durumda 6 metre uzunluğundaki sipariş parçasının talebi karşılanmıştır, 4 metre uzunluğundaki sipariş parçasından ise 5 adet daha kesilmelidir.

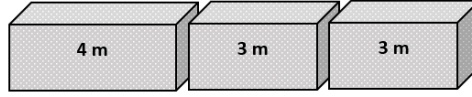
Sipariş parçalarının toplam talepleri karşılanmadığından talep miktarlarının son durumu güncellenerek ilgili metodun uygulanmasına devam edilir. Nihai olarak talepler şu şekilde sıralanır: 5 adet 4 metrelik parça, 38 adet 3 metrelik parçadır.

Bu noktadan hareket ile ikinci kesme planı oluşturulur (Bkz. Şekil 3.2). 4 metrelik sipariş parçasının kalan talebi 5 adet olduğu için bu kesme planından sadece 2 adet uygulanabilir. İkinci kesme planını için fire miktarı toplamda 4 metredir. Sipariş parçalarının talepleri güncellendiğinde 1 adet 4 metrelik ve 38 adet 3 metrelik parçaya ihtiyaç vardır.



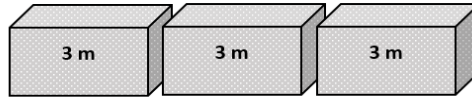
Şekil 3.2. Kesme planı 2

Üçüncü kesme planının (Bkz. Şekil 3.3) 1 kez uygulanmasıyla 4 metre uzunluğundaki sipariş parçasının talebi karşılanmış, 3 metrelik sipariş parçasının ise 36 adet talebi kalmıştır. Bu kesme planı için fire oluşmamıştır.



Şekil 3.3. Kesme planı 3

Dördüncü kesme planının (Bkz. Şekil 3.4) 12 kez uygulanmasıyla tüm sipariş parçalarının talepleri karşılanmıştır. Toplamda $(12 \times 1) + (2 \times 2) = 16$ metre fire ile tüm talepler karşılanmış olur.



Şekil 3.4. Kesme planı 4

3.2.3. Ardışık sezgisel prosedür

Ardışık sezgisel prosedür yaklaşımında, ana malzemelerden kesilmesi istenen daha küçük uzunluktaki tüm sipariş parçalarının karşılanıncaya kadar kesme planlarının oluşturulmasıyla çözüm elde edilir.

Bu yaklaşımın işleyişi şu şekildedir:

- Ardışık sezgisel prosedürün tanımlayıcıları vardır. Kesilecek ana malzeme sayısı ve her bir ana malzemeden kesilebilir ortalama sipariş sayısıdır.
- Sonraki aşamada kesme planı oluşturulurken kullanılacak amaçlar belirlenir. Kabul edilebilir fire miktarı, kesme planı ile kesilebilir sipariş parçası sayısı, kesme planının kaç kez kullanılacağı ardışık sezgisel prosedür için belirlenen amaçlardır.
- Daha sonra belirlenen amaçlar göz önüne alınarak kesme planı oluşturulur.
- Amaçlara uygun bir kesme planı oluşturulduğunda kesme planındaki firenin en az olduğu plan seçilerek kesme işlemi yapılır. Kesme planı oluşturulurken, kesme planında kesilecek olan sipariş parçalarının talep edildikleri sayıdan çok olmaması gereklidir. Bulunan kesme planı ile karşılanan sipariş adeti kadar siparişlerin talep miktarları azaltılarak başlangıç adımı geri dönlür.

- Eğer herhangi bir kesme planı oluşturulamaz ise amaçların sayısal değerleri değiştirilerek adımlar tekrarlanır. Genellikle amaçlardan kesme planındaki parça adedinin kullanımının azaltılması tercih edilir. Böylece oluşturulan yeni kesme planı oluşturulduktan sonra kesme işleminin başladığı adıma geri dönülür.

Ardışık sezgisel prosedürün doğrusal programlamaya göre en belirgin avantajı, fire kaybının yanı sıra diğer faktörlerin de kontrol edilmesini sağlamasıdır. Örnek olarak, yüksek yerleşim planı kullanımının araştırılmasının yerleşim planlarının değişimin azaltılması verilebilir.

3.2.4. Melez çözüm yaklaşımı

Kesme problemlerinin çözümünde doğrusal programlama ve ardışık sezgisel prosedürün beraber kullanıldığı bir yöntemdir. Örneğin, ilk olarak ardışık sezgisel prosedür ile bulunan bir çözüm doğrusal programlamanın başlangıç noktası olarak kabul edilir.

Bu yaklaşımın en önemli avantajı, kullanılan iki metodun ayrı ayrı olarak verdiği çözümlerden daha iyi bir çözümü vermesidir. Bu yaklaşım genellikle yerleşim planlarının değişiminin en az olmasının istendiği ve firenin en küçüklenmesinin istendiği problemlere uygulanır [18].

3.3. Metasezgisel Metotlar

Sezgisel metotların yoruma açık yapısından dolayı bazı durumlarda bu yöntemler yeterli görülmeyerek doğal olayları kılavuz edinen metasezgisel metotlar üzerinde çok sayıda algoritma oluşturulmuştur.

Metasezgisel metotların bazıları sırasıyla şu şekildedir; yasaklı arama, tavlama benzetimi algoritması, karınca kolonisi algoritması, açgözlü rassallaştırılmış uyarlamalı arama yordamı ve genetik algoritma.

Tavlama benzetimi, termodinamik süreçleri; yasaklı arama, bir çeşit hafıza uygulamasını dikkate alarak zeki süreçleri; genetik algoritmalar problemi genetik yapılara benzer bir şekilde formüle ederek; karınca kolonisi ise karıncaların yuvaları ile

yiyecek noktaları arasındaki en kısa yolu bulma yeteneklerinden esinlenilerek doğanın en iyi olan hayatta kalır prensibini kılavuz olarak almaktadır.



4. SKALERLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Skalerleştirme, çok amaçlı bir eniyileme probleminin, gerçek değerli bir amaç fonksiyonuna sahip uygun bir skaler eniyileme problemi ile deęiőtirilmesidir. Skaler eniyileme teorisi oldukça gelişmiş olduğu için, skalerleştirme çok amaçlı eniyileme teorisi için büyük önem taşımaktadır. Tek amaçlı eniyileme problemi oluőturmanın bir yolu, bazı parametre ya da ek kısıtlar içeren skalerleştirme fonksiyonlarıdır. Çok amaçlı eniyileme yöntemleri, farklı skalerleştirme fonksiyonlarını farklı şekillerde ele alır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi kesme problemlerinin iki amaçlı olarak formüle edilmesi pratik anlamda çok önemlidir. Kesme problemlerinde toplam kesim kaybını en küçüklerken, aynı anda kullanılan ana malzeme çeőt sayısının en küçüklenmesi ana malzeme depo ve lojistik maliyetlerini azaltırken, aynı çeőtteki ürünlerden büyük miktarlarda satın alınması, ürün fiyatlarında indirim sağlayabilir [15].

Literatürde çok amaçlı eniyileme problemlerini skalerleőtirmek amacıyla kullanılan bir çok skalerleştirme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazılarına örnek olarak ağırlıklandırılmış toplam yöntemi, epsilon kısıt yöntemi, Chbyshev yöntemi ve konik skalerleştirme yöntemi verilebilir.

4.1. Ağırlıklandırılmış Toplam Yöntemi

Ağırlıklandırılmış toplam yöntemi Gass ve Saaty [19] tarafından 1955 yılında öne sürülmüőtür ve çok amaçlı eniyileme problemleri için kullanılmışken yaygın skalerleştirme yöntemlerinden biridir. Ağırlıklandırılmış toplam yöntemi her amacı, karar verici tarafından belirlenen bir ağırlık katsayısı ile ilişkilendirmek ve amaçları ağırlıklandırılmış toplam ile oluőturulmuş gerçek değerli fonksiyon şeklinde eniyilemektir [15].

Bu yöntemin birçok avantajına rağmen eksikliklerinden biri, verilen kümenin dışbükey olmayan kısımlarına, amaç fonksiyonlarının dışbükey bileőenlerini eniyileyerek ulaşılamaz olmasıdır. Bu yöntemin özellikleri şu şekildedir:

- Eğer amaç uzayı konveks ise bu yöntem zayıf ve has etkin çözümlerin hepsini elde edebilir.

- Konveks durumda bu yöntem karşı gelen amaç fonksiyonu ağırlıklarına göre etkin çözümlerin bulunmasını garanti eder ancak referans noktası bilgisi bu yöntem ile dikkate alınmaz. [15]

Bu çalışmada çok amaçlı eniyileme probleminin skalerleştirilmesinde ağırlıklandırılmış toplam yöntemi kullanılmıştır.



5. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODEL

Literatürde bu tür problemleri çözmek için, genellikle kesme ile ana malzeme seçiminin ayrı ayrı ele alındığı yaklaşımlar araştırılmıştır. Bu çalışmanın en temel özelliklerinden biri, hem kesme probleminin hem de ana malzeme seçimi problemini aynı matematiksel modelde ele alınmasıdır. Çalışmanın bir diğer özelliği de kesme planları kümesinin önceden türetilmesine ihtiyaç duyulmadan hem kesme probleminin hem de ana malzeme seçimi probleminin tek bir matematiksel modelde ele alınmasıdır. Geliştirilen model kesme planları kümesini parametre kümesi olarak kullanmamakta, sadece eniyi kesme planlarının çözüm olarak üretilmesini öngörmektedir. Bu çalışmada, literatürdekinden farklı olarak talep fazlası üretim miktarlarının en küçüklenmesi ek bir amaç fonksiyonu olarak araştırılmış ve sezgisel algoritma bu yeni amaç fonksiyonunu da en küçükleyecek şekilde geliştirilmiştir.

5.1. Kümeler ve Parametreler

Kullanılacak kümeler şu şekildedir;

$i=\{1, \dots, m\}$; ana malzeme çeşitleri

$j=\{1, \dots, n\}$; sipariş parçalarının çeşidi

K_i : i .çeşit ana malzemenin üretim süresinde kullanılabilecek en çok miktarı.

Parametreler;

c_j : j . çeşit ürünün boyutu (uzunluk);

L_i : i . çeşit ana malzemenin boyutu (uzunluk);

d_j : j . çeşit ürüne olan talep miktarı (sayı);

5.2. Karar Değişkenleri

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i. \text{çeşit ana malzeme } k. \text{kez kullanılırsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases} \quad (5.1)$$

$$z_i = \begin{cases} 1, & i. \text{ çeşit ana malzeme kullanılırsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases} \quad (5.2)$$

$$y_{ijk} : i. \text{ çeşit ana malzeme } k. \text{ kez kullanıldığında kesilen } j. \text{ ürün sayısı.} \quad (5.3)$$

5.3. Matematiksel Modelin Amaç Fonksiyonları

1. Toplam fire:

$$f_1(x, y, z) = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{K_i} (L_i x_{ik} - \sum_{j=1}^n c_j y_{ijk}). \quad (5.4)$$

2. Talepten fazla yapılan üretim miktarı:

$$f_2(x, y, z) = \sum_{j=1}^n [\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{K_i} y_{ijk} - d_j] \quad (5.5)$$

3. Kullanılabilecek toplam ana malzeme çeşidi:

$$f_3(x, y, z) = \sum_{i=1}^m z_i. \quad (5.6)$$

Bu işaretlemeler dahilinde, problemin matematiksel modeli Bölüm (5.4)'te verilmiştir.

5.4. Matematiksel Model

$$L_i x_{ik} - \sum_{j=1}^n c_j y_{ijk} \geq 0, \forall i, k \text{ için.} \quad (5.7)$$

(5.7) kısıtı, her bir ana malzemedan kesilecek parçaların toplam boyutunun, bu ana malzemenin boyutunu aşmamasını garantiler.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{K_i} y_{ijk} - d_j \geq 0, \forall j \text{ için.} \quad (5.8)$$

(5.8) kısıtı, her bir ürünün toplam kesilecek miktarının, en az talep kadar olmasını garantiler.

$$\sum_{k=1}^{K_i} x_{ik} \leq K_i z_i, \forall i \text{ için.} \quad (5.9)$$

(5.9) kısıtı ise ilişkilendirme kısıtları olup, her bir ana malzemenin sadece seçilirse üretimde kullanılabileceğini garantiler.

$$y_{ijk} \geq 0, \text{ ve tam sayı, } z_i \in \{0,1\}, x_{ik} \in \{0,1\} \quad (5.10)$$

(5.10) kısıtı, modelde kullanılan karar değişkenlerinin değer kümelerini ifade eder.

Kısıtları altında;

$$\text{enk } [f_1(x, y, z), f_2(x, y, z), f_3(x, y, z)] \quad (P)$$

Amaç fonksiyonlarını kıyaslandığında, bunların çelişen amaçlar olduğu kolaylıkla anlaşılır. Talepten fazla üretime izin verilerek, aslında toplam firenin daha küçük olması sağlanabilir. Fakat talep fazlası üretim en küçüklendiğinde, fire artışına katlanılacak şekilde bir ödünleşimin göz önünde bulundurulması gerekiyor ki bu da çok amaçlı eniyilemenin temel unsurlarından biridir. Pratikte, talep fazlası üretimin en küçüklendiği durumlarda, fire miktarı küçük olsa da talepten fazla üretilen ürün miktarının büyük boyutlara ulaşılabilceği görülmüştür ki, bu da çoğu zaman kabul edilebilir bir durum değildir, çünkü talep fazlası üretilen parçalar da üreticiler tarafından fire olarak görülebilir. Benzer şekilde, birinci ve üçüncü amaç fonksiyonları da çelişen amaçlardır, öyle ki ana malzeme türü en küçüklendiği durumda, yani üretici firma, deposunda her çeşit ana malzeme bulundurabilse, aslında fireyi de sıfırlayabilir veya problemi sıfıra yakın bir fire ile çözebilir. Fakat bunun için çok büyük miktarda ana malzeme çeşidinin depoda bulundurulması gerekir ki, pratik olarak böyle bir şeyin gerçekleşmesi mümkün olmamaktadır. Buradan hareketle, ne kadar fire, kaç çeşit ana malzeme ödünleşiminin çok iyi analiz edilmesi gerektiği anlaşılır. Benzer bir ödünleşim analizi, ikinci ve üçüncü amaç fonksiyonları arasında da yapılmalıdır. Böyle bir ödünleşme, amaç fonksiyonlarına ağırlık veya önem katsayıları verilerek yapılabilir. Fakat bu durumda da kesin çözüm yöntemlerini kullanabilmek için, ağırlık katsayılarını, başka bir deyimle karar vericinin amaç fonksiyonları açısından tercihlerini yansıtan önem derecelerini ve hatta referans noktası tercihlerini göz önünde bulundurma olanağı sağlayan skalerleştirme yöntemlerinin kullanılması konusunu gündeme getirmektedir. Kesme problemleri zaten zor çözülen problemler sınıfına girdiğinden, bu durum, kesin çözümlerin bulunmasını daha da zorlaştırmaktadır. Bu nedenler göz önünde bulundurularak bu çalışmada, geliştirilmiş olan matematiksel modeli çözmek için sezgisel bir çözüm algoritması önerilmiştir. Sonraki bölümde geliştirilen sezgisel algoritma açıklanacak ve matematiksel model ve sezgisel model örnek problemlerde denenecektir.

6. GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL ALGORİTMA

Bu bölümde, kesme ve ana malzeme seçimi probleminin bir önceki bölümde açıklanan matematiksel modelinin çözülmesi için önerilen sezgisel algoritma açıklanmıştır.

5. bölümde açıklanan matematiksel model tam sayılı olduğundan, talebin tam olarak belirlenen miktarının uygun çözüm alanının dışında olması beklenen bir durumdur. Bu yüzden, bütün ürünler için, talebin tam olarak sağlanacak şekilde kesme planlarının oluşturulması, her zaman mümkün olmayabilir. Bu durumda, talep fazlası üretime izin verilmesi istenen bir durum olmasa da buna mecbur kalınabilir. Fire miktarının, talep fazlası üretim miktarının ve kullanılacak ana malzeme sayısının en küçüklenmesi, birbiri ile çelişen amaçlar olduğundan, karar verici hangi amacın ne kadar önemli olduğunu veya hangi amaçtan ne kadar ödün verilebileceğini belirlemek durumundadır.

Geliştirilen algoritmada, bir önceki bölümde açıklanan parametre listesine ek olarak aşağıdaki parametreler kullanılmıştır:

s indisi, güncellenmiş ürün kümesindeki ilk ürünün numarası.

r indisi, güncellenmiş ana malzeme kümesindeki ilk ana malzeme numarası.

h_s : seçilen ana malzeme türüne yerleştirilebilecek s .ürünün en büyük sayısı.

t : izin verilen fire miktarı için üst sınır.

a : izin verilen fire miktarını arttırmak için kullanılacak adım uzunluğu.

d : talep fazlası üretilecek miktar için izin verilecek üst sınır.

b : izin verilen talep fazlası üretim miktarını arttırmak için kullanılacak adım uzunluğu.

COUNT: güncellenmiş ürün kümesindeki “birinci” ürünün oluşturulacak kesme planındaki sayısını gösteren parametre olup, alabileceği değerler, $COUNT = 0, 1, \dots, h_s$ şeklinde tanımlanmıştır.

6.1. Sezgisel Algoritma

Bu bölümde algoritmanın nasıl çalıştığı ve matematiksel modelde yer alan üç amaç fonksiyonunun algoritma tarafından nasıl önceliklendirildiği açıklanmıştır.

Başlangıç Adım: $i = \{1, \dots, m\}$ uzunluklarına göre, küçükten büyüğe sıralanmış ana malzeme çeşidi kümesi olsun. Başlangıç ana malzeme kümesi $i = \{1, \dots, m\}$ şeklinde tanımlandığından, $r = 1$ olacaktır. (İlerleyen bir iterasyonda, $i = \{2, 1, 3, 4 \dots, n\}$ olarak güncellendiğinde $r = 2$ olacaktır vb.) $j = \{1, \dots, n\}$ uzunluklarına göre büyükten küçüğe sıralanmış ürün kümesi olsun. Başlangıç ürün kümesi $j = \{1, \dots, n\}$ şeklinde tanımlandığından, $s = 1$ olacaktır. (İlerleyen bir iterasyonda, $j = \{2, 1, 3, 4 \dots, n\}$ olarak güncellendiğinde $s = 2$ olacaktır vb.) $COUNT=0$, $i=1$, $j=1$, $t=0$, ve a parametresi için uygun bir değer seçilir (bu parametrenin değeri, ürünlerin uzunlukları ölçeği ile orantılı olarak belirlenmelidir, örneğin ürün uzunlukları santimetre (cm) cinsinden belirlenmiş ve en kısa ürün 10 cm civarında ise, $a=1$ cm veya 0.5 cm seçilebilir).

Adım 1: i . ana malzeme ve j kümesinin ilk elemanı olan s .sipariş parçası için, fire miktarı t 'yi aşmayacak şekilde olası bir kesme planı aşağıdaki şekilde oluşturulur: i .ana malzemeye yerleştirilecek s . parça için h_s değeri hesaplanır. $h_s \times c_s \leq L_i$ ve $h_s \leq d_s$ olacak şekilde en büyük tamsayı h_s değeri bulunur. $(h_s - COUNT)$ kadar ürün ana malzemeye yerleştirilir.

Adım 2: $L_i - ((h_s - COUNT) \times c_s)$ değeri hesaplanarak ana malzemedan kalan miktar bulunur. Ana malzemedan kalan miktar, sıradaki ürünün yerleştirilmesine izin veriyorsa, yani $L_i - ((h_s - COUNT) \times c_s) > c_2$ (veya $L_i - ((h_s - COUNT) \times c_s) < c_2$ fakat $L_i - ((h_s - COUNT) \times c_s) > c_3$) ise bu ürünün kalan miktara yerleştirilebilecek en büyük sayı olan h_2 belirlenerek h_2 adet 2. ürün (veya h_3 adet 3. ürün), kalan miktara yerleştirilir ve bu süreç, kalan miktara başka hiç bir ürün yerleştirilemeyece kadar devam ettirilir.

$L_i - ((h_s - COUNT) \times c_s + h_2 \times c_2 + h_3 \times c_3 + \dots)$ hesapla ve *Adım 3'e git.*

Adım 3: Eğer $L_i - ((h_s - COUNT) \times c_s + h_2 \times c_2 + h_3 \times c_3 + \dots) \leq t+a$ ise, *Adım 4'e git.* Değilse, yani $L_i - ((h_s - COUNT) \times c_s + h_2 \times c_2 + h_3 \times c_3 + \dots) > t+a$ ise, *Adım 5'e git.*

Adım 4: $(h_s - COUNT) \times c_s + h_2 \times c_2 + h_3 \times c_3 + \dots$ şeklinde bir kesme planının oluşturulabilmesi, hesaplanacak talep fazlası üretim miktarına bağlı olarak aşağıdaki

şekilde belirlenecektir. Bu planda yer alan s nolu, 2 nolu, 3 nolu ve s . ürünlerin talep miktarları d_s, d_2, d_3 ve s . için $\text{enk}\{d_s/h_s - \text{COUNT}, d_2/h_2, d_3/h_3, \dots\}$ sayısı belirlenir. Eğer p sayısı olarak bu sayıdan küçük olan en büyük tam sayı değeri seçilirse, ve $\text{enk}\{d_s/h_s - \text{COUNT}, d_2/h_2, d_3/h_3, \dots\}$ tam sayı değilse, bu kesme planı i . ana malzemeye p kez uygulandığında d_s, d_2, d_3 ve s . talep miktarlarından daha az miktar elde edilecektir. Böylece bu ürüne (veya ürünlere) olan talebi sağlayabilmek için güncellenmiş (kesilen ürün miktarını talepten çıkartarak elde edilmiş) talep miktarları için süreci tekrarlamak gerekecektir. Bu şekilde süreci devam ettirerek ve tamamen yeni bir kesme planı oluşturarak talep fazlası üretimi en küçükleme mümkün olabilmektedir. Fakat yeni bir kesme planı beraberinde yeni bir fire miktarı oluşumunu ve yeni bir ana malzeme çeşidi kullanımını gerektirebilir. Yani, p sayısı bu şekilde seçilirse, talep fazlası üretimin en küçükleme amacına, firenin en küçükleme amacına göre daha yüksek öncelik verilmiş olacaktır. Ancak p sayısı olarak $\text{enk}\{d_s/h_s - \text{COUNT}, d_2/h_2, d_3/h_3, \dots\}$ sayısından büyük olan en küçük tam sayı değeri seçilirse, ve $\text{enk}\{d_s/h_s - \text{COUNT}, d_2/h_2, d_3/h_3, \dots\}$ tam sayı değilse, bu kesme planı i . ana malzemeye p kez uygulandığında d_s, d_2, d_3 ve s . talep miktarlarından daha fazla miktar elde edilecektir. Bu talep fazlası miktar, izin verilen d sayısı ile kıyaslanarak planın kabulüne veya reddine karar verilir. Kabulüne karar verildiği durumda, bu adıma gelindiğinde belirlenmiş olan fire miktarı ve aynı ana malzeme çeşidinin kullanımı garanti edilmiş olacaktır. Örneğin $\text{enk}\{d_s/h_s - \text{COUNT}, d_2/h_2, d_3/h_3, \dots\} = d_2/h_2 = 2.3$ olsun. Bu durumda $p=3$ olacak ve bu kesme planı 3 kez aynı ana malzemeye uygulanacak ve aynı fire miktarı 3 ile çarpılacaktır. Bu plan 3 kez uygulanırsa 2. üründen $(3 \times h_2 - d_2)$ adet fazla kesilmiş olacak. Eğer bu fazlalık, izin verilen d sayısından küçükse bu plan, kesme planı olarak kabul edilecek ve 2. ürünün talebi tamamen karşılandığından bu ürün listeden çıkartılacaktır. Bu durumda, “firenin en küçükleme” amacına, “talep fazlası üretimin en küçükleme” amacına göre daha yüksek öncelik verilmiş olacaktır.

p parametresi için olası iki versiyondan birinin seçilmesi, karar vericinin görüşüne bağlı olarak, daha az talep fazlası üretim, olası daha fazla fire miktarı ve/veya daha fazla ana malzeme çeşidi kullanımı arasında bir ödünleşimin göz önünde bulundurulması gerektirir.

Bu kesme planı kısmının kabul edildiği durumda *Adım 7'ye git*. Eğer talep fazlası üretim, izin verilen d sayısından büyükse bu plan, kesme planı olarak kabul edilmeyecek ve bu durumda *Adım 5'e git*.

Adım 5: $COUNT = COUNT + 1$ olarak güncelle. Eğer $COUNT < h_s$ ise *Adım 1'e git*. Değilse, yani $COUNT \geq h_s$ ise *Adım 6'ya git*.

Adım 6: $i = i+1$ olarak güncelle. Eğer $i \leq m$ ise *Adım 1'e git*, değilse, yani $i > m$ ise $t = t+a$ ve $i = 1$ olarak güncelle ve *Adım 1'e git*.

Adım 7: *Adım 3'te* i . ana malzemedan üretilen kesme planı kısmı C olsun. *Adım 4'te* bu kesme planı kısmının i . ana malzemeye p kez uygulanmasına karar verildiğini varsayalım. Bu kesme planını p kez uyguladıktan sonra talep miktarlarını ve yeni talep miktarlarına karşı gelen j ürün listesini güncelle (talepleri sıfırlanan ürünler listeden çıkartılacaktır). Ayrıca ana malzeme kümesi de güncellir. Eğer $j = \emptyset$ ise bütün ürünlere olan talepler sağlanmış, elde edilen kesme planı, karar vericinin tercihlerine cevap veren çözümdür. *Adım 8'e git*.

Eğer $J \neq \emptyset$ ise güncellenmiş bu ürün listesi için *Adım 1'e git*.

Adım 8: $s = s+1$ olarak güncelle. Eğer $s \leq n$ ise, bu durumda $j = \{s, 1, \dots, s-1, s+1, \dots, n-1, n\}$ olacak şekilde güncelle ve *Adım 1'e git*; değilse, yani $s > n$ ise, bu durumda *Adım 8'e git*.

Adım 9: $r = r+1$ olarak güncelle. Eğer $r \leq m$ ise, bu durumda $J = \{r, 1, \dots, r-1, r+1, \dots, m-1, m\}$ olacak şekilde güncelle ve *Adım 1'e git*; değilse, yani $r > m$ ise, bu durumda bulunan tüm çözümlerin arasından en küçük talepten fazla üretime, en küçük fireye ve en az ana malzeme türü kullanılmış olanı seç-DUR.

7. ÇÖZÜLEN ÖRNEK PROBLEMLER VE HESAPLAMA SONUÇLARI

Bu bölümde beşinci bölümde açıklanan matematiksel model ve bu modelin çözümü için altıncı bölümde açıklanan sezgisel algoritma örnek bir test problemi (Bölüm 7.1) için denenmiştir. Öncelikle geliştirilen yeni matematiksel modelin ve yeni amaç fonksiyonunun (talep fazlası üretim) rolünün vurgulanabilmesi için makul büyüklükte seçilen test probleminin çeşitli versiyonları (tek amaçlı ve çok amaçlı olarak) GAMS program paketi CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Kullanılan test probleminin özellikle küçük boyutta seçilmesinin sebebi, bu problemin skalerleştirilmiş versiyonunun GAMS tarafından da kolaylıkla çözümlenerek en iyi çözümünün bulunabilmesidir. Sezgisel algoritmanın performansının görülebilmesi için yine aynı test problemi (Bölüm 7.1) çözülmüş ve bulunan GAMS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sezgisel algoritmanın etkinliğinin vurgulanabilmesi içinayrıca literatürdeki dört adet test problemleri için çözülmüş ve sonuçları literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

7.1. Test Problemi

Ana malzeme sayısı: $m=5$;

Ana malzemelerin uzunlukları: $L=(100, 120, 130, 140, 160)$;

Ürün sayısı: $n=8$;

Ürün uzunlukları: $c=(45, 36, 31, 14, 13, 12, 11, 10)$;

Ürün talepleri: $d=(50, 70, 90, 30, 20, 14, 28,10)$.

7.1.1. Test problemi için sezgisel algoritma ile elde edilen çözüm sonuçları

Geliştirilen sezgisel algoritma için C# programı kullanılarak (7.1) bölümündeki test problemi çözülmüştür. Bulunan çözümde, beş farklı ana malzeme türünün beş tanesinde kullanılmış ve hiç talepten fazla üretim yapılmamıştır (Bkz. Tablo 7.2). Fire miktarı 64 cm olacak şekilde (Bkz. Tablo 7.1) bir çözüm elde edilmiştir.

Böylece 100 cm'lik ana malzeme türünden 3 adet, 120 cm'lik ana malzeme türünden 13 adet, 130 cm'lik ana malzeme türünden 16 adet, 140 cm'lik ana malzeme

türünden 25 adet ve 160 cm'lik ana malzeme türünden 9 adet olmak üzere toplam 66 adet ana malzeme kullanılmıştır (Bkz. Tablo 7.3).

TABLO 7.1. *Sezgisel algoritma ile elde edilen çözümün amaç fonksiyonu değerleri*

Amaç Fonksiyonu Değeri	
Fire	64
Talepten Fazla Üretim	0
Kullanılan Ana Malzeme Türü	5

TABLO 7.2. *Sezgisel algoritma ile elde edilen çözümde üretilen ürün miktarı*

Ürünler	Talep (adet)	Üretilen (adet)
Ürün 1	50	50
Ürün 2	70	70
Ürün 3	90	90
Ürün 4	30	30
Ürün 5	20	20
Ürün 6	14	14
Ürün 7	28	28
Ürün 8	10	10

TABLO 7.3. *Sezgisel algoritma ile elde edilen çözümde kullanılan ana malzeme sayısı*

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (100 cm)	3
Ana Malzeme Çeşidi 2 (120 cm)	13
Ana Malzeme Çeşidi 3 (130 cm)	16
Ana Malzeme Çeşidi 4 (140 cm)	25
Ana Malzeme Çeşidi 5 (160 cm)	9

Sezgisel algoritma ile bölüm (7.1) de verilen test probleminin çözümü için oluşturulan kesme planları şu şekildedir:

- $[(45 \times 2) + (36 \times 1) + (14 \times 1)] \rightarrow 25$ adet 140 cm'lik ana malzeme;
- $[(36 \times 2) + (14 \times 2)] \rightarrow 2$ adet 100 cm'lik ana malzeme;
- $[(36 \times 3) + (12 \times 1)] \rightarrow 13$ adet 120 cm'lik ana malzeme;
- $[(36 \times 2) + (31 \times 1) + (14 \times 1) + (13 \times 1)] \rightarrow 1$ adet 130 cm'lik ana malzeme;
- $[(31 \times 3) + (13 \times 2) + (11 \times 1)] \rightarrow 9$ adet 130 cm'lik ana malzeme;
- $[(31 \times 4) + (13 \times 1) + (12 \times 1) + (11 \times 1)] \rightarrow 1$ adet 160 cm'lik ana malzeme;
- $[(31 \times 3) + (11 \times 3)] \rightarrow 6$ adet 130 cm'lik ana malzeme;

- $[(31 \times 5)] \rightarrow 8$ adet 160 cm'lik ana malzeme;
- $[(10 \times 10)] \rightarrow 1$ adet 100 cm'lik ana malzeme.

Çalışmanın bundan sonraki kısmında, “Talep Fazlası Üretim” amaç fonksiyonunun ve geliştirilen sezgisel algoritmanın önemini bir örnek üzerinde vurgulamak için, problemin amaç fonksiyonları açısından çeşitli versiyonları araştırılmış ve çözüm sonuçları kıyaslamalı olarak yorumlanmıştır. İlk olarak Bölüm (7.1.)’deki test problemi “tek amaçlı problem - sadece firenin en küçüklendiği” şekilde GAMS program paketi CPLEX çözücüsü ile çözülmüş, daha sonra aynı problem “üç amaçlı” şekilde yine GAMS paket programı kullanılarak çözümü ve bulunan sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

7.1.2. Tek amaçlı-firenin en küçüklenmesi şeklinde 7.1 probleminin ele alındığı durum

Bu bölümde (P) problemine (Bkz. Bölüm 2), aşağıdaki (7.1) kısıtı eklenerek ve amaç fonksiyonları kısmı aşağıdaki şekilde değiştirilerek, yani sadece firenin en küçüklendiği şekilde ele alınmıştır:

$$\sum_{i=1}^m z_i \leq M \quad (7.1)$$

(5.7) - (7.1) Kısıtları altında

$$\text{enk } f_1(x, y, z) \quad (P1)$$

Burada M parametresi, olası ana malzeme çeşitlerinin en üst sayısıdır. Bu problem yukarıdaki test örneği için GAMS program paketi CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüş ve Tablo 7.4, Tablo 7.5 ve Tablo 7.6’deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 7.4. (P1) Probleminin amaç fonksiyonu için bulunan değer

Amaç	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire	16

Tablo 7.5. (P1) Problemi için elde edilen ana malzeme türleri

Ana Malzeme Çeşitleri	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (100 cm)	51
Ana Malzeme Çeşidi 2 (120 cm)	74
Ana Malzeme Çeşidi 3 (130 cm)	62
Ana Malzeme Çeşidi 4 (140 cm)	72
Ana Malzeme Çeşidi 5 (160 cm)	70

Tablo 7.6. (P1) Problemi için elde edilen üretilecek ürün adetleri

Ürünler	Talep Adeti	Kesilen Adet
Ürün 1	50	55
Ürün 2	70	105
Ürün 3	90	523
Ürün 4	30	71
Ürün 5	20	464
Ürün 6	14	78
Ürün 7	28	794
Ürün 8	10	414

Problemin amaç fonksiyonu değeri 16 olarak bulunmuştur. Fakat kesilen ürünlerin sayısına baktığımızda (Bkz. Tablo 7.6), talepten çok fazla üretim yapıldığı ve toplamda 5 çeşit ana malzemeden 329 adet kullanıldığı görülmüştür. Bu ana malzeme ve depo maliyetinin artması bakımından istenmeyen bir durumdur. Elde edilen sonucu, test probleminin (Bkz. Bölüm 7.1), sezgisel algoritma kullanılarak elde edilen sonuçla kıyasladığımızda (Bkz. Tablo 7.1), Fire 64 cm, toplam kullanılan ana malzeme sayısı 66 adet ve talep fazlası üretimin yapılmadığı olarak bulunduğu göz önünde bulundurulursa, geliştirilen sezgisel algoritmanın etkinliği çok açık bir şekilde görülmüş olur.

7.1.3. Üç amaçlı (en küçük fire, en küçük ana malzeme çeşidi, en küçük talepten fazla üretim) şeklinde Bölüm 7.1'deki probleminin ele alındığı durum

Bölüm 5'te geliştirilen yeni matematiksel model ağırlıklandırılmış toplam yöntemi kullanılarak eşit ağırlıklarla skalerleştirilmiş, ele alınan test problemi (Bkz. Bölüm 7.1), GAMS program paketi CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüş ve bulunan sonuçlar yorumlanmıştır.

Çözüm sonucunda amaç fonksiyonları için elde edilen en iyi değerler Tablo 7.7'de verilmiştir. Ürünler için elde edilen üretim miktarları Tablo 7.8'de verilmiştir. Tablo 7.8'den de görüldüğü üzere, 2. ve 4. ürünlerden birer tane fazla üretilecek şekilde bir çözüm bulunmuştur. Problemin bu şekilde çözdürülmesi sonucu, 1. ana malzemeden 35 adet, 5. ana malzemeden de 34 adet kullanılarak (Bkz. Tablo 7.9) en iyi çözüm bulunmuştur. Bu durumda bile, her ne kadar 2 çeşit ana malzeme kullanılacak şekilde çözüm bulunmuşsa da, toplam ana malzeme sayısı 69 adet ile sezgisel algoritmanın bulduğu çözümdeki 66 adet ana malzeme sayısının üzerinde olmuştur. Fire miktarı da 74 cm ile sezgisel algoritmanın bulduğu değerden (64 cm) fazla çıkmıştır. Benzer

şekilde talepten fazla üretilen miktar amaç fonksiyonu için de GAMS ile bulunan değer (2 adet), sezgisel algoritma ile bulunan değerden fazla çıkmıştır.

Tablo 7.7. (P) Probleminin GAMS paketi ile bulunan amaç fonksiyonları değerleri

Amaçlar	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire	74
Talepten Fazla Üretim	2
Kullanılan Ana Malzeme Türü	2

Tablo 7.8. (P) Probleminin GAMS paketi ile elde edilen üretilecek ürün adetleri

Ürünler	Talep (adet)	Üretilen (adet)
Ürün 1	50	50
Ürün 2	70	71
Ürün 3	90	90
Ürün 4	30	31
Ürün 5	20	20
Ürün 6	14	14
Ürün 7	28	28
Ürün 8	10	10

Tablo 7.9. (P) Probleminin GAMS paketi ile bulunan ana malzeme miktarları

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (100 cm)	35
Ana Malzeme Çeşidi 2 (120 cm)	-
Ana Malzeme Çeşidi 3 (130 cm)	-
Ana Malzeme Çeşidi 4 (140 cm)	-
Ana Malzeme Çeşidi 5 (160 cm)	34

Matematiksel modelin GAMS paket programı kullanılarak çözölen tek amaçlı (P1) ve çok amaçlı (P) versiyonlarının sonuçları da karşılaştırıldığında ise talep fazlası üretim amacının etkinliği çok açık bir şekilde görölmektedir. Çok amaçlı problemin amaç fonksiyonu değeri 74 cm olsa da, talepten fazla üretim miktarı 2 adet ile (Tek amaçlı versiyonda talepten fazla üretim sayısı 2192 adettir.) problemin tek amaçlı çözöümüne göre oldukça iyi sonuç vermiştir.

7.2. Literatürden Seçilen Problemler İçin Sezgisel Algoritma İle Elde Edilen Çözüm Sonuçları

Bu bölümde algoritmanın etkinliğini göstermek adına, literatürden örnekler seçilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sezgisel algoritma Bölüm 6’da verilen parametrelerin $d=0$, $b=0$, $t=0$, $a=1$ şeklinde ve p değerinin h_s değerinden küçük olduğu versiyon şeklinde çalışılmıştır.

7.2.1. Deneme 1

$$m = 2, n = 5,$$

$$L = (100, 110),$$

$$c = (10, 20, 30, 40, 60)$$

$$d = (6, 11, 4, 20, 15),$$

$$K=21$$

7.2.1.1. Deneme 1’in sezgisel algoritma ile çözüm sonuçların ve literatür sonucuyla karşılaştırılması

C# programı kullanılarak çözülen Deneme 1 [13] probleminin sonuçları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir (Bkz. Tablo 7.10, Tablo 7.11, Tablo 7.12). 100 cm lik ana malzemeden toplam 21 adet ana malzeme kullanılmış, kullanılan tüm kesme planları 0 (sıfır) fire ve 0 (sıfır) talepten fazla üretim ile sonuçlanmıştır. Bulunan amaç fonksiyonu değerleri literatürdeki sonuçlar ile (Bkz. Tablo 7.13) aynıdır. Problem boyutunun küçük olması her iki algoritmanın da en iyi sonuca ulaşmasında etkili olmuştur.

Tablo 7.10. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 1 problemi için bulunan amaç fonksiyonları değerleri

Amaçlar	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire	0
Talepten Fazla Üretim	0
Kullanılan Ana Malzeme Türü Sayısı	1

Tablo 7.11. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 1 problemi için kullanılan ana malzeme sayısı

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (100 cm)	21
Ana Malzeme Çeşidi 2 (110 cm)	-

Tablo 7.12. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 1 problemi için oluşturulan kesme planları

Kesme Plan No	Kullanılan Ana Malzeme Uzunluğu (cm)	Kullanılma Sayısı (Adet)	Kesme Planı	Fire (cm)
1	100	15	$[(60 \times 1) + (40 \times 1)]$	0
2	100	2	$[(40 \times 2) + (20 \times 1)]$	0
3	100	1	$[(40 \times 1) + (30 \times 2)]$	0
4	100	1	$[(30 \times 2) + (20 \times 2)]$	0
5	100	1	$[(20 \times 5)]$	0
6	100	1	$[(20 \times 2) + (10 \times 6)]$	0

Tablo 7.13. Deneme 1 problemi 2011'deki algoritma için bulunan amaç fonksiyonları değerleri[13]

Amaçlar	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire	0
Talepten Fazla Üretim	0
Kullanılan Ana Malzeme Türü Sayısı	1

Tablo 7.14. Deneme 1 problemi 2011'deki algoritma için kullanılan ana malzeme sayısı [13]

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (100 cm)	21
Ana Malzeme Çeşidi 2 (110 cm)	-

Tablo 7.15. Deneme 1 problemi 2011'deki algoritma için oluşturulan kesme planları [13]

Kesme Plan No	Kullanılan Ana Malzeme Uzunluğu	Kesme Planı	Kullanılma Sayısı (Adet)	Fire
1	100	15	$(1 \times 60) + (1 \times 40)$	0
2	100	2	$(2 \times 40) + (1 \times 20)$	0
3	100	1	$(1 \times 40) + (2 \times 30)$	0
4	100	1	$(2 \times 30) + (2 \times 20)$	0
5	100	1	(5×20)	0
6	100	1	$(2 \times 20) + (6 \times 10)$	0

7.2.2. Deneme 2

$$m = 3, n = 10,$$

$$L = (100, 110, 120),$$

$$c = (10, 20, 30, 40, 60, 15, 25, 35, 45, 65),$$

$$d = (7, 11, 3, 20, 15, 5, 10, 13, 20, 15),$$

$$K=32$$

7.2.2.1. Deneme 2'nin sezgisel algoritma ile çözüm sonuçları ve literatür sonucuyla karşılaştırılması

Deneme 2 [13] probleminin geliştirilen yeni sezgisel algoritma ile çözülmesi sonucu üç çeşit ana malmeze türünden 2 adedi kullanılmıştır. 100 cm lik ana malzemedan toplam 32 adet, 110 cm lik ana malzemedan ise 14 adet olmak üzere toplamda 46 adet ana malzeme kullanılmış (Bkz. Tablo 7.17), 5 cm fire ve 0 (sıfır) talepten fazla üretim yapılmıştır (Bkz. Tablo 7.16). Bulunan amaç fonksiyonu değerleri literatürdeki sonuçları ile karşılaştırıldığında, fire miktarı olarak aynı sonucu verseler de kullanılan ana malzeme türünün en küçüklenmesi amacıyla geliştirilen yeni sezgisel algoritma daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 7.16. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 2 problemi için bulunan amaç fonksiyonları

Amaçlar	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire	5
Talepten Fazla Üretim	0
Kullanılan Ana Malzeme Türü Sayısı	2

Tablo 7.17. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 2 problemi için kullanılan ana malzeme sayısı

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (100 cm)	32
Ana Malzeme Çeşidi 2 (110 cm)	14
Ana Malzeme Çeşidi 3 (120 cm)	-

Tablo 7.18. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 2 problemi için oluşturulan kesme planları

Kesme Plan No	Kullanılan Ana Malzeme Uzunluğu	Kesme Planı	Kullanılma Sayısı (Adet)	Fire
1	100	13	$[(65 \times 1) + (35 \times 1)]$	0
2	100	15	$[(60 \times 1) + (40 \times 1)]$	0
3	100	4	$[(45 \times 2) + (10 \times 1)]$	0
4	110	2	$[(65 \times 1) + (45 \times 1)]$	0

Tablo 7.18. (Devam) Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 2 problemi için oluşturulan kesme planları

Kesme Plan No	Kullanılan Ana Malzeme Uzunluğu	Kesme Planı	Kullanılma Sayısı (Adet)	Fire
5	110	5	$[(45 \times 2) + (20 \times 1)]$	0
6	110	2	$[(40 \times 2) + (30 \times 1)]$	0
7	110	1	$[(40 \times 1) + (30 \times 1) + (25 \times 1) + (15 \times 1)]$	0
8	110	2	$[(25 \times 4) + (10 \times 1)]$	0
9	110	1	$[(25 \times 1) + (20 \times 3) + (15 \times 1) + (10 \times 1)]$	0
10	110	1	$[(20 \times 3) + (15 \times 3)]$	5

Tablo 7.19. Deneme 2 problemi 2011'deki algoritma için bulunan amaç fonksiyonları değerleri[13]

Amaçlar	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire	5
Talepten Fazla Üretim	0
Kullanılan Ana Malzeme Türü Sayısı	3

Tablo 7.20. Deneme 2 problemi 2011'deki algoritma için kullanılan ana malzeme sayısı[13]

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (100 cm)	32
Ana Malzeme Çeşidi 2 (110 cm)	2
Ana Malzeme Çeşidi 3 (120 cm)	11

Tablo 7.21. Deneme 2 problemi 2011'deki algoritma için oluşturulan kesme planları[13]

Kesme Plan No	Kullanılan Ana Malzeme Uzunluğu	Kullanılma Sayısı (Adet)	Kesme Planı	Fire
1	100	10	$(2 \times 40) + (1 \times 20)$	0
2	100	13	$(1 \times 65) + (1 \times 35)$	0
3	110	2	$(1 \times 65) + (1 \times 45)$	0
4	120	7	(2×60)	0
5	120	1	$(1 \times 60) + (1 \times 45) + (1 \times 15)$	0
6	120	3	$(2 \times 45) + (1 \times 30)$	0
7	100	5	$(2 \times 45) + (1 \times 10)$	0
8	100	2	(4×25)	0
9	100	1	$(1 \times 45) + (2 \times 25)$	5
10	100	1	$(1 \times 20) + (4 \times 15) + (2 \times 10)$	0

7.2.3. Deneme 3

$$m = 4, n = 20,$$

$$L = (100, 110, 120, 130),$$

$$c = (10, 20, 30, 40, 60, 15, 25, 35, 45, 65, 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 31, 32),$$

$$d = (16, 11, 13, 20, 15, 15, 10, 13, 20, 15, 15, 11, 13, 20, 15, 15, 10, 13, 2, 15),$$

$$K = 42.$$

7.2.3.1. Deneme 3'ün sezgisel algoritma ile çözüm sonuçları ve literatür sonucuyla karşılaştırılması

Deneme 3 [13] probleminin geliştirilen yeni sezgisel algoritma ile çözülmesi sonucu 4 çeşit ana malzeme türünün dördü de kullanılmıştır. 100 cm'lik ana malzemeden 1 adet, 110 cm'lik ana malzemeden 42 adet, 120 cm'lik ana malzemeden 22 adet ve 130 cm'lik ana malzemeden 3 ve toplamda 68 adet ana malzeme kullanılmıştır (Bkz. Tablo 7.23). Toplam fire 0 (sıfır) ve 0 (sıfır) talepten fazla üretim ile sonuçlanmıştır (Bkz. Tablo 7.22). Bulunan amaç fonksiyonu literatürdeki sonuçlar ile (Bkz. Tablo 7.25) karşılaştırıldığında literatürdeki çözümde 4 adet 11 cm lik parça fazladan üretilmiş ve 20 cm'lik fire vermiştir. Fazladan kesilen parçaları da fire olarak kabul edersek 66 cm lik fire vermiş olur. Geliştirilen yeni sezgisel algoritma ise 0 (sıfır) fire sonucunu vermiş ve yeni algoritmanın etkinliği çok açık bir şekilde görülmüştür (Bkz. Tablo 7.22).

Tablo 7.22. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 3 problemi için bulunan amaç fonksiyonları

Amaçlar	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire	0
Talepten Fazla Üretim	0
Kullanılan Ana Malzeme Türü Sayısı	4

Tablo 7.23. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 3 problemi için kullanılan ana malzeme sayısı

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (100 cm)	1
Ana Malzeme Çeşidi 2 (110 cm)	42
Ana Malzeme Çeşidi 3 (120 cm)	22
Ana Malzeme Çeşidi 4 (130 cm)	3

Tablo 7.24. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 3 problemi için kesme planları

Kesme Plan No	Kullanılan Ana Malzeme Uzunluğu (cm)	Kullanılma Sayısı (Adet)	Kesme Planı	Fire
1	110	5	$[(32 \times 3) + (14 \times 1)]$	0
2	110	4	$[(30 \times 3) + (20 \times 1)]$	0
3	110	2	$[(25 \times 4) + (10 \times 1)]$	0
4	110	1	$[(25 \times 2) + (24 \times 2) + (12 \times 1)]$	0
5	110	2	$[(24 \times 4) + (14 \times 1)]$	0
6	110	1	$[(24 \times 3) + (23 \times 1) + (15 \times 1)]$	0
7	110	1	$[(30 \times 1) + (23 \times 3) + (11 \times 1)]$	0
8	110	3	$[(22 \times 5)]$	0
9	110	1	$[(20 \times 5) + (10 \times 1)]$	0
10	110	1	$[(20 \times 2) + (15 \times 4) + (10 \times 1)]$	0
11	110	3	$[(21 \times 4) + (15 \times 1) + (11 \times 1)]$	0
12	110	1	$[(14 \times 7) + (12 \times 1)]$	0
13	110	1	$[(14 \times 6) + (13 \times 2)]$	0
14	110	1	$[(11 \times 10)]$	0
15	110	1	$[(10 \times 11)]$	0
16	110	1	$[(10 \times 1) + (65 \times 1) + (35 \times 1)]$	0
17	110	13	$[(65 \times 1) + (45 \times 1)]$	0
18	120	1	$[(31 \times 2) + (23 \times 2) + (12 \times 1)]$	0
19	120	1	$[(21 \times 3) + (15 \times 3) + (12 \times 1)]$	0
20	120	1	$[(23 \times 4) + (15 \times 1) + (13 \times 1)]$	0
21	120	1	$[(15 \times 3) + (13 \times 4) + (12 \times 1) + (11 \times 1)]$	0
22	120	7	$[(60 \times 2)]$	0
23	120	7	$[(45 \times 1) + (40 \times 1) + (35 \times 1)]$	0
24	120	4	$[(40 \times 3)]$	0
25	130	1	$[(13 \times 6) + (12 \times 1) + (40 \times 1)]$	0
26	130	1	$[(60 \times 1) + (35 \times 2)]$	0
27	100	1	$[(65 \times 1) + (35 \times 1)]$	0
28	130	1	$[(12 \times 5) + (35 \times 2)]$	0

Tablo 7.25. Deneme 3 problemi 2011'deki algoritma için bulunan amaç fonksiyonları değerleri[13]

Amaçlar	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire (cm)	20
Talepten Fazla Üretim (Adet)	4
Kullanılan Ana Malzeme Türü Sayısı (Adet)	4

Tablo 7.26. Deneme 3 problemi 2011'deki algoritma için kullanılan ana malzeme sayısı[13]

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (100 cm)	42
Ana Malzeme Çeşidi 2 (110 cm)	5
Ana Malzeme Çeşidi 3 (120 cm)	23
Ana Malzeme Çeşidi 4 (130 cm)	2

Tablo 7.27. Deneme 3 problemi 2011'deki algoritma için oluşturulan kesme planları[13]

Kesme Plan No	Kullanılan Ana Malzeme Uzunluğu	Kullanılma Sayısı (Adet)	Kesme Planı	Fire
1	100	10	$(2 \times 40) + (1 \times 20)$	0
2	100	13	$(1 \times 65) + (1 \times 35)$	0
3	110	2	$(1 \times 65) + (1 \times 45)$	0
4	120	7	(2×60)	0
5	120	1	$(1 \times 60) + (1 \times 45) + (1 \times 15)$	0
6	120	8	$(2 \times 45) + (1 \times 30)$	0
7	120	1	$(1 \times 45) + (2 \times 32) + (1 \times 11)$	0
8	120	4	$(3 \times 32) + (1 \times 24) + (1 \times 11)$	0
9	100	1	$(3 \times 30) + (1 \times 10)$	0
10	100	2	(4×25)	0
11	110	1	$(4 \times 24) + (1 \times 14)$	0
12	110	1	$(3 \times 24) + (1 \times 23) + (1 \times 15)$	0
13	130	1	$(5 \times 23) + (1 \times 15)$	0
14	100	1	$(1 \times 23) + (3 \times 22) + (1 \times 11)$	0
15	100	2	$(4 \times 22) + (1 \times 12)$	0
16	100	1	$(1 \times 22) + (3 \times 21) + (1 \times 15)$	0
17	120	1	$(5 \times 21) + (1 \times 15)$	0
18	120	1	$(3 \times 21) + (3 \times 15) + (1 \times 12)$	0
19	100	1	$(2 \times 15) + (5 \times 14)$	0
20	110	1	$(7 \times 14) + (1 \times 12)$	0
21	130	1	$(2 \times 14) + (7 \times 13) + (1 \times 11)$	0
22	100	1	$(1 \times 32) + (2 \times 31)$	6
23	100	1	$(2 \times 30) + (1 \times 25) + (1 \times 15)$	0
24	100	1	$(1 \times 25) + (2 \times 24) + (1 \times 23)$	4
25	100	1	$(2 \times 23) + (2 \times 22) + (1 \times 10)$	0
26	100	1	$(1 \times 22) + (3 \times 21) + (1 \times 15)$ $(1 \times 21) + (1 \times 20) + (3 \times 15)$	0
27	100	1	$+ (1 \times 14)$	0
28	100	1	$(4 \times 14) + (3 \times 13)$	5
29	100	1	$(3 \times 13) + (5 \times 12)$	1
30	100	1	$(2 \times 12) + (6 \times 11) + (1 \times 10)$	0
31	100	1	$(6 \times 11) + (3 \times 10)$	4
32	100	1	(10×10)	0

7.2.4. Deneme 4

$$m = 4, n = 30,$$

$$L = (200, 220, 240, 280),$$

$$c = (10, 20, 30, 40, 60, 15, 25, 35, 45, 65, 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 31, 32, 33, 34, 41, 42, 43, 44, 51, 52, 53, 54),$$

$$d = (5, 11, 3, 20, 15, 5, 10, 13, 20, 15, 5, 11, 3, 20, 15, 5, 10, 13, 20, 15, 5, 11, 3, 20, 15, 5, 10, 13, 20, 15),$$

$$K = 34.$$

7.2.4.1. Deneme 4'ün sezgisel algoritma ile çözüm sonuçları ve literatür sonucuyla karşılaştırılması

Deneme 4 [13] probleminin geliştirilen yeni sezgisel algoritma ile çözülmesi sonucu 200 cm lik ana malzemedan toplam 7 adet, 220 cm lik ana malzemedan toplam 30 adet , 240 cm lik ana malzemedan toplam 15 adet , 200 cm lik ana malzemedan toplam 4 adet olarak tüm ana malzeme çeşitleri kullanılmıştır (Bkz. Tablo 7.28). Literatür sonuçları ile karşılaştırıldığında kullanılan ana malzeme sayısı ile eşit sayıda ana malzeme kullanılmıştır (Bkz. Tablo 7.32), tür olarak literatür sonuçlarında kullanılmayan 220 cm lik ana malzemeyi kullansa da, fire ve talepten fazla üretim sonuçları karşılaştırılacak olduğunda sezgisel algoritmada fire 9 cm, literatürde ise (Bkz Tablo 7.31) Deneme 4 için 49 cm. Yeni algoritmada talepten fazla üretim yapılmamışken literatürdeki sonuçta 11 cm'lik parçadan 2 adet fazla üretildiği görülmektedir. Fazladan kesilen parçalar da fire olarak kabul edildiğinde toplam fire 71 cm olmuştur. Sezgisel algoritmanın etkinliği problemin büyüklüğü arttıkça daha açık bir şekilde görülmüştür.

Tablo 7.28. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 4 problemi için bulunan amaç fonksiyon değerleri

Amaçlar	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire (cm)	9
Talepten Fazla Üretim	0
Kullanılan Ana Malzeme Türü Sayısı	4

Tablo 7.29. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 4 problemi için kullanılan ana malzeme sayısı

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (200 cm)	7
Ana Malzeme Çeşidi 2 (220 cm)	30
Ana Malzeme Çeşidi 3 (240 cm)	15
Ana Malzeme Çeşidi 4 (280 cm)	4

Tablo 7.30. Sezgisel algoritma ile çözülen Deneme 4 problemi için kullanılan kesme planları

Kesme Plan No	Ana Malzemenin Uzunluğu	Kullanılma Sayısı (Adet)	Kesme Planı	Fire (cm)
1	220	1	$[(21 \times 10) + (10 \times 1)]$	0
2	220	1	$[(21 \times 5) + (20 \times 5) + (15 \times 1)]$	0
3	220	1	$[(22 \times 5) + (20 \times 5) + (10 \times 1)]$	0
4	220	1	$[(20 \times 1) + (15 \times 4) + (14 \times 10)]$	0
5	220	1	$[(12 \times 11) + (11 \times 5) + (10 \times 1) + (23 \times 1)]$	0
6	220	1	$[(14 \times 10) + (13 \times 3) + (10 \times 1) + (31 \times 1)]$	0
7	220	5	$[(65 \times 3) + (25 \times 1)]$	0
8	220	1	$[(10 \times 1) + (60 \times 3) + (30 \times 1)]$	0
9	220	4	$[(60 \times 3) + (40 \times 1)]$	0
10	220	5	$[(45 \times 4) + (40 \times 1)]$	0
11	220	3	$[(51 \times 3) + (44 \times 1) + (23 \times 1)]$	0
12	220	2	$[(40 \times 4) + (35 \times 1) + (25 \times 1)]$	0
13	220	1	$[(40 \times 3) + (35 \times 2) + (30 \times 1)]$	0
14	220	1	$[(33 \times 5) + (32 \times 1) + (23 \times 1)]$	0
15	240	3	$[(54 \times 4) + (24 \times 1)]$	0
16	240	1	$[(54 \times 3) + (53 \times 1) + (25 \times 1)]$	0
17	240	3	$[(52 \times 4) + (32 \times 1)]$	0
18	240	1	$[(44 \times 2) + (43 \times 3) + (23 \times 1)]$	0
19	240	2	$[(43 \times 5) + (25 \times 1)]$	0
20	240	1	$[(42 \times 5) + (30 \times 1)]$	0
21	240	2	$[(31 \times 7) + (23 \times 1)]$	0
22	240	1	$[(24 \times 10)]$	0
23	280	1	$[(35 \times 8)]$	0
24	200	3	$[(53 \times 3) + (41 \times 1)]$	0
25	200	3	$[(42 \times 4) + (32 \times 1)]$	0
26	220	1	$[(52 \times 1) + (51 \times 1) + (43 \times 2) + (31 \times 1)]$	0
27	240	1	$[(35 \times 1) + (34 \times 6)]$	1
28	280	1	$[(32 \times 8) + (23 \times 1)]$	1
29	220	1	$[(42 \times 3) + (34 \times 2) + (23 \times 1)]$	3
30	280	1	$[(53 \times 4) + (34 \times 2)]$	0
31	280	1	$[(53 \times 4) + (34 \times 1) + (31 \times 1)]$	3
32	200	1	$[(53 \times 2) + (31 \times 3)]$	1

Tablo 7.31. Deneme 4 problemi 2011'deki algoritma için bulunan amaç fonksiyon değerleri[13]

Amaçlar	Amaç Fonksiyonu Değeri
Fire	49
Talepten Fazla Üretim	2
Kullanılan Ana Malzeme Türü Sayısı	3

Tablo 7.32. Deneme 4 problemi 2011'deki algoritma için kullanılan ana malzeme sayısı[13]

Ana Malzeme Türü	Kullanılan Ana Malzeme Sayısı (Adet)
Ana Malzeme Çeşidi 1 (200 cm)	34
Ana Malzeme Çeşidi 2 (220 cm)	-
Ana Malzeme Çeşidi 3 (240 cm)	5
Ana Malzeme Çeşidi 4 (280 cm)	17

Tablo 7.33. Deneme 4 problemi 2011'deki algoritma için oluşturulan kesme planları[13]

Kesme Plan No	Ana Malzemenin Uzunluğu	Kullanılma Sayısı (Adet)	Kesme Planı	Fire (cm)
1	280	2	$(5 \times 51) + (1 \times 25)$	0
2	280	3	$(4 \times 65) + (1 \times 20)$	0
3	280	1	$(3 \times 65) + (1 \times 60) + (1 \times 25)$	0
4	280	3	$(4 \times 60) + (1 \times 40)$	0
5	280	1	$(2 \times 60) + (2 \times 54) + (1 \times 52)$	0
6	280	2	$(5 \times 54) + (1 \times 10)$	0
7	280	1	$(3 \times 54) + (2 \times 53) + (1 \times 12)$	0
8	280	3	$(5 \times 53) + (1 \times 15)$	0
9	200	1	$(2 \times 53) + (1 \times 52) + (1 \times 42)$	0
10	200	3	$(3 \times 52) + (1 \times 44)$	0
11	200	1	$(1 \times 52) + (3 \times 45) + (1 \times 13)$	0
12	200	4	$(4 \times 45) + (1 \times 20)$	0
13	240	1	$(1 \times 44) + (4 \times 43) + (1 \times 24)$	0
14	240	2	$(5 \times 43) + (1 \times 25) + (1 \times 11)$	0
15	240	2	$(5 \times 42) + (1 \times 30)$	0
16	200	1	$(4 \times 42) + (1 \times 32)$	0
17	200	1	$(3 \times 42) + (1 \times 41) + (1 \times 33)$	0
18	200	3	(5×40)	0
19	200	2	$(5 \times 35) + (1 \times 25)$	0
20	280	1	$(6 \times 34) + (2 \times 32) + (1 \times 12)$	0
21	200	1	$(1 \times 53) + (1 \times 52) + (1 \times 45) + (1 \times 44)$	6
22	200	1	$(1 \times 43) + (2 \times 42) + (1 \times 41) + (1 \times 32)$	0

Tablo 7.33. (Devam) Deneme 4 problemi 2011'deki algoritma için oluşturulan kesme planları[13]

Kesme Plan No	Ana Malzemenin Uzunluğu	Kullanılma Sayısı (Adet)	Kesme Planı	Fire (cm)
23	200	1	$(1 \times 41) + (2 \times 40) + (2 \times 35)$	9
24	200	1	$(1 \times 35) + (4 \times 34) + (1 \times 25)$	4
25	200	1	$(1 \times 34) + (4 \times 33) + (1 \times 32)$	2
26	200	1	(6×32)	8
27	200	1	$(4 \times 32) + (2 \times 31) + (1 \times 10)$	0
28	200	3	$(6 \times 31) + (1 \times 14)$	0
29	200	1	$(1 \times 30) + (2 \times 25) + (5 \times 24)$	0
30	200	1	$(7 \times 24) + (1 \times 23)$	9
31	200	1	$(8 \times 23) + (1 \times 15)$	1
32	200	1	$(1 \times 23) + (5 \times 22) + (3 \times 21)$	4
33	200	1	$(9 \times 21) + (1 \times 11)$	0
34	200	1	$(3 \times 21) + (4 \times 20) + (1 \times 15) + (3 \times 14)$	0
35	200	1	(14×14)	4
36	200	1	$(2 \times 13) + (9 \times 12) + (4 \times 11) + (2 \times 10)$	2

8. SONUÇ

Çalışmada, bir boyutlu kesme ve ana malzeme seçimi problemi için üç amaçlı bir matematiksel model ve bu model için sezgisel bir çözüm algoritması önerilmiştir. Algoritmanın başarısı bir test problemi üzerinde denenmiş ve sonuçlar çeşitli problem versiyonları için GAMS program paketi ile elde edilen çözümlerle kıyaslanarak algoritmanın ve matematiksel modelin etkinliği gösterilmiştir.



KAYNAKÇA

- [1] Yanasse, H. H. ve Lamosa, M.J.P. (2006). An integrated cutting stock and sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 183(3):1353-1370.
- [2] Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44: 145–159.
- [3] Hinxman, A.I. (1980). The trim-loss and assortment problems: a survey. *European Journal of Operational Research*, 5: 8–18.
- [4] Belov, G. ve Scheithauer, G. (2002). A cutting plane algorithm for the one-dimensional cutting stock problem with multiple stock length. *European Journal of Operational Research*, 141: 274–294.
- [5] Gasimov, R. N., Sipahioğlu, A. ve Saraç, T. (2007). A multi-objective programming approach to 1.5-dimensional assortment problem. *European Journal of Operational Research*, 179: 64–79.
- [6] Gilmore, P. C. ve Gomory, R. E. (1964). Multistage cutting stock problems of two and more dimensions. *Operations Research*, 94–120.
- [7] Gilmore, P.C. ve Gomory, R.E. (1961). A linear programming approach to the cutting-stock problem. *Operations Research*, 9, 6, 849-859.
- [8] Zilla, S. S. ve Ittai, W. (1994). The One Dimensional Cutting Stock Problem Using Two Objectives. *The Journal of the Operational Research Society*, 45(2), 231-236.
- [9] Chu, C. ve Antonio, J., (1999). Approximation algorithms to solve real-life multicriteria cutting stock problems. *Operations Research*, Vol. 47, No. 4: 495-508.
- [10] Kolen, A.W.J. ve Spieksma, F.C.R. (2000). Solving a bi-criterion cutting stock problem with open-ended demand: a case study. *Journal of the Operational Research Society*, 1238-1247.
- [11] Cizman, A. ve Cernetic, J. (2004). Improving competitiveness in veneers production by a simple to use DSS. *European Journal of Operational Research*, 156, 241-260.

- [12] Gasımov, R. N., Sipahioğlu, A. ve Saraç, T. (2004), 1.5 boyutlu stok malzemesi seçimi problemi için çok ölçütlü bir karar modeli ve çözüm yaklaşımı. *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi*, Gaziantep – Adana.
- [13] Kasimbeyli, N., Saraç, T. ve Kasimbeyli, R. (2011). A two-objective mathematical model without cutting patterns for one-dimensional assortment problems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 235: 4663–4674.
- [14] Adakçı, S. (2010). *Stok Kesme Problemi ve Alüminyum Sektöründe Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [15] İçmen, B. (2015). *İki Boyutlu Kesme ve Ana Malzeme Seçimi Problemleri İçin Matematiksel Modeller ve Çözüm Yaklaşımları*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [16] Öztürk, A. (2001). *Yöneylem Araştırması*, Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları.
- [17] Tulunay, Y. (1990). *İşletme Matematiği*, İstanbul: İ.Ü. İşletme Fakültesi Yayın No: 233, İşletme İktisadi Enstitüsü Yayın No: 126.
- [18] Haessler, R. W. (1988). Selection and design of heuristic procedures for solving roll trim problems. *Management Science*, 34: 1460–1471.
- [19] Gass, S. ve Saaty, T. (1955). The computational algorithm for the parametric objective function. *Naval Res. Logistics Quart*, 2, 39.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Duygu ALTÜRK
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Eskişehir/1988
E-Posta : dmrcdyg@gmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2011, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü
- 2015-Halen, Uzman, Allianz Yaşam ve Emeklilik A.Ş., Süreç Geliştirme ve Data Yönetimi

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Demirci, D. ve Kasımbeyli, N. (2014). Sözlü Bildiri, A Multi-Objective Mixed Integer Mathematical Model for One Dimensional Cutting Problems, IFORS2014.
- Demirci, D. ve Kasımbeyli, N. (2019). TMMOB Makina Mühendisleri Odası/Endüstri Mühendisliği Dergisi, 29 (3-4), 42-50.