



T.C.
TOKATGAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**KESME VE STOKLAMA PROBLEMİ İÇİN
SEZGİSEL BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ:
METAL BLOK İŞLEYEN BİR TESİS UYGULAMASI**

Hazırlayan

Selim ÇAM

İşletme Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Emre ASLAN

TOKAT – 2019

BİLİMSEL ETİK

Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Emre ASLAN danışmanlığında hazırlamış olduğum " Kesme ve Stoklama Problemi İçin Sezgisel Bir Çözüm Önerisi: Metal Blok İşleyen Bir Tesis Uygulaması " adlı Doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

26/07/2019

Selim Çam

**KESME VE STOKLAMA PROBLEMİ İÇİN
SEZGİSEL BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ:
METAL BLOK İŞLEYEN BİR TESİS UYGULAMASI**

Tezin Kabul Ediliş Tarihi: 26 / 07 / 2019

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

Başkan : Doç.Dr. Yücel EROL

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Emre ASLAN

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Adem TÜZEMEN

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Nalan Gülten AKIN

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Ömür DEMİRER

İmzası



Bu tez, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03/07/2019 tarih ve 37-21 sayılı oturumunda belirlenen jüri tarafından kabul edilmiştir.

Prof.Dr.İlhan EROĞLU
Enstitü Müdürü:Enstitü Müdürü.....



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın konu seçiminde ve hazırlanmasında, beni olumlu eleştirileriyle yönlendirip bana vakit ayıran danışmanım, Dr. Öğr. Üyesi Emre ASLAN başta olmak üzere, doktora eğitimim sürecinde üzerimde sayısız emeği bulunan saygıdeğer abim Dr. Öğr. Üyesi Adem TÜZEMEN'e, komite toplantılarında ve onun haricinde sorularımı yanıtlayarak yol gösteren Doç. Dr. Türker ŞİMŞEK'e ve yaptığı uyarılar ile bana yardımcı olan Doç. Dr. Yücel EROL'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin ortaya çıkmasında, maddi manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen babam İsmail ÇAM'a, gelişimim adına ortaya koyduğu sabır için annem Hatice Masume ÇAM'a, doktora süresince pozitifliğiyle destek olan abim Mehmet ÇAM'a teşekkür ederim.

Tezimin birçok aşamasında yardımcı olan arkadaşım Arş. Gör. Murat Fatih TUNA'ya, Gökhan SAYILKAN'a ve Yasin BAYRAM'a; ayrıca doktora eğitimimin başından beri beni destekleyen meslektaşım ve abim Harun ÇAYKUŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

**KESME VE STOKLAMA PROBLEMİ İÇİN
SEZGİSEL BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ:
METAL BLOK İŞLEYEN BİR TESİS UYGULAMASI**

ÖZET

İşletmelerin asıl amacı karlılığını devam ettirerek sağkalmaktır. Üretim işletmelerinde de; planlama ve stok tutma gibi işletme sağ kalımını etkileyecek birçok faktörün izlenmesi gerekmektedir. Günümüz üretim koşullarında maliyet ve süre avantajını yakalamak ön plandadır. Teze konu olan demir-çelik sanayinde tedarik, depolama, dilme, kesme, baskı, taşlama vb. işlemler sırasında birçok maliyet unsuru oluşmaktadır. Dolayısıyla bu işlemler sırasında gerek işletmenin sahip olduğu araç-gereç, gerekse insan gücünü oluşturan özellikleri açısından maliyet kayıpları yaşanabilmektedir.

Bu çalışmada bahsi geçen sanayi dalında yer alan üretim sürecinin kesme ve stoklama adımıyla karşılaşılan uygun parça yerleştirme, kesme planlaması ve fire minimizasyonu üzerine odaklanılmıştır. Kesme probleminde karşılaşılan kesilen parçanın çeşitliliği ve oluşan daha küçük parçaların çeşitliliği durumu problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu sebeple planlamayı gerçekleştiren çalışanların ya da karar vericilerin tecrübe, alışkanlık, önsezi gibi özelliklerini oluşturan bilgi birikimleri problemin çözümüne yardımcı olamamaktadır. Bu noktada matematiksel modeller devreye girmektedir. Matematiksel modeller, doğrusal programlama ile kesin bir sonuç verebilmektedir. Bilgisayar yardımıyla dayalı sezgisel ya da meta-sezgisel teknikler kullanarak hızlı sonuç veren olası sonuçları verecek tasarımlar da esasen matematiksel modeller içermektedir. Bahsi geçen incelemenin yapılması amacıyla paketleme probleminin çözümü için geliştirilmiş olan “En Az Kalan (Least Wasted First) Sezgiseli” giyotinli kesmeye uygun hale getirilerek kesme ve stoklama problemi için uyarlanmıştır. Aynı zamanda bu sezgisel, parça yerleşimi için “İlk Uygun Azalan (Decreasing First) Sezgiseli” ile birleştirilerek etkinliği arttırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kesme ve Stoklama, Sezgisel Teknikler, Demir-Çelik Endüstrisi,

**FOR CUTTING AND STOCKING PROBLEM
AN INTUITIVE SOLUTION PROPOSAL:
METAL BLOCK PROCESSING PLANT PRACTICE**

ABSTRACT

The main purpose of the business is to survive by maintaining its profitability. In production enterprises; many factors that affect business survival, such as planning and stock keeping, need to be considered. In today's manufacturing conditions, being in an advantageous position in terms of time and cost is forefront. In the iron and steel industry which is subjected to this thesis, many cost elements occur during the operations such as supply, storage, slicing, cutting, pressing, grinding, etc. Therefore, during these operations, extra costs can be experienced both in terms of the equipment and human power of the facility.

This thesis study focuses on the suitable part placing, cutting planning and minimization of material loss problems encountered at the cutting and stocking steps during the process of manufacturing in the mentioned industrial branch. Size diversity of cutted pieces and size diversity of resultant smaller parts situations those encountered during the cutting operation makes it difficult to solve the cutting problem. For this reason, the knowledge which is formed by experience, habits and intuition of the employees or decision makers who perform the planning can not help the solution of the problem. At this point, mathematical modes steps in. Mathematical models both give precise results by the help of linear programming and includes designs that deliver fast results using heuristic or meta-heuristic techniques based on computer help. For the purpose of the mentioned analysis, "Least Wasted First" heuristic which was developed for the solution of the packaging problem has been adapted for cutting and stocking problem by becoming suitable for guillotine cutting. At the same time, for the part placement, effectiveness of this heuristic has been increased by combining it with the "Decreasing First" heuristic.

Key Words: Cutting and Stocking, Heuristic Techniques, Iron Steel Industry

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİK	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
GİRİŞ	1
1.KESME PROBLEMİ	3
1.1. Kesme Probleminin Genel Çerçevesi	3
1.2.Kesme Probleminin Özellikleri	5
1.3. Kesme Probleminin Sınıflandırılması.....	17
1.4. Literatür İncelemesi	24
2. KESME PROBLEMİNİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	37
2.1.Tam Çözüm Teknikleri	37
2.1.1. Tam Sayılı Doğrusal Programlama.....	41
2.2.Yaklaşık Çözüm Teknikleri	41
2.2.1. Sezgisel Teknikler.....	43
2.2.1.1. Aşağı Sol Sezgiseli	45
2.2.1.2. İlk Uygun Azalan Sezgiseli	46
2.2.1.3. Temas Yüzeyi Sezgiseli.....	48
2.2.1.4. En Az Kalan Sezgiseli	49
2.2.2. Metasezgisel Teknikler	49
2.2.2.1. Genetik Algoritma	50
2.2.2.2. Karınca Kolonisi Algoritması.....	55
2.2.2.3. Benzetimli tavlama	59
2.2.2.4. TABU Arama.....	64
3. UYGULAMA	69
3.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi	69

3.2. Araştırmanın Kapsamı	70
3.3. Veri Setinin Hazırlanması.....	71
3.4. Kesme Probleminin Matematiksel Varsayımları ve Modeli.....	72
3.5. Uygulama Problemi İçin Sezgisel Yöntem.....	74
3.5.1. Sıralama Kuralları.....	77
3.5.2. Yönlendirme	80
3.5.3. Uygulama Arayüzünün Geliştirilmesi	82
3.6. Sezgisel Yöntemin Geçerliliğinin Test Verileri ile İspatlanması	86
3.7.BULGULAR.....	94
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	102
KAYNAKÇA.....	105
EK.....	122
ÖZGEÇMİŞ	125

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Kesme ve Paketleme Probleminde Tipoloji ve Notasyon	20
Tablo 2.1. Optimizasyon Problemleri Listesi	39
Tablo2.2. Kullanılan Metasezgisel Tekniklerde Sınıflandırma	43
Tablo 2.3. Başlangıç Kromozomlarına Göre Amaç Fonksiyon ve Gen Aktarım İyiliği Sonuçları	51
Tablo 2.4. Çaprazlama Sonrası Amaç Fonksiyon ve Gen Aktarım İyiliği Sonuçları.....	52
Tablo 2.5. Mutasyon Sonrası Amaç Fonksiyon ve Gen Aktarım İyiliği Sonuçları.....	52
Tablo 2.6. Genetik Algoritma Yöntemine İlişkin Literatür Taraması	53
Tablo 2.7. Karınca Kolonisi Algoritmasına İlişkin Literatür Taraması.....	58
Tablo 2.8. Benzetimli Tavlama Algoritmasına İlişkin Literatür Taraması.....	63
Tablo 2.9. TABU Arama Algoritmasına İlişkin Literatür Taraması	67
Tablo 3.1. Kesme Planı Özelliklerine Göre Verimlilik Yüzdesi İstatistikleri	88
Tablo 3.2. Kalınlıklara Göre Kesim İstatistikleri	95

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. WxH Boyutlu Nesneden Kesme Planı Örneği	6
Şekil 1.2. Genişlik ve En Boyutları Sabit İki Materyalin Kesme Planı Örneği.....	8
Şekil 1.3. NxM Boyutlu Materyalin Kesme Planı Örneği	9
Şekil 1.4. Yükleme Tipleri Madde 2-4 Planlama Örneği	11
Şekil 1.5. İç İçe Yerleştirme Planlaması Örneği.....	12
Şekil 1.6. Nesne Gruplandırması ve Nesne Rotasyonu Örnekleri.....	13
Şekil 1.7. Dikey Komşuluk Deseni ve Giyotinli/siz Kesme Örnekleri	15
Şekil 1.8. Problem Tipleri.....	19
Şekil 1.9. Tek Boyutlu ve Özdeş İki Bloktan Homojen ve Heterojen Parça Kesim Örnekleri.....	21
Şekil 1.10. İki Boyutlu Giyotinli/siz Örnekleri ve Kesim Sırası Numaralandırması	22
Şekil 2.1. Optimizasyon Problemi Sınıflandırma Şeması.....	40
Şekil 2.2. Kesim Planına Uygun Örnek Yerleştirme Planı.....	45
Şekil 2.3. Aşağı Sol ve Geliştirilmiş Aşağı Sol Algoritması Örnek Gösterimleri.....	45
Şekil 2.4. Aşağı Sol, Geliştirilmiş Aşağı Sol ve Aşağı Sol Dolgu Algoritması Sonuç Örnek Gösterimleri.....	46
Şekil 2.5. İlk Uygun Azalan Algoritması Yerleştirme Gösterimleri	47
Şekil 2.6. Temas Yüzeyi Algoritması Yerleştirme Gösterimi	48
Şekil 2.7. En Az Kalan Sezgiseli Örneği	49
Şekil 2.8. Genetik Algoritma Akış Diyagramı	54
Şekil 2.9. Karıncaların Gıdaya Ulaşım Gösterimi	55
Şekil 2.10. Karınca Koloni Algoritması Akış Diyagramı.....	56
Şekil 2.11. Soğuma Farkının Örnek Gösterimi.....	60
Şekil 2.12. Benzetimli Tavlama Algoritması Akış Diyagramı.....	62
Şekil 2.13. Tabu Arama Algoritması Akış Diyagramı	66
Şekil 3.1. Kesme Probleminin Akış Diyagramı.....	76
Şekil 3.2. Kırılma Noktalarının ve Oluşan Şeritlerin Gösterimi.....	77
Şekil 3.3. Farklı Boyutlardaki Parçaların Uzunluk Azalanına Göre Kesme Planı	78
Şekil 3.4. Farklı Boyutlardaki Parçaların Alan Azalanına Göre Kesme Planı	79
Şekil 3.5. Parça Yerleştirme Yönü ve Komşuluk Yönüne Göre Kesme Planı Örnekleri	81

Şekil 3.6. Yazılımın Genel Görünümü	82
Şekil 3.7. Blok Bilgileri Yazılım Görüntüsü	83
Şekil 3.8. Parça Bilgileri Yazılım Görüntüsü	83
Şekil 3.9. Kesme Özellikleri Yazılım Görüntüsü	84
Şekil 3.10. Kesme Planı Yazılım Görüntüsü	85
Şekil 3.11. Kesme Planı Özelliklerine Göre Verimlilik Yüzdesi Grafiği.....	88
Şekil 3.12. X Ekseni Komşuluklu Genişliğe Göre Sıralanmış Rotasyonlu Kesme Planı Örnek Blok Görselleri	91
Şekil 3.13. Y Ekseni Komşuluklu Uzunluğa Göre Sıralanmış Rotasyonlu Kesme Planı Örnek Blok Görselleri	92
Şekil 3.14. Blok, Verim ve Kesilen Parça Sayısı Grafikleri.....	93
Şekil 3.15. 25mm Kalınlığındaki Bloğun İki Boyutlu Kesme Planı Örneği	97
Şekil 3.16. 25-15-10-5 mm Kalınlıklarındaki Blokların Tek Boyutlu Kesme Planı Örneği.....	98
Şekil 3.17. Kalınlıklara Göre Ortalama Verim Miktarları.....	98
Şekil 3.18. Farklı Kalınlıklara Göre Kesim Alanları	99
Şekil 3.19. Fire Alanı-Verim ile Kesim Alanı-Talaş Alanı Dağılım Grafikleri	100

GİRİŞ

Mevcut küresel rekabetin varlığı; üretim yapan işletmelerin hızlı, hatasız ve müşterinin talep ettiği ürünü, talep ettiği zamanda, katlanabileceği maliyetle hazırlamasını zorunlu kılmaktadır. Böylelikle üretim işletmeleri; planlama, stok tutma, süreç içi envanter, finansal kapasite gibi birçok işletme sağ kalımını etkileyecek kalemi kontrol etmek durumundadır (Aslan, 2014: 1). İşletmelerin kendi iç işleyişlerinde düzenlemeler yapabileceklerinin yanı sıra sosyal ve ekonomik göstergeleri de takip etmeleri rekabette bir adım daha ileri gitmelerini sağlayacaktır.

Mal üretimi yapan bir işletmenin, esneklik becerisi gerek ürettiği ürünün niteliğine gerekse sahip olunan cihazların kapasitelerine bağlıdır. Esneklik becerisi de temelde şirketin karlılığını arttırarak sağ kalımını etkileyecek sonuçları ortaya çıkartmaktadır. Ancak üretim esnekliği her zaman işletmeler için olumlu sonuç getirmemektedir. Günümüz üretim koşullarında maliyet avantajını yakalamak ön plana çıkmaktadır (Kaleka ve Morgan, 2017: 2; Golini vd., 2017: 334). İşletmelerin buldukları sektörlere göre maliyetleri düşürebilecekleri kalemler değişebilmektedir. Teze konu olan demir-çelik sanayinde tedarik, depolama, dilme, kesme, baskı, taşlama vb. işlemler sırasında birçok maliyet unsuru oluşmaktadır. Dolayısıyla bu işlemler sırasında gerek işletmenin sahip olduğu araç-gereç, gerekse insan gücünü oluşturan özellikleri açısından maliyet kayıpları yaşanabilmektedir.

Kesim problemleri yapısı itibari ile sırt çantası probleminin tersidir (Dyckhoff, 1990: 148-149; Waescher vd., 2007: 1111). Sırt çantası problemi, belirli hacimdeki bir kutuya ya da pakete daha ufak nesnelere en az boşluk (artık alan) kalacak şekilde yerleştirilmesidir (Ross ve Tsang, 1989: 740). Buradan yola çıkarak, sırt çantası probleminde kullanılan uygunluk fonksiyonu en fazla nesnenin belirli hacme sığdırılması ise kesme probleminde de bu durum en fazla parçanın kesilmesi şeklinde görülebilmektedir. Ancak sırt çantası problemindeki ana amaç en çok nesnenin sığdırılması (Freville, 2005: 2) iken kesme problemindeki ana amaç en az firenin görülmesidir (Dahl ve Stoer, 2015: 1-4). Kesme probleminde karşılaşılan kesilen parçanın çeşitliliği ve oluşan daha küçük parçaların çeşitliliği problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu sebeple planlamayı gerçekleştiren çalışanların ya da karar

vericilerin tecrübe, alışkanlık, önsezi gibi özelliklerini oluşturan bilgi birikimleri problemin çözümüne yardımcı olamamaktadır (Tüzemen, 2014: 9-11). Bu noktada matematiksel modeller devreye girmektedir. Matematiksel modeller, doğrusal programlama ile kesin bir sonuç verebileceği gibi bilgisayar yardımına dayalı sezgisel ya da meta-sezgisel teknikler kullanarak hızlı sonuç veren olası sonuçları verecek tasarımları içermektedir. Doğrusal programlamada karşılaşılan kesinlik avantajı yanı sıra zaman dezavantajı; aksi şekilde sezgisel ya da meta-sezgisel tekniklerdeki zaman avantajı yanı sıra en uygun çözüm dezavantajı göz önüne gelmektedir.

Bu sebeple tezde bahsi geçen çözüm yöntemlerinden uygunluk esasına dayanarak, en uygun çözüm tekniği seçilmeye çalışılmıştır. Seçilen yöntemin sadece bu tez çalışması için tüm kesme problemlerinde, problemin kısıtlarına en uygun olan yöntemin seçilmesi ve uyarlanması gerekmektedir. Tezde öne sürülen problem için en uygun çözüm tekniğinin nasıl seçildiği ve sonuçlarının nasıl değerlendirildiği hakkındaki bilgiler uygulama ve bulgular başlıkları altında yer almaktadır.

Bu tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümü tezin konusu olan kesme problemi hakkında bilgilendirme amaçlıdır. Bu bölümde kesme probleminin tanımı, özellikleri ve kullandığı değişkenler anlatılmaktadır. İkinci bölümde ortaya konan problemin hangi teknikler ile çözülebileceğine yer verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde geliştirilen çözüm yöntemi incelenmiştir. Ele alınan problemin veri seti ve kısıtları hakkında açıklamalar yapılarak, probleme dair çözümler sunulmuştur. Uygulama aşamasında parçanın yerleşimine, rotasyon, zorunluluk, çözüm zamanı girdilerine göre en uygun çözüm ortaya konmaya çalışılmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu bölümde yer alan bulgular başlığında ise geliştirilen yöntemin veris setine uygulanması ve çıktıların yorumlanması anlatılmıştır.

Sonuç ve öneriler bölümünde analiz sonuçlarına dair bilgilerin yer alması yanı sıra devam eden çalışmalarda rehberlik edebilecek ve gerçek hayattaki problemlere çözüm bulunması amacıyla endüstri önerileri yazılmıştır.

1.KESME PROBLEMİ

Bu bölümde, kesme problemi hakkında bilgiler yer almaktadır. Kesme probleminin nasıl ortaya çıktığı, diğer hangi problemler ile ortak noktalarının olduğu gibi bilgiler okuyuculara sunulmaktadır. Gerçek hayatta karşılaşılabilecek problemler hakkında sistemli bir çözüm oluşturulamaya bilinmektedir. Kesme problemleri için sistemli bir çözüm tam manasıyla geliştirilmiştir denilememektedir. Ancak literatürde yer alan kesme probleminin; özellikleri ve sınıflandırılması hakkındaki çalışmalar sayesinde araştırmacılar, problemin çözümüne dair belirli şablonlar geliştirilebilmiştir. Bu bölümde yer alan sistematik yaklaşımlar ve literatür incelemesi sayesinde, okuyucuların kesme problemi hakkındaki farkındalıklarının artırılması amaçlanmıştır.

1.1. KESME PROBLEMİNİN GENEL ÇERÇEVESİ

Kesme probleminin esas olarak çözüm aradığı problem, büyük bir hacme sahip malzemeden daha küçük hacimlerdeki siparişlerin kesilmesidir. Buna benzer şekilde daha bilimsel bir yaklaşım, uygulamalı bilimlerde kullanılmak üzere iki nesne arasındaki uyumun hesaplanması ve uyumsuzluğun derecesinin ortaya konması, olacaktır (Mukhacheva ve Mukhacheva, 2006: 1504).

Kesme problemi kâğıt, cam, ağaç, deri, tekstil vb. sektörlerde kullanılan stok malzemelerinin siparişler doğrultusunda hazırlanması aşamasında ortaya çıkmaktadır (Suliman, 2006: 179). Belirtilen sektörlerde elde edilen kaynağın en verimli şekilde kullanılması maliyet ve fiyatlandırmanın unsurlarından biri olacağından, uygun planlamanın yapılması önem arz etmektedir (Kaplan, 1994: 248). Etkin üretim yapılabilmesi amacıyla kesim kayıplarının en aza indirgenmesi ya da kullanılacak parça sayısının en fazla hale getirilebilecek düzenlemenin yapılması gerekmektedir. Bu sebeple, kesme probleminde temel olarak çözülmek istenen sorunların;

- ✓ Kesim sonrası artık miktarın en az olması (Cheng vd., 1994: 295),

$$\min \left(D_i - \sum_1^m d_i \cdot v_i \right)$$

- ✓ Küçük dışbükey nesnelerin daha büyük dışbükey bir nesneye en fazla sayıda sığdırılması (Baesley, 1985: 297; Leao vd., 2014: 71),

$$\max \left(\sum_{1}^m d_i \cdot v_i \right)$$

şeklinde iki ana başlıkta toplanmasından bahsedilebilmektedir. Formüllerde bahsedilen simgeler şu şekilde açıklanmaktadır;

- D = kesim yapılacak büyük hacimli nesnenin boyutları
- d = sipariş edilen küçük hacimli nesnenin boyutları
- v = sipariş edilen nesne sayısı
- i = nesne indisi
- m = sipariş edilen toplam nesne türü sayısı

Her iki maddede de yer alan sorunlar çözüm aşamasında farklı problemlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. İlk maddedeki artık (fire-trimloss) miktarının az olması için çözüm aranacak ise öncelikle hangi hacimdeki dışbükey nesne sorusu ortaya çıkmaktadır. Bu soruya cevap verilmesi halinde, kesilecek küçük hacimdeki dışbükey nesnenin, büyük nesnenin neresinden kesileceğine karar vermek gerekmektedir. İkinci soruna da cevap verildiğinde ise ilk küçük hacimli nesneden sonraki diğer küçük hacimli nesnelerin nasıl kesileceği problemi ortaya çıkmaktadır. Bu noktada anlaşılabilen gibi sorunlara aranan çözümlere, tamamen problem sahibinin kendi kararına göre ya da belirli alt çözümler ışığında ulaşılabilecektir. İlk nesnenin hangi şartlar gözetilerek kesim planına dâhil edileceği, toplam kesim planının nasıl oluşturulacağı ve diğer olası değişkenler hakkındaki çözüm önerileri tezin ikinci bölümünde yer almaktadır.

İkinci maddede belirtilen sorun, yerleştirme problemi olarak da adlandırılmaktadır. Açıklamak gerekirse; fire miktarının en az kabul edildiği bir çözüm esasen yerleştirilen nesnelerin en fazla olduğu durumdur (Hinxman, 1980: 8). Burada yaşanacak problemlerde birinci maddedekilere benzemektedir. Yerleştirilecek ilk nesne hangi özelliğe göre seçilecektir; ilk yerleşim yeri neresi olacaktır; diğer nesneler hangi sıralamada yerleştirilecektir; sorularına cevaplar aranmak zorunda kalınacaktır. Atama/yerleştirme problemi başlı başına NP-Zor sınıfı bir problem (Gero ve Kazakov, 1997: 329) ve Cutting&Stock (C&S) probleminin bir özelliğidir. Dolayısıyla kesme probleminin iç içe NP-Zor problemlerden oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında kesme problemi, sırt çantası (knapsack) probleminin karşıt (dual) hali

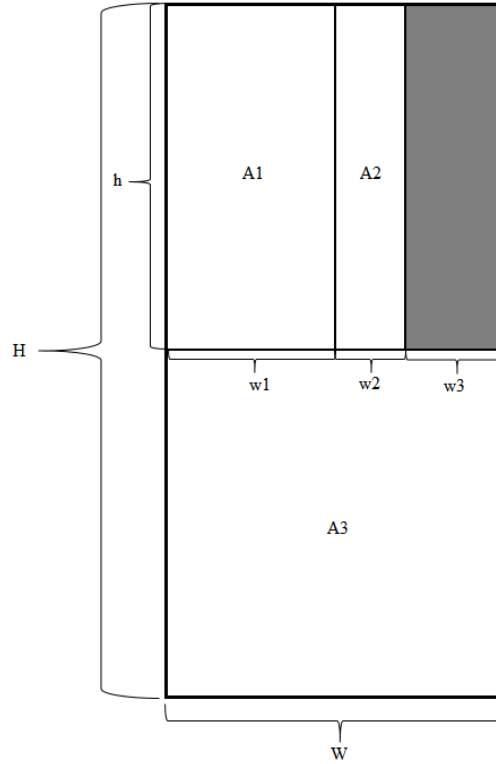
olarak değerlendirilebilmektedir (Gilmore ve Gomory, 1965). Sırt çantası probleminde amaç, belirli bir hacimdeki alana (konteynır, kutu, çanta, dorse, kasa vb.) en fazla sayıda nesnenin yerleştirilmesi ile en değerli (en fazla gelir) paketleme işleminin yapılmasıdır (Gilmore ve Gomory, 1966: 1045).

Böylelikle, probleme sadece kesme problemi olarak değil; kesme - paketleme (Cutting & Packing) (Pisinger, 2002: 382) ya da kesme - stoklama (Cutting & Stocking) (Hopper ve Turton, 2001: 34) problemi olarak yaklaşılmaktadır. Kullanılan problem veya ulaşılmak istenen çözüm (en az fire ya da en çok nesne kullanma) değişebileceğinden, bu tür problemlere genel anlamda kesme-stoklama problemi denilmektedir (Lodi vd., 2002: 345; Wu vd., 2016: 431). Çalışmada kullanılacak çözüm yönteminde fireyi düşürmek amaçlanmasından dolayı, kesme problemi kavramından uzaklaşmamaya çalışılmıştır.

1.2. KESME PROBLEMİNİN ÖZELLİKLERİ

C&S problemine 1960 yılından beri değişik çözüm yöntemleri geliştirilmeye çalışılmıştır (Sweeney ve Paternoster, 1992: 693). Problem çözümü hakkındaki çalışmalar her araştırmada ya da çözüm denemesinde aynı sorulara yanıt aramaktadır. Problemin doğası gereği kullanılacak nesnelerin boyutlandırması, sayısı, şekli, sıralaması, yerleştirilmesi, türü gibi özelliklere göre çözüm aranmıştır. Bazı özellikler göz ardı edilmiş, bazı özellikler ise mevcudun üstüne değişken olarak eklenmiştir. Ancak genel manada problem, yukarıda belirtilen niteliklere göre çözülmektedir.

Şekil 1.1. WxH Boyutlu Nesneden Kesme Planı Örneği



Şekil 1.1’de $W \times H$ boyutlu bir nesneden üç adet nesnenin kesme planı gösterilmiştir. Şekilde tek bir büyük dışbükey nesne ve farklı boyutlarda üç adet kesim planına dahil edilecek dışbükey nesne ve gri bölgede de fire ya da tekrardan planlamaya dahil edilebilecek kısım yer almaktadır. Anlaşılacağı üzere; planlama, yerleştirme ve yerleştirme sırası indislerle belirtilmiştir. Boyutlandırma için H , W , h_i ve w_i notasyonu kullanılmıştır. Bu açıdan bakıldığında standart bir çözüm veri seti oluşturulmuştur. Ancak yerleştirilmesi yapılan malzemenin kesim süresi ya da sipariş zamanı gibi bir ek bilgi eklenmesi halinde çalışmanın niteliği değişmektedir. Bazı çalışmalarda fiziksel boyutlandırmanın yanı sıra zamansal boyutlandırma da kullanılmıştır (Coffman ve Gilbert, 1984: 1). Benzer şekilde, kesim işlemini yapan malzemenin yıpranması, kesim süresince bekleme maliyeti, vardiya planlaması ve personel giderleri gibi maliyet kalemlerini de optimum bir noktaya getirmek için modeller kurulabilmektedir.

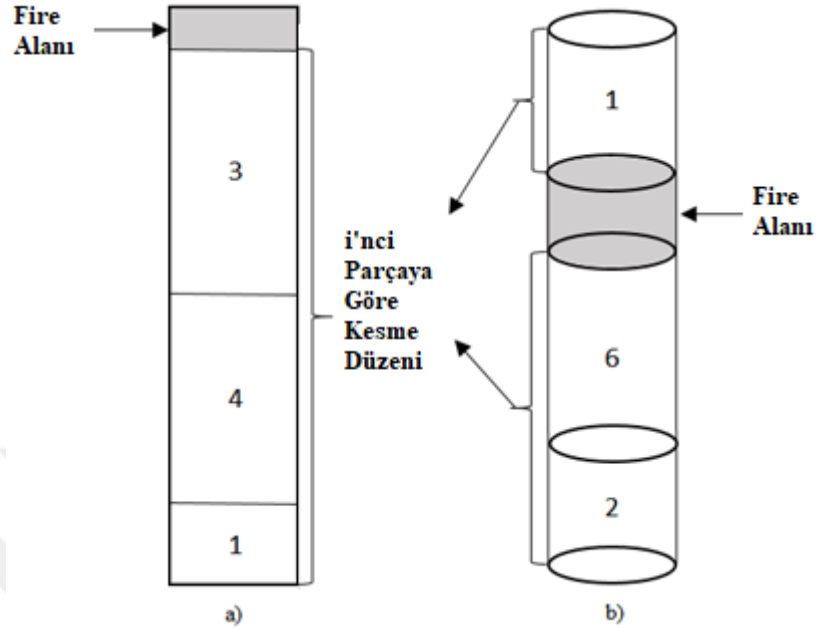
C&S probleminin teorik gelişiminde Harald Dyckhoff tarafından gerçekleştirilen araştırmalar önemli bir kaynak niteliğindedir. Araştırmacının 1990 yılında hazırladığı “A Typology of Cutting and Packing Problems” adlı eseri, yayımlanma yılından itibaren birçok benzer çalışmada kullanılmaktadır. Dyckhoff’a göre C&S problemi

mantık ve gerçek yapı olmak üzere iki temele dayanmaktadır. Bu maddelerde kendi içlerinde; mantıksal yapıya göre; boyut, atama tipi, grafiksel özellikleri, amaç, veri değişkenliği ve çözüm metodu olarak belirlenmiştir. Gerçekçi yapıda ise nesne-ürün çeşitliliği, endüstri, planlama içeriği ve yazılım özellikleri yer almaktadır (Dyckhoff ve Finke, 1992).

Hangi temel nitelik olursa olsun (mantıksal veya gerçek) C&S problemindeki en temel özellik “boyut”tur. Bu özellik ile hem kesilecek hem de sipariş edilen nesnelerin en, boy, genişlik gibi geometrik boyutların anlaşılması gayet normaldir. Ancak nesnelerin geometrik boyutları, mantıksal ve gerçek boyutların her ikisinde de yer almaktadır. Bir kesim planındaki nesnelerin fiziksel boyut sayısı yanı sıra işin sıralaması, tedarik ağı değişkenleri, personel özellikleri ve çalışma zamanları vb. birçok özellik boyut olarak adlandırılabilir (Waescher vd., 2007: 1114). Boyutlandırma özelliğine göre 1-3 ve n boyutlu C&S problemlerine çözümler aranmıştır (Queiroz vd., 2012: 200). Bir boyutlu problemler, genelde silindirik kesme problemleridir. Kesilecek malzeme ip, boru, ağaç, şişe gibi silindirik olabilmektedir. Aynı zamanda iki grafiksel boyutu sabit olan tüm nesnelerin kesilmesi problemi de tek boyutlu olarak nitelendirilebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında ise tek boyutlu kesme problemi, homojen nesnelerin kesilerek kısaltılması halini almaktadır (Gau ve Waescher, 1995: 573).

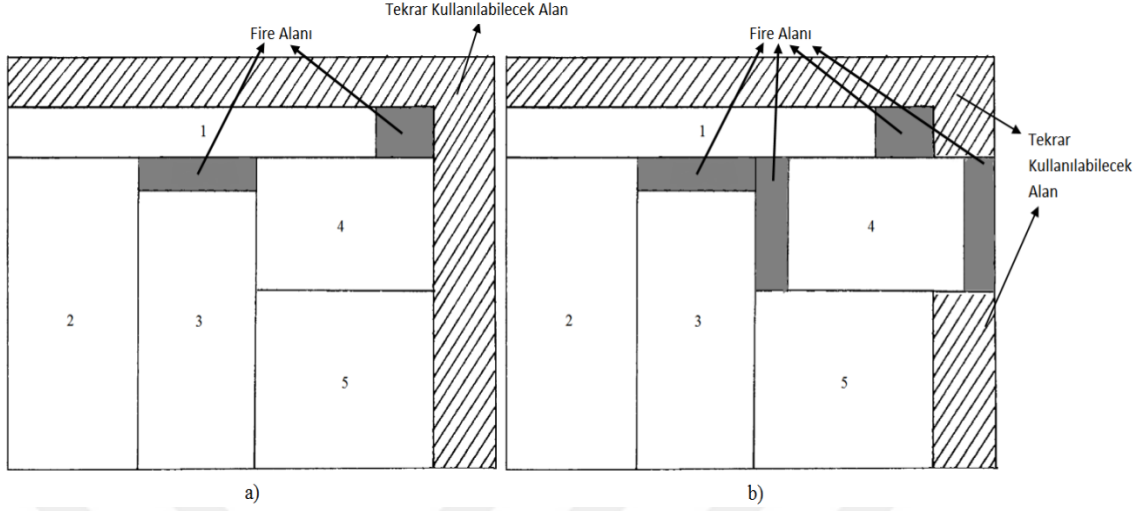
Aşağıdaki şekilde de (Şekil 1.2) görülebileceği gibi a ve b nesnelerinde değişken olan boyut sadece uzunluktur. İlave olarak, nesnelerin üzerindeki rakamlar hangi siparişin nesneden hangi sıra ile alındığını göstermektedir. Şekilde yer alan a nesnesi, en ve genişlik boyutlarında sabit olan kumaş, ahşap, şerit vb. bir nesneyi temsil ederken, b nesnesi de ip, şişe, tüp, boru vb. silindirik bir nesneyi temsil etmektedir. Anlaşılacağı üzere yapılan işlem nesnenin kısaltılarak daha kısa benzer nesnelere elde etmektir.

Şekil 1.2. Genişlik ve En Boyutları Sabit İki Materyalin Kesme Planı Örneği



İki boyutlu kesme problemlerinde, üç grafiksel boyutta herhangi birinin sabit olduğu durumlar söz konusudur (Cui vd., 2014: 196). Ahşap, kumaş, metal vb. malzemelerin bir boyutu sabit ise ya da tabaka şeklinde ise kullanılabilen bir problem tipidir (Oliveira ve Ferreira, 1990: 256). Burada dikkat edilmesi gereken husus, sipariş edilen malzemenin, kesildiği malzemeden küçük ve herhangi bir kapalı dikdörtgenel şekil olması gerekliliğidir (Afsharian vd., 2014: 973). Şekil 1.3'te iki boyutlu kesme problemine karşılık gelen bir desen örneği görülmektedir. Şekildeki a parçası için düzenlenen kesme planı doğrultusunda, gri bölgelerde fire ve taralı alanlarda ise tekrar kullanıma uygun bölüm yer almaktadır. Ancak b parçası için hazırlanan kesme deseninde ise dördüncü siparişin düzensiz bir biçimde desene dâhil edilmesi ile hem fire alanı artmış hem de tekrardan kullanılabilen alan azalmıştır.

Şekil 11.3. NxM Boyutlu Materyalin Kesme Planı Örneği



Kaynak: Wang, 1983: 582

İkiden fazla boyutlu kesme problemleri de mevcuttur. Ancak üç boyutlu problemler daha çok sırt çantası problemlerinde olduğu gibi yerleştirme deseninin ortaya konmasını amaçlar (Weingartner ve Ness, 1967: 83) iken üçten fazla boyutlu çözümlerde ise bütçeleme, zamanlama, belirli niteliklerin ön plana çıkartılmasına göre (en büyük hacim, en karlı kesim vb.) kesime ek nitelikler eklenmiş olmaktadır (Dyckhoff, 1990: 155). Böylelikle geometrik boyutlardan farklı olarak başka boyutların da probleme dâhil edilmesi çözümü karmaşıklaştıracağından, problemin sadeleştirilmesine çalışılmaktadır (Dyckhoff ve Finke, 1992: 1-4). Örnek vermek gerekirse tek boyutlu, 25 kesim siparişinden oluşan bir borunun tüm uygun çözüm uzayı $25!$ olacaktır. Buna göre, boyut sayısının artmasının yaratacağı karmaşıklık ortadadır.

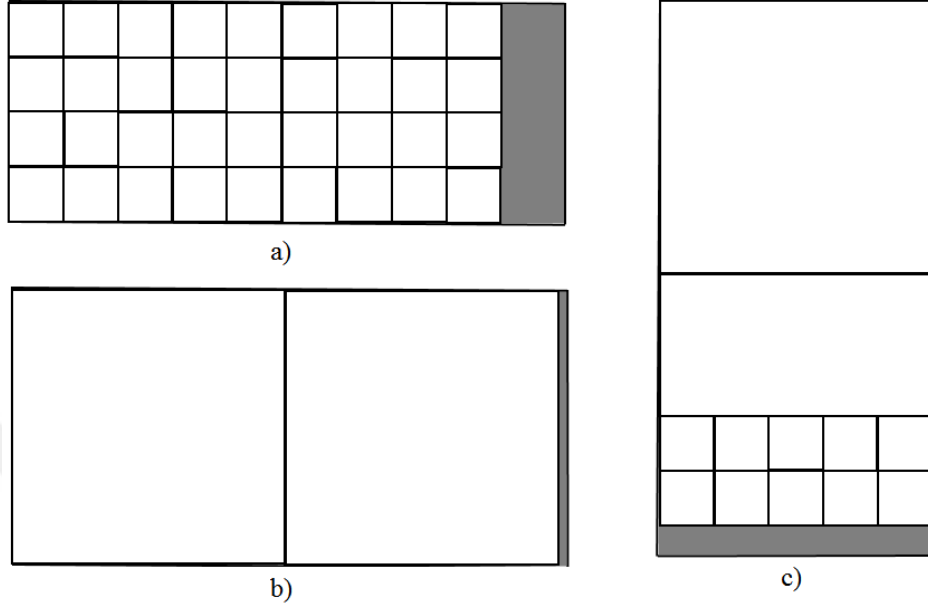
Nesnelerin kesime göre büyük parçalardaki konumları, yani büyük parçaya atanmaları, kesme problemindeki başka bir temel özelliktir. Atama problemi başlı başına NP-Zor sınıfı bir problemdir. Ayrıca atama problemleri de C&S probleminin bir parçası olduğundan; kesme probleminin iç içe NP-Zor problemlerden oluştuğu anlaşılmaktadır. Burada dört farklı yerleştirme tipi temel olarak alınmaktadır:

1. Sade Yerleştirme
2. Yığılma Tipi Yerleştirme (Büyük nesne öncelikli)
3. Stoklama Tipi Yerleştirme (Küçük nesne öncelikli)
4. Seçimli Yerleştirme

Birinci maddede basit yerleştirmeden bahsedilmektedir. Burada sadece C&S problemi için değil, daha genel hatlarda yerleştirme akla gelmelidir. Yerleşimden anlaşılabilecek husus herhangi bir Őey olabilir. Örneğin fabrikanın, Őehrin neresine yerleşebileceği ya da fabrikadaki bölümlerin nasıl yerleştirilebileceği gibi en genişten en dar niteliklere kadar yerleştirme problemine çözümlenmektedir (Meng vd., 2004: 4709). Sade yerleştirmede amaç eldeki tüm nesnelerin ilgili alana ya da parçaya (kastedilen sınırları belirli kapalı bir alan) yerleştirilmesi yani atanmasıdır (Lee ve Lee, 2002: 237). Buradaki önemli husus mevcut alanın tamamen kullanılmasıdır. Yığma tipi yerleştirmede öncelikle büyük hacimli nesnelerin yerleştirilmesi esas alınmaktadır (Gehring ve Bortfeldt, 1998: 240). Bir diğer açıdan bakıldığında bu duruma çıktı maksimizasyonu da denilebilmektedir (Waescher vd., 2007: 1126). Bu tip yerleştirme problemleri için, boyut çeşitliliği sınırlı sayıda büyük nesnelerin yerleştirilmesi ya da kesilmesi problemleri örnek verilebilmektedir. Stoklama tipi yerleştirmede, yığma tipi yerleştirmenin tersi olarak, küçük nesnelere öncelikli olarak atanmaktadır. Bu duruma, girdi minimizasyonu da denilebilmektedir (Waescher vd., 2007: 1126). Birçok farklı boyuta sahip küçük nesnelerin atanmasının çözümleneceği problemler bu tip yerleştirmeye uygun olmaktadır. Her iki yerleştirme (yığma ve stoklama) tipinde de sınırlandırılmış alanın tamamının kullanılması gerekmemektedir. Ancak sade yerleştirmede ise mevcut alan tamamen kullanılmaktadır. Dördüncü maddede seçimli yerleştirme yer almaktadır. Burada yerleştirme ihtiyacına göre bazı nesnelerin hariç bırakabileceği esas alınmaktadır. Dikkat edilmesi gereken nokta, yerleştirme veya kesme planına dâhil edilecek nesnelerin seçilerek probleme eklenmesidir. Nesnelerin karlılığı, zorunluluğu, eğer bir kesim problemi ise modele dâhil edilme kriterleri vs. birçok niteliksel durum nesne seçimini yapılmamasını gerektirebilmektedir.

Belirtilen dört tip yerleştirme, farklı Şekillerde kullanılabilir. Şöyle ki, seçimli yerleştirme bir seferde sonuç verebileceği gibi birden fazla defa tekrarlanarak da sonuç verebilmektedir. Benzer Şekilde ilk yerleştirmede yığma tipi yerleştirme kullanılır, ancak kalan alanlar için stoklama tipi yerleştirme kullanılabilir. Böylece yerleştirme probleminin en uygun hale getirilebilmesi amacıyla iç içe çözümler eklenmiş olmaktadır. İç içe geçmiş uygulama, tam çözümlenmeyen bulanık modelleme veya sezgisel/metasezgisel algoritmalar gibi problemlerde kullanılabilir (Enea vd., 2005: 304).

Şekil 1.4. Yükleme Tipleri Madde 2-4 Planlama Örneği

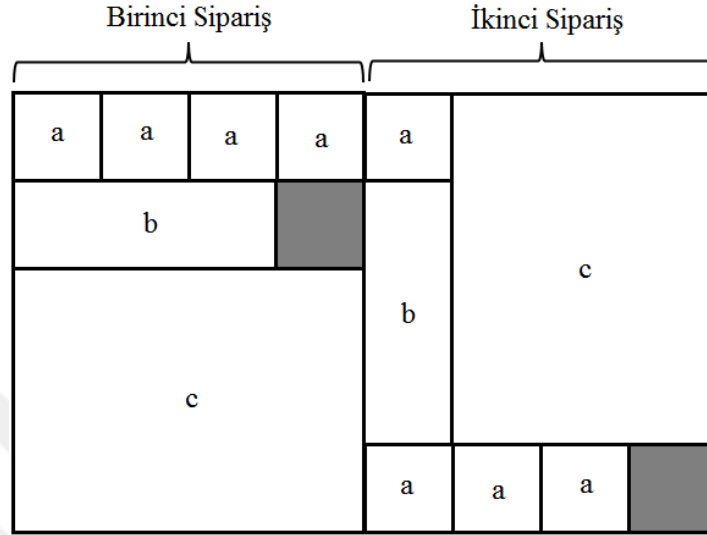


Yukarıda bahsedilen hususlar Şekil 1.4'te görselleştirilmiştir. Şekil 1.4 (a) maddesinde küçük nesnelerin öncelikli olduğu stoklama tipi yerleştirme, (b) maddesinde büyük nesnelerin olduğu yığma tipi yerleştirmeye ve (c) maddesinde de her iki yerleştirme tipinin de karması olabilecek seçimli yerleştirmeye örnek verilmiştir. Şekil 1.4'teki gri bölgeler fire alanlarını göstermektedir. Madde (a) ve (b) deki parçaların özdeş, (c) maddesindeki parçaların ise üç farklı boyutta olduğu görülmektedir.

Aşağıda yer alan Şekil 1.5'te iç içe yerleştirme planlamasına örnek verilmek istenmiştir. Buna göre; a, b ve c nesnelere oluşan bir kesme planı hazırlanmıştır. Ancak özdeş nesnelerin yan yana konulmadığı görülmektedir. Bunun sebebi siparişe göre üretim yapılmasıdır. Öncelikle birinci siparişteki nesneler kesilmiştir. Başka bir tarihte ise ikinci siparişe göre kesme planı oluşturulmuştur. Ayrıca özdeş parçaların bir arada kesilmemesi ile belirli bir ihtiyaca göre kesim yapıldığı anlaşılmaktadır. Böylelikle iç içe seçimli yerleştirme probleminin çözüldüğü söylenebilmektedir. Anlaşılacağı gibi probleme dahil olan parametre tipi arttıkça, çözüm karmaşıklaşmaktadır. Şimdiye kadar bahsedilen boyut ve atama parametrelerine göre düşünülecek olunursa, n boyutu, m adet nesne ve 4 atama tipi ile $n \cdot m \cdot 4$ farklı kesim planı oluşmaktadır. Probleme eklenen her bir karar noktası (nesne çeşidi, parça uyumu,

zorunluluk vb.) çözüm uzayının genişlemesine sebep olmaktadır.

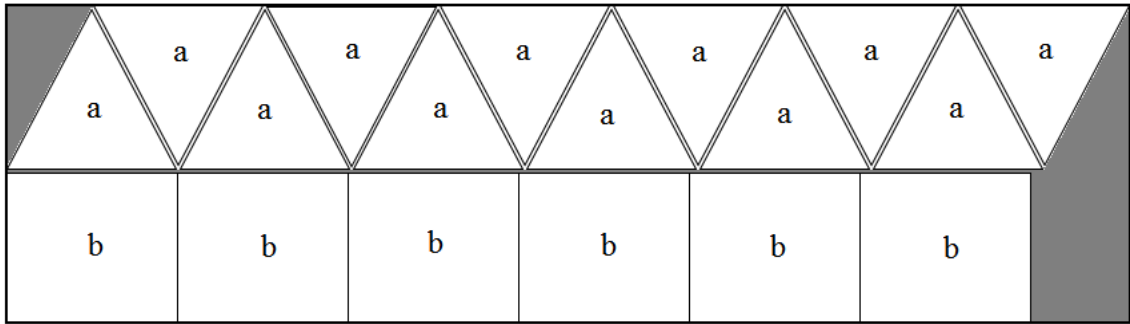
Şekil 1.5. İç İçe Yerleştirme Planlaması Örneği



Kesilecek malzemenin ve işlem sonucu ortaya çıkan ürünlerin, aynı malzemenin parçaları olması sebebiyle, benzer özelliklere sahip olması gerekmektedir. Buradaki tek fark boyut olarak, kesim işleminden sonra, ürünlerin küçülmesidir. Ayrıca nesnelerin boyut özelliklerine göre değerlendirilecek olunursa, farklı boyutlarda, yani çeşitlendirilmiş ürünlerin ortaya çıkması da olasıdır (Dagli, 1990: 162-164). Grafikselleştirilmiş özellikler, çözüm aşamasında nesnelerin tipini, şeklini, gruplandırılmasını ve çözüm aşamasındaki uygunluğu bilgilerini içermektedir (Farley, 1990: 239-241). Kullanım aşamasında birçok farklı şekilde nesne kullanılabilir. Dolayısıyla bu nesnelerin bir başka nesneden kesildiğini veya kalıba dökülerek şekillendirildiğini düşünmek yanlış olmayacaktır. Konu ile alakalı olarak kesim yolu ile elde edilen sayısız farklı şekli olan nesne akla gelmektedir. Bu açıdan bakıldığında hem kesilecek blokların sayısız farklı şekle sahip olabileceği hem de kesilen parçaların sayısız farklı şekle sahip olabileceği akla yatkındır. Basit bir tanımlama ile kesilecek nesnelere çokgendir. Ancak çokgenler; dikdörtgen, beşgen, altıgen vb. gibi dışbükey ya da yıldız, kar tanesi gibi içbükey nesnelere kümesidir. Müşteri talepleri bu kadar standart şekillerdeki ürünleri içermeyebilmektedir. Manzara resmi, hayvan şekli ya da damla şekli gibi herhangi bir standardı olmayan şekillerde metal, kumaş, kâğıt, cam, ahşap talep edilebilmektedir. Problemden kullanılacak nesnelerin benzer özelliklerine göre gruplandırılması, çözüm kolaylığı sağlayabilmektedir. Şekil 1.6'daki a benzer nesnelerinin bir arada olması

örnek verilebilmektedir. Şekil itibari ile sadece dikdörtgenler ya da kareleri düşünmek doğru olmaz, Şekil 1.6’da yer alan üçgenler ve bu üçgenlerin yerleştirilme biçimleri ile verimlilik arttırılmaya çalışılmıştır.

Şekil 1.6. Nesne Gruplandırması ve Nesne Rotasyonu Örnekleri



Kesim planına dâhil edilecek nesnelerin mevcut koordinatları ile çözümlenmesi genellikle en uygun sonucu vermeyecektir. Uygun olmayan şekiller ile yapılacak bir kesme planı fire miktarının artması, sürecin uzaması ya da işin fazlaşmasına sebep olabilmektedir. Bu sebeple, parçaların rotasyonu ile fire miktarının azaltılması ve/veya standartlaştırılmış makine hareketleri ile işlemin sonlanması gerçekleştirilebilmektedir. Rotasyon becerisi sadece kesilecek parçalar için değil aynı zamanda kesilen blok için de akla gelmelidir. Esasen kullanılacak nesnelerin bir birleri ile uygunluğu, aynı zamanda nesnelerin süreç ile uygunluğu da önem arz etmektedir (Alves ve Carvalho, 2008: 1315; Poldi ve Arenales, 2009: 2074). Gerçek hayat problemlerinde, nesnelerin kesim sıralamaları, materyalin hazırlanması, işi yapacak personelin uygunluğu, maliyet unsurları vb. değişkenlerin ortaya çıkması; kâğıt üzerinde rahatça çözülebilecek gibi görünen bir problemin; sonuçlandırılmamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla çözüm aşamasında en ulaşılabilir koşulların modellere dâhil edilmesi ya da çözümde esneklik sağlanmaya çalışılması sonuca ulaşmayı kolaylaştırabilmektedir.

Buraya kadar bahsedilen unsurlar malzemelerin ayrı ayrı özelliklerini göz önüne almaktadır. Buna ek olarak, her iki aşamada da (hem kesilecek parça hem de sipariş edilen ürünler) oluşacak nesnelerin şekilsel özellikleri kıyaslanmalıdır. Buradan yola çıkarak, nesnelerin birbirlerine göre geometrik özellikleri de çözüm uzayının oluşturulmasında yer almalıdır. Şöyle ki, sipariş edilen ürünün farklı boyutlardaki adetleri, kesme planındaki nesnelerin aralarındaki uzaklıkların kısıtlamaları ve nesnelerin komşuluklarının nasıl olacağını belirten kısıtlamalar şekilsel olarak ara

mamul ve ürün arasındaki yerleşim ilişkisini belirlemektedir (Dyckhoff, 1990).

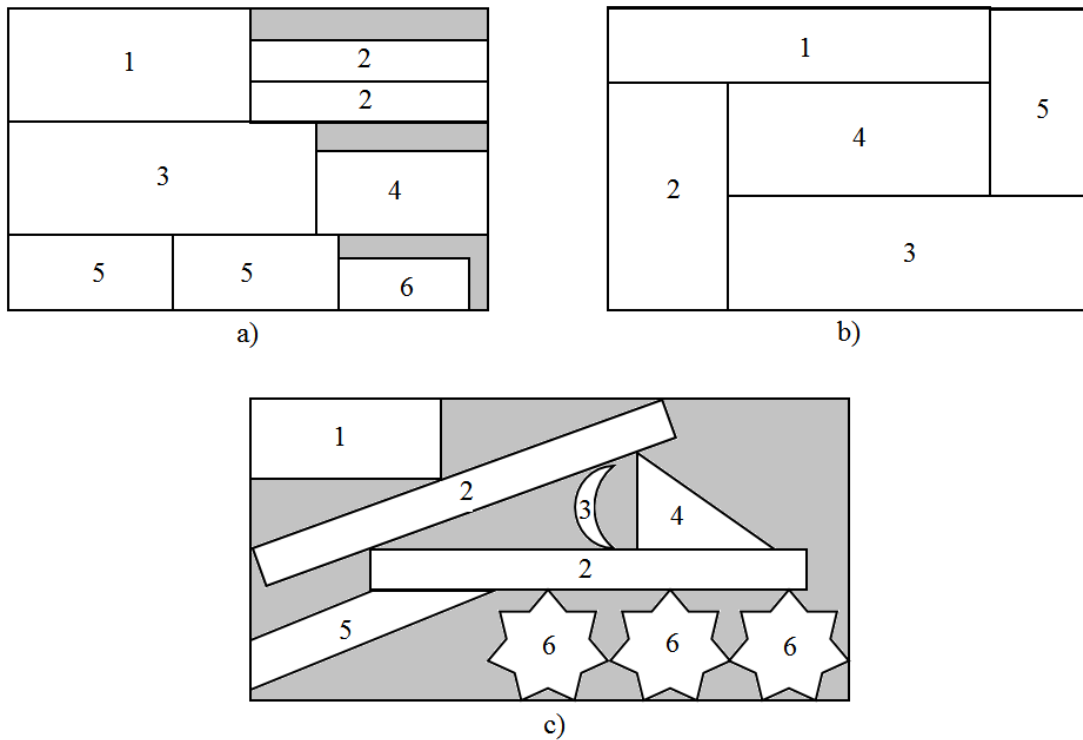
Kesme planındaki nesne uzaklıkları kısıtı; kesme kuvvetlerinden, ısı, kesme malzemelerinin aşınmasından ve yönetsel hatalardan kaynaklanan sıkıntıların giderilmesini sağlamaktadır (Topal ve Çoğun, 2006: 144). Çalışmanın konusu metal kesme olduğundan, işlem sırasında fazla kuvvet kullanılması gerekmektedir. Kullanılan kuvvet ile sürtünmeden kaynaklı ısının artışı yaşanmaktadır (Du vd., 2002: 619). Bu noktada gerek kesme işleminin yapıldığı tezgâh gerekse malzemelerin birbirlerine olan uygunsuzluğu; istenen sonuç dışına çıkılmasına neden olmaktadır. Malzemelerin sürtünmeden, aşırı kuvvetten ya da ısınmadan dolayı deforme olması veya boyutlarının değişmesi görülebilecek sonuçlardandır (Schmitz ve Ziegert, 1999: 51). Olası bir hata ise doğrudan işletmeye maliyet olarak yansımaktadır. Dolayısıyla süreci başlatacak kişilerin malzeme ve tezgâh bilgilerine göre parçalar arasında doğal fire miktarlarını ekleyerek hesaplamaları yapmaları gerekmektedir. Nesnelerin komşuluklarının nasıl olacağını belirten kısıtlamalar; şekilsel olarak ara mamul ve ürün arasındaki yerleşim ilişkisini: “dikey olup olmama” kararına göre belirler. Kesilecek parçaların birbirlerine göre dikey komşuluğa sahip olmaları, dikdörtgensel şekillerde daha sık tercih edilmektedir (Shet ve Deng, 2000: 95). Bu tarz problemlerde malzemeler, belirli bir noktadan başlayarak sona kadar kesilerek bölünmektedirler. Bu tip kesme işlemine “giyotinli kesme” denmektedir (Faina, 1999: 546). Belirli bir noktadan başlayarak sona kadar kesilmeyen durumlara ise giyotinsiz kesme işlemi denilmektedir (Söke ve Bingül, 2005: 26). Giyotinsiz kesme işleminde de kesim işlemi bloktaki herhangi bir noktada durdurulabilmektedir. Bu tip kesme işlemine en uygun örneğe; torna tezgâhlarındaki yapılan kesme işlemi göstermek uygun olacaktır. Benzer şekilde kesmenin tersi olarak palet yükleme problemlerindeki desenin, giyotinsiz kesmeye benzediği anlaşılmaktadır (Baesley, 1985: 297). Öncül bilgiler ışığında dikdörtgensel şekil içermeyen parçaların kesilmesi işlemlerinde, doğal olarak dikey kesim aranamayacağı ortaya çıkmaktadır.

Nesneler hakkındaki tekil ya da karşılıklı özelliklerin ortaya konmasının yanı sıra probleme genel olarak nasıl yaklaşılacağı da ayrı bir karar adımıdır. Şöyle ki, çözüm aşamasında nesnelerin belirli bir parçadaki en uygun deseni mi (desen yönelimli), yoksa en fazla sayıda parçanın büyük nesneye atanması (nesne yönelimli) yaklaşımlarını mı dikkate alacağına karar verilmelidir (Erjave vd., 2009: 3986). Nesne yönelimli çözüm metodunda, nesneler birbiri ardına en uygun sırada olacak şekilde

atama yapılarak çözüme ulaşılmaya çalışır. Desen yönelimli çözüm metodunda ise birden fazla farklı çözüm metodu ile en uygun olacak şekilde çözümler üretilerek, işletmeye uygun esneklikteki çözüm ya da çözümler seçilir (Waescher vd., 2007: 1112).

Kesme işleminde, hammaddenin ve ürünün tek tek ele alınması gerekliliği gibi birbirleri ile olan ilişkileri de fiziksel kısıtlamaları ortaya çıkartmaktadır. Dolayısıyla hem kesilecek blok hem de kesilecek nesnenin boyutlandırması, gruplandırılması ve birbirleri ile uygunluğuna dikkat edilmesi gerekmektedir (Martin ve Stephenson, 1988: 506).

Şekil 1.7. Dikey Komşuluk Deseni ve Giyotinli/siz Kesme Örnekleri



Yukarıda verilen Şekil 1.7’de bahsi geçen dikey komşuluk ve giyotinli/siz kesme tiplerine örnekler gösterilmiştir. Aynı zamanda (a), (b) ve (c) örneklerindeki gri bölgeler kesim planı dışındaki alanları (fire veya tekrar kullanım) belirtmektedir. Şekil 1.7 (a)’da nesnelere birbirlerine göre dik ve 1-2, 3-4, 5-6 nesnelere tabanları boyunca giyotinli kesmeye uygun bir planın oluşturulduğu görülmektedir. Nesnelere bakıldığında; 2, 4 ve 6 numaralı nesnelere bir arada da toplanabileceği anlaşılmaktadır. Ancak kesim işleminin uçtan uca yapılamaması durumu ile karşılaşılabilir. Bu duruma Şekil 1.7 (b) örnek olabilir. Görüldüğü üzere, nesnelere kesim planları, iç kenarlar

incelendiğinde, uçtan uca olmamaktadır. Kesim işlemi bloğun herhangi bir yerinde sonlanmaktadır. Aynı zamanda parçaların yerleştirilmesi birbirlerine karşı dikey komşuluktur. Şekil 1.7 (c)'de ise düzenli dikdörtgenel şekiller yoktur. Hilal, çokgen yıldız, yamuk gibi şekillerin varlığı nesnelere dik olarak konumlandırılmayacağına örnektir. Dolayısıyla Şekil 1.7 (c)'de nesnelere komşuluğu dik değil ve kesim metodu giyotinsizdir. Dikkat edilmesi gereken başka bir husus olarak şunu belirtmekte fayda vardır: kesilen bloklar uygun dikdörtgenel şekillerden oluşmaktadır. Ancak düzgün olmayan boyutlardaki bloklara yerleştirilecek kesim desenlerinde fire miktarını azaltmak için dikdörtgenel şekillerinde birbirlerine dik olmadıkları zaman daha iyi sonuç verdikleri durumlar olabilmektedir. Örnek olarak terzilerin kumaş kesimleri verilebilmektedir. Buradan yola çıkarak çözüm desenini oluştururken sadece nesnelere değil aynı zamanda kesilecek bloğun da geometrik şekline dikkat edilmesi gerekmektedir.

Şimdiye kadar anlatılan özellikler mantıksal yapının içerisinde yer alan başlıklardır. Gerçekçi yapıda ise nesne-ürün çeşitliliği, endüstri, planlama içeriği ve yazılım özellikleri açıklanacaktır. Gerçekçi yapı ile problemin arka planda kalan gerçekleştirme ile alakalı özellikleri incelenmektedir. Problemin kullanılacağı endüstri ihtiyacı ortaya çıkartmaktadır. Şöyle ki, masa yapımında kullanılan ahşap levhalar mobilyacılık sektöründe kullanılırken, bu levhaların taşınacağı paletler taşımacılık sektörü ile alakalıdır. Dolayısıyla kullanılacak ağaç türü, işleme hassasiyeti vb. tüm süreçler birbirinden farklı olacaktır. Böylece amacın açıkça belirtilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Kullanılan temel amaçlar aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Fire miktarını azaltmak
- ✓ Kullanılan nesne sayısını azaltmak (büyük nesne ya da küçük nesne temelli)
- ✓ Maliyeti azaltmak
- ✓ Süreç içi iş sayısını azaltmak
- ✓ Stok sayısını azaltmak
- ✓ Envanteri azaltmak
- ✓ Kesilen nesnelere değerini artırmak

Hangi çözümün hangi iş için kullanılacağı projelendirme aşamasında önem kazanmaktadır. Buradan yola çıkarak, planlama gereksiniminin çözüme başlamadan ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Aynı zamanda diğer birçok planlama adımının da C&S ile iç içe geçtiği görülmektedir (Damours vd., 2008: 267). Temel Bu adımlar şöyle sıralanabilmektedir:

- ✓ Sipariş yönetimi
- ✓ Zamanlama
- ✓ Kapasite
- ✓ İş sıralaması
- ✓ Kesme yöntemi
- ✓ Cihaz
- ✓ Personel
- ✓ Hammadde
- ✓ Malzeme ihtiyaç planlaması
- ✓ Tedarik planlaması
- ✓ Hizmet alımı
- ✓ Maliyet

Yukarıda bahsedilen işlerin dışında probleme uygun olan başka iç içe işlerde olabilir. Tüm ana ve yan süreçlerin bir arada çözülebilmesi mümkün değildir (Arbib ve Marinelli, 2005: 618-619). Karmaşıklığı aşabilmek adına süreçlerde kısıtlamalar yapmalı ve sadece bir süreç ya da bütünleşmiş iki sürecin çözüleceği modelleri tercih etmek gerekmektedir. Anlaşılacağı üzere nesnelere fiziksel özellikleri yanı sıra sürecin işlemlerine yarayacak planlama ve amacın ortaya konabilmesi de çözüme ulaşmak için olmazsa olmaz bir adımdır.

1.3. KESME PROBLEMİNİN SINIFLANDIRILMASI

C&S problemleri ile ilgili çözümler incelendiğinde, farklı birçok değişken ile karşılaşmıştır. Ancak problemde çok kullanılan özelliklerin bir araya getirilmesi ile problemleri kümeleyerek çözüme yönelik oluşacak çözüm tipleri yaratmak amaçlanmıştır. Birkaç özellik ile tanımlanan problem tipleri mümkün olan en az sayıda özellik ile en yüksek temsili hedeflemektedir (Waescher vd., 2007). Bir üst başlıkta (kesme probleminin özellikleri), bir problemde yer alan özelliklerden bahsedilmeye

çalışılmıştır. Sınıflandırma aşaması ile bu özelliklere bağlı olarak;

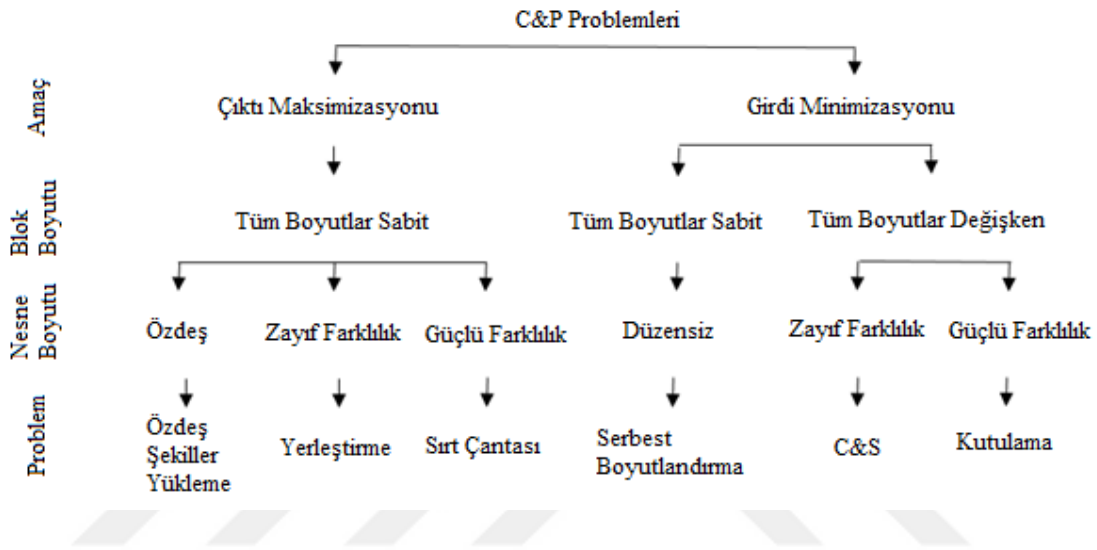
- ~ Boyut
- ~ Atama tipi
- ~ Nesne çeşitliliği

olarak üç ana başlıkta bölünmektedir.

Boyut aşamasında bahsedilen durum, nesnelerin uzaydaki tek boyutluluk, iki boyutluluk ya da 3 boyutluluk durumudur. Tek ya da iki boyutlu çözümlenmelerde karmaşık olmayan düzlemsel hesaplamalar, üçüncü boyutun dâhil olması ile karmaşıklaşmaya başlamaktadır (Delorme vd., 2016: 1). Örnek vermek gerekirse; tek boyutlu bir problemde iki nesne birbirlerine göre, ön ve arka, olacak şekilde iki farklı konum almaktadır. Bu duruma iki boyutlu problemlerde sağ ve sol eklenerek dört farklı konum; üç boyutlu problemlerde alt ve üst eklenerek altı farklı konum oluşmaktadır. Bahsedilen hesaplama iki nesnenin birbirine göre konumu iken gerçek bir problemde yüzlerce nesnenin birbirlerine göre konumları hesaplanarak en uygun sonuç bulunmaya çalışılacaktır. Öte yandan, nesnelere kesilecek bloğa göre konumları da unutulmamalıdır. Dolayısıyla boyutlandırma başlı başına sınıflandırma ögesi olmaktadır. Atama tipi başlığında ise atanacak ve atılacak nesnelere bahsedilmektedir. Mevcutta yer alan tüm bloklara (atanılacak) stokta yer alan tüm nesnelerin (atanacak) hangi kriterlere göre yerleştirilmesi gerektiği bilgisinin kullanıcı tarafından verilmesi gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse, birden fazla bloktan sipariş ile farklı büyüklükteki nesnelerin kesilmesi istensin. Atama tipine göre bir blok bitmeden yeni bir bloktan kesim işleminin yapılması engellenebilmektedir ya da herhangi bir bloktan herhangi bir nesnenin kesilmesi sağlanabilmektedir. Bu kararlar, bloklara ait atama tipleridir. Bir diğer örnek olarak, bloklardan kesilecek nesnelere büyüklüklerine göre sıralanarak kesilmelidir ya da herhangi bir boyut sıralamasına uymadan siparişin geliş sırasında göre kesim yapılmalıdır. Buradaki örnekte ise nesnelerin atama tipine uygun kararlar örneklendirilmiştir. Nesne çeşitliliği maddesi çözüm deseninde yer alacak nesnelerin benzer ya da benzer olmayan nesnelere veya her ikisini de içerip içermeyeceğini belirtmektedir. Özellikler başlığındaki stoklama tipi yerleştirmenin ve seçimli yerleştirmenin kullanılması, kesme probleminin çözümünde nesnelerin birbirleri ile etkileşimini daha iyi açıklamaktadır. Esas olarak sınıflandırmada

kullanılan üç değişkenin de birbirlerinden tamamen uzak olmadığı, aksine daha bağlantılı bir yapının mevcudiyeti ortadadır. Bu bölümde konu ile alakalı olarak sadece kesme problemi sınıflandırmasına yer verilmiştir. C&S problemlerine dâhil olan palet yükleme, sırt çantası ve depolama problemleri kapsam dışı olduğundan, çözüm aşamalarına değinilmemiştir (Şekil 1.8).

Şekil 1.8. Problem Tipleri



Kaynak: Waescher vd., 2007: 1117

Waescher vd. 2007 yılında yayınladıkları makalede Dyckoff'un oluşturduğu sınıflandırma yapısı geliştirilmiştir. Dyckoff boyutlandırma ayrımını sadece üç boyutla sınırlandırmıştır (Waescher vd., 2007: 1111), Ancak bu durum günümüzün ihtiyaçları ve imkânları doğrultusunda yeterli olmamaktadır. Bu sebeple, boyuta göre sınıflandırmaya üçten fazla olacak şekilde n boyutluluk eklenmiştir. Ayrıca boyutlandırma problemdeki ilk ayırım noktası iken, daha yeni olan yaklaşımda amaç (çıktı maksimizasyonu ya da girdi minim�asyonu) ilk ayırım noktasıdır. Aşağıdaki tabloda Dyckoff'un hazırladığı, sonrasında Waescher ve arkadaşlarının geliştirdiği C&S tipolojisi yer almaktadır (Waescher vd., 2007: 1111). Aynı zamanda tablodaki notasyon ile bir problemi sınıflandırmak ve çözüm hakkında karara varmak kolaylaşmaktadır.

Tablo 1.1. Kesme ve Paketleme Probleminde Tipoloji ve Notasyon

1.Boyut	Notasyon	3. Blok Çeşitliliği	Notasyon
Tek boyutlu	1	Tek blok	O
İki boyutlu	2	Özdeş şekilli bloklar	I
Üç boyutlu	3	Farklı şekilli bloklar	D
N boyutlu	N	4. Küçük Nesne Atanması	
2. Atama Şekli		Farklı şekilli birkaç nesne	F
Tüm Blokların Seçilebilmesi	B	Çok farklı şekillerde çok nesne	M
Tüm Nesnelerin Bloğa Atanması	V	Uyumlu şekilli çok nesne	R
		Benzer şekilli nesnelere	C

Kaynak: Dyckhoff ve Finke, 1992: 43; Waescher vd., 2007: 1111

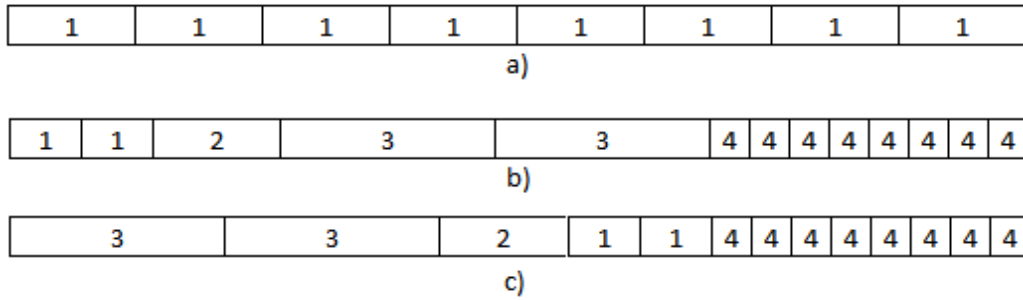
Yukarıdaki tabloda (Tablo 1.1) verilen notasyon ile hızlı bir şekilde problemleri tanımlamak mümkündür. Şöyle ki, tezde kullanılacak problemde özdeş şekilli bloklar ve bu bloklara yerleştirilecek farklı şekillerdeki birçok nesne söz konusudur. Aynı zamanda tüm nesnelere bloğa atanmadan yeni bir blok tahsisi söz konusu değildir. Ek olarak çalışma üç boyutlu olarak ele alınmıştır. Böylelikle çalışmanın notasyonu 3/V/I/M şeklinde düzenlenmektedir. Sınıflandırmada yapılan yeniliklere göre çalışmadaki problem ele alındığında; çıktı maksimizasyonuna göre Çoklu Benzer Büyüklükte Nesne Yerleştirme Problemi (ÇBBNYP) (3/V/I/M), Çoklu Benzer Sırt Çantası Problemi (ÇBSÇP) (3/V/I/R); çıktı minimizasyonuna (en az fire miktarı) göre Çoklu Parça Büyüklüklü Kesme Stoklama Problemi (3/V/I/M), Fire Kesme Stoklama Problemi (3/V/I/R), olması düşünülebilmektedir. Amaç fonksiyonu maksimizasyon olarak düzenlenmekte olan bir problem, çalışmanın duali niteliğindedir (Golden, 1976: 265-266). Çalışmadaki amaç, fire kaybının en az olması iken, dual olarak desene dâhil edilen nesne sayısının en fazla olması da fire miktarını en aza indirmektedir.

Tek boyutlu kesme problemleri, bir silindir ya da tek boyutlu düzlemin şekilsel özelliğini kaybetmeden tek bir boyut üzerinden küçültülmesi olarak tanımlanabilmektedir (Gau ve Waescher, 1995: 573). Kesme problemini; çelik çubuklar, rulo veya alüminyum rulolar, tek boyuttan kesilen ahşap levhalar veya metal

levhalar, baskılı devre kartları, cam veya fiber cam levhalar, deri parçaları kesimigibi birçok endüstriyel işlemden ortaya çıkabilmektedir (Cherri vd., 2014: 395). Bu tip problemlerde karmaşıklık, iki ve üstü boyutlu problemlere göre, daha azdır. Literatürde tek boyutlu kesme çözümlemesi için gerek cebirsel gerekse sezgisel çözümler öne sürülmüştür. İlk öne sürülen çözümler; 1960 yılında Kantorovich ve 1961 yılında Gilmore ve Gomory (Tomat ve Gradisar, 2017: 474) tarafından kesin çözüm üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Umetani vd. (2003) Yang vd. (2006), Eshgi ve Javanshir (2005) Jahromi vd. (2012) ise yayınlarında TABU arama, karınca kolonisi ve çeşitli sınırlandırmalara dayanan sezgisel teknikler ile çözüm üretmeye çalışmışlardır.

Tek boyutlu kesme problemi kendi içerisinde homojen (Umetani vd., 2003: 388) ve heterojen (Cui vd., 2015: 215) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bahsi geçen ayırım parçaların sabit boyutlara sahip olup olmaması ile ilgilidir.

Şekil 1.9. Tek Boyutlu ve Özdeş İki Bloktan Homojen ve Heterojen Parça Kesim Örnekleri

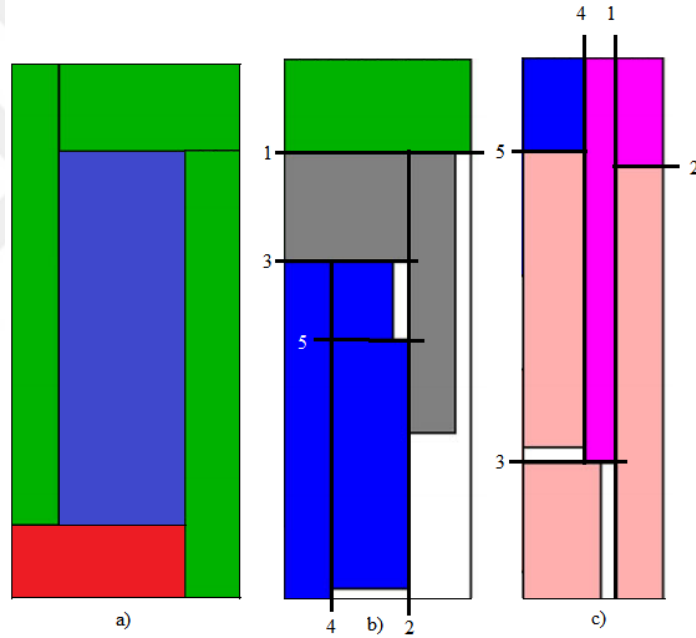


Şekil 1.9 (a)'dan da anlaşılacağı gibi, eğer kesilecek parçalar aynı boyuta sahip ise homojen kabul edilmektedir. Ancak kesilecek parçaların boyutları farklı ise (Şekil 1.9 (b)) heterojen denilmektedir. Amaca göre desen yönelimli ya da nesne yönelimli yaklaşımlar kullanılabilir. Şekil 1.9 (b) desen yönelimli hazırlanmıştır, çünkü daha çok parçanın yerleştirilmesi hedeflenmiştir. Ancak Şekil 1.9 (c)'de nesne yönelimi söz konusudur. En büyük parçadan en küçük parçaya doğru bir yerleştirme söz konusudur.

İki boyutlu kesme işlemleri, üç boyutlu nesnelerin bir boyutlarının değişmediği ya da diğer tüm nesneler ile aynı olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır (Furini vd., 2016: 736). Nesnelerin blok ve birbirlerine göre konumlarına göre iki boyutlu kesme probleminde; dikdörtgensel olan/olmayan şekiller ve giyotinli/siz kesim tekniklerine

göre ayırım yapılmaktadır (Dusberger ve Raidl, 2015: 133-134). Kesim yapan cihazlar dolayısı ile giyotinsiz kesime örnek olabilecek C&S problemi ile literatürde karşılaşılmamıştır. Giyotinsiz kesim problemi ile daha çok yükleme (palet, kutu vb.) ve sırt çantası problemlerinde karşılaşılmaktadır (Ahn vd., 2015: 7676; Piyachayawat ve Mungwattana, 2017: 100). Aşağıda yer alan Şekil 1.10'da giyotinli ve giyotinsiz kesim örnekleri verilmiştir. Şekil 1.10 (b) ve (c)'de verilen numaralar sırası ile kesim yapılacak sıralamayı belirtmektedir ve her ne kadar (b)'de şeklin ortasında giyotinsiz kesime örnek bir durum varmış gibi gözükse de kesim sıralaması takip edildiğinde giyotinli kesmeye göre planlama yapıldığı anlaşılmaktadır.

Şekil 1.10. İki Boyutlu Giyotinli/siz Örnekleri ve Kesim Sırası Numaralandırması



Kaynak: Dominguez vd., 2016: 385

Dikdörtgensel olmayan şekillerin mevcut olduğu kesme problemlerinde sınıflandırmaya yarayan genel özellikler şu şekilde maddeleştirilmiştir (Dyckhoff ve Finke, 1992: 55):

- Bloklar dikdörtgensel şekildedir
- Nesnelere özdeş şekillerdedir.
- Bloklar sabit ölçülerdedir.
- Blokların kesime dâhil edilmesinde belirli bir sıra yoktur.
- Nesnelere desene dâhil edilmesinde zamansal bir sıralama yoktur

- Ortogonalite (nesnelerin birbirlerine karşı dik konumda yerleştirilmesi) yoktur.
- Desen oluşturmak konusunda kısıtlama yoktur.
- Nesneler ve bloklar için tüm değişkenler bilinmektedir.
- Desen yönelimli çözüm kullanılır.

Nesnelerin kesim sıralaması için modele belirli bir öncelikte dahil edilmesi “zamansal sıralama” olarak bahsedilmiştir. Zamansal sıralama kesme problemlerinde kullanılabilir ancak literatürde daha çok yükleme (palet, kutu vb.) ve sırt çantası problemlerinde görülmektedir. Dikdörtgenel olan şekillerdeki sınıflandırma özellikleri aşağıdaki maddelerde geçmektedir;

- Bloklar dikdörtgenel şekildedir.
- Nesneler özdeş ya da farklı şekillerde olabilir.
- Nesne uzaklıkları konusunda ya da sayısında sınırlama yoktur.
- Ortogonalite (nesnelerin birbirlerine karşı dik konumda yerleştirilmesi) vardır.
- Tek aşamalı süreçlerdir.
- Desen oluşturmak konusunda kısıtlama yoktur.
- Nesneler ve bloklar için tüm değişkenler bilinmektedir.
- Çözüm için tek ve en uygun model kullanılır.

Yukarıda bahsi geçen maddelere göre giyotinli kesme probleminde sadece; nesnelerin özdeş olması ve tek desenli çözüm yerine desen yönelimli çözüm, maddeleri mevcuttur. Giyotinsiz kesme probleminde ise bloklarda ve nesnelere sabit boyutluluk, aynı zamanda nesnelere 90° rotasyon ve tek desenli çözüm yerine desen yönelimli çözüm özellikleri ek olarak mevcuttur. İki boyutlu kesme problemi hakkındaki temel başlangıç Gilmore ve Gomory (1965) tarafından “İki ve Fazla Boyutlu, Çok Aşamalı Stok Kesme Problemi (Multistage Cutting Stock Problems Of Two And More Dimensions)” olarak belirtilmiştir (Sweeney ve Paternoster, 1992: 691). Günümüze kadar gerek problemin olgunlaşması gerekse teknolojinin gelişmesi ile birçok çözüm yöntemi ortaya atılmıştır (Furini vd., 2016: 736).

Üç boyutlu C&S güncel hayatta daha çok karşılaşılan ve konteynır yükleme problemini temel alan bir problemdir (Gonzalez vd., 2016: 355). Üç boyutlu problemlerde en, boy ve yükseklik verilerinin farklı olduğu, dolayısıyla hacim ve ağırlıkların da değişken olduğu nesnelere bahsedilmektedir. Eğer boyutlardan biri sınırlandırılmış ise bu tip bir problem 2, 5 boyutlu olarak adlandırılabilir (Bayır, 2012: 9). Üç boyutlu C&S probleminin özellikleri, iki boyutlu C&S problemi ile aynıdır. Her iki grubu birbirinden ayıran tek fark ek bir boyut olmasıdır. İlk üç boyutlu kesme stoklama problemi çözümü Gilmore ve Gomory (1965) tarafından “İki ve Fazla Boyutlu, Çok Aşamalı Stok Kesme Problemi (Multistage Cutting Stock Problems Of Two And More Dimensions)” adlı yayında ortaya atılmıştır (Sürsal, 1980: 90). Çözüm aşamasında kullanılan teknik Bayır'ın tezinde bahsettiği 2,5 boyutluluk yöntemine benzemektedir. Şöyleki, çözümde yükseklik sabit alınarak en ve boy için en uygun kesim modeli araştırılmıştır. Diğer iki boyuta göre bu tip problemlerde nesne rotasyonunun da modele değişkenmiş gibi eklendiği; dolayısıyla rotasyon uygulanmış ve uygulanmamış nesnelerin kesişim kümelerinin asıl veri seti olarak kullanıldığı görülmektedir (Queiroz vd., 2012: 201).

Üçüncü boyuta ek olarak grafiksel bir boyut konulmasında süreç iyileştirme yada işletmecilik kısıtlamaları eklenebilmektedir. Örnek olarak kesim bıçağı için kısıtlama, makinaların-personelin iş yükü dengelemesi kısıtı veya nesne kesim sıralaması vb. ek kısıtlar probleme eklenerek yeni boyutlar oluşturulmuş olmaktadır.

1.4. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu bölümde, kesme ve paketleme problemine dair yapılan ve birçok araştırmacı tarafından atıf alan çalışmalardan bahsedilmiştir. Kesme ve paketleme probleminin çözümüne dair ortaya atılan gerek boyut gerekse yöntem farklılıkları açısından çeşitlilik arz eden bu çalışmalar kendi içlerinde; 1-2-3 boyut ve tarih sıralamalarına uygun olarak sıralanmışlardır.

Kesme stok problemi ilk olarak Kantoroviç tarafından 1939 yılında formüle edilmiştir. Kantoroviç, Sovyet Rusya'daki kereste endüstrisinin yeniden düzenlenmesi ile görevlendirildi ve görevinin bir parçası olarak çözüm araştırması sırasında kerestelerin kesilmesihakkında sınırlı bir doğrusal program sınıfı yöntemini hazırladı. 1951'de bilgisayarlar yaygınlaşmadan önce, L.V. Kantorovich ve V.A. Zalgaller,

doğrusal programlama yardımıyla kesme aşamasında maddenin ekonomik kullanımı sorununu çözmeyi önerdi. Önerilen teknik daha sonra Sütun Oluşturma yöntemi olarak anılmıştır (Matousek ve Gaertner, 2007: 9). Doğrusal programlamanın devamında dualite kavramı ile yeniden gelişim kaydedildi. Devamında ise bilgisayar teknolojisinin problem çözmede devreye girmesi, daha karmaşık çözümler için algoritma kavramının devreye girmesini ve NP-zor sınıfı çözümlerin yapılabilmesini sağlamıştır (MirHassani ve Bashirzadeh, 2015: 455; Figueira vd., 2017: 82). Böylelikle kaynakları tahsis etmek, üretimi planlamak, işçileri planlamak, yatırım portföylerini planlamak, pazarlama ve askeri stratejileri formüle etmek için sezgisel/meta-sezgisel teknikler ile çözüm uzayı oluşturmak mümkün olmuştur.

Kesme probleminde yaşanan temel ayırım boyutlandırma ve kesim işleminin başlangıcı olmaktadır. Şöyleki, kesilen malzeme silindirik nesnelere olduğu gibi tek boyutlu kesilmeyi ya da sac, kâğıt, deri gibi malzemelerde iki boyutlu kesilmeyi ya da belirli bir hacme sahip kübik, prizma şeklindeki nesnelere olduğu gibi çok boyutlu kesmeyi gerektirebilmektedir. Bunların dışında benzer şekillerin kesilmediği (düzensiz şeklindeki nesnelere) durumlar da mevcuttur. Aynı zamanda kesilen ikinci ya da diğer nesnelere bir öncekine bitişik olup olmayacağı ve ilk kesim işleminin ana parçanın neresinden başlayacağı da planlama açısından sorun teşkil etmektedir. Bu bölümde kesme probleminde çözüm olması amaçlanan çalışmalar incelenmiştir.

Fatma Demircan Keskin (2015) Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi dergisinde yayımlanan çalışmada Çoklu Stok Büyüklüklerinin Tek Boyutlu Kesim Problemi “One-Dimensional Multiple Stock Size Cutting Stock Problem-MSSCSP” şeklinde sınıflandırılan problem ele almıştır. Problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önermiştir. İlk aşamada oluşturulan bir sezgisel algoritma aracılığı ile alternatif kesim şekilleri elde etmiştir. İkinci aşamada bu algoritma ile elde edilen kesim şekilleri, oluşturulan tam sayılı doğrusal programlama modeline aktarmıştır. Çalışmada ele alınan problemde, 9 tip ve 3 farklı boyda hammaddeden 46 farklı ürün için parça kesimi yapılmaktadır. Problemin boyutu düşünüldüğünde, tüm alternatif kesim şekillerinin belirlenmesi ve en düşük fire miktarı ve ayar süresini veren optimum kesim planlarının oluşturulmasının makul sürelerde gerçekleştirilemeyeceği görülmektedir. Bu nedenle, tüm olurlu kesim şekillerini bulmak yerine, işletmenin amaçlarına uygun alternatif kesim şekillerini elde etmek istenmiştir. Kesim sırasındaki

parça tiplerindeki geçişlerde yaşanan sıkıntıları ve ortaya çıkan maliyetleri en aza indirmek amacı ile öncelikle bir boy hammadeden en fazla iki tip parça kesimine izin veren bir sezgisel algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma ile 1 saniyenin altında bir sürede her parça ve hammadde boyu için alternatif kesim şekilleri oluşturulmuştur. Geliştirilen model ile tüm ürünlerin dönemsel taleplerinin minimum kesim kaybı ile karşılanması için hangi hammadde tipinin hangi boyundan kaç adet tedarik edilmesi gerektiği ve bu hammaddelerin hangi kesim şekilleri ile kaç kez kesilmesi gerektiği belirlenmiştir. Modelde aynı zamanda, işletmenin her parça için yıllık parça kesiminin, talebin %10'undan daha fazla yapılmaması sağlanmıştır. Çalışmada önerilen iki aşamalı yöntem, kesim sürecini bütünsel olarak ele almakta ve çok kısa sürede işletmenin problemine çözüm bulabilmektedir.

Steudel (1979) palet yükleme kurallarını içeren: iki boyutlu kesimin stok sorununa çözüm arayan olgu çalışmasını yayınlamıştır. Dinamik programlamayı kullanan çalışmada tüm küçük dikdörtgenlerin aynı boyutta olduğu varsayılmıştır. Kesim şekli giyotinli olacak şekilde planlanmıştır. Çalışmanın sezgisel teknikler ile çözümü 182 farklı ebattaki ana parçadan aynı boyutlardaki parçaların kesilmesini kapsamaktadır. Oluşturulan çözüm uzayındaki sonuçların %64'ünde, %10,4 daha etkin planlama yapılabildiği hesaplanmıştır.

Wang (1983) "Kısıtlı İki Boyutlu Kesim Stok Problemleri İçin İki Algoritma" isimli çalışmada sıralı dikdörtgenlerin ardışık yatay ve dikey yapıları ile kısıtlı kesme kalıpları üreten iki birleşimsel yöntem önermektedir. Uygulanan algoritmada, oluşturulan her bir firenin maksimum kabul edilebilir yüzdesini sınırlamak için bir parametre kullanılmıştır. Hata sınırları, kesim planıyla oluşan fire miktarının, optimum çözüme ne kadar yaklaştığını ölçmektedir. Çözüm yöntemi, kabul edilebilir kesim modellerinin giyotin kesim tipi ile sınırlı olduğunu varsaymıştır. Dikdörtgenler, stok tabakasının art arda, kenardan kenara kesilmesi ile elde edilmiştir. Ayrıca mümkün olan tüm giyotin kalıplarını belirlemek için zıt bir yaklaşım kullanılmıştır. Bloкта yapılabilecek olası tüm kesimleri numaralandırmak yerine, birleşimsel algoritma, dikdörtgenleri ard arda birbirlerine ekleyerek giyotin kesim kalıplarını bulacaktır. Bu tür kombinasyonların sayısını azaltmak için, istenmeyen ilaveleri reddetmek amacıyla parametreler kullanılmıştır. Bu parametrelerin belirli bir seçimi için, algoritma ve kanıtlanılan optimalite koşulları, en iyi kesme planlarının yakınlığının optimum çözüme

doğru olduğunu ölçen hata sınırlarını belirlemektedir. Birleşimsel yaklaşım dikdörtgenleri birbirleriyle yatay ve dikey olarak oluşturmaktır. Algoritma daha sonra ortaya çıkan dikdörtgenleri orijinaline ekler (Dikdörtgenlerden daha geniş bir dikdörtgen grubuna). İşlem her tekrarlandığında yatay ve dikey yapının iki küçük dikdörtgeninden daha büyük bir dikdörtgen oluşturması için tekrarlanmaktadır. Buna ek olarak, iki algoritma, fire yüzdelerini belirgin olarak aşan dikdörtgenleri reddetmektedir. Bu şekilde, algoritma, sınırlamalara ve parametrelere tabi olan tüm olası dikdörtgenleri üretmektedir. Son olarak, bu setten en iyi dikdörtgen seçilmektedir. Optimum çözüme ulaşmak adına, her bir deneme için, parametrenin optimum değerine olabildiğince yakın, ancak bunun optimum değeri gözetilerek amaç fonksiyonuna uygun olanını tercih etmektedir. Bu, yalnızca belirtilen yöntemin en uygun çözümü bulmasını sağlamakla kalmaz aynı zamanda çözüm üretmek için gereken hesaplama süresini de azaltmaktadır. Elle üretilen herhangi bir örüntünün firenin üst sınır olarak işlev görebileceği düşünülmektedir.

Baesley (1985) sınırsız iki boyutlu giyotin kesme için algoritmalar üzerine çalışmıştır. Baesley çalışmada; sınırlandırılmamış, iki boyutlu, giyotin kesme problemi ele almıştır. Bu problemi çözerken, tek bir büyük dikdörtgenden birçok dikdörtgen parçanın kesilmesi amaçlanarak; kesilen parçaların sayısını en üst düzeye çıkarmak için giyotin kesme tekniğini kullanmıştır. Sorunun aşamalı versiyonu ve aşamasız versiyonu dinamik programlamaya dayalı, hem buluşsal hem de optimal algoritmalar sunmuştur. Böylelikle, genel giyotin kesme problemi için tekrarlayıcı bir prosedür oluşturmuştur. Genel giyotin kesme algoritması Gilmore ve Gomory'nin algoritması ile karşılaştırmıştır. Buna göre, kademesiz giyotin kesme problemine en uygun çözümü elde etmek için makul bir yaklaşımın, Gilmore ve Gomory tarafından sunulan türdeki bir dinamik programlama özyinelemesi olacağı beklenilmekteydi. Ancak genel kesim için çok az hesaplama sonucu bildirildiğinden, böyle bir özyinelemeli hesaplamayı uygulamaya ve raporlamaya karar verilmiştir. Hesaplama sonuçları, hem kademeli kesme hem de genel oyma kesme için sunulmuştur ve geliştirilen algoritmaların büyük problemlerde etkili bir şekilde sonuç üretebildiğini göstermektedir.

Oliveira ve Ferreira (1990) iki boyutlu kesme problemleri için Wang algoritmasının gelişmiş bir halini çalışmalarında yayınlamışlardır. Makale, kesme işleminde yer alan parçaların dikdörtgen olduğu iki boyutlu kesme problemini ve bir

parçanın kesme planında görünme sayısının sınırlı olduğu bir durumu ele almaktadır. Parçaları veya parçalar gruplarının (kısmi çözümlerin) birbirine ardışık eklenmesi ile kesme kalıpları üreten ve bu şekilde yeni kısmi/son çözümler üreten birleşimsel bir algoritma geliştirmişlerdir. Wang algoritmasına göre kısmi çözümlerin sayısı “patlama” yapmaktadır ve çözüm uzayını gereksiz yere büyütmektedir. Ancak uygulanan değişiklik çözümün kalitesini düşürmeden performansını arttırmıştır. Düzenlenmiş algoritma (orta büyüklükte kesme problemleri için en uygun çözüm istenildiği zaman) orta boy ve büyük boy kesim planlaması için etkili bir çözüm metodu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Blazewicz ve arkadaşları (1991) yazdıkları makalede iki boyutlu kesme problemleri üzerine yaptıkları dört çözüm yöntemi hakkında bilgi vermişlerdir. Öncelikle çalışmada iki boyutlu kesme sorununun temel sonuçlarını sunmuşlardır. Çalışmalarında tek boyutlu ve düzenli iki- boyutlu kesme problemleri, algoritmalar yardımıyla yaklaşık olarak çözüm arandığını belirtmektedirler. Kullanılan yöntemlerin tamamı geometrik kavramlara dayanan çözüm adımlarını içermekle birlikte, gerçek bir problem çözümüne yer verilmemiştir.

Söke ve Bingül (2004) genetik algoritmaların farklı çaprazlama teknikleriyle iki boyutlu kesme problemlerine uygulanışı üzerine çalışma yayınlamışlardır. Çalışmada, farklı çaprazlama teknikleri kullanan genetik algoritmalar (GA) ve geliştirilmiş aşağı sol (AS) algoritmasının ortak kullanımıyla 2 boyutlu giyotinsiz bir kesme problemine Matlab ortamında çözüm geliştirilmiştir. 200x200 birimlik bir alan ile sınırlandırılmış bir büyük parça ve yerleşecek 29 adet birbirinden farklı düzgün dikdörtgen parçadan oluşan bir test problemi üzerinde çalışılmıştır. Çalışma sonucunda aynı problem için, farklı çaprazlama tekniklerinin birbirinden çok farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Tüm nesil boyunca her çaprazlama tekniği için elde edilmiş uygunluk değerlerinin aritmetik ortalamalarının ve standart sapmalarının frekansları, en iyi sonucun sıralamaya dayalı çaprazlama tekniği ile en kötü sonucun ise Stefan Jakobs çaprazlama tekniği ile elde edildiğini göstermektedir. Söke ve Bingül bu çalışmada, 29 adet birbirinden farklı dikdörtgen parçayı sınırları önceden belirlenmiş bir büyük parça üzerine yerleştirmeyi amaçlayan iki boyutlu giyotinsiz bir kesme probleminin çözümü üzerinde çalışmıştır. Permütasyon hesabı için kullanılan GA’da 6 farklı çaprazlama tekniği kullanılmıştır. Problemin çözümünde elde edilen fire değerleri %5 ve %9 arasında değişmektedir.

Çalışmaya göre en iyi fire değeri OBX tekniği kullanıldığında elde edilmiştir. Bunun nedeni OBX tekniği kullanılarak yapılan çaprazlama işlemlerinde baskın aile genlerinin yeni üretilen bireyler içinde saklı tutulmasıdır. Elde edilen en iyi fire değerinden en kötü fire değerine göre diğer teknikler CX, LX, PMX, UX, SJX olarak sıralanabilir. OBX tekniği kullanılarak elde edilen bireyler diğer çaprazlama tekniklerine göre nüfus içinde ve nesiller boyunca daha çok değişim sergilediğinden nüfus içerisinde yeterince çeşitlilik sağlamıştır. Böylelikle çözüm için arama uzayında daha geniş bir alan taranmış ve diğer çaprazlama tekniklerine göre daha küçük fire değeri elde edilmiştir.

Suliman (2006) iki boyutlu kesme-stok problemi için ardışık sezgisel bir prosedür çalışmasını yayınlamıştır. Çalışmada, yerleştirme kaybını en aza indirmek amacıyla iki boyutlu dikdörtgen giyotin kesme-stok problemi üzerine çözüm aranmıştır. Makalede, iki boyutlu kesme-stok problemi için kullanılan sezgisel yaklaşım üç aşamalı bir işlemler dizisi olarak açıklanmıştır. İlk aşamada, minimum genişlik düzeltme kaybını üreten bir genişlik kesici desen belirleyerek bir boyutlu kesme-stok problemi oluşturulmuştur. Uzunluk kesim deseni, diğer bir deyişle parça uzunluk ve parçaların ilişkili düzeni ikinci aşamada atık ve uzunluk sınırının en az olduğu şekilde belirlenmektedir. Bu aşamalar sonucunda 2DCSP'nin çözümü için kullanılacak uygun bir kesme planı üretilmiştir. Son olarak, 2DCSP, üretilen kesme modelinde kullanılabilir. Sonuçta, yineleme sayısı azaltılmış problem için yeni bir kesim planı oluşturulabilmiştir.

Cui (2008) homojen kısıtlı üç aşamalı kesme modelleri üretmek için sezgisel ve kesin algoritmalar içeren çalışmasını yayınlamıştır. Dikdörtgenlerin sınırlandırılmış iki boyutlu giyotin kesme problemleri için homojen üç aşamalı kesim modelleri üretmek için bir yaklaşım önerilmektedir. Stok plakaları bölümlere ayrılmıştır. Her segment aynı yönde şeritlerden oluşmaktadır. Her biri aynı ebatta dikdörtgenler içeren homojen şeritlere izin verilmektedir. Yaklaşımda ağaç arama prosedürü kullanılmıştır. Başlangıç kesimi alt sınırdan başlar, şerit yapıları yoluyla olası tüm bölümleri örtülü olarak üretir ve tüm olası desenleri bölümlerin yapıları yoluyla oluşturur. Kullanılmayacak (fire) bölümleri ve kalıpları silmek için daha sıkı sınırlar oluşturulmuştur. Çözüm amacıyla hem sezgisel hem de kesin algoritmalar önerilmiştir. Hesaplama sonuçları, algoritmaların daha büyük ölçekli problemlerle baş edebileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, sayısal kontrolü olmayan giyotin makasların kullanıldığı veya makaslama ve

delme işlemi uygulanan durumlarda özellikle uygundur. CTDC problemleri için diğer kesin algoritmalar mevcuttur. Genellikle üretilen desenler şeritlerden oluşmaz ve makaslama ve delme işlemi için yeterli olmamaktadır. Genel veya tek biçimli şeritlerin aşamalı modelleri de yeterli değildir. Homojen şeritlerden oluşan kesim kalıpları gerekliyse, bu yazının algoritmaları faydalı olabilir. Rastgele test problemlerinin ölçeği, pratik kesim problemlerinininkiyle karşılaştırılabilir. Hesaplama sonuçları algoritmaların hesaplama süresinin ağırlıksız problemler için makul olduğunu göstermektedir. Sezgisel algoritmalar ağırlıklı problemleri çözmede son derecede etkilidir.

Macedo ve arkadaşları (2010) iki boyutlu giyotin kesme stok problemi için yay akışı modeli çalışmasını yapmışlardır. Buna yönelik, iki aşamalı ve giyotin kesme yöntemi ile iki boyutlu kesme stok problemi için kesin bir model tanımlamışlardır. Genel olarak çalışmanın çıkış noktası ValériodeCarvalho'nun tek boyutlu kesim çözümü için önerilen bir modelin uzantısı olarak; minimum akış sorunu ile formüle edilerek tamsayı doğrusal programlamayı (ILP) temel alan yay-akış modeli geliştirmektir. Model, ahşap endüstrisindeki gerçek örneklerden çok iyi sonuçlarla test edilmiştir. Üstelik modelin doğrusal programlama kısıtları ile sağlanan alt sınırlar, atama değişkenlerine dayalı modellerin sağladığı kısıtlarla karşılaştırılabilmektedir. Üretilen sonuç; herhangi bir örüntü için, azalan genişlik kuralına göre sıralanır. Böylece fire miktarı veya büyüklüğü, kesme modelinde belirlenen parça boyutlarından daha büyük olamaz.

Silva ve arkadaşları (2010) iki ve üç kademeli iki boyutlu kesme stok problemleri için tamsayı programlama modeli çalışmasını yayınlamışlardır. Makalede, iki boyutlu kesme stok problemleri için tam sayı programlama modeli önerilmiştir. Belirtilen problemlerde, belirli büyüklükteki bir dizi küçük dikdörtgen kümenin büyük dikdörtgen plakadan, toplam kullanılan plaka sayısı en aza indirilecek şekilde kesilmesi amaçlanmıştır. İki aşamalı ve üç aşamalı, tam ve kesin olmayan problemler çözümleme yapılabilmesi için uygulanmaya çalışılmıştır. Nesnelere döndürülebilmesi, kesimlerin uzunluğu ve geri kalan plakaların sayısı gibi diğer konular da ele alınmaktadır. Geliştirilen yeni tam sayı programlama modeli, tek boyutlu kesme stoku problemi için Dyckhoff tarafından önerilen "tek boyutlu kesim model" inin bir uzantısı olarak görülmüştür. Önerilen modelde, her karar değişkeni bir plakadan veya bir önceki kesmeden kaynaklanan bir plakanın bir parçasından (kalıntı plakalar) kesilmesi ile

ilişkilendirilmiştir. Önerilen modelin ve literatürdeki modellerin karşılaştırmalı hesaplama sonuçları sunulmakta ve tartışılmaktadır. Makalede, iki boyutlu kesme stokuna (2DCS) yönelik kesin bir yaklaşım önerilmiştir. Yaklaşım, genel bir tam sayı programlama çözümü tarafından doğrudan optimize edilmek üzere tasarlanmıştır. Ana dikdörtgen bloklar neredeyse sonsuz sayıdadır ve hepsi aynı boyutlara, yani aynı genişlik ve yüksekliğe sahiptir. Kesilecek nesnelere kümesi, boyutlarına göre (genişlik ve yükseklik bilgilerine göre) gruplandırılmıştır. Her nesne türü, genişlik, yükseklik ve talep miktarına (kesilecek ürünün sayısının) göre tanımlanır. Makalede problemler, ele alınan iki boyutlu dikdörtgenlerin dikey Stok Kesme Problemi (SCSP) parametrelerine ve izin verilen kesim türleri ile ilgili ek kısıtlamaları içermektedir. Ayrıca çoklu stok boyutlarıyla (MSCSP) başa çıkma adımları da açıklanmaktadır. Makalede, önerilen model, talep edilen ürünlerin plakalardan nasıl elde edilebileceğini açıkça belirlemek üzerine kurulmuştur. Önerilen modelin temel konsepti, bir plaka olarak ve parça (bir veya iki adet giyotin kesmesi yoluyla) elde etmeyi içeren kesimdir. Genel olarak bir kesim bir öğeye (talep edildiğinden daha fazla kesilmez) ve daha fazla kesilebilecek hale gelen iki plakaya ayrılır.

Terzi ve Cihan (2011) hazırladıkları makalede, dikişli boru üreten bir işletmede sac dilme işleminin optimizasyonu raporunu yayınlamışlardır. Bu çalışmada, dikişli boru üretimi gerçekleştiren bir işletmede, sac dilme işleminde, kesim planlaması ve kullanılan bıçak/ayırıcıların yerleşimi problemleri ele alınmıştır. Üretilecek boruların çap, et kalınlığı ve malzeme cinsine göre, hangi rulolardan, ne genişlikte parçalar kesileceğinin planlanması gerekmektedir. Bu işlemde, bir rulo kesilmeye başlandığında, sonuna kadar kesilmeye devam edilmektedir. Bu nedenle istenen malzeme ve et kalınlığında çok sayıda ruloya ihtiyaç duyulduğunda, kesilecek genişliklerin rulolara yerleştiriliş şekli, rulolardan artacak kullanılabilir olan/olmayan malzeme miktarını belirlemektedir. Ayrıca dilme işleminin hazırlık aşamasında bıçak ve ayırıcıları yerleşimi de önemli bir problemdir. Kesme işlemi sırasında tek bir bıçak dizilimi kullanılmasına karşın, yerleştirme işlemi uzun sürebildiğinden daha sonraki rulolarda kullanılacak bıçak ve ayırıcı dizilimlerinin önceden yapılması gerekmektedir. Dilme işleminde kullanılacak değişik genişliklerdeki bıçak ve ayırıcıların sayıları sınırlıdır ve hangi sayıda kullanıldıkları işlem hazırlık zamanı açısından önem taşımaktadır. Kullanılan bıçak ve ayırıcı sayısının az olması yerleştirme işleminin daha çabuk

bitirilmesine ve çalışanın daha az zorlanmasına yol açmaktadır. Çalışmada, kesme problemi için bir hedef programlama modeli; kullanılan bıçak, ayırıcı yerleşim problemi için bir doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen modeller, işletme verilerinden türetilen örnek problemler üzerinde uygulanarak, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Problem, makine üretiminde tek boyutlu profil kesme problemi ya da metal işlemede sacdan arta kalan kullanılmayacak miktarın en küçüklenmek istendiği iki boyutlu kesme problemi olarak karşımıza çıkarken, tekstilde kesim sonrası arta kalan kumaşın en az olmasının istendiği yine iki boyutlu kesme problemi biçiminde karşımıza çıkmaktadır. Lojistik alanında ise araç yükleme, paketleme gibi üç boyutlu yerleşim problemleri olarak görülmektedir.

Afsharian ve arkadaşları (2014) kusurlu iki boyutlu kesme problemi için sezgisel, dinamik programlama tabanlı bir yaklaşım çalışması yapmışlardır. Makale, belirli boyutlardaki küçük dikdörtgen parçaların sabit şekli olmayan daha büyük dikdörtgen nesneden kesileceği iki boyutlu kesme problemini ele almaktadır. Amaç, kesilmiş küçük ürünlerin sayısını maksimize etmektir. Problemin çözümü için, önceden önerilen yöntemlerin yapısal ve hesaplamalı sınırlamalarını aşan sezgisel, dinamik bir programlama temelli bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmada önerilen yöntem, literatürden elde edilen problem örnekleri ve rastgele oluşturulmuş örnekler üzerinde yapılan ayrıntılı bir sayısal deneyler dizisi vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Deneyler, önerilen yöntemin test problemi örneklerinin optimal çözümlerini nasıl belirleyebildiği ve mevcut yöntemlerin başarısız olmasının nedenini de açıklamaktadır.

Vanderbeck (2015) makalesinde, üç kademeli, iki boyutlu bir kesim stok problemine yuvalanmış ayırıştırma yaklaşımını yayınlamıştır. Makalenin çalışma planı, dikdörtgen sipariş parçalarının belirli genişlik ve uzunluk stok parçalarına kesilmesi olarak düşünülmüştür. Kesme işlemi, üç aşamalı dikey giyotin kesmeyi içermektedir. Kesme işlemi üzerine uygulanan kısıtlamalar, sorunun birleşimsel yapısını daha karmaşık hale getirir, ancak çözüm alanı kapsamını sınırlar. Sorunun amacı esas olarak israfı en aza indirmektir, ancak modelin aynı zamanda stokların ömrünü, acil veya isteğe bağlı siparişler ve sabit kurulum maliyetleri gibi diğer konuları da kapsamaktadır. Çözüm yaklaşımı, sorunun iç içe geçmiş ayrışması ve sütun üretim tekniğinin yinelemeli kullanımı ile ilgilidir: Problemin çözümü için kolon üretim formülasyonu kullanılmaktadır. Asgari maliyet üzerindeki doğrusal programlama (Linear Programing-

LP) tabanlı alt sınırlar hesaplanır ve LP çözümünü yuvarlayarak uygun bir çözüm ve buna bağlı üst sınır elde edilir. Kesme işlemi üç aşamayı kapsamaktadır ve yalnızca dikey giyotin kesikleri kullanılmaktadır, diğer bir deyişle parçanın bir kenarından karşı kenarına doğru kesilen parçanın bir yanına paralel olarak kesilmektedir. İlk aşamada stok parçaları kesitlere bölünür. Parçalar daha sonra yarıklara kadar kesilir ve son aşamada yarıklar sipariş parçalarına kesilir. Bununla birlikte, bir stok parçasının tam uzunluğunu kullanmama ve kalan parçayı daha sonra kullanmak üzere ayırma seçeneği bulunmaktadır. Dolayısıyla diğer bölüm stoka geri dönmektedir. Minimum maliyet üzerindeki doğrusal programlama alt sınırını hesaplamak için iç içe geçmiş bir sütun oluşturma algoritması kullanılır. Bu demektir ki, sütun oluşturma alt probleminin kendisi bir kolon üretim prosedürü kullanılarak çözülmüştür. Yani, minimum indirgenmiş maliyetle bir kesme deseninin oluşturulmasından oluşan alt problem, sütunları uygulanabilir bölümlere tekabül eden sınırlı tam sayı sırt çantası problemi olarak formüle edilmiştir. Çalışma sonucunda, kesim sorunlarını aşırı basitleştiren "saf" modellerin kesin optimizasyonu ile diğer taraftan gerçekçi modeller için sıklıkla kullanılan öngörüsüzbuluşsal yöntemler arasındaki boşluğu kapatma girişimi gösterilmiştir. Burada sunulan algoritma, endüstriyel problemlerin iyileştirilmesinde temel oluşturmaktadır.

Vanzela vd. (2017) mobilya üretiminde bütünleşmiş parti büyüklüğü hesaplamak amacıyla kesme stok problemini kullanmışlardır. Çalışmanın amacı, hammaddenin kullanımından kalan fire miktarını en aza indirerek, parti büyüklüğünün ve kesim planının hazırlanmasını içermektedir. Probleme bu hali ile bakıldığında emniyet stok seviyesini ve testere kapasitesini dikkate alarak uygun parti büyüklüğünün bütünleşmiş matematiksel model ile açıklamaya çalışıldığı anlaşılmaktadır. Modelde kullanılan çok sayıda değişkenin varlığı çözüm için sütun üretim yönteminin kullanılmasını gerektirmiştir. Model, küçük ölçekli mobilya fabrikalarının üretim sürecinin tanımına dayanmaktadır. Sorunu belirlemeden ve matematiksel modeli sunmadan önce, bilgisayar yardımı ile çözülebilir model elde etmek için üretim sürecindeki bazı basitleştirmelerin yapılması düşünülmektedir. Küçük ölçekli mobilya fabrikalarının üretim sürecinin ana kararlarını analiz etmek için matematiksel model uygulanmıştır. Entegre model (ILSCSP), parti büyüklüğünün ve kesim stok kararlarının birbirine bağımlılıklarını yakalamak ve böylece karar verme sürecine yeni bir yaklaşım getirmek

için geliştirilmiştir. Fabrika L'nin (çalışmada kullanılan fabrikanın adı verilmemiştir) modül operasyonunu taklit etmek için, ILSCSP modeli iki parçaya ayrıştırılmıştır: Bunlar kapasiteli ve kapasitesiz lot boyutlandırma modelleridir (CLSP ve LSP) ve çok-dönemli bir kesme stok modelini (CSP) içermektedir. Modelleri doğrulamak için yapılan testler, Fabrika L'nin ürün listesine ve piyasadan alınan parametrelere dayanmaktadır.

Qi ve arkadaşları (2017) yapı imalat sistemleri için, metal imalatı süreçlerinin geliştirilmesinde hiyerarşik genetik işbirlikçi optimizasyon modeli kullanmışlardır. Çok amaçlı optimizasyon problemi, metal yapıların karmaşık üretim sürecinde plaka iç içe yerleştirme, üretim planlaması, çizelgeleme ve ekipman kapasitesi optimizasyonunu içermektedir. Bu algorithmada üç kromozomun hiyerarşik bir yapısı tasarlanmıştır. Algoritma, düzenleme seçimini, proses sıralamasını ve makine seçimi problemlerini aynı anda çözmek için kullanılmıştır. Algoritma, üretim döngüsünü kısaltır, süreçteki iş sayısını azaltır ve işbirlikçi optimizasyon uygulaması aracılığıyla ekipman kullanımını geliştirir. Hesaplama sonucu ve karşılaştırma, sunulan yaklaşımın dikkate alınan soruna hitap etmek için oldukça etkili olduğunu kanıtlamaktadır.

Gilmore ve Gomory (1965) iki ve daha çok boyutlu çok kademeli kesim stok problemleri çalışmasını yayınlamışlardır. Bu çalışmada yüksek boyutsal kesim stok problemleri doğrusal programlama problemleri olarak öne sürülmüştür. Yüksek boyutsal problemin genelleştirilmiş halini çözmek için etkili bir yöntem olmadığından, genel olarak anlaşılamayan sütun sayısına karşılık gelen zorluk aşılabilir savı öne sürülmektedir. Probleme ayrıntılı olarak ve belirli basitleştirici varsayımlar altında sıralama problemi için açıklanan bir çözümle yaklaşılmaktadır.

Hifi (2004) kısıtsız üç boyutlu kesme problemleri için karşılaştırmalı bir çalışma yayınlamıştır. Çalışmada, kısıtlanmamış 3DC probleminin iki örneğini incelenmiştir: İlki U-3DC olarak adlandırılan sadece bir büyük palet ve ikincisi farklı büyük paletlerin kabul edildiği U-G3DC olarak adlandırılan genel versiyon üzerinde incelemidir. Sorunun her iki çözümü için de kesilecek her bir parçanın sınırsız miktarda olduğunu ve tüm kesimlerin giyotin tipinde olduğunu düşünmektedir. U-3DC problemi için birincil algoritma, başlangıçta sınırlandırılmamış iki boyutlu giyotin kesme probleminin çözümü için önerilen Gilmore ve Gomory yaklaşımının uyarlamasıdır. Aynı problem

için ikinci bir algoritma olarak, derinlemesine bir arama stratejisi kullanan bir grafik arama prosedürüne dayanmaktadır. Bir grafik aramaya dayanan ikinci algoritma, derinlikli bir arama stratejisi kullanılmaktadır. Açgözlü yerel arama prosedürleri yoluyla hesaplanan alt ve üst sınırların avantajlarından yararlanır. Bu sınırlar, çözüm uzayını önemli ölçüde azaltmaktadır. U-G3DC problemini tam olarak çözmek için dinamik programlama tabanlı algoritma geliştirilmiştir. Her, 3DC problemi için, kesimlerin genellik kaybı olmaksızın, tamsayı olmayan ve negatif olmayan doğrusal kombinasyonlarda sipariş edilen parçaların boyutlarının kombinasyonu olabileceğini göstermiştir.

Leão ve arkadaşları (2014) sırt çantası problemlerinin k-en iyi çözümlerinin belirlenmesi çalışmasını yayınlamışlardır. Sırt çantalı problemlerin bir takım büyük ölçekli tam sayımsız optimizasyon problemlerinin alt problemleri olarak ortaya çıktığı bilinmektedir. Bu büyük problemleri çözmek için alt problemleri verimli bir şekilde çözmek gereklidir ve çoğu için k-en iyi çözümleri belirlemek yararlı olabilir. Önerilen çözümler tam olarak k-en iyi çözümleri belirlediğini ve yüksek k değerlerini kullanarak önemli klasik örneklerin çözülebildiğini göstermişlerdir. Makale, sınırlı bir kapasiteye sahip bir sırt çantasına öğelerin alt kümesinin yüklenmesi gereken klasik sınırsız / sınırlamalı sırt çantası sorununu ele almaktadır. Çalışmada geliştirilen yöntem Gilmore ve Gomory'nin sınırsız sırt çantası çözümünün devamı niteliğindedir.

Wu vd. (2016) üç boyutlu düzensiz paketleme problemi için üç aşamalı sezgisel algoritma çalışmasını yayınlamışlardır. Makalede, üç boyutlu düzensiz bağlantı elemanları için yeni bir pratik paketleme çözümü tanıtılmakta ve üç alt soruna ayrılmaktadır: Değişken boyutlu kartonlarla üç boyutlu düzensiz paketleme sorunu, üç boyutlu değişken boyutlu kutu sıkıştırma sorunu ve tek konteynır yükleme problemine çözüm aranmaktadır. Makalede yeni pratik kısıtlamalar ele alınmış ve her alt sorunun karşılık gelen matematiksel modelleri oluşturulmuştur. Üç alt problem NP zor olduğundan, iyi bir çözüm bulmak daha zor hale gelmektedir. Bu makalede, her bir alt problemin matematiksel modelleri geliştirilmiş ve bu yeni problemi çözmek için üç aşamalı sezgisel algoritmalar önerilmiştir. Üç boyutlu değişken boyutlu kutu sıkıştırma problemi için, çoklu konteynır yükleme algoritması sunulmuştur. Sonunda, çok katmanlı aramaya dayalı buluşsal blok yükleme algoritması, tek konteynır yükleme problemini çözmek için kullanılmıştır. Deney örnekleri, pratik durumu taklit ederek

rastgele oluşturulmuştur. Deneysel testler, önerilen algoritmanın tatmin edici sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Kesme problemi ile yapılan çalışmalarda tekniklerin başka alanlarda da kullanılabildiği literatür incelmelerinden anlaşılmaktadır. Tekniklerin çözüm aramasında kullandıkları algoritmalar sayesinde, üretim yönetimi başlığı altındaki tesis yerleşimi, fabrika planlama, süreç iyileştirme gibi konulara da çözüm aranması olasıdır.



2. KESME PROBLEMİNİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Kesme problemlerinin çözümü için günümüze kadar birçok teknik kullanılmıştır. Problemin ve tasarımının çeşitliliğine göre ihtiyaç eseri oluşturulan yöntemler teknolojik gelişim ile desteklenmektedir. Her ne kadar, teknolojinin gelişimi ile problem çözümleri kolaylaşmış gibi gözükse de veri kümelerinin büyümesi aynı oranda çözüme ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla teknolojik destekleri kullanarak karar vericilere hızlı, az maliyetli ve uygun sonuçları sağlamak gerekmektedir.

Optimizasyon problemlerindeki çözüm tekniklerinin C&S problemi doğrultusunda anlatılacağı bu bölümde, hem cebirsel çözüm tekniklerinden hem de sezgisel/metasezgisel tekniklerden bahsedilecektir. Böylece okuyuculara benzer problemlerdeki çözüm yaklaşımları konusunda yol gösterileceği düşünülmektedir.

2.1.TAM ÇÖZÜM TEKNİKLERİ

Tam çözüm teknikleri, problemin çözümü için gerekli özellikleri bünyesinde barındırarak, bunları matematiksel ifadeler ile sonuca ulaştırmayı hedefleyen denklemler bütünüdür. Bahsi geçen matematiksel ifadeler, hem problemin iç dinamiklerini temsil etmekte hem de problemde yer alan değişkenlerin dış faktörler ile etkileşimini göstermektedir. Bahsi geçen matematiksel ifadeler, problemin ölçülebilir, sınırlandırılabilir ve temsil yetkisi yüksek değişkenlerden oluşmaktadır.

Problem, bir amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile şekillenmektedir. En iyi sonucun hesaplanmasını sağlayan doğrusal bir fonksiyon olan amaç fonksiyonu, sahip olduğu parametrelere ait kısıtlar ile en iyiye ulaşmaktadır.

$$\max z = f(x, y)$$

$$k. s. \quad g(x, y) = 0$$

$$h(x, y) < 0$$

$$x \in R^n \quad (n = \pm)$$

$$y \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$$

Yukarıdaki optimizasyon probleminde sistemin performans ölçütü (amaç fonksiyonu) $z=f(x,y)$ ile ifade edilmiş ve karar değişkenleri x ve y 'nin bu ölçütü

maksimize edecek değerlerinin bulunması hedeflenmektedir. Sistemin özelliklerini ise $g(x,y)$ eşitliği ve $h(x,y)$ eşitsizlikleri (kısıtlar) belirlemektedir. Ayrıca, karar değişkenleri iki türlü ifade edilmiştir:

- n boyutlu uzayda herhangi bir reel değeri alabilen sürekli değişkenler (x)
- Herhangi bir tamsayı değeri alabilen tamsayılı değişkenler (y).

Optimizasyon modellerini içerdikleri karar değişkenlerinin, amaç fonksiyonunun ve sistem kısıtlarının özelliklerine göre sistem parametrelerinin bilinen sabit değerlere aldığı durumlarda aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (URL1). Eğer bir optimizasyon problemlerinde y değişkenleri yer almıyorsa ve $f(x)$, $g(x)$ ve $h(x)$ fonksiyonları doğrusalsa o problem bir doğrusal programlama problemi olarak tanımlanır. Bir optimizasyon probleminde y değişkenleri yer almıyorsa ve $f(x)$, $g(x)$ ve $h(x)$ fonksiyonların herhangi birisi doğrusal değilse o problem bir doğrusal olmayan programlama problemidir. Optimizasyon problemlerinde y değişkenleri yer alıyorsa $f(x,y)$, $g(x,y)$ ve $h(x,y)$ fonksiyonlarının doğrusal olması durumunda problem tamsayı karışık doğrusal programlama problemi, $f(x,y)$, $g(x,y)$ ve $h(x,y)$ fonksiyonlarından herhangi birisinin doğrusal olmaması durumunda ise tamsayı karışık doğrusal olmayan programlama elde edilir. Tam çözüm teknikleri ile ilgili liste aşağıdaki Tablo 2.1’de yer almaktadır.

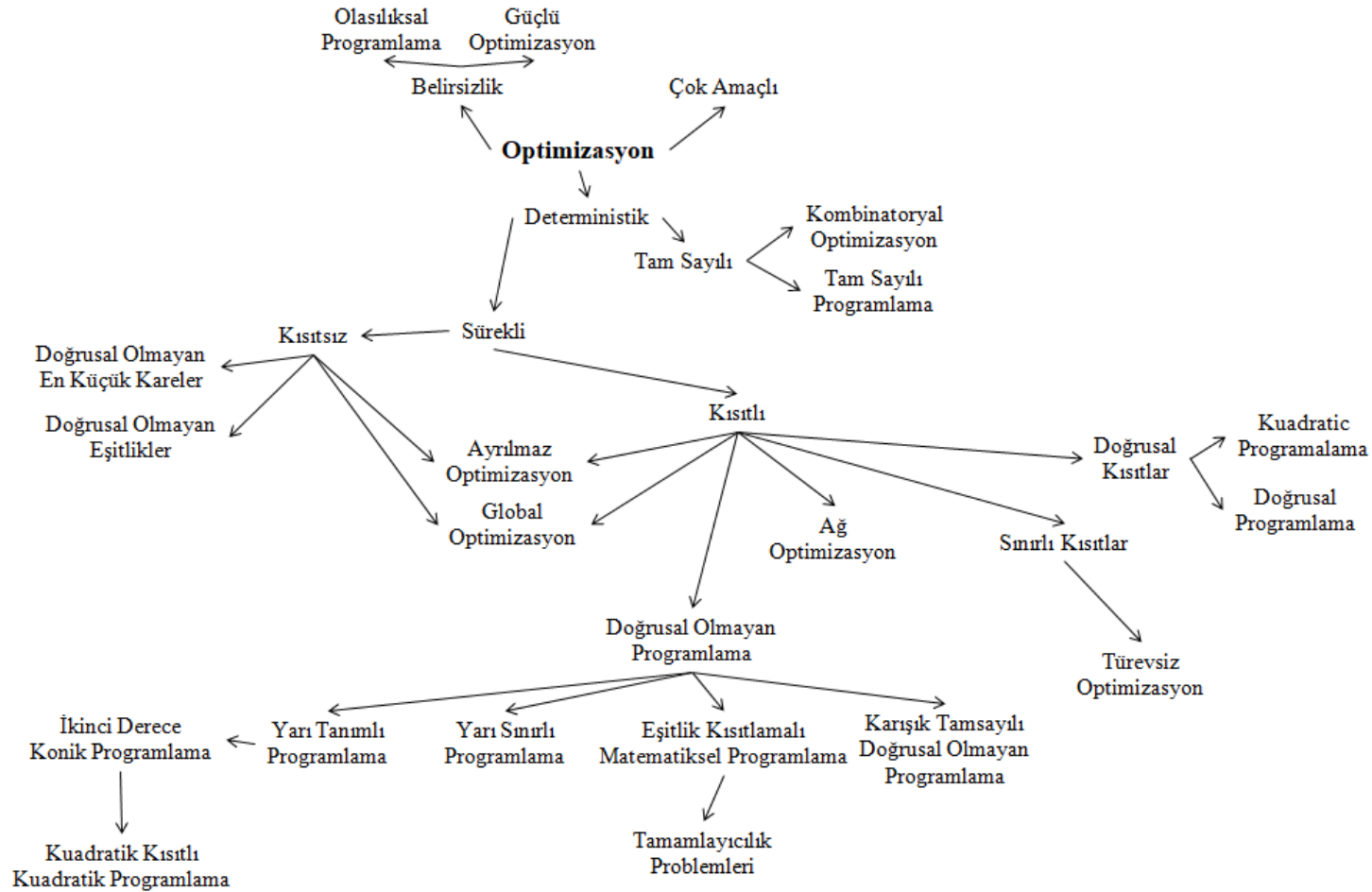
Aşağıda yer alan problemlerin özelliklerine göre bakıldığında sınıflandırma şeması aşağıdaki gibi yapılmıştır. Şekil 2.1’de da görülebileceği gibi, ayırım öncelikle problemin deterministik, çok amaçlı ya da belirsiz olmasına göre yapılmaktadır. Deterministik optimizasyon problemlerinde ise veri tipi önem kazanmaktadır. Buradaki ayırım ise kullanılan verinin sürekli ya da tamsayılı bir veri tipinde olmasına göre değişmektedir. Daha sonraki ayrımlarda ise kısıtların varlığı ve çözümün doğrusal yapıda olup olmasına göre dallanmalar yaşanmaktadır. C&S problemi gereği tam çözüm tekniklerinden tamsayılı doğrusal programlama anlatılacaktır.

Tablo 2.1. Optimizasyon Problemleri Listesi

Optimizasyon Tipi
Sınırlandırılmış Kısıtlı Optimizasyon
Kombinatoriyal Optimizasyon
Tamamlayıcılık Problemleri
Kısıtlı Optimizasyon
Sürekli Optimizasyon
Türevsiz Optimizasyon
Kesikli Optimizasyon
Global Optimizasyon
Tamsayılı Doğrusal Programlama
Doğrusal Programlama (LP)
Karışık Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama (MINLP)
Eşitlik Kısıtlı Matematiksel Programlama (MPEC)
Çok Amaçlı Optimizasyon
Ayrılmaz Optimizasyon
Doğrusal Olmayan Programlama
Doğrusal Olmayan Eşitlikler
Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler Problemi
Belirsizlik Altında Optimizasyon
Kuadratik Kısıtlı Kuadratik Programlama (QCQP)
Kuadratik Programlama (QP)
Yarı Sonlu Programlama (SDP)
Yarı Sonsuz Programlama (SIP)
Stokastik Doğrusal Programlama
İkinci Derece Konik Programlama (SOCP)
Stokastik Programlama
Gezgin Satıcı Sorunu (TSP)
Kısıtsız Optimizasyon

Kaynak: neos-guide.org

Şekil 2.1.Optimizasyon Problemi Sınıflandırma Şeması



Kaynak: neos-guide.org

2.1.1. Tam Sayılı Doğrusal Programlama

Tamsayılı doğrusal programlama problemi, bünyesinde yer alan değişkenlerin tamsayı aldığı ve buna göre özelleşmiş olan doğrusal programlama kümesinde yer alan bir çözüm tekniğidir (Ergülen ve Kazan, 2007: 112). Eğer problemde insan, makine ve bu tez için kesme planına dâhil edilecek nesne gibi bölünemeyecek bir değişken var ise problem doğrudan tamsayılı özelliği kazanmaktadır. Tamsayılı programlamanın matematiksel modeli, doğrusal programlama modeline, değişkenlerin tamsayılı olma kısıtının ilave edildiği modeldir. Eğer sadece bazı değişkenlerin tamsayılı değerler alması isteniyorsa, bu model karma tamsayılı programlama; tüm değişkenlerin tam sayı olması isteniyorsa tamamen tamsayılı programlama olarak yöntem değişmektedir (Taha, 2000: 361). Tamamen tamsayılı modellerde de ayırım yapılmaktadır. Şöyle ki, değişkenler herhangi bir pozitif tam sayı değerini alabiliyorsa pozitif modeller; tüm pozitif tam sayı değerlerini değil 0 ya da 1 değerlerini alabiliyorlarsa sıfır-bir modeller olarak adlandırılmaktadırlar (Özgüven, 2003: 194). Belirtilen durum kısıtlarda $x, y \in Z^+$ şeklinde gösterilirse pozitif modeller ve $x = [0, 1]$ şeklinde gösterilirse 0-1 modeli olarak anlaşılmaktadır.

2.2. YAKLAŞIK ÇÖZÜM TEKNİKLERİ

Kesme problemleri yapıları gereği polinomial değildirler. Problemin çözüm aşamasında, nesnelerin birbirlerine göre pozisyonları, sıralamaları, nesne tipleri gibi birçok özellik her farklı amaca ya da çözüm adımına göre yeniden düzenlenebilmektedir. Açıklamak gerekirse, çözüm aşamasında modele dâhil edilen bir değişken çözüm uzayını sabit bir oranda arttırmaz iken, üssel olarak arttırmaktadır (Özbakır, 2004: 22; Bayır, 2012: 31). Bu sebeple çözümün birkaç adımından sonra çözüm uzayı, milyonlarca ifade edilebilecek olasılıkları ortaya çıkartmaktadır. Bu tip problemlere NP-Zor (Non-Polynomial) denilmektedir (Unger ve Moul, 1993: 1183). Tam çözüm metotları, bu aşamada kullanılabilir. Ancak uygun çözüme ulaşılması için analizin ne kadar süreceği, sonuçlanıp sonuçlanamayacağı ve bu süreçteki oluşan maliyetler hesaplanamamaktadır. Dolayısıyla çözüm uzayını daraltan, hızlı çözüm yöntemlerinin kullanılması gündeme gelmektedir (Ayan, 1999: 4).

Sezgisel ve Metasezgisel teknikler; çözüm uzayını daraltarak, her ne kadar en uygun çözüme ulaşılsa dahi, hızlı ve uygulanabilir çözümler sunmaktadırlar (Demir,

2015: 4). Bu teknikler kombinatoryal problemlerin çözülmesinde, yani değişken eklemek ile olasılıksal olarak çözüm uzayının artmasına (doğrusal olmayan bir şekilde) sebep olan problemlerde, kullanılmaktadırlar (Özbakır, 2004: 22; Yang, 2010: 3).

Sezgisel tekniklerde çözüm aranırken, temel matematiksel ifadelerin yansıması, daha basit ve tek çözüme ulaştıracak kurallar konulmaktadır (Aslan, 2018: 55). Kesme problemi ile alakalı olarak, aşağı sol, yukarı sol köşe, ilk uygun alan ve ardışık sezgisel algoritmaları kullanılmaktadır (Burke vd., 2004: 656-657; Bayır, 2012: 33). Metasezgisel tekniklerde çözüm ise belirlenen matematiksel model üzerine verilen kurallar tekrar tekrar kullanılarak, gerçek hayattaki bazı sistemlerin taklitleri ile birleştirilip çözüm aranması şeklindedir (Demir, 2015: 4). Herhangi bir metasezgisel teknikte, yoğunlaşma ve keşif olarak, iki temel özelliğe dikkat edilmelidir. Keşif, tüm çözüm uzayındaki en uygun sonuçlara ulaşmak iken; yoğunlaşma, iyi bir çözümün olduğu bilinen daha sınırlı bir alanda en iyiyi bulmak demektir. Böylelikle bölgesel en uygun sonuca yakalanmadan çözüm çeşitliliğine ulaşılmaktadır (Pavlyukevich, 2007: 1830). İlham alınan doğa olayına göre, metasezgisel teknikleri ana ve alt bölümlere ayırmak mümkündür (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Kullanılan Metasezgisel Tekniklerde Sınıflandırma

Esinlenme	Teknik	Geliştirilen Yıl
Fiziksel Süreçler	Benzetim Tavlama	1983
	Yerçekimi Arama	2009
	Gaz Brownian Hareketi	2013
	Isı Transfer Arama	2015
	Elektromanyetik Alan Optimizasyonu	2015
	Optikten Esinlenen Optimizasyon	2015
	Ağırlıklı Süperpozisyon Çekimi	2015
Doğa	Orman Optimizasyonu Algoritması	2014
	Kasırga Temelli Optimizasyon Algoritması	2014
	Su Damlası Algoritması	2012
	Kara Delik Optimizasyon Algoritması	2013
	Su Döngüsü Optimizasyon Algoritması	2012
	Yıldırım Arama Algoritması	2015
Canlı Varlıklar	Karınca Sistemi	1996
	Max-Min Karınca Sistemi	2000
	Karınca Kolonisi Optimizasyonu	2005
	Parçacık Sürü Optimizasyonu	2002
	Yapay Arı Kolonisi	2007
	Meyve Sineği Optimizasyon Algoritması	2012
	Levy Uçuşuna dayalı Guguk kuşu Optimizasyonu	2009
	Krill Sürü Optimizasyon Algoritması	2012
	Bakteri Yiyecek Arama Davranışı	2002
	Yarasa Algoritması	2010
	Ateş Böceği Algoritması	2009
	Aslan Algoritması	2012
	Gri Kurt Algoritması	2014
	Yunus Balığı Algoritması	2013
	Çalı Kolonisi Algoritması	2006
	Yapay Alg Algoritması	2015
	Virüs Koloni Arama Algoritması	2016
Köpekbalığı Koku Alma Optimizasyon Algoritması	2014	
Sosyal Örümcek Algoritması	2015	

Kaynak: Erdoğan, 2016: 297-300

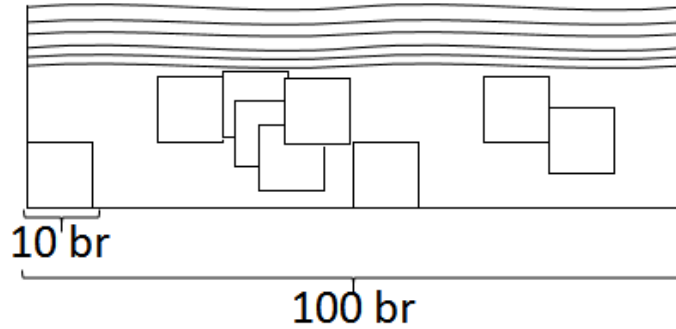
2.2.1. Sezgisel Teknikler

Sezgisel teknikler; inşa, yap-boz, iyileştirme ve öğrenme stratejilerinin bir ya da daha çoğunun bir arada kullanılması ile oluşturulmaktadır (Ayan, 1999: 12). İnşa stratejisinde a nesnenin b bloğa, nesne sayısının blok sayısından büyük olması koşulu

ile atanmasının çözümüdür. Şöyle ki, bahsi geçen nesnelere belirli bir sıra ile atanması gerekmektedir. Bu atama işleminde ise nesnelere öncelik hakkı verecek bir kuralın belirlenmesi gerekecektir. Tıpkı bir inşa süreci gibi öncelikler belirlenerek nesnelere bloklara atanması tamamlanmaktadır. Yap-boz stratejisinde, problem alt problemlere ayrılarak çözümlenmektedir. Böylelikle daha küçük, çözümü kolay problem parçacıkları çözülebilmektedir. İyileştirme stratejisinde amaç, problemin küçültülmüş bir kısmına çözüm uygulamak ve bu çözüm tekniğini daha sonradan tüm veri seti için çalıştırmaktır. Öğrenme stratejisinde ise çözüm aşamasında yer alan bazı özelliklerin işe yarama durumlarına göre çözümden çıkartılması ya da mevcut özelliklerle çözüme devam edilmesi amaçlanmaktadır. Kesme problemine örnek vermek gerekirse; mevcut problemde üçüncü boyutun sabit hale getirilmesi ile problem iki boyutlu hale gelmektedir. Böylelikle hem çözüm uzayı küçülmüş hem de karmaşıklık azalmış olmaktadır. Benzer şekilde nesnelere rotasyon uygulanmayan bir problemde rotasyon ile daha hızlı ve uygun bir çözüme ulaşılması halinde bu sefer öğrenme süreci yeni bir değişkenin eklenmesi şeklinde olacaktır. Bu stratejiler göz önüne alındığında tezde ulaşılmak istenen çözümde parçaların bloklara belirli bir kural ile atanmasına göre inşa stratejisi; rotasyon, ortogonallikve yerleştirme durumlarının değerlendirilmesine göre öğrenme stratejisi kullanılmaktadır.

Sezgisel tekniklerde kullanılan algoritmalar tüm kesme ve paketleme problemlerinde ortaktır. Bu tip problemlerin çözümünde gerek en küçükleme gerekse en büyükleme yapılsa da öncelikle parçaların bloklara ya da nesnelere yerleştirilmesi gerekmektedir. Böylece kullanılan sezgisel tekniklerin yerleştirme sorununa çözüm getirdiği görülmektedir. Bir nesnenin belirli bir alan içine yerleştirilmesinin sonsuz olasılığı vardır (Bayır, 2012: 37). Matematiksel olarak yaklaşılacak olunursa şöyle bir örnek daha açıklayıcı olacaktır: 100brX100br boyutlarında olan bir bloktan 10brX10br boyutlarında bir parçanın alınması istenirse (referans noktası parçanın merkezi kabul edildi), x ve y düzlemlerinde 5br ve 95br limitlerindesonsuz bir aralıktan parça alınabilmektedir. Görselleştirilmiş olarak Şekil 2.2’de yer almaktadır.

Şekil 2.2. Kesim Planına Uygun Örnek Yerleştirme Planı

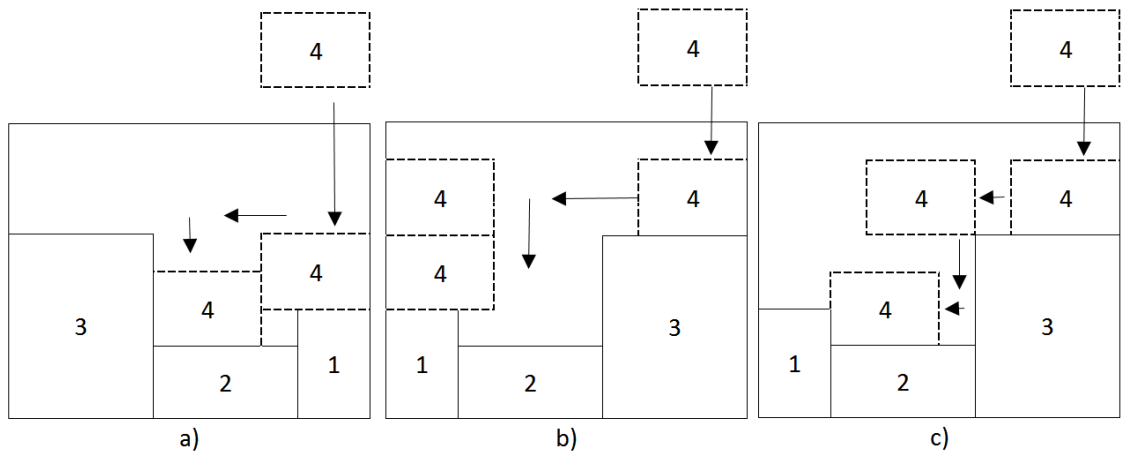


Bu bölümde, bahsedilecek olanaşağı sol dolgu, temas yüzeyi, ilk uygun azalan ve en az kalan (LWF-Least Wasted First) yöntemleri bahsi geçen stratejiler doğrultusunda oluşturulmuştur.

2.2.1.1. Aşağı Sol Sezgiseli

Aşağı sol dolgu algoritması (Bottom Left Fill), aşağı sol sezgiselinin geliştirilmiş en başarılı halidir (Burke vd., 2004: 656). Esasen bu yöntem aşağı sol algoritmasından gelmektedir. Ancak aşağı sol algoritmasındaki eksilik, fazlaca görülen yerleştirme sırasındaki nesneler arasındaki boşluklardır (Chazelle, 1983: 697-698).

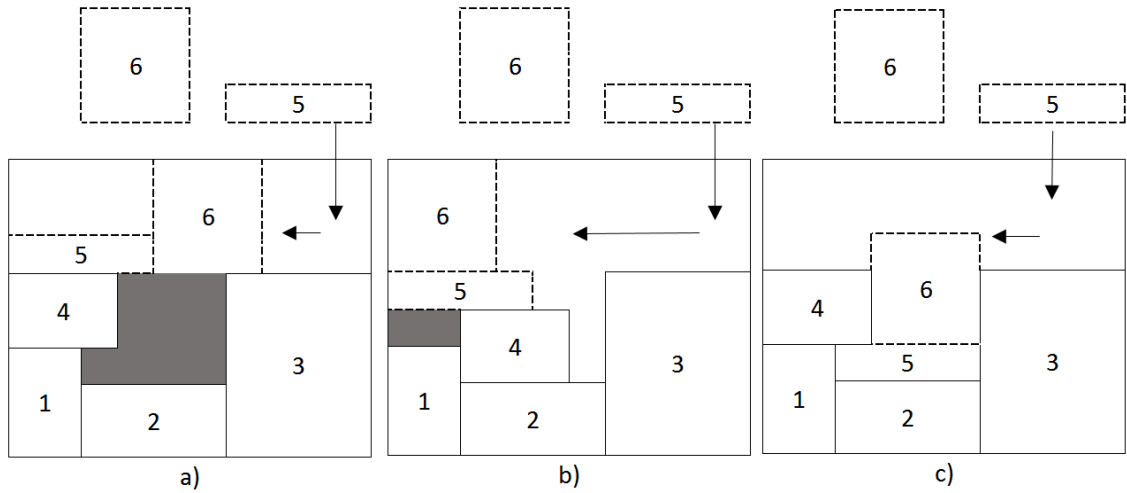
Şekil 2.3. Aşağı Sol Geliştirilmiş Aşağı Sol Algoritması Örnek Gösterimleri



Şekil 2.3'de aşağı sol ve geliştirilmiş aşağı sol algoritmalarına göre yerleşimler örneklenmiştir. Şekil 2.3 (a) incelendiğinde 1 ve 3 nesnelerinin yüksekliklerinin uygun olmasından dolayı 4. nesnenin yerleşimi uygun gözükmemektedir. Ancak yerleştirilecek nesnenin seçimine göre (en küçük nesne öncelikli, ilk sıra öncelikli vb.) Şekil 2.3 (b)'deki gibi olması da muhtemeldir. Bu durumu aşmak amacıyla geliştirilmiş aşağı sol

algoritması ortaya atılmıştır. Bahsi geçen geliştirme kaydırma önceliğini aşağı yöne vermektedir (Liu ve Teng, 1999: 415). Bu açıdan bakıldığında Şekil 2.3 (c) gösteriminin daha verimli olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 2.4. Aşağı Sol, Geliştirilmiş Aşağı Sol ve Aşağı Sol Dolgu Algoritması Sonuç Örnek Gösterimleri



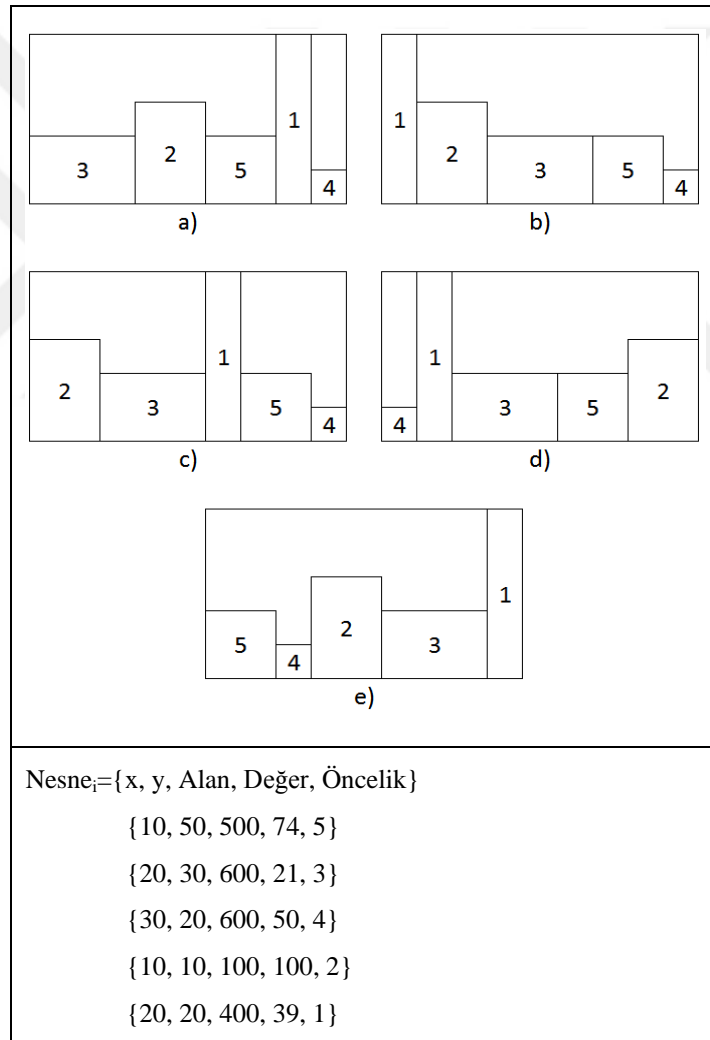
Aşağı sol ve geliştirilmiş aşağı sol algoritmalarının ikisinde de nesnelerin uygun olmaması halinde mevcut boşlukların varlığı yadsınamamaktadır. Şekil 2.4 (a)'da yer alan aşağı sol algoritmasında nesne 5 ve 6'nın kaydırma önceliği sola yönelik olduğu için kullanılmayan gri bölgenin büyük olduğu görülmektedir. Geliştirilmiş aşağı sol algoritmasında ise nesne 4'ten itibaren daha verimli bir yerleştirme söz konusudur. Ancak farazi olarak verilen nesne ve plaka boyutlarına göre burada da nesne 1, 4 ve 5 arasında boşluk oluşmaktadır (Şekil 2.4 (b)). Burke vd. iyileştirdiği algoritma ile kaydırma önceliği ne olursa olsun adımsal olarak kalan boşlukları çalışmaya geri kazandırarak, boşlukların dahi değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 2.4 (c)'de de görülebileceği gibi herhangi bir öncelik sırası nesne 5'i bulunduğu konuma kaydırmaz, ancak bu alanının tekrardan çalışmaya dâhil edilmesi ile uygun çözüme ulaşılmış olmaktadır. Bu çözüm yöntemi ile aşağı sol algoritması türevlerinden %25 daha verimli sonuçlar elde edilmiştir (Hopper ve Turton, 2001: 41).

2.2.1.2. İlk Uygun Azalan Sezgiseli

Bir diğer sezgisel teknik ilk uygun azalan (First Fit Decreasing) algoritmasıdır. Bu algoritmaya göre ortaya konan amaç, öncelikle çalışmacının seçtiği özelliğe göre

büyükten küçüğe sıralama yapmaktır (Coffman vd., 1980: 2; Baker, 1985: 49). Kullanılan sezgisel esasen nesnenin nereye yerleşeceğini değil, hangi sıralama ile yerleşeceğine çözüm sunmaktadır. Bloklar içine yerleştirilecek nesnelerin boyutları, mali değeri, önceliği vb. özellikleri diğer nesnelere farklı olabileceği için çalışmacı belirlenen niteliklere göre desen oluşturmak isteyebilmektedir. Şekil 2.5'te ilk uygun azalan algoritmasına göre yerleştirme örnekleri yer almaktadır. Şekil 2.5 (a) ve (b) yerleşim önceliğini boyut, (c)'de alan bilgisi, (d) ve (e) gösterimlerinde ise nesne değeri ve öncelik sıralamasına göre yerleştirme yapılmıştır.

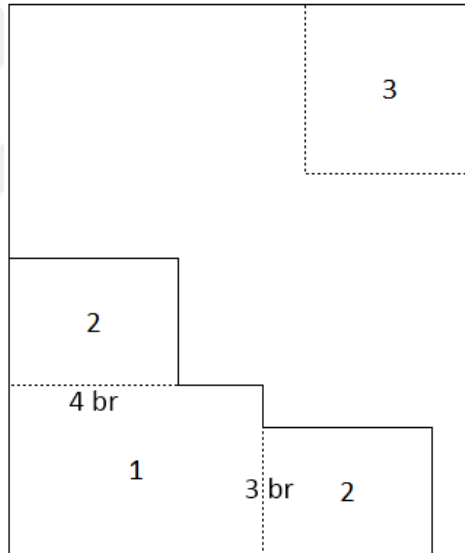
Şekil 2.5. İlk Uygun Azalan Algoritması Yerleştirme Gösterimleri



2.2.1.3. Temas Yüzeyi Sezgiseli

Temas yüzeyi sezgiselinde amaç, ilk nesneden sonra komşu nesnelerin temas yüzeylerini maksimize etmektir (Zachariadis vd., 2009: 731-733). Ardışık olarak eklenen nesnelerin ortak kenar uzunlukları toplanarak “skor” değeri hesaplanmaktadır. Ortak komşuluk yüzeyleri mükerrer olamayacak şekilde hesaplanır ve kesilecek nesne ile olan komşuluk da bu hesaplama dahil değildir. Dolayısıyla çalışma prensibi ilk nesnenin yerleştirilmesi ile başlamaktadır. Ayrıca, algoritma gereği bir sonraki nesne her zaman önceki nesnelere birisinin komşusu olmak zorundadır. Bu algoritma ile yerleştirme sonrası boşluk alanların daha doğru bir şekilde doldurulması hedeflenmektedir (Lodi vd., 1999: 346-348).

Şekil 2.6. Temas Yüzeyi Algoritması Yerleştirme Gösterimi



Şekil 2.6'da görüldüğü gibi 1 numaralı nesne (6X4) işlem yapılabilmesi için sol alt köşeye yerleştirilmiştir. Bir sonraki nesne olan 2 numaralı (4X3) nesnenin ise 1 numaralı nesneye göre iki farklı komşuluk durumu vardır. Algoritma gereği temas yüzeyi en fazla olan üst konuma yerleştirilme işlemi gerçekleştirilecektir. Aynı zamanda 3 numaralı (4X4) nesnesine komşu herhangi bir başka nesne bulunmamaktadır. Algoritmanın çalışma prensibi gereği, blok komşuluğu skor olarak hesaplanamayacağından, esasen 3 numaralı nesnenin ya da herhangi bir nesnenin bu şekilde yerleştirilmesi mümkün değildir.

geliştirilmiştir (Glover, 1986: 541). Çözüm geliştirilmesi sırasında doğadaki var olan süreçlerin yansıtılması ile başarılı sonuçlara ulaşılmıştır (Yang, 2010: 8). Bu bölümde fizik, biyoloji ve komşuluk esaslarına dayanan ve en çok kullanılan metasezgisel tekniklere yer verilmiştir.

2.2.2.1. Genetik Algoritma

Genetik algoritma John Holland ve arkadaşları tarafından ortaya atılmıştır (Emel ve Taşkın, 2002: 130). Genetik algoritmalarda öncelikli olarak çözülmek istenen durum, kesin sonuca ulaşan çözüm tekniklerindeki ulaşılan en uygun sonuç ile sezgisel tekniklerdeki en hızlı sonucun arasındaki etkinlik-verimlilik dengesinin kurulmasıdır (Goldberg, 1989: 2). Klasik istatistiksel temellere dayanan çözüm tekniklerinde yanlışlık, veri setinin temsil düşüklüğü, gürültü, sapma, çözüm zamanının uzunluğu gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Yaşanabilecek bu ve benzeri sorunlar, problemin iyi tanımlanamaması, veri setinin yanlış seçimi, yöntemin yanlış seçimi vb. durumlardan kaynaklanabilmektedir (Bolat vd., 2004: 264). Ancak gerçek hayatta karşılaşılan problemlerde doğası gereği uyumsuzluklar yaşanacağından, her zaman benzer sorunlar ortaya çıkmaktadır. Genetik algoritmanın çözüm prosedürleri gereği formülasyona dayalı birçok sistematik hata elenmiş olmaktadır (Yang, 2010: 41). Genetik algoritma tekniğinin üstünlüklerini şöyle sıralamak mümkündür (Engin, 2001: 16):

- ~ Parametrelerin kendileri ile değil kodlanmış halleri ile çözüm aradıkları için sapmadan etkilenmezler.
- ~ Çözüm aramada kullanılan bölge çözüm uzayının tamamıdır. Dolayısıyla yerel en uygun çözümlere takılma sorunu yaşanmamaktadır.
- ~ Çözüm aşamasında kullanılan prosedürler olasılıksal temellere dayandırılmaktadır.
- ~ Amaç fonksiyonu kullanılması sebebi ile çözümlerde gürültü ile karşılaşılmaz.

Genetik algoritmayı anlayabilmek için, bazı terimlerin açıklanması gerekmektedir. Gen terimi, bilgi taşıyan en küçük birim olarak tanımlanmaktadır. Kesme problemlerinde gen, kesme planına dâhil edilen bir nesneyi ifade etmektedir. Kromozom ise genlerin birleşmesi ile oluşan çözümlerdir. Dolayısıyla nesnelere kesme planının dâhil edilmesine göre oluşan kromozomlar birer çözümdür. Bir kromozomun

derecesi “ $o(H)$ ”, toplam pozitif gen sayısının toplamına ve kromozom uzunluğu “ $\delta(H)$ ” ise toplam gen sayısına eşittir. Amaç fonksiyonuna göre, genetik algoritmanın çözüm adımlarında hep daha uygun çözüme doğru bir iyileştirme olduğundan hem kötüye gidiş ihtimali azalmakta hem de iyiye gidişin ivmesi artmaktadır (Goldberg, 1989: 10-15).

Örnekle açıklamak gerekirse; nesnelerin kesme planlarında yer almasına göre kâr maksimizasyonu hedeflenen bir çalışmada 6 adet nesnenin yerleştirilmesi incelenir. Buna göre çözüm uzayı nesnelerin yerleştirilmesi, yerleştirilmemesi ve bilinmeyen durum şeklinde üç şekilde sonuçlanabilmektedir. Dolayısıyla çözüm uzayı $3^{\delta(H)}$ ya da $(\text{gendeki kod sayısı} + 1)^{\text{kromozom uzunluğu}}$ kadar sonuçtan oluşacaktır. Verilen örneğin çözüm uzayı 3^6 (729) adet sonuçtan oluşmaktadır. Amaç fonksiyonu $Z_{maks.} = 30 \cdot x_1 + 70 \cdot x_2 + 40 \cdot x_3 + 15 \cdot x_4 + 20 \cdot x_5 + 85 \cdot x_6$ olduğu varsayılsın. Denklemden bilinmeyen değişkenler $[0, 1]$ değerlerini alabilmektedir. Genetik algoritma tekniğinde bir başlangıç noktası olarak uygun bireylerin yani ebeveynlerin olması gerekmektedir. Ebeveynler belirlendikten sonra çoğalma, çaprazlama ve mutasyon özelliklerine göre çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır. Dört adet ebeveyn ile çözüme başlanması planlanan ve rastgele belirlenen $\{100001, 010110, 100000, 000101\}$ ebeveynler ile en uygun çözüm aranmaktadır.

Tablo2.3. Başlangıç Kromozomlarına Göre Amaç Fonksiyon ve Gen Aktarım İyiliği Sonuçları

Kromozom	Ebeveyn	$Z_{maks.}$	Gen Aktarım İyiliği
1	100001	115	0,348
2	010110	85	0,258
3	100000	30	0,091
4	000101	100	0,303
	Toplam	330	1

Tablo 2.3'te verilen ebeveynlere göre başlangıç çözümleri ve uygunluk oranları verilmiştir. Uygunluk oranı mevcut kromozom düzeninin ne derece değişmemesi gerektiğini göstermektedir. Sonraki kromozomlarda durumu iyileştirmek için uygunluk oranı yüksek olan kromozomlar üzerinde işlem yapmak daha doğru olacaktır. Buna

göre, 1-4 ve 2-3 kromozomları üzerinde çaprazlama (crossover) işlemi yapıldığı varsayılın, sonuçlar Tablo 2.4'te yer almaktadır.

Tablo2.4. Çaprazlama Sonrası Amaç Fonksiyon ve Gen Aktarım İyiliği Sonuçları

Kromozom	Çocuk	$Z_{maks.}$	Gen Aktarım İyiliği
1	100 101	130	0, 371
4	000 001	85	0, 243
2	0101 00	50	0, 143
3	1000 10	85	0, 243
	Toplam	350	1

Tablo 2.4'te 1-4 arasındaki çaprazlamanın 4-6 genlerinde olduğu ve 2-3 arasındaki çaprazlamanın da 5-6 genlerinde olduğu anlaşılmaktadır. Toplam $Z_{maks.}$ değerinin arttığı anlaşılmaktadır. Tüm kromozomlarda üçüncü genin 0 değeri aldığı görülmektedir. Böylelikle, çaprazlama sonucunda da bu gende değişiklik olması mümkün değildir, çünkü kalıtsal olarak aktarılacak herhangi bir bilgi yoktur. Dolayısıyla buradaki değişiklik ancak mutasyon yardımı ile olabilmektedir.

Tablo 2.5. Mutasyon Sonrası Amaç Fonksiyon ve Gen Aktarım İyiliği Sonuçları

Kromozom	Çocuk	$Z_{maks.}$	Gen Aktarım İyiliği
1	101101	170	0, 333
4	011100	125	0, 245
2	101010	90	0, 176
3	001001	125	0, 245
	Toplam	510	1

Tablo 2.5'te mutasyon sonrası sonuçlar yer almaktadır. Üçüncü gende yaşanan mutasyon ile amaç fonksiyonu değerlerinin iyileştiği görülmektedir. Dolayısıyla çaprazlama ile iki kromozomdaki tek, sıralı ya da parçalı şekilde genlerin yer değiştirmesi söz konusu iken mutasyonda belirli gen yada genlerin eşleşmeden

değişmesi söz konusu olduğu anlaşılmaktadır (Goldberg, 1989: 16). 1-4 kromozomları tekrardan 4-6 genlerinde çaprazlanırsa amaç fonksiyonu değeri 240 olan (en fazla 260 olabilir) {111101} kromozomuna ulaşılmaktadır. Sonuç olarak sadece üç adımda en uygun sonuca yaklaşılmış olmaktadır. Bu değerlendirmeye göre, tekniğin iki ana hedefi olan hızlı sonuca ulaşma ve sürekli iyileşme hedeflerine ulaşılmış olmaktadır. En iyiye ulaşılama ihtimaline göre durdurma kriteri eklenerek algoritmayı sonlandırmak mümkündür.

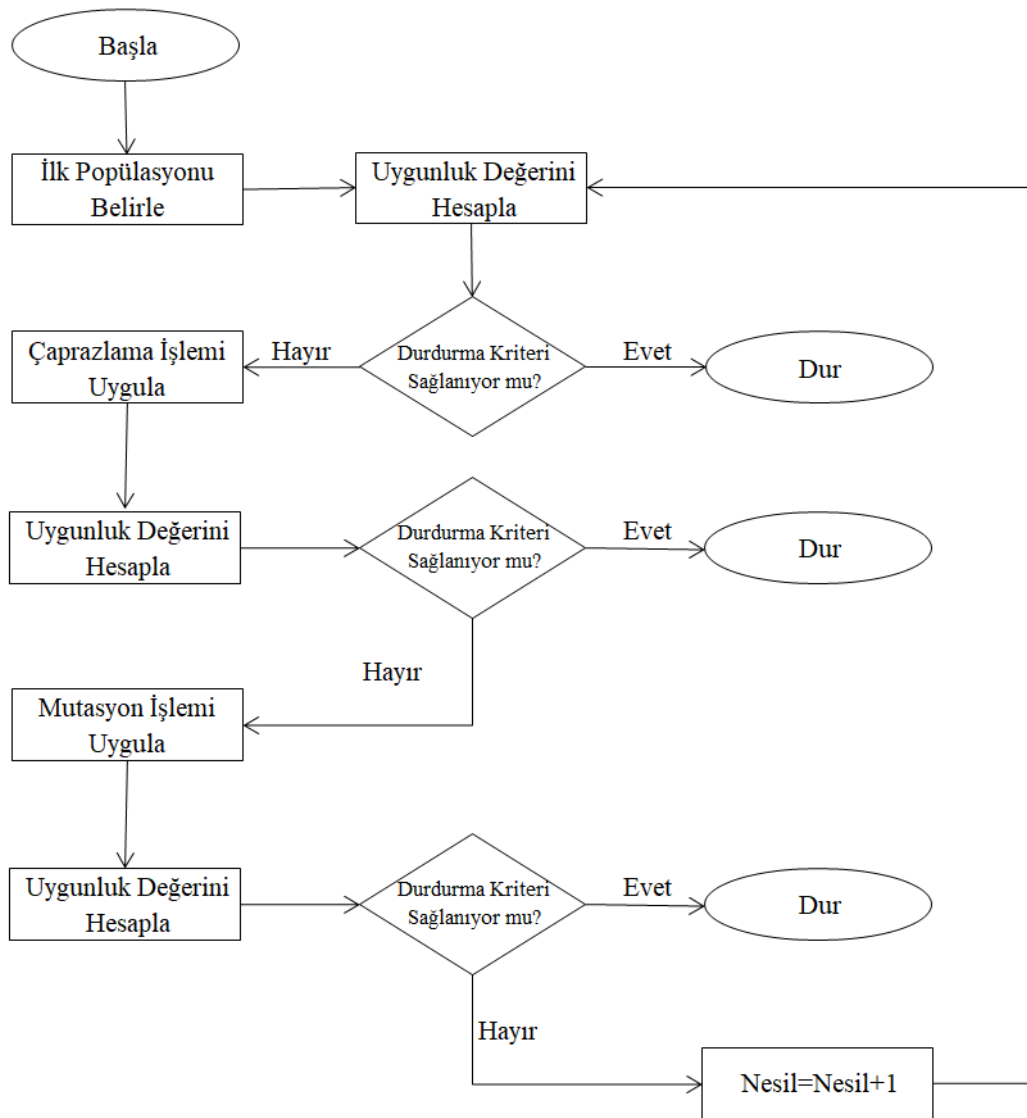
Tablo 2.6. Genetik Algoritma Yöntemine İlişkin Literatür Taraması

Sıra	Yazar Adı	Tarih	Konu	Veri Seti
1	Leung, T. W. Yung, C. H. Troutt, M. D.	2001	İki boyutlu giyotinsiz kesme probleminde genetik algoritmanın kullanılması	Simülasyon
2	Petridis, V. Kazarlis, S. Bakirtzis, A.	1998	Kesme problemlerinin optimizasyonunda kullanılan uygunluk fonksiyonunun genetik algoritmalar yardımıyla çeşitlendirilmesi	Simülasyon
3	Hinterding, R. Khan, L.	1993	Çok kısıtlı ve sonlu elemanlı paketleme ve kesme problemlerinin genetik algoritma yardımıyla paketleme ve kesme planlarının oluşturulması	Simülasyon
4	Hopper, E. Turton, B.	1999	İki boyutlu ortogonal paketleme problemine sol alt yerleştirme ve genetik algoritma tekniklerinin birleştirilmesiyle çözüm aranması	Simülasyon
5	Onwubolu, G. C. Mutingi, M.	2002	Dikdörtgensel kesme ve stoklama probleminin çözümünde genetik algoritma kullanılarak fire miktarının minimize edilmeye çalışılması	Simülasyon
6	Wagner, B. J.	1999	Demetlenmiş tomruklarda en uygun tomruk sayısının hesaplanması ve kesim planının oluşturulmasında genetik algoritmanın kullanılması	Simülasyon
7	Chiong, R. Beng, O. K.	2007	Tek boyutlu kesme paketleme problemlerinde genetik algoritmalarının etkinliğinin evrimsel programlama ile kıyaslanması	Simülasyon
8	Anand, S. McCord, C. Sharma, R.	1999	Konveks olmayan nesnelere ve parça bloklarda genetik algoritma yardımıyla uygun kesme planının oluşturulması	Simülasyon
9	Tay, F. E. H. Chong, T. Y. Lee, F. C.	2002	2 boyutlu şekillerde giyotinsiz kesme uygulayarak şekilsiz bloklarda maksimum yerleştirme planının genetik algoritma yardımıyla oluşturulması	Simülasyon
10	Gonçalves, J. F.	2007	Küçük dikdörtgensel nesnelere geniş dikdörtgensel stok alanlarına yerleştirilmesinin genetik algoritma yöntemiyle en az kullanılmayan alan hedeflenerek çözülmesi	Simülasyon

Yukarıda yer alan tabloda (Tablo 2.6) genetik algoritma ile kesme ve paketleme problemlerine çözüm aranması ile alakalı yapılan çalışmalar yer almaktadır. Buna göre kullanılan tüm yöntemler simülasyon verisi kullanılarak “yöntem geliştirme” amacıyla yayınlanmıştır. Aynı zamanda tek ya da iki boyutlu nesnelere üzerinden çözüm aranmaktadır.

Genetik algoritma ile çözüm aranmasına ait akış şeması örneği Şekil 2.8’de yer almaktadır. Genetik algoritmaya ait daha zengin akış şeması örnekleri olabileceği gibi, verilen akış şeması hem kullanılabilir hem de temel niteliktedir.

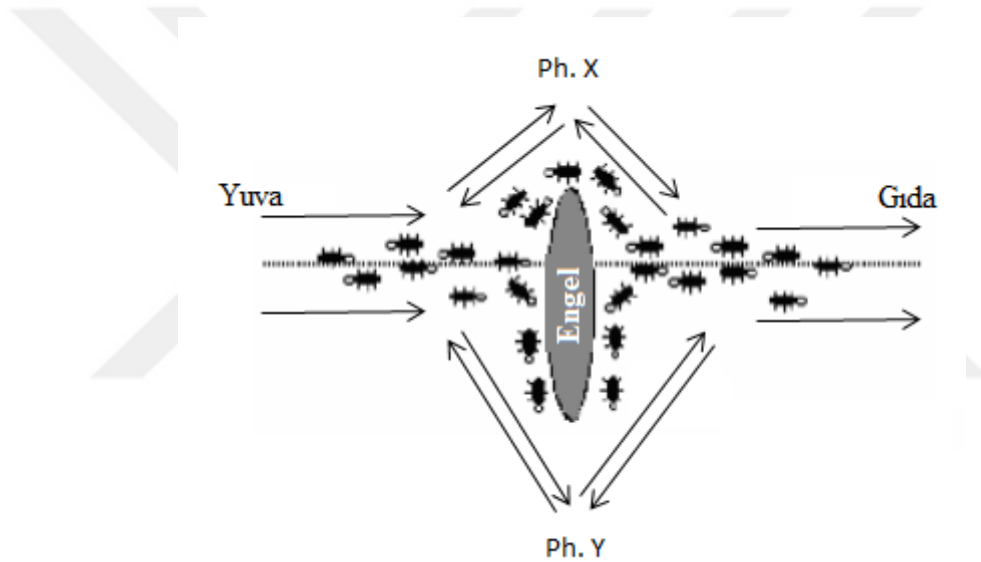
Şekil 2.8. Genetik Algoritma Akış Diyagramı



2.2.2.2. Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca kolonisi algoritması ilk olarak gezgin satıcı problemine çözüm olması hedeflenerek geliştirilmiştir (Keskintürk ve Söyler, 2006: 689). Temel alınan husus, karıncaların kolonileri için gıda arama düzenlerini NP-Zor optimizasyon problemlerine uyarlamaktır. Bu algoritmanın, rotalama, atama, çizelgeleme, sırt çantası, makine öğrenmesi ve bio-informatik konularında kullanıldığı görülmektedir (Dorigo ve Stützle, 2010: 245). Karıncalardaki haberleşme aracı olan feromon salgılanması, bu algorithmada da kullanılarak en ideal çözüm aranmaktadır.

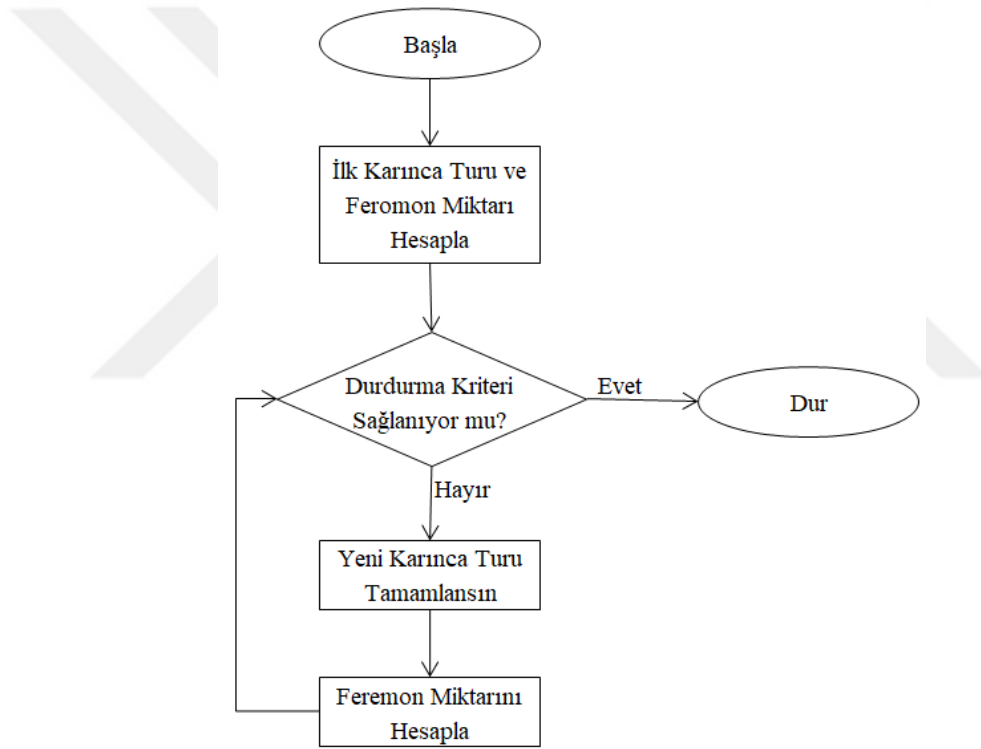
Şekil 2.9. Karıncaların Gıdaya Ulaşım Gösterimi



Şekil 2.9’da bahsedilen sürece ait bir gösterim yer almaktadır. Karıncalar yuva ile gıda arasında bir engel ile karşılaştıklarında rassal olarak yönlerini değiştirmektedirler (Dereli ve Daş, 2010: 883). Karıncaların dağılarak gıdaya ulaşması ile başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki trafik feromon miktarı ile artmaya başlamaktadır (Dorigo ve Socha, 2007: 2). Şekil 2.9’da görüldüğü gibi feromon miktarı engelin iki yanında farklı olacaktır (Ph.X-Ph.Y). Daha çok karınca Ph.X yolunu kullanarak feromon miktarını arttırmaktadır. Zaman ile feromon miktarı ters orantılı olacağından nihayetinde en kısa mesafe olan güzergâhtaferomon daha belirgin olacağından karıncalar (giderek artan bir şekilde) nihayet tek bir yolu seçeceklerdir (Dorigo ve Stützle, 2010: 236). Dolayısıyla, zaman ile mesafenin doğru orantılı, aynı

zamanda feromon miktarı ile zaman ve mesafenin de ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Yoldaki her bir düğüm, yuva-gıda döngüsünü sağlamaktadır. Şöyle ki, gıdaya ulaşana kadar karıncalar üç farklı engel ile karşılaşılıyor olsunlar, böylece yolda üç defa düğüm oluşmaktadır. Yuva ile birinci düğüm arası mesafenin hesaplanabilmesi için birinci düğüme gıda niteliği kazandırılıyor. Tekrardan birinci düğüme ulaşan karıncalar için bu sefer, birinci düğüm yuva ve ikinci düğüm gıda olacaktır. Algoritmanın genel işleyişine bakılırsa amaç, bir karıncanın yuva ile gıda arasındaki en kısa turunu tercih etme üzerinedir.

Şekil 2.10. Karınca Koloni Algoritması Akış Diyagramı



Karıncalar algoritması akış diyagramı Şekil2.10'da verilmiştir. Algoritmayı geliştirmek üzerine başka eklemeler de problemin yapısına göre yapılabilmektedir. Bahsedilen şekilde algoritmada düğümler (V) ve bir sonraki düğümler (E) arasındaki en kısa mesafenin (G=(V, E)) birleşimidir (Dorigo ve Socha, 2007: 6). Bir karıncanın (k) düğümler arası (N) ulaşılabilen her bir düğümün (i) bulunduğu kümeye N_i^k denmektedir. Karıncanın bulunduğu düğüm i olarak ve ulaşılacak bir sonraki düğüm j olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla $i, j \in N_i^k$ olmaktadır. Buna göre i noktasındaki bir karıncanın diğer bir noktaya nasıl gideceği;

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t)}{\sum_{j \in N_i^k} \tau_{ij}^\alpha(t)} & \text{eğer } j \in N_i^k \\ 0 & \text{eğer } j \notin N_i^k \end{cases}$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Denklemden yer alan; τ_{ij}^α i, j düğümleri arasındaki feromon miktarını ve α seçim sırasındaki feromon miktarının önemini belirten ağırlıklandırma değerini (pozitif olmalıdır) göstermektedir. Bahsi geçen denklem yuvadan gıdaya kadar her bir durakta karıncanın nasıl hareket edeceğini belirlemektedir. Hangi güzergâhın en iyi olduğunu bulabilmek adına “feromon miktarının” hesaplanması gerekmektedir (Dorigo ve Stützle, 2010: 234). Feromon miktarında iki husus önemlidir (Keskinürk ve Söyler, 2006):

1. Feromon birikmesi
2. Zamanla feromon miktarının azalması

Daha önceden bahsedildiği gibi feromon miktarı ile uzaklık ters orantılı olduğundan, birçok yol içerisinde feromon miktarı en fazla olan seçenek gıdaya daha kısa sürede ulaşılmasını sağlayacaktır. Feromon miktarının zamanla azalması ile yanlış olabilecek seçimin zamanla denklem dışına itilmesini sağlamaktadır. Açıklamak gerekirse, her iki güzergâhta da çözüme ulaşılan bir modelde, sistem en iyiyi seçmeye zorlanmalıdır. Karıncalar zaman içerisinde kısa olan yolu seçerek, diğer çözüm yolundaki feromon miktarının azalmasına sebep olacaktırlar. Böylece uzun yolda yer alan düğümlerde feromon kalmayacağından düğümlerin yok olduğu varsayılmaktadır. Buna göre feromon hesaplamaları bütün çözümde (global) ya da çözümün daha küçük parçalarında (lokal) yapılmaktadır. Lokal feromon hesaplaması, m adet karıncanın t adımına kadar yaptığı hareketin çarpımına göre tersinin toplamı ile aynı adımda “kalan” feromon miktarı ve ilgili adıma kadar “biriken” feromon miktarının çarpımının toplamı ile elde edilmektedir. Bahsedilmek istenen olayın denklemi aşağıda verilmektedir (Abousleiman vd., 2017: 4).

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k(t+1)$$

Denklemin ikinci kısmında yer alan toplam hareket “ $\Delta \tau_{ij}^k(t+1)$ ” denklemi için $1/L^k(t+1)$ ile hesaplanmaktadır. Yani k karıncasının t+1 adımına kadar yaptığı

hareketin çarpmaya göre tersi hesaplanmaktadır. Global feromon miktarında ise tek bir karıncanın t anına kadar yaptığı feromon hesaplanmaktadır (Abousleiman vd., 2017: 5).

$$\tau_{ij}(t + 1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^k(t + 1)$$

Burada yer alan “ $\Delta\tau_{ij}^k(t + 1)$ ” ise $1/L_{En\ iyi}(t + 1)$ sonucuna göre hesaplanmaktadır. Dolayısıyla bir karıncanın en kısa mesafede ($L_{En\ iyi}$) yapmış olduğu hareket, kalan feromon miktarını en çoklayarak, bu yolun seçilmesine sebep olacaktır.

Karıncı kolonisi algoritmasında mutlaka yer alan parametreler; karınca sayısı, α ve β 'dir. Kullanılan karınca miktarı az olursa hesaplamalar daha az karmaşık olur, ancak çözüme ulaşılırken gereken adım sayısı fazla olacaktır. Ters durumda ise daha az adımda uygun çözüm sağlanmakta iken bu sefer işlem süresi uzaması yaşanmaktadır. Alfa (α) değeri ise bir yolun kullanılmasında ağırlıklandırma değeri olarak kullanılmaktadır. Bu değer ifadenin üssü olarak kullanıldığından, eğer feromon miktarı ilgili yolda fazla ise bu yolun seçilme ihtimali de üstel olarak artacaktır. Başka bir açıdan, tercih bu yola doğru zorlanacaktır. Beta (β) ifadesi turda yer alan mesafenin üssü ($1/L_{En\ iyi}(t + 1)^\beta$) olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla β değerinin artması en kısa yolun daha çok tercih edilmesine sebep olacaktır. Her iki parametrenin (α ve β) yüksek olması denklemi belirli bir yöne doğru zorlayacağından, çözüm yerel en iyileme şeklinde çalışacaktır. Ters halde ise adım fazlalığından dolayı çözme ulaşılamama ihtimali söz konusudur (Dorigo ve Stützle, 2010: 247).

Tablo 2.7. Karınca Kolonisi Algoritmasına İlişkin Literatür Taraması

Sıra	Yazar Adı	Tarih	Konu	Veri Seti
1	Levine, J. Ducatelle, F.	2004	Paketleme ve kesme stoklama problemlerinin her ikisi için karınca kolonisi yöntemine genetik algoritma ve evrimsel programlama ekleyerek hibrit çözüm aracı oluşturulmaya çalışılmıştır.	Simülasyon
2	Yang, B. Li, C. Huang, L. Tan, Y. Zhou, C.	2009	Tek boyutlu kesme stoklama probleminde karınca kolonisi parametrelerinin farklılaşması ile oluşan çözüm uzayının incelenmesi	Simülasyon
3	Lu, Q. Wang, Z. Chen, M.	2008	Tek boyutlu kesme probleminin karınca kolonisi algoritması kullanılarak çoklu stok uzunluklarına göre kesme planının oluşturulması	Simülasyon
4	Eshghi, K. Javanshir, H.	2008	Yüksek etkinlik ve doğruluk amaçlanarak karınca kolonisi	Simülasyon

			algoritmasındaki olasılıksal süreçlerin değiştirilmesiyle tek boyutlu kesme örüntülerinin oluşturulması	
5	Fidanova, S.	2005	Çoklu sırt çantası probleminden yola çıkarak feromon modellemesi yardımı ile oluşturulan karınca kolonisi algoritmasının tüm paketleme problemlerine uygulanabilir modelinin oluşturulması	Simülasyon
6	Garrido, L. Terashima-Marin, H.	2005	İki boyutlu paketleme probleminin karınca kolonisi algoritması yardımı ile çözülerek daha uygun bir çözümün hiper sezgisel birleştirme yöntemi ile çözülmesi	Simülasyon
7	Kong, M. Tian, P. Kao, Y.	2008	İkili (0-1) çözüm yapısı ile çok boyutlu sırt çantası problemlerinin karınca kolonisi algoritması yardımıyla teorik çözümünün oluşturulması	Simülasyon
8	Ben Mohamad Ahemed, M. Yassine, A.	2009	Karınca kolonisi yöntemi ile iki boyutlu dikdörtgen nesnelere en az sayıda konteyner ya da kutuya yerleştirilmesi	Simülasyon
9	Zhang, Z. Cheng, W. Tang, L. Cheng, Y.	2007	Tek boyutlu paketleme problemi için karınca kolonisi kullanılarak kısıtlarda öncül belirlenmesi	Simülasyon
10	Singh, N. K. Baidya, S.	2013	İki boyutlu paketleme probleminde karınca kolonisi algoritması kullanılarak en az sayıda kutunun kullanılmasının hedeflenmesi	Simülasyon

Yukarıda yer alan tabloda (Tablo 2.7) karınca kolonisi algoritması ile kesme ve paketleme problemlerine çözüm aranması ile alakalı yapılan çalışmalar yer almaktadır. Buna göre kullanılan tüm yöntemler simülasyon verisi kullanılarak “yöntem geliştirme” amacıyla yayınlanmıştır. Aynı zamanda tek ya da iki boyutlu nesnelere üzerinden çözüm aranmaktadır.

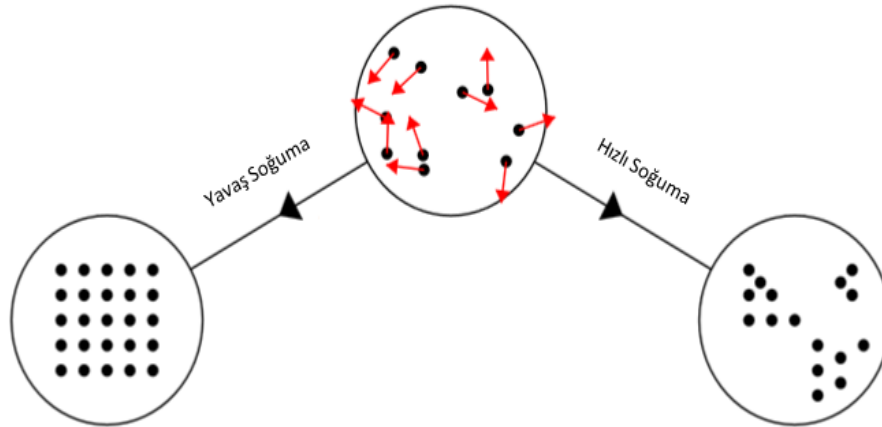
2.2.2.3. Benzetimli Tavlama

Benzetimli tavlama, metal işleme sürecinde kullanılan bir ısı yönteminin kombinatoriyal problemlerin çözümünde de kullanılması ile ortaya çıkmıştır. Bahsi geçen diğer metasezgisel tekniklerde olduğu gibi bu yöntem de olasılıksal bir arama yöntemidir (Kirkpatrick vd., 1983: 673). Tavlama işlemi iki ana süreci barındırmaktadır.

1. Isıtma
2. Sabit bir sıcaklıkta bekletip soğutma

Isıtma aşamasındaki amaç, metalde yüksek esneklik ve enerjinin olması isteğidir. Aynı durum optimizasyon problemi için düşünülürse, başlangıç aşaması tüm olasılıklara açık olmalıdır (Cunha ve Sousa, 1999: 216). İkinci aşamada ise metal soğutulur, daha sağlam ve daha az serbest olmaktadır. Böylelikle metal ilk hale göre daha iyileştirilmiş olmaktadır. Benzer şekilde optimizasyon problemi için bu aşama, lokal en iyiye yakalanmayı engellemek için düşünülmektedir (Cunha ve Sousa, 1999: 217). Eğer ısıtılan metal hızlı bir şekilde soğutulursa, metaldeki enerji kaybı istenen şekilde azaltılamayarak şekil bozukluklarına sebep olacaktır (Söke ve Bingül, 2005: 33). Problemin çözümünde ise enerjinin yükselmesi, olasılığın artması demek olacağından ve hızlı soğuma enerjisi azaltmadığından henüz en iyiye ulaşamadığı sonucu anlaşılmaktadır (Şekil 2.11). Buradan yola çıkarak, benzetimli tavlama algoritmasında başlangıç sıcaklığı, soğutma fonksiyonu, sıcaklıklar arasındaki adım uzaklığı ve durdurma kriterleri parametrelerinin belirlenmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Şekil 2.11. Soğuma Farkının Örnek Gösterimi



Kaynak: Chopard ve Tomassini, 2018: 60

Algoritmanın akış diyagramı Şekil 2.12’de verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi algorithmada iki adet döngü söz konusudur. Birinci döngüde belirli sayıda çözüm üretilerek en iyi çözümün seçilmesi amaçlanmaktadır. İkinci döngüde ise sonlandırma kriterine göre algoritma tamamlanmaktadır. Algorithma tamamen rassal olarak bir

çözüm ile başlanmaktadır. Yeni bir çözüm üretme aşamasında bir problemin tipi ile alakalı bir işlem ya da matematiksel model kullanılır, böylece yeni bir çözüme ulaşılır (Aarts vd., 2005: 189). Bu model C&S problemi için yerleştirme işlemi olabilmektedir. Başka sezgisel ya da metasezgisellerde bu aşamada algoritmaya dâhil edilerek hibrit yaklaşımlar uygulanabilmektedir (Song vd.: 2013: 501). Yeni çözüm ile eski çözüm arasındaki farkın pozitif olması en iyi çözümü değiştirmektedir. Eğer böyle bir eşitsizlik sağlanamıyorsa, bu sefer değişimin sıcaklığa göre oranının üssel değeri R ile ifade edilen ve önceden sisteme verilen ideal sıcaklık ile kıyaslanmaktadır ($e^{\Delta C/T} > R$).

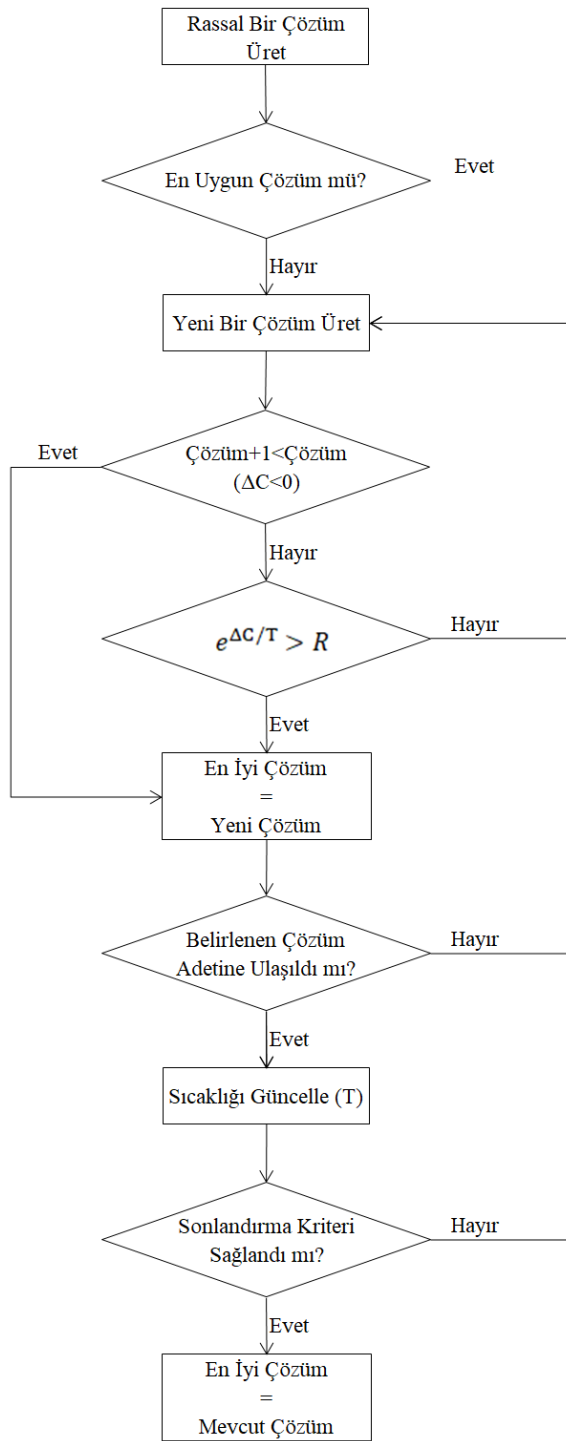
Döngüdeki en ideal çözüm sağlanmamış olsa bile belirlenen en ideal değere göre döngü sonlandırılabilir. Birinci döngüde ilgili sıcaklık dâhilinde kaç adet sonuç üretileceği belirlenir. Çözüm adetinin tamamlanması halinde sıcaklık miktarı belirlenen derecede düşürülerek yeni bir sıcaklık ile tekrardan çözüm üretilmeye başlanmaktadır (Alotto vd., 1996: 1198). Nihayetinde sıcaklık azaltılarak oluşturulan tüm çözümler ve durdurma kistası sayesinde en uygun sonuç elde edilmiş olmaktadır. Algoritmayı sonlandırmak için üç adet kistas kullanılabilir:

1. Adım sayısı
2. Çözümler arasındaki değişimin belirli bir büyüklükte olması
3. Son sıcaklık değeri

Tüm maddelerdeki değişkenler problemin niteliğine ve gerekliliklere göre belirlenebilmektedir. Ancak son sıcaklığı ve buna göre sıcaklık azalmasını belirlemek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Sıcaklık değişimine bağlı olarak uygun başlangıç ve bitiş sıcaklıklarının da belirlenmesi gerekmektedir. En yaygın kullanılan iki metod orantısal azalma ve Lundy ve Mees çizelgesidir (Leung vd., 2001: 206-208). Orantısal azalma basit olarak, bir sonraki sıcaklığın doğrusal bir şekilde azalmasıdır.

$$T_{k+1} = \alpha \cdot T_k$$

Şekil 2.12. Benzetimli Tavlama Algoritması Akış Diyagramı



Kaynak: Söke ve Bingül, 2005: 27

Bahsi geçen oran (denklemden katsayı olarak ifade edilmektedir) α terimi ile ifade edilmektedir. Söke ve Bingül (2005) çalışmalarında α katsayısını,

$$\alpha = \sqrt[M]{\frac{T_s}{T_b}}$$

olacak şekilde adım sayısı (M), ilk sıcaklık (T_b) ve son sıcaklığa (T_s) parametrelerine göre hesaplanmışlardır. Lundy ve Mees çizelgesinde ise sıcaklık azalan bir ivme göstererek düşürülmektedir (Lai ve Chan, 1997: 123). Bahsedilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$T_{k+1} = \frac{T_k}{1 + (\beta \cdot T_k)}$$

Formülde yer alan β katsayısı sıcaklık azalmasının değişkenliğini sağlayan, aynı zamanda orantısal azalmadaki gibi adım sayısı (M), ilk sıcaklık (T_b) ve son sıcaklığa (T_s) parametrelerine bağlı olan bir değişkendir.

$$\beta = \frac{T_b - T_s}{M \cdot T_b \cdot T_s}$$

Her iki azaltma faktöründe yer alan katsayılar (α , β) [0-1] arasında yer alan değişkenlerdir. Denklemlerden de anlaşılacağı gibi adım sayısı (M) ile soğuma miktarı arasında ters orantı mevcuttur.

Tablo 2.8. Benzetimli Tavlama Algoritmasına İlişkin Literatür Taraması

Sıra	Yazar Adı	Tarih	Konu	Veri Seti
1	Lai, K. K. Chan J. W. M.	1997	Benzetimli tavlama ile giyotinsiz kesim probleminde iki veya üç boyutlu teorik çözüm geliştirilmesi	Hong Kong'ta bulunan bir basım şirketindeki gerçek verilerden elde edilen 400 x 200 ve 400 x 400 boyutlarındaki malzemeler
2	Faina, L.	1999	Giyotinli ve giyotinsiz çok sayıdaki konveks olmayan nesnenin bulunduğu iki boyutlu kesme problemlerinde uygun kısıtların oluşturulması	Simülasyon
3	Lutfiyya, H. McMillin, B.	1992	İki boyutlu metal blokların kesilmesinde benzetimli tavlama kullanılarak maliyet fonksiyonunun oluşturulması	Simülasyon
4	Burke, E. K. Kendall, G. Whitwell, G.	2009	Uygun çözüm yönteminin bulunması amacıyla aşağı sol dolgu sezgiseli ile benzetimli tavlamanın hibrit kullanımı	Simülasyon
5	Chen, C.-L. S. Hart, S. M. Tham, W. M.	1996	Tek boyutlu kesme probleminde doğrusal programlama ile benzetimli tavlama sonuçlarının etkinlik ve doğruluk açısından değerlendirilmesi	Simülasyon

6	Dagli, C. H. Hajakbari, A.	1990	Giyotinsiz kesme yöntemi ile kesme uygulamalarının benzetimli tavlama aracılığıyla oluşturulan çözüm yöntemlerinin uygunluğunun değerlendirilmesi	Simülasyon
7	Gomes, A. M. Oliveira, J. F.	2006	Belirsiz konveks olmayan nesnelere şerit paketleme problemlerinde benzetimli tavlamanın lokal uygunluk yerleşiminin belirlenmesi ve doğrusal programlama modellerinin oluşturulması	Simülasyon
8	Foerster, H. Waescher, G.	1998	Gezgin satıcı problemlerinin çözümünde Sipariş Yayılım Minimasyonu Probleminin (OSMP) benzetimli tavlama ile çözülmesi	Simülasyon
9	Jahromi, M. H. Tavakkoli-Moghaddam, R. Makui, A. Shamsi, A.	2012	Tek boyutlu kesme probleminde doğrusal programlama, benzetimli tavlama ve TABU arama tekniklerinin karşılaştırılması	Simülasyon
10	Parada, V. Sepulveda, M. Solar, M. Gomes, A.	1998	İki boyutlu giyotinli kesme problemlerinde ikili (0-1) örüntüleme adımlarıyla benzetimli tavlama tekniği kullanılarak çözüm aranması	Simülasyon

Yukarıda yer alan tabloda (Tablo 2.8) benzetimli tavlama algoritması ile kesme ve paketleme problemlerine çözüm aranması ile alakalı yapılan çalışmalar yer almaktadır. Buna göre çalışmalarda firmalardan alınan gerçek veriler kullanılsa da çoğunlukla simülasyon verisi kullanılarak “yöntem geliştirme” amacıyla yayınlanmıştır. Aynı zamanda tek ya da iki boyutlu nesnelere üzerinden çözüm aranmaktadır.

2.2.2.4. TABU Arama

Tabu arama yöntemi diğer meta-sezgisel tekniklerdeki gibi yerel en iyiye takılmamak için geliştirilmiş olan bir yöntemdir (Gözüpek ve Genç, 2009: 253). Dolayısıyla yöntemin çözüm uzayını tarayarak optimuma en yakın sonucu aradığı söylenebilmektedir. Başlangıç noktası olarak bu yöntemde rassallık söz konusudur. Tamamen rasgele oluşturulan bir çözümden yola çıkarak komşuluklar oluşturularak eski çözümü en iyileştiren komşu seçilerek döngü tamamlanır (Gendreau ve Potvin, 2010: 48). Tabu aramanın sağladığı kolaylık, işlem sırasında kısa dönemli ve uzun dönemli hafızaya yer vermesidir. Böylelikle tüm sayısal sonuçlara ulaşmaktansa daha iyi

komşulara ulaşma ve daha iyi komşu yok ise kısa ya da uzun dönemli hafızaya dönerek devam etme şansı oluşmaktadır. Esas olarak hafıza olarak belirtilen çözümler “tabu” listesidir ve çözüm uzayının alt kümeleridir (Gendreau ve Potvin, 2010: 44).

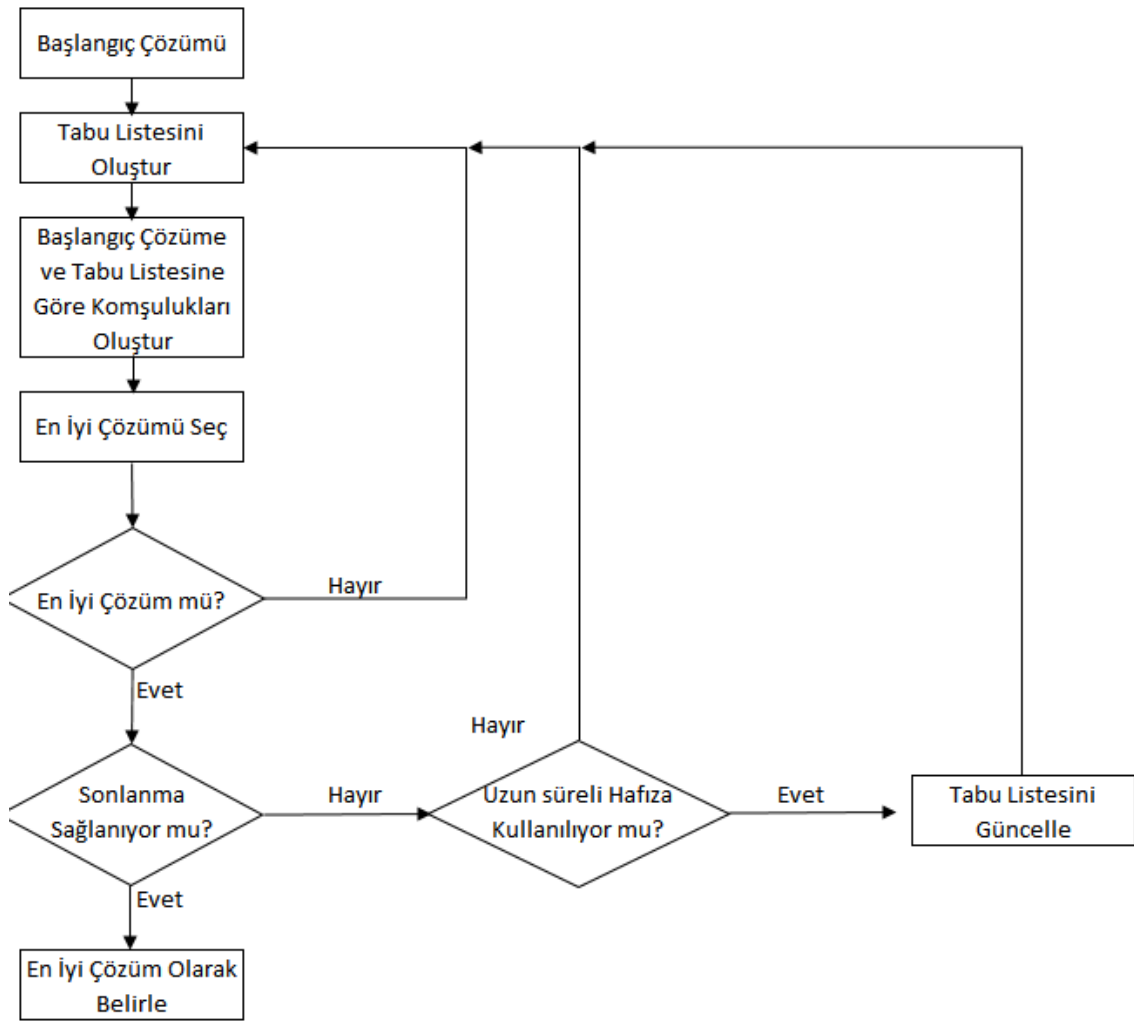
Bu yöntemde de diğerlerinde olduğu gibi bazı parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar;

1. Başlangıç çözümü
2. Komşuluk
3. Tabu Listesi
4. Kısa süreli hafıza
5. Uzun süreli hafıza
6. Tabu süresi
7. Sonlanma ölçütü

Çoğu çalışmada başlangıç çözümü çözüm uzayından rasgele seçilmektedir. Dolayısıyla problemin genel kısıtlarından oluşan herhangi bir çözüm ile başlanmaktadır. Komşuluk ise amaç fonksiyonunda yapılan bir değişikliktir. Örnek vermek gerekirse; kesme probleminde bloğa yerleştirilen nesnelere ikisinin yerlerinin değiştirilmesi ya da yeni bir nesnenin kesme planına dâhil edilmesi işlemlerinin hepsi komşuluktur. Kısa süreli hafıza, yakın zamanda hesaplanmış olan sonuçlardır. Eğer kısa süreli hafızada tekrar eden bir sonuç var ise bu sefer ilgili sonuçlar uzun süreli hafızaya alınmaktadır. Dolayısıyla uzun süreli hafıza, tekrar eden sonuçların listesidir, denilebilir. Tabu listesi ise tüm bu kısa ve uzun süreli hafızada yer alan sonuçların listesidir. Başka bir açıdan bakılırsa; uzun süreli hafıza, kısa süreli hafızanın alt kümesi ve her iki hafıza da tabu listesinin alt kümesidir. Uzun süreli hafızayı oluşturan çözümlerin kaç tekrardan sonra tabu olacağı araştırmacı tarafından belirlenmektedir (Valdes vd., 2002: 932). Kaç adet çözümün hafızada yer alacağı tabu süresi ile belirlenmektedir. Tabu süresi parametresi tamamen araştırmacının ihtiyacına göre özne olarak belirlenmektedir. Anlaşılacağı gibi tabu süresi parametresinin büyüklüğü çözüm zamanını etkilemektedir. Eğer tabu süresi büyük olursa fazla geri dönüşler yaşanması sebebi ile işlem süresi uzamakta, ancak daha iyi çözümler ile karşılaşmaktadır. Tam tersi durumda daha hızlı ancak daha kötü sonuçlara ulaşılmaktadır (Valdes vd., 2007: 12). Sonlanma ölçütünde algoritmanın çalışmasının en iyi sonuca ulaşmasa da sonlanması söz konusudur. En iyi sonuç, en

fazla adım sayısı ya da süre sınırı sonlanmaya sebep olmaktadır (Glover, 1986: 545). Aşağıdaki akış diyagramında tabu arama algoritmasının temel sınırları verilmiştir (Şekil 2.13).

Şekil 2.13. Tabu Arama Algoritması Akış Diyagramı



Kaynak: Gözüpek ve Genç, 2009: 253

Aşağıda yer alan tabloda (Tablo 2.9) TABU arama algoritması ile kesme ve paketleme problemlerine çözüm aranması ile alakalı yapılan çalışmalar yer almaktadır. Buna göre çalışmalarda firmalardan alınan gerçek veriler kullanılsa da çoğunlukla simülasyon verisi kullanılarak “yöntem geliştirme” amacıyla yayınlanmıştır. Aynı zamanda tek ya da iki boyutlu nesnelere üzerinden çözüm aranmaktadır.

Tablo 2.9.TABU Arama Algoritmasına İlişkin Literatür Taraması

Sıra	Yazar Adı	Tarih	Konu	Veri Seti
1	Bennell, J. A. Dowland, K. A.	2001	Düzensiz şekillerdeki iki boyutlu nesnelerin kesiminde karma TABU arama tekniği kullanarak lokal uygunluk değeri probleminin aşılması	Simülasyon
2	Alvarez-Valdes, R. Parajon, A. Tamarit, J. M.	2002	İki boyutlu kesme probleminde geliştirilen çözümlerin GRASP (Greedy Randomised Adaptive Search Procedure) ve TABU arama tekniklerine göre karşılaştırılması	Simülasyon
3	Bennell, J. A. Dowland, K. A.	1999	Düzensiz şekillerdeki iki boyutlu nesnelerin kesiminde Benzetimli Tavlama ve TABU arama tekniği kullanarak uygun çözümün aranması	Simülasyon
4	Yang, C.-T. Sung, T.-C. Weng, W.C.	2006	Yüksek etkinlik ve doğruluk amaçlanarak TABU arama yaklaşımının değişkenlerinin değiştirilmesiyle tek boyutlu kesme örüntülerinin oluşturulması	Tayvan'daki CSBC'nin Keelung (Akaryakıt Firması) tersanesine ait 147 siparişten oluşan gerçek
5	Blazewicz, J. Hawryluk, P. Walkowiak, R.	1993	İki boyutlu kesme probleminin rastgele şekilli parçalarda uygun sonuçlar vermesi için TABU arama yaklaşımının geliştirilmesi	Simülasyon
6	Pureza, V. Morabito, R.	2006	İki boyutlu ortogonal palet yükleme probleminin çözümünde blok sezgiseli kullanılarak TABU arama ile çözüm üretimi	Simülasyon
7	Matsumoto, K. Umetani, S. Nagamochi, H.	2011	Kesilecek parça uzunluklarını minimize ederek parça adedini maksimize etmeyi hedefleyen tek boyutlu kesme probleminde TABU arama ile çözüm üretimi	Japonya'da faaliyet gösteren bir kâğıt fabrikasından alınan gerçek üretim verileri
8	Alvarez-Valdes, R. Parreno, F. Tamarit, J. M.	2005	Dikdörtgensel bir palete maksimum sayıda dikdörtgensel kutunun yerleştirilmesini sağlayan ve TABU arama algoritmasının temel alındığı bir sezgiselin geliştirilmesi	Simülasyon
9	Viegas, J. L. Vieira, S. M. Henriques, E. M. P. Sousa, J. M. C.	2014	TABU arama ve en uygun azalan algoritmaları kullanılarak büyük metal blokların daha küçük üç boyutlu parçalara dönüştürülmesi	Çelik endüstrisinde yer alan ve ismi belirtilmemiş bir fabrikadan alınan gerçek veriler
10	Hanafi, S. Freville, A.	1998	0-1 çok boyutlu sırt çantası probleminde (0-1 MKP) en uygun çözümün geliştirilmiş TABU arama yöntemiyle bulunması	Simülasyon

Buraya kadar anlatılan kısımlarda kesme, paketlenme, sırt çantası ve yerleştirme problemleri içerisinde kesme ve stoklama probleminde odaklanarak gerçek sezgisel

gerekse meta sezgisel çözüm tekniklerinden bahsedilmiştir. Problemin yapısına uygun olacak çözüm süresi, uygunluk fonksiyonunu yerine getirme, işlem karmaşıklığı vs. göz önüne alınarak yukarıda bahsi geçen yöntemler çözüm arama sürecinde kullanılabilir. Bu çalışmada sipariş odaklı ve en fazla parça yerleştirme uygunluğu aranarak çözüme ulaşılması istendiğinden bu amaca yönelik geliştirilen yöntem ve sonuçlar devam eden bölümde yer almaktadır.



3. UYGULAMA

Çalışmanın uygulama bölümünde; amaç, önem, kullanılan teknikler ve bulgular yer almaktadır. Kesme problemi için uygulanan tekniklerden neden ve nasıl sorularına yer verilmiştir. Ayrıca veri setinin hazırlanması ve kullanılan tekniklerin bu veri setine uygulanarak bulguların elde edilmesinden bahsedilmektedir.

3.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Kesme problemlerinde birincil amaç, büyük hacimlerdeki metal blokların fire miktarını azaltacak şekilde en uygun kesim planının hazırlanmasıdır. Bu amaçla, farklı en, boy ve derinlikteki metal bloklarından hangi en, boy ve derinlikte parçalar kesileceğini gerek fire miktarı, gerek maliyet, gerek bir önceki döneme ait talep miktarları, gerekse stoklama bilgilerine göre en uygun ya da en uyguna yakın kararın verilmesi istenmektedir. Bu bilgilere ek olarak iş gücünün niteliği, stok hacmi, teknolojik yeterlilik ve/veya tedarik gücü gibi başka değişkenler de kesme problemine dahil edilmektedir.

Bilgisayar platformlarındaki ve yazılım teknolojilerindeki gelişmeler, işletmelerin giderek artan oranda bilgisayar destekli sistemlerden faydalanmasını gerekli kılmaktadır. İşletmelerin üretim bölümleri de tıpkı diğer işletme bölümleri gibi bilgisayar destekli teknolojilerden faydalanmaktadırlar. Önceleri sadece üretimin sayısal hesaplamalarında kolaylık sağlaması amacıyla kullanılan bilgisayar sistemleri, günümüzde yerini büyük ölçüde otomatikleşmiş üretim süreçlerine bırakmıştır.

İmalat yapan atölye ya da fabrikalarda malzemenin verimli kullanımı iş yükü ve maliyeti arttırıcı etkisi olduğundan dolayı, bu işletmelerdeki temel üretim problemlerinden birisi de kesme problemidir. Tüm bu noktalar değerlendirildiğinde, üretim işlemlerinin bilgisayar platformları aracılığıyla çözüm üretmeleri sağlama fikri genel kabul görmektedir ki, bu durum çalışmanın amacının belirlenmesinde yola çıkılan temel dayanaklardan biri olma özelliği taşımaktadır. Halihazırda üretim yapan işletmelerde uygun kesim planını yapacak bir entegre sistem bulunmamaktadır. Profesyonel olarak gerek paketleme gerek yerleştirme gerekse kesme ile alakalı satın alınabilecek yazılımlar mevcut olsa da kesme probleminin doğası gereği tüm kesme problemlerine uygulanabilecek tek bir yazılım ile karşılaşılmamıştır.

Çalışmanın giriş ve teori kısımlarında bahsedildiği üzere, kesme probleminin boyut ve işlem hacmi değişkenleri çalışmanın çözülmesi noktasında zorluklar yaratmaktadır. Bu çalışmada, çok boyutlu metal bir bloktan farklı en, boy ve genişlikteki parçaların kesme planının mevcut en az fire ile planlanması amaçlanmıştır. Literatürde 3 boyutlu kesme problemi üzerine teorik yaklaşımlar olsa da ülkemizde yapılan çalışmalarda ne teorik ne de pratik açıdan 3 boyutlu kesme problemine çözüm arayan bir yaklaşım ile karşılaşılmamıştır. Problemin çözüm aşamasında 3 boyutlu kesim probleminin gerçekleştirilmesi noktasındaki zorluklar göz önüne alınarak, çalışma iki buçuk boyutlu kesme problemi olarak çözülmeye çalışılmıştır. Ayrıca katı nesnelerin kesimlerinde bloğun ortasından herhangi bir açı verilerek kesim sürecine devam edilemeyeceğinden dolayı, tüm süreç giyotinli kesime uygun olmak zorundadır. Ek olarak çalışmada kullanılan parçalar dikdörtgen şekillerden oluştuğundan dolayı, parçaların yerleştirilmesinde ortogonallik gözetilmek durumundadır.

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı uygulama aşamasında genişlik ve boy olarak iki boyutlu, en olarak da tek boyutlu çözüm gerçekleştirilmiştir. Her iki çözümün birleştirilmesi ile 2,5 boyutlu hale getirilmiştir. Böylelikle çalışmada 2,5 boyutlu ortogonal ve giyotinli kesim problemine çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte, zamana bağlı olarak talep edilen siparişlerin bu kriter gözetilerek kesim planı oluşturulması ile fire miktarlarının ve kullanılan blok adetlerinin daha doğru tahminlenmesi çalışmanın önemi ortaya koyan bir diğer etmendir. Bu açılardan değerlendirildiğinde çalışmanın; hem kesme probleminin karmaşıklığı hem kesme sürecine getirdiği yaklaşım hem de tedarik planlama noktasındaki katkısı ile literatürde özgün bir nitelik kazanacağı düşünülmektedir.

3.2. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI

Çalışma kapsamı, ülkemizdeki önde gelen çok uluslu çelik sanayi fabrikalarından birisi ile sınırlandırılmıştır. Araştırmaya konu olan firma, birbirinden farklı tür ve özellikteki birçok çeliğin işlendiği bir fabrika olma özelliği taşımaktadır. Bu firmanın hazırladığı ürünler ağırlık açısından değerlendirildiğinde 7,85gr-15,2 ton aralığında; boy açısından değerlendirildiğinde 15-600 mm aralığında; en açısından değerlendirildiğinde 15-480 mm aralığında ve genişlik olarak değerlendirildiğinde 5-45 mm aralığında değişmektedir. Firmaya dört farklı uluslararası tedarikçiden toplam 85

adet farklı nitelikte çelik gönderilmektedir. Çalışmada kullanılan çelik tipi en karmaşık kübik yapıda bulunan, dolayısıyla kesme planlaması en zor olan malzemedir. Şöyle ki verilen siparişlerde; en olarak 5-25 mm, boy olarak 25-600 mm ve genişlik olarak 10-600 mm boyutlarında parçalar yer almaktadır. Bu derece farklı boyutlardaki parçalar ile kesme planı oluşturulabilmesi halinde, diğer göreceli olarak daha uygun boyutlardaki çelik blokların kesme planının oluşturulabilmesi daha basit bir hale gelecektir.

Firmanın verdiği hizmet ilgili sektörde Türkiye ihtiyacının (firma yetkilileriyle yapılan görüşmelerden alınan bilgiye dayanarak) %60'ını karşılamakta olduğu bilinmektedir. Araştırmaya konu olan çelik; otomotiv sektöründen havacılık sektörüne, enerji sektöründen sağlık sektörüne kadar yoğun biçimde kullanılan makinaların büyüklü küçüklü parçalarının ara mamulü olarak kullanılmaktadır.

3.3. VERİ SETİNİN HAZIRLANMASI

Çalışmada kullanılacak veriler çalışmanın amacı kısmında bahsedilen uluslararası çaptaki firmanın Türkiye'de faaliyet gösteren fabrikasının 03-12.2016 dönemine ait sipariş verilerini kapsamaktadır. Veri seti incelendiğinde, toplam 109.492 adet parçanın sipariş edildiği görülmüştür. Alınan toplam 46.691 sipariştten 29.803 adeti kübik blok kesimi ve 16.888 adeti silindir blokların kesiminden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında sadece kübik formdaki metallerin kesilmesi problemine çözüm aranacaktır. Veri setine dahil edilen ve araştırmacı tarafından 'Ω' olarak kodlanan malzemeye ait 240 siparişte toplam 4.170 parça kesilmiştir. Kullanılan çeliğin parça sayısı, tüm kübik formdaki parçaların %7'sine karşılık gelmektedir. Örneklem teorisi göz önüne alındığında, %95 güven seviyesi ve %5 hata payı parametrelerine göre 384 adet parça ile analiz yapılması yeterli görülmektedir. Buradan yola çıkarak, kübik formda bulunan 59.658 parçadan alınan 4170 adetlik örneklemin, tüm kübik kesim planını temsil etme yetisine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Problemin iki buçuk boyutlu düzenlenmesi sebebiyle, siparişlerde yer alan parçaların sadece bir boyutunun öncelikli olarak ortak bir paydada birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Şöyle ki, n boyutunda tüm parçalar 5-25 mm aralığında kümelenmişlerdir. Dolayısıyla veri setinin oluşturulması sırasında öncül bir $x \leftrightarrow y$, $x \leftrightarrow z$ ve $y \leftrightarrow z$ rotasyonları uygulanmıştır. Dolayısıyla n olarak belirlenen z eksenini çalışmada ardışık ve beşin katları olacak şekilde hazırlanmıştır.

Düzenlenen boyutlar sipariş tarihleri gözetilerek ayrıca bir sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Bu sınıflandırma sonucunda ilgili siparişlerde yer alan parçalar farklı *.txt dosyalarında ayrılarak sipariş dosyası oluşturulmuştur. Devam eden bölümlerde açıklanacağı gibi, hazırlanan yazılımda bu siparişler kullanılarak uygulama gerçekleştirilmiştir.

3.4. KESME PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL VARSAYIMLARI VE MODELİ

Kesme problemi için belirlenen varsayımlar bu çalışmada da yer almaktadır. Bu varsayımlar aşağıdaki maddelerde sıralanmıştır:

- Kesim planına dâhil edilen parçalar kesilecek bloktaki alan içerisine yerleştirilmelidir.
- Parçalar üst üste yerleşecek şekilde planlanamaz.
- Parçalar birbirlerine ve blok sınırlarına paralel yerleştirilmelidir.
- Parçalara boyutlar arası rotasyon uygulanabilmelidir.
- Rotasyona uğrayan parçalar ya da orijinal parçalardan sadece biri kullanılmalıdır.

Yukarıda belirtilen varsayımlara göre ve çalışmanın amacına göre oluşturulan matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir:

$$\text{maks.} \sum_{i=1}^n k_i \cdot p_i + \sum_{j=1}^n k_j \cdot p_j \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$0 \leq x_{i,sol} < x_{i,sağ} \leq U_i \wedge 0 \leq y_{i,sol} < y_{i,sağ} \leq G_i \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, n$$

$$(x_{m,sağ} - x_{i,sol} \geq u_m + u_i) \wedge (y_{m,sağ} - y_{i,sol} \geq g_m + g_i) \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, n; \quad m = 1, \dots, n; \quad m \neq i$$

$$\{\forall y = y_i | \overline{[(x_i), (x_i + u_i)]} | \overline{[0, U_i]}\} \wedge \quad (4)$$

$$\{\forall y = y_i + g_i | \overline{[(x_i), (x_i + u_i)]} | \overline{[0, U_i]}\} \wedge$$

$$\{\forall x = x_i | \overline{[(y_i), (y_i + g_i)]} | \overline{[0, G_i]}\} \wedge$$

$$\{\forall x = x_i + u_i | \overline{[(y_i), (y_i + g_i)]} | \overline{[0, G_i]}\}$$

$$\begin{aligned}
 i &= 1, \dots, n \\
 k_i + k_j &= 1 \\
 k_i, k_j &= [0, 1]
 \end{aligned} \tag{5}$$

İndisler ve Kümeler:

i, m	Parça İndisi
j	90^0 Rotasyonlu Parça İndisi
U	Blok Uzunluğu
G	Blok Genişliği
u	Parça Uzunluğu
g	Parça Genişliği
sol	Dikdörtgenin sol alt koordinatı
$sağ$	Dikdörtgenin sağ üst koordinatı
k_i	Parçanın Yerleştirilme Koşulu
k_j	90^0 Rotasyonlu Parçanın Yerleştirilme Koşulu

Birinci denklemde çalışmanın amaç fonksiyonu yer almaktadır. Buna göre, en fazla sayıda yerleştirilen parça amaçlanmaktadır.

2 no'lu denklemde i 'inci parçanın blok içerisindeki herhangi bir alana yerleştirilmesi varsayımı ifade edilmektedir.

3 no'lu denklemde i parçasının komşusu olan j parçasının hem x ekseninde hem de y ekseninde üst üste binmemesi kısıtı sağlanmaktadır.

4no'lu denklemde ortogonalite varsayımı sağlanmaktadır. Böylelikle parçanın alt kenarının bloğun alt kenarına paralel olması; parçanın üst kenarının bloğun üst kenarına paralel olması; parçanın sağ kenarının bloğun sağ kenarına paralel olması ve parçanın sol kenarının bloğun sol kenarına paralel olması sağlanmaktadır. Paralelliği sadece blok kenarlarına göre düzenlemek, aynı zamanda parçaların birbirilerine göre ortogonalliğini de sağlamaktadır.

5 no'lu denklemde 90^0 rotasyonlu olan ve olmayan parçaların sadece birinin dahil edilmesi koşulu sağlanmaktadır.

3.5. UYGULAMA PROBLEMİ İÇİN SEZGİSEL YÖNTEM

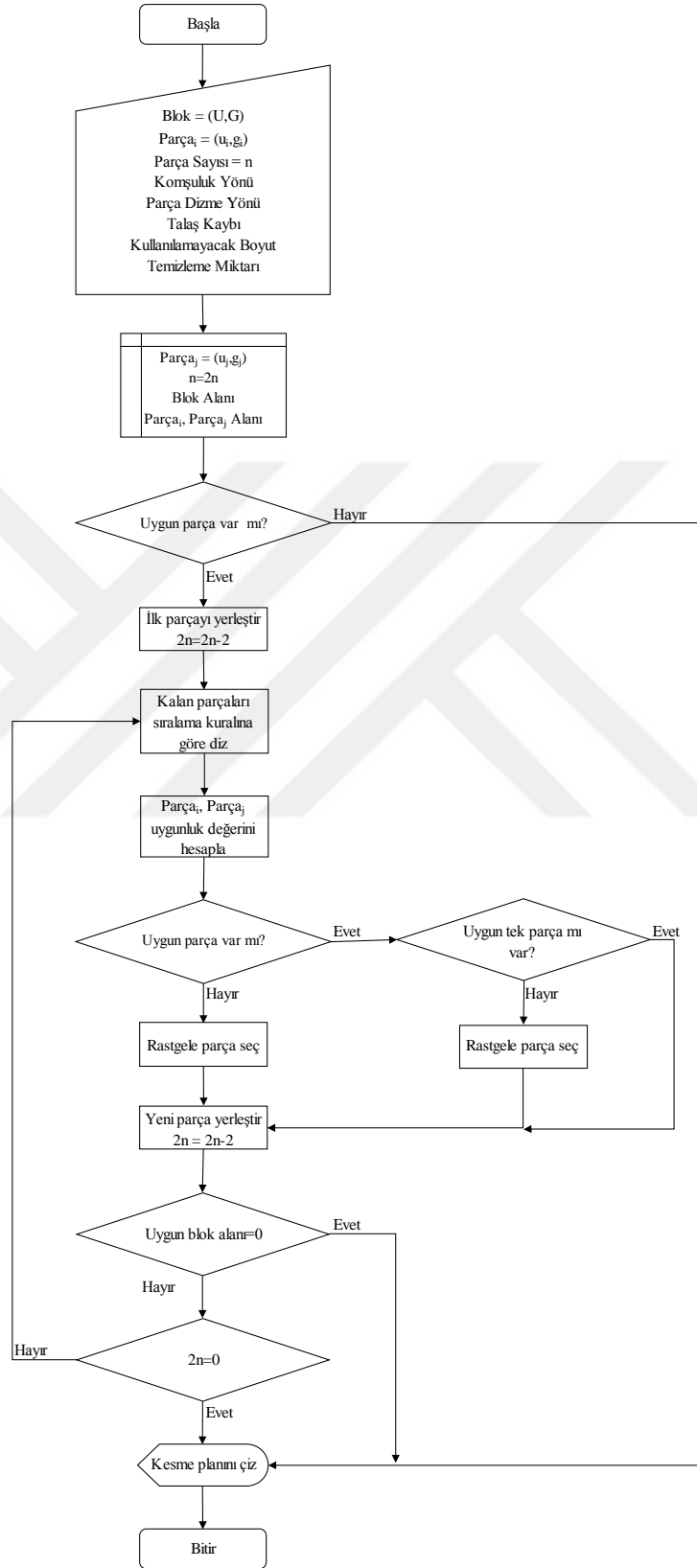
Çalışmanın amacı ve önemi başlığında belirtilen siparişlere göre çözüm aranması yaklaşımı, uygulamaya dahil edilen parça sayısının azalmasına, dolayısıyla çözüm süresinin bir saniyenin altına inmesine imkan tanımıştır. Bu tip problemlerde karşılaşılan çözüm süresinin uzunluğu, hatta uygun çözüme ulaşamaması sorunu, işlenecek parça sayısının az olması ile ortadan kalkmaktadır. Ancak beş parçadan oluşan bir siparişte bile gerek parçaların rotasyonu (parça sayısının ikiye katlanması anlamına gelmektedir) gerekse parçaların birbirlerine göre konumunun kombinasyonu düşünüldüğünde işlem süreleri yine de uzun olmaktadır. Öte yandan meta-sezgisel tekniklerde hızlı çözüme ulaşılırken, sonuçlar her zaman en uyguna yaklaşmakta zorlanmaktadır. Ancak çözüme sokulacak parça sayısının fazla olmaması, sadece sezgisel teknikler ile hem hızlı hem de en uyguna yakın çözüm üretmekte başarılı olmaktadır. Seçilen sezgisel yöntem, Wei vd. (2009) geliştirmiş oldukları belirli bir alana en fazla parça yerleştirilmesini gerçekleştiren En Az Fire (Least Wasted First-LWF) sezgiselidir. Bu sezgisel temel itibariyle geliştiricileri tarafından paketleme problemine çözüm bulmak amacıyla ortaya atılmıştır. Ancak incelemeler sonucunda diğer sezgisel tekniklerden daha başarılı sonuçlar üretmesi sebebiyle giyotin kesim özelliği eklenerek kesme problemine uygun hale getirilmiştir.

Yukarıda detaylandırılan kesme problemini çözmek üzere geliştirilen yazılımda kullanılan karmaşık algoritmanın işlem adımları aşağıda yer almaktadır:

- Giriş parametreleri hazırlanır
 - Blok ve parça boyutları kaydedilir.
 - Blok ve parçalar için rotasyon özelliği belirlenir.
 - Sıralama kuralı belirlenir.
 - Komşuluk yönü belirlenir.
 - Parça dizme yönü belirlenir.
 - Talaş kaybı belirlenir.
 - Kullanılmayacak minimum boyutlar belirlenir.
 - Kenar temizleme miktarları belirlenir.
 - Başla
 - Parçaların rotasyonlu listesini hazırla.
 - Sıralama kuralına göre ilk ürün bloğun sol alt köşesine yerleştir.
 - Yerleştirme sonrası kalan alan/alanları parça dizme yönüne göre belirle.
 - Yeni parça yerleştirme
 - Kalan parçalar arasından yerleştirilen parçaya göre uygunluk değeri en yüksek olan parça/parçaları belirle.
 - Eğer
 - Birden fazla parça varsa aralarından rastgele birini seç.
 - Tek bir parça varsa seç.
 - Hiçbir parça yoksa rastgele birini seç.
 - Uygun parçayı komşuluk yönüne göre önceki parçanın sağ altına ya da sol üstüne hizalayarak uygun alana yerleştir.
 - Rotasyonlu olan ya da olmayan veri setinden birer adet parça eksilt.
 - Sonlanma koşulunu kontrol et.
 - Parça sayısı = 0
 - Uygun blok alanı = 0
 - Parça sayısı $\neq 0 \wedge$ Uygun blok alanı = 0
- Kesim planını yazdır.

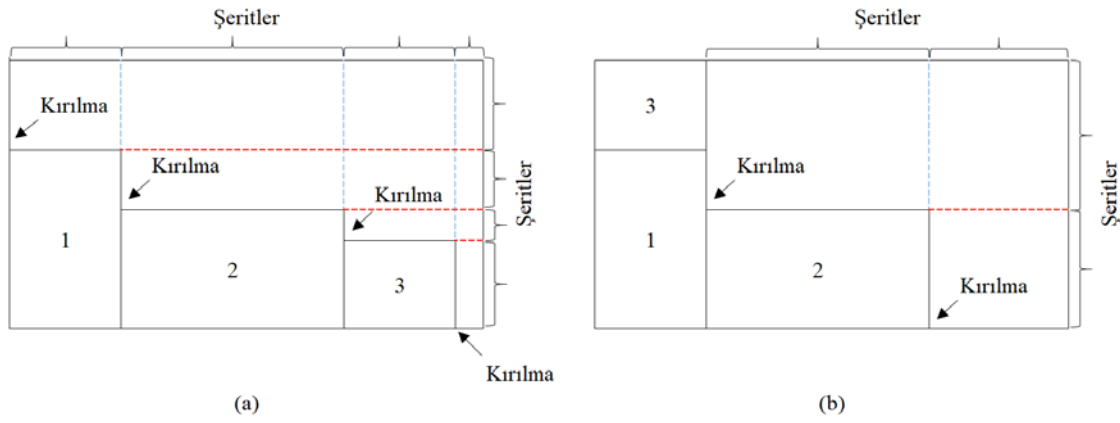
Algoritmadan da anlaşılacağı gibi bazı parametrelerin kullanıcı tarafından girilmesi, gerekmektedir. Bazı parametreler ise sürecin kendi içinde oluşturulmaktadır. Algoritmanın içerisinde, teoride bahsedilen bir diğer sezgisel olan İlk Uygun Azalan (First Fit Decreasing) da yer almaktadır. Buna göre çalışmada verimliliği artırmak için iki tane sezgisel tekniğin birleşik şekilde kullanıldığı anlatılmaktadır. Yukarıda belirtilen algoritmanın ilgili akış diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmektedir.

Şekil 3.1. Kesme Probleminin Akış Diyagramı



Kullanılan teknik ile giyotinli kesim sonrası blokta kalan parçalara şerit adı verilmektedir (Martello vd., 2003: 310). Buna göre oluşan şeritlerin az olması ile algoritmada yer alan uygunluk hesaplamasının paralel çıktığı görülmektedir. Uygunluk hesaplaması aynı şeride yerleştirilmiş parçaların kırılma noktalarının az olması demektir. Eğer yerleştirilen parçalardaki kırılma noktaları az ise, komşu olan parçalardaki uygunluk değerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Komşu olan iki parçanın komşuluk yönüne göre genişliklerinin ya da uzunluklarının aynı olması, kırılma noktasının olmadığı anlamına gelmektedir. Aşağıdaki şekilde kırılmadan anlatılmak istenen durum ve parça yerleşimde kalan fire miktarı gösterilmek istenmiştir.

Şekil 3.2. Kırılma Noktalarının ve Oluşan Şeritlerin Gösterimi



Şekil 3.2'den de anlaşılacağı gibi kırılma noktası sayısı kadar şerit, kesme planı sonrası oluşmaktadır. Dolayısıyla uygunluk değerini hesaplariken gerek kırılma sayısı gerek şerit sayısı en aza indirilebilir, bir diğer işlem olarak komşuluk yönüne göre komşu parçaların boyutlarını eşitlemede kullanılabilir. Bu çalışmada şerit sayısının az olmasına göre kesim planı oluşturularak uygunluk değeri hesaplanmıştır. Yöntemin uygunluğu hakkında yapılan test çalışmaları Başlık 3.6.'da yer almaktadır.

3.5.1. Sıralama Kuralları

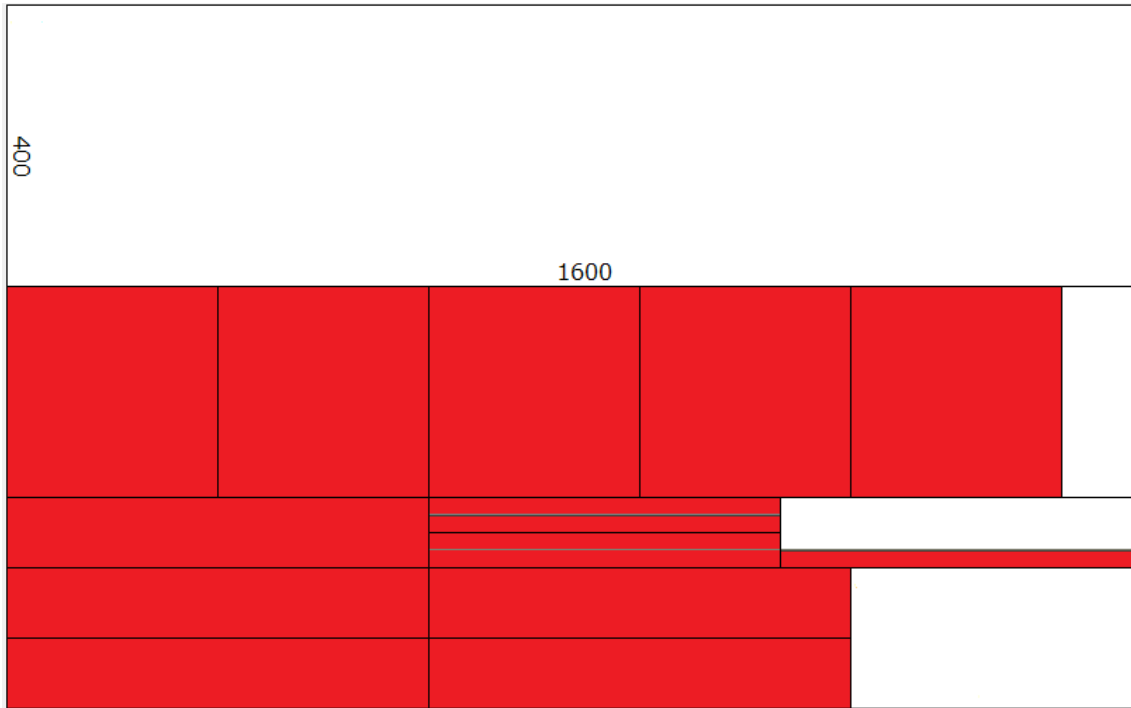
Kullanılan sezgisel yöntemde ek olarak en uygun azalan sezgiseli de kullanılmıştır. Buna göre parçaların sadece rastgele bir şekilde en az fire kalacak yerleşimi yaparak olası uygun çözümden uzaklaşmasındansa, parçaların boyutlarına ve alanlarına göre azalan bir yerleştirme planı hazırlayarak daha uygun ve daha işlevsel bir çözüme ulaşılması amaçlanmıştır. Böylelikle çözüm amaçlarından ikisi (kısa çözüm süresi, en uygun kesim planı) elde edilmeye çalışılmıştır.

Bahsi geçen uygun azalan algoritması şu şekilde çalışmaktadır:

- Kesim planına dahil edilecek her bir parçanın uzunluk bilgisini hesapla.
 - Eğer $uzunluk < genişlik$ koşulu sağlanıyorsa bu parçalarda genişlik ile uzunluk bilgilerinin yerini değiştir.
 - Parçaları uzunluk bilgisine göre azalacak şekilde sırala.
 - Yerleştirilecek ilk parçayı seç.
 - Eğer birden fazla aynı uzunlukta parça var ise aralarından rastgele seçim yap. Tek bir parça var ise yerleştirilecek parça olarak bu parçayı al.
 - Yerleştirme işlemi yapılıncaya parça sayısını bir adet azaltarak üçüncü adıma geri dön.
- Parça sayısı sıfıra eşit olduğunda yerleştirme işlemini sonlandır.

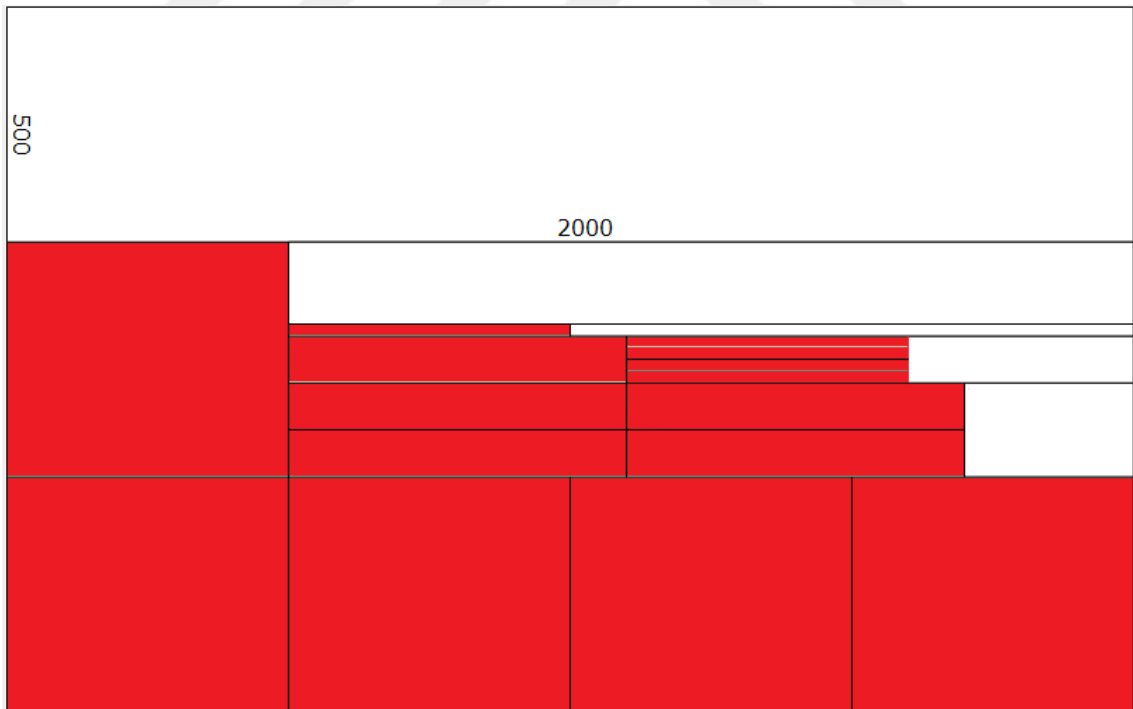
Yukarıda verilen yöntemde sadece sıralama işlemine göre yapılan yerleştirmeden bahsedilmiştir. Aynı zamanda bloğun sonsuz boyutlu olduğu varsayımı altında çalışılmıştır. Bu adımlardan üçüncüsünde yer alan döngünün içerisine en az kalan fire algoritması eklenerek kullanılan yöntem hibrit bir hale getirilmektedir. Sıralama bilgisini parçaların uzunluk ve alan bilgilerine göre program hesaplayarak sıralamakta ve bu sonuçları göstermemektedir.

Şekil 3.3. Farklı Boyutlardaki Parçaların Uzunluk Azalanına Göre Kesme Planı



Şekil 3.3'te 3 farklı uzunluk ve genişlikteki $\{(500 \times 25)(100 \times 600)(300 \times 300)\}$ 5'er adet deneme parçası 1600×1000 boyutundaki bloğa X eksenine yönelik, kullanılmayacak boyut, talaş miktarı olmadan ve uzunluk azalanı dikkate alınarak yerleştirilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, öncelikle 100×600 boyutundaki parçaların (uzunluk \leftrightarrow genişlik değişimi sebebiyle) yerleştirildiği, bu parçaların bitmesi halinde 500×25 'lik parçaların yerleştirildiği ve son olarak 300×300 'lük parçaların yerleştirildiği görülmektedir. Kesim planında giyotin kesim uygulandığı için, ilk aşamada dört adet 100×600 'lük parça yerleştirilerek tüm alan şerit şeklinde bölünmüştür. İkinci bir kademe olarak tekrardan son kalan 100×600 'lük parça yerleştirilerek kalan diğer parçalar arasında uzunluk dikkate alınarak 500×25 'lik parça kullanılmıştır. Genişliği 100 olan bir şerit oluşturarak parçaların yerleştirilmesinden ötürü, açıkta kalan 500×75 'lik bölüme kalan son parça olan 300×300 'lük parçalardan herhangi birisi yerleşmemektedir. Böylelikle görülmektedir ki, giyotinli kesim bu yazılımda kullanılmaktadır.

Şekil 3.4. Farklı Boyutlardaki Parçaların Alan Azalanına Göre Kesme Planı



Şekil 3.4'te 3 farklı uzunluk ve genişlikteki $\{(500 \times 25)(100 \times 600)(500 \times 500)\}$ 5'er adet deneme parçası 2000×1500 boyutundaki bloğa X eksenine yönelik, kullanılmayacak boyut, talaş miktarı olmadan ve uzunluk azalanı dikkate alınarak

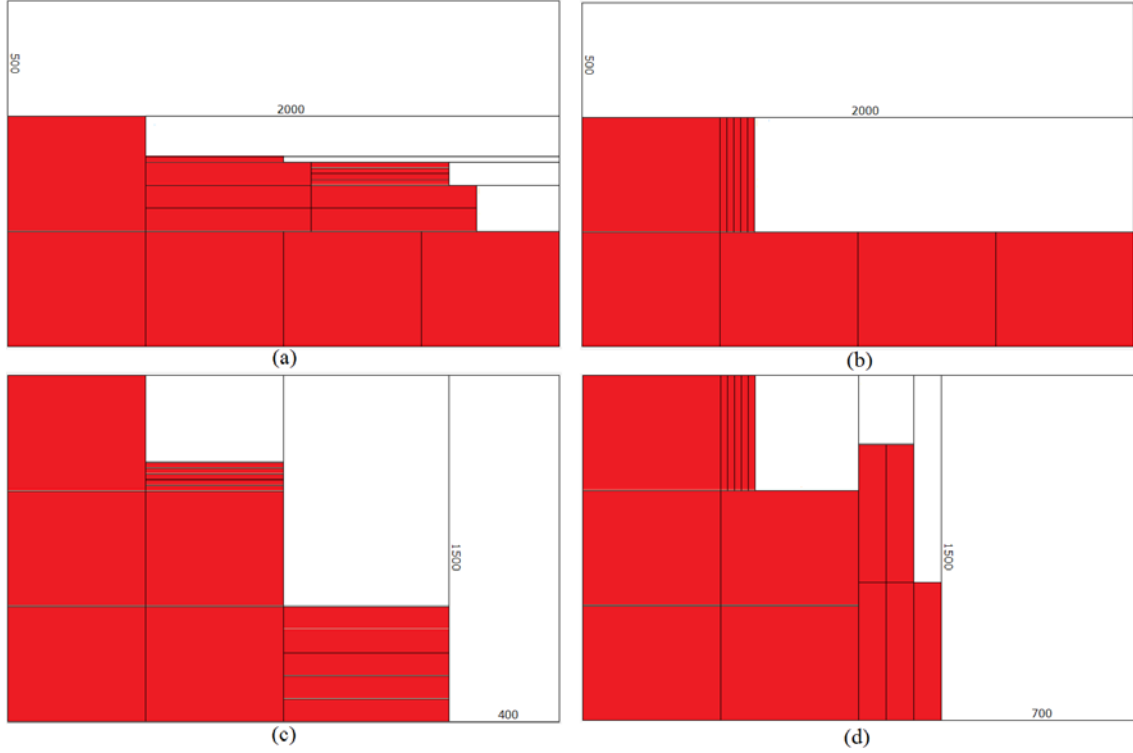
yerleştirilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, öncelikle 100x600 boyutundaki parçaların (uzunluk \leftrightarrow genişlik değişimi sebebiyle) yerleştirildiği, bu parçaların bitmesi halinde 500x25'lik parçaların yerleştirildiği ve son olarak 500x500'lük parçaların yerleştirildiği görülmektedir. Kesim planında giyotin kesim uygulandığı için, ilk aşamada dört adet 500x500'lük parça yerleştirilerek tüm alan şerit şeklinde bölünmüştür. İkinci bir kademe olarak tekrardan son kalan 500x500'lük parça yerleştirilerek kalan diğer parçalar arasından uzunluk dikkate alınarak 100x600'lük parça kullanılmıştır. Genişliği 100 olan bir şerit oluşturarak parçaların yerleştirilmesinden ötürü, açıkta kalan 400x75'lik bölüme kalan son parça olan 500x25'lik parçalardan herhangi birisi yerleşmemektedir. Dolayısıyla son kalan 500x25'lik parça en uygun alan olan 100x600'lük parçanın üst komşuluğuna yerleştirilmiştir.

Bahsi geçen örneklerde verimlilik dikkate alınmaksızın en çok parçanın yerleştirilmesi gözetilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi giyotinli kesim doğası gereği kesilen blokta birçok şeridin oluşmasına sebep olmaktadır. Kullanılan sezgisel şerit sayısını azaltmaya yöneldiğinden, giyotinli kesimin ortaya çıkardığı doğal fire olasılığını önlemeye çalışmaktadır.

3.5.2. Yönlendirme

Hazırlanan planı oluşturulurken gözetilen bir başka husus, parçaların blok içerisindeki komşulukları ve parçaların hangi düzlemde yerleştirileceğidir. Açıklamak gerekirse, i 'inci ve $(i+1)$ 'inci parçaların yanyana mı yoksa üst üste mi (iki boyutlu kesim planı doğası gereği) yerleştirileceği önem arz etmektedir. Benzer şekilde parçanın X eksenini doğrultusunda mı yoksa Y eksenini doğrultusunda mı yerleştirileceği de ayrı bir husustur. Çünkü parçaların boyutlarının orantısız olması, farklı yönlendirmelerde şerit miktarını arttırabilmesi de azaltabilmesi de mümkündür. Bu hususta çalışmacıyı kısıtlamaktansa parçaların rotasyon bilgisinin eklenmesi, komşuluk yönü ne olursa olsun, parça yerleştirme yönü açısından esneklik kazandırmaktadır. Yapılan rotasyon düzenlemesinde, eğer bir parça uzunluk olarak sığmıyor fakat genişlik açısından boş alana yerleştirilebiliyorsa, bu parçanın rotasyonlu hali kesim planına dahil edilecektir.

Şekil 3.5. Parça Yerleştirme Yönü ve Komşuluk Yönüne Göre Kesme Planı Örnekleri



Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, her iki yönle alakalı toplam dört adet kesme planı oluşturulmuştur. Üç farklı uzunluk ve genişlikteki $\{(500 \times 25) (100 \times 600) (500 \times 500)\}$ 5'er adet deneme parçası 2000×1500 boyutundaki bloğa alan azalmalı, talaş miktarı olmayan ve kenar temizleme hesaplanmamış olarak; (a) X eksenli komşuluklu ve X, Y düzleminde yerleşecek şekilde, (b) X eksenli komşuluklu ve Y, X düzleminde yerleşecek şekilde, (c) Y eksenli komşuluklu ve X, Y düzleminde yerleşecek şekilde, (d) Y eksenli komşuluklu ve Y, X düzleminde yerleşecek şekilde düzenlenmiştir. Şekil 3.5 (a) incelendiğinde beş adet şerit ile beş adet kırılma noktası oluşturduğu ve tüm parçaların yerleştiği görülmektedir. Oluşan şeritler incelendiğinde, bir boyutunun oldukça küçük olması sebebiyle başka bir kesme planında kullanılamayacak olması muhtemel gözükmemektedir. Şekil 3.5 (b) incelendiğinde iki adet şerit ile iki adet kırılma noktası oluşturduğu ve tüm parçaların yerleştirilemediği görülmektedir. Oluşan şeritler incelendiğinde, bu parça özelliklerine göre başka bir kesme planında kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Şekil 3.5 (c) incelendiğinde üç adet şerit ile üç adet kırılma noktası oluşturduğu ve tüm parçaların yerleştirildiği görülmektedir. Oluşan şeritler incelendiğinde, bu parça özelliklerine göre başka bir kesme planında kullanılabileceği

anlaşılmaktadır. Şekil 3.5 (d) incelendiğinde dört adet şerit ile üç adet kırılma noktası oluşturduğu ve tüm parçaların yerleştirildiği görülmektedir. Oluşan şeritler incelendiğinde, bu parça özelliklerine göre başka bir kesme planında kullanılmayacağı anlaşılmaktadır. Bu örnek ile Wei ve arkadaşlarının geliştirmiş oldukları sezgisel teknikteki kırılma noktası uygunluğunun eksik olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışmamızda esas alınan şerit sayısının az olması ile ortaya çıkan uygunluk değerinin daha optimal sonuçlar ürettiği anlaşılmaktadır.

3.5.3. Uygulama Arayüzünün Geliştirilmesi

Çalışmada kullanılan veri setinin belirtilen kısıtları göz önüne alınarak çözülmesi amacıyla geliştirilen yazılım arayüzünden bu bölümde bahsedilecektir. Yazılımda sadece kesme problemi için kullanıcı tarafından kolay anlaşılabilmesi amacıyla blok ve parça bilgilerinin girilebildiği alanlar öncelikli olarak yer almaktadır. Kullanıcılar isterlerse yukarıdaki bölümlerde bahsedilen diğer adımlara öncelik verebilirler. Yazılımın arayüzü temel girdiler, kısıtlar ve kesme özellikleri şeklinde tasarlanmıştır. Yazılım C# yazılım diliyle hazırlanmıştır. Yazılımın genel görünüşü Şekil 3.6'da görülmektedir.

Şekil 3.6. Yazılımın Genel Görünümü

The screenshot displays the software interface with the following components:

- Blok (Block) Table:** A table with columns for 'uzunluk' (length), 'genişlik' (width), 'alan' (area), and 'yapı' (structure). The 'uzunluk' and 'genişlik' columns are highlighted in green.
- Parçalar (Parts) Table:** A table with columns for 'no' (number), 'uzunluk' (length), 'genişlik' (width), 'alan' (area), 'rotasyon' (rotation), and 'zorunlu' (mandatory). The 'uzunluk' and 'genişlik' columns are highlighted in green.
- Hızlı Giriş (Quick Entry) Table:** A table with columns for 'uzunluk' (length), 'genişlik' (width), 'sayı' (number), 'giriş' (input), and 'rotasyon' (rotation). The 'giriş' column has a red border and contains the text 'ok'.
- Statistik (Statistics) Panel:** A panel with input fields for 'Blok alanı' (Block area), 'Parça alanı' (Part area), 'Kesme alanı' (Cutting area), 'Kullanılabilir alan' (Usable area), 'Verimlilik' (Efficiency), 'Kullanılmayan alan' (Unused area), 'Kenar temizleme alanı' (Edge cleaning area), and 'Testere kesim alanı' (Saw cut area). Each field is followed by a unit 'mm2' or '%'. A 'KESME' button is located to the right of this panel.
- Other Elements:** A 'Dosya' (File) dropdown menu, a 'Sil' (Delete) button, and a '7 dosya eklendi' (7 files added) notification.

İlk sekmede görülen blok bölümünde kullanılan bloğun uzunluk ve genişlik bilgileri ile bunlardan hesaplanan alan bilgisi yer almaktadır. Uzunluk ve genişlik

bilgisini kullanıcı girdikten sonra yazılım otomatik olarak alan bilgisini de hesaplamaktadır. ‘Blok Bilgileri’ alanının görüntüsü Şekil 3.7’de görülmektedir.

Şekil 3.7. Blok Bilgileri Yazılım Görüntüsü

uzunluk	genişlik	alan	yapı
			<input type="checkbox"/>

Bir diğer alan olan parça kısmında yer alan hücelere, kesme planına dahil edilecek parçaların uzunlukları ve genişlikleri hakkındaki bilgiler girilmektedir. Bu alana girilen değişkenler kullanıcı tarafından girilebilir. Bir diğer yöntem olarak parçaların boyutları metin dosyasına “uzunluk, genişlik” formatında alt alta yazılarak kaydedildikten sonra, bu metin dosyası yazılımın üstüne sürükleyip bırakılarak veriseti yazılıma girilmiş olunur. Bu alanda yer alan bir diğer önemli husus parçalara ait rotasyon bilgisinin mevcut olmasıdır. Her bir parçanın yanında o parçaya özel olan ve her parça listesinin en üstünde yer alan ve bir seferde bütün parça listesine rotasyon yapılabileceği bilgisini ekleyen bir onay kutusu yer almaktadır. Bir diğer onay kutusu da aynı rotasyon bilgisinde olduğu gibi ilgili parçanın ya da tüm parçaların kesme planına dahil olup olmayacağını kullanıcıya bırakan “zorunluluk” seçeneğidir. ‘Parça Bilgileri’ alanının görüntüsü Şekil 3.8’de görülmektedir.

Şekil 3.8. Parça Bilgileri Yazılım Görüntüsü

Parçalar					
no	uzunluk	genişlik	alan	rotasyon	zorunlu
1				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Kesme menüsünde;

- Talaş kaybını belirleyen ‘Testere Kalınlığı’;
- Kesilecek bloğun kenarlarındaki ya da parçaların kenarlarındaki çapaklanmadan, yamulmadan, yarmadan (testerenin kuvvetli gelerek metali deforme etmesi) kaynaklanabilecek kusurların düzeltilmesi için “Kenar Temizleme”;
- Kesim sonrası ortaya çıkan şeritlerin kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla en az uzunluk, en az genişlik ve en az alan bilgilerinin girilebildiği “Minimum Boyut”;

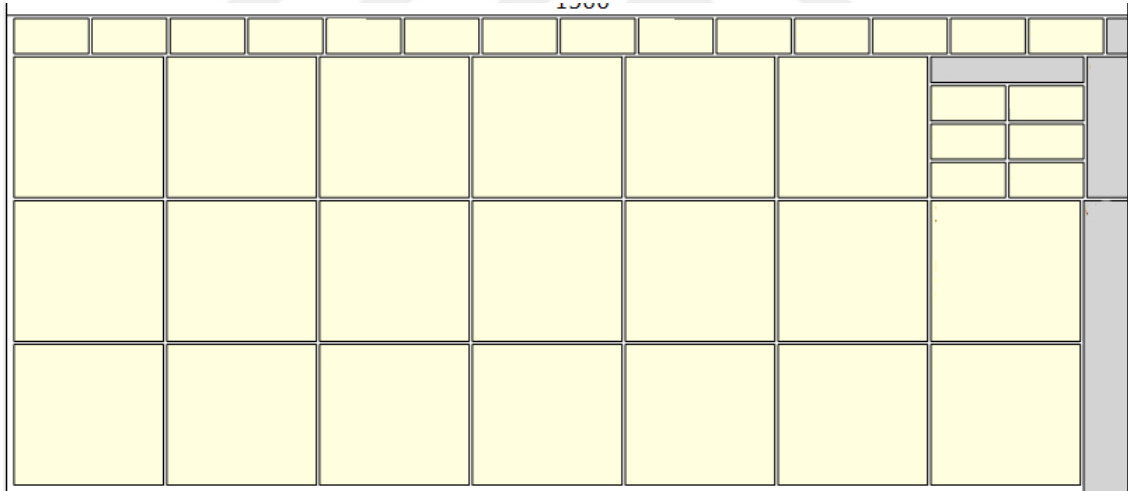
alanları yer almaktadır. Bahsedilen özellikler mevcut kesim planındaki ve kesme ile birebir alakalı olan nitelikleri ortaya koymaktadırlar. Bu sebeple ‘Kesme Özellikleri’ başlığı altında toplanmışlardır. ‘Kesme Özellikleri’ alanının görüntüsü Şekil 3.9’da görülmektedir.

Şekil 3.9. Kesme Özellikleri Yazılım Görüntüsü

Kesme planı menüsünde blok parça kesme özellikleri verilmiş bir çalışma için en uygun kesme planını sunmayı amaçlayan ve yukarıdaki başlıklarda detaylı olarak anlatılan sezgiseller yer almaktadır. Bu bölümde en az kalan sezgiseli, ilk uygun azalan sezgiseli, parça yerleştirme yönü ve komşuluk yönü seçenekleri yer almaktadır. ‘Yerleştirme’ başlığı altında yer alan X butonunun seçilmesi ile yerleştirilen parçanın sonrasında yerleştirilecek parçalar, bir önceki parçanın X ekseninde komşuluğuna

(sağına) yerleştirilecektir. Açıklamak gerekirse, (i+1) parçasının sol alt koordinatı, i parçasının sağ alt koordinatına hizalanacaktır. Eğer Y butonunun seçilmesi ile yerleştirilen parçanın sonrasında yerleştirilecek parçalar, bir önceki parçanın Y ekseninde komşuluğuna (üstüne) yerleştirilecektir. Açıklamak gerekirse, (i+1) parçasının sol alt koordinatı, i parçasının sol üst koordinatına hizalanacaktır. ‘Sıralama’ başlığında yer alan butonlarda ise kesme planına dahil edilecek parçaların alan, uzunluk ve genişlik bilgilerine göre ilk uygun azalan sezgiselinin çalışması sağlanmaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere, bu sezgisel mutlaka kullanılmaktadır. ‘Parça Yönlendirme’ menüsünde ise kesme planına dahil edilecek parçaların hangi düzlemde yerleştirileceği seçilmektedir. Eğer kullanılacak çalışmada sadece X, Y ya da sadece Y, X yerleştirmesi gibi bir zorunluluk yok ise, ‘rotasyon’ seçeneğinin seçilmesi ile parçalar döndürülerek en uygun yerleşim planına ulaşılması hedeflenmektedir. Bahsedilen bölüme ait yazılım görüntüsü Şekil 3.10’da verilmiştir.

Şekil 3.10. Kesme Planı Yazılım Görüntüsü



Şekil 3.10’da yirmişer adet 200x200 mm ve 100x50 mm boyutundaki malzemenin 1500x750 mm boyutundaki bloktan kesim planına ait örnek gösterilmiştir. Son olarak yazılım çalıştırıldıktan sonra ortaya çıkan istatistikler şunlardır:

- Blok alanı
- Kullanılan parça alanı
- Kesme alanı
- Kullanılabilir alan

- Verim oranı
- Fire alanı
- Temizlenmiş kenarın alanı
- Talaş alanı

Temizlenmiş kenarın alanı ve talaş alanı bilgileri kesme özelliklerindeki ilgili alanlarda bilgi girilmemiş ise, sıfır olarak sonuçlanacaktır. Fire alanı kesme özelliklerinde belirtilen minimum boyut bilgileri doğrultusunda karşılaşılan artık alanların toplamını temsil etmektedir. Şöyle ki, minimum uzunluk boyutu 15 milimetrenin altında olan herhangi bir parçanın olmadığı varsayımı altında; kalan herhangi bir şeridin bir boyutunun 15 milimetrenin altında olması, o şeridin fire olarak hesaplanması anlamına gelmektedir. Kesme alanı ise, kesme planına dahil edilen parçaların toplam alanına talaş alanının eklenmesi ile ortaya çıkmaktadır. Talaş alanı fire olarak ele alınmamıştır. Çünkü kesim yapan malzemenin, teknolojik özellikleri dolayısıyla, kesim planı üzerinde herhangi bir değiştirilebilir etkisi yoktur. Buradaki değişken ancak teknolojik yatırım maliyetleri göz önüne alındığında dikkate alınabilir. Bununla birlikte çalışma teknolojik yatırım etkisini çözmeyi hedeflememektedir ki, bu aynı zamanda çalışmanın kısıtlarından biridir.

3.6. SEZGİSEL YÖNTEMİN GEÇERLİLİĞİNİN TEST VERİLERİ İLE İSPATLANMASI

Kesme problemi için kullanılan birçok yöntemde (TABU, GRASP, Genetik Algoritma, Benzetimli Tavlama, vb.) çözüm üretilerek en uygun sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Kesme probleminin faktörleri üzerinde geliştirilen çözüm yöntemlerinde, kullanılan bloğun özelliği, kesilen parça özelliği, yerleştirme yöntemleri, maliyet, zaman, iş gücü, iş sayısı gibi birçok faktör eklenerek ya da çıkartılarak sayısal sonuçlara ulaşılmıştır. Çözüm yöntemleri hakkındaki bu denemeler sırasında bazı yöntemlerin bazı açılardan (meta-sezgiseller teknikler zaman açısından; tam sayılı çözüm en uygun çözüm açısından) avantajları ya da dezavantajları olduğu anlaşılmıştır. Wei ve arkadaşları paketleme problemine çözüm bulmak için geliştirdikleri en az fire sezgiselinin testlerinde birçok yönteme göre bu sezgisel daha iyi sonuçlar ürettiğini ispat etmişlerdir. Bu çalışmada ise, bahsi geçen sezgiselin hem giyotinli kesim hem de başka bir sezgisel ile birleştirilmesiyle ortaya çıkan sonuçları (özgünlüğü dolayısıyla)

bu başlık altında test edilerek değerlendirilecektir.

Test aşamasında 100 adet parça kullanılmıştır. Bu parçaların uzunluk ve genişlikleri [1,200] aralığında rastgele sayılar verilerek oluşturulmuştur. Verilen bu sayılar rastgele sayılar tablosundan seçilmiştir. Yazılıma dahil edilen

- (i) komşuluk → X, Y
- (ii) parça yerleştirme → Yatay, Dikey, Rotasyon
- (iii) sıralama sezgiseli → Alan, Uzunluk, Genişlik

özelliklerine göre

- 500x500
- 750x500
- 750x750
- 1000x750
- 1000x1000
- 1250x1250
- 1500x1500

blok boyutlarında kesme planları hazırlanmıştır. Buna göre her bir farklı blok boyutunda toplam 18 adet kesim planı oluşmaktadır. Alınan sonuçlar arasında kullanılan kesim alanı, verimlilik yüzdesi, kesme planına dahil edilen parça sayısı, fire alanı, blok alanı ve kesme planı özellikleri yer almaktadır. Testere kalınlığı ve kenar temizleme miktarları her kesme planının kendi sürecine dahil olacağından, yapılan denemelerde bu iki değer '0' kabul edilerek tüm farklı denemeler için sabit tutulmuştur. Elde edilen veriler ile tamamen rastgele seçilmiş boyutlarda oluşan parçaların kullanılan çözüm tekniği ile kontrol altındaki bir deney ortamında ürettiği sonuçlar değerlendirilmiştir. Gerek verimlilik gerekse kesme planına dahil edilen parça sayıları sezgiselin kullanılabilirliğinin temelini oluşturmaktadır.

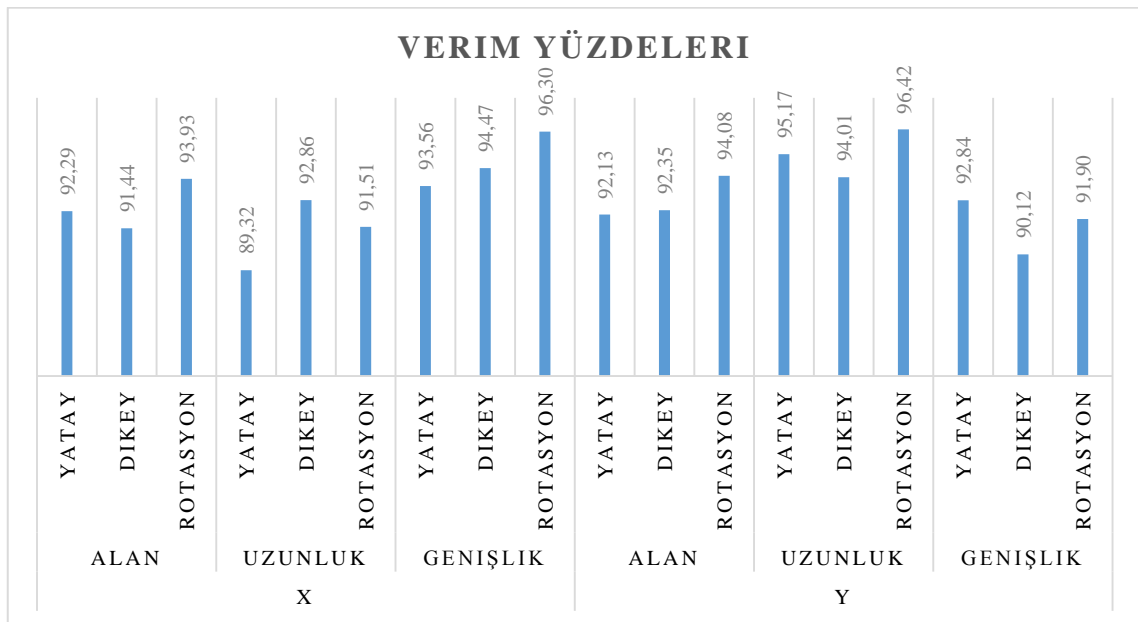
Farklı bloklardaki tüm olası kesme planları denenerek elde edilen verimlilik yüzdelere göre sonuçlar fark testleri kullanılarak (Kruskal-Wallis H testi, Mann-Whitney U testi) analiz edilmiştir. Genel olarak bakıldığında, herhangi bir kesme planı denemelerindeki verimlilik, %93,04 ± 3,42 (86,36-98,92) istatistikleri şeklinde hesaplanmıştır. Bu açıdan bakıldığında, elde edilen sonuçlar, giyotinli kesme planı için

oldukça yüksek yüzdelerdir. Kesme planları arasında birbirlerine göre üstünlüklerin kıyaslanmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 3.1’de ve Şekil 3.11’de görülmektedir.

Tablo 3.1. Kesme Planı Özelliklerine Göre Verimlilik Yüzdesi İstatistikleri

Yerleştirme	Sıralama	Parça Yerleştirme	Ortalama	Standart Sapma
X	Alan	Yatay	92,29	3,64
		Dikey	91,44	2,88
		Rotasyon	93,93	3,61
	Uzunluk	Yatay	89,32	2,87
		Dikey	92,86	2,72
		Rotasyon	91,51	3,61
	Genişlik	Yatay	93,56	2,41
		Dikey	94,47	2,09
		Rotasyon	96,30	2,19
Y	Alan	Yatay	92,13	3,24
		Dikey	92,35	3,74
		Rotasyon	94,08	3,73
	Uzunluk	Yatay	95,17	2,48
		Dikey	94,01	2,34
		Rotasyon	96,42	2,26
	Genişlik	Yatay	92,84	2,93
		Dikey	90,12	3,85
		Rotasyon	91,90	3,84

Şekil 3.11. Kesme Planı Özelliklerine Göre Verimlilik Yüzdesi Grafığı



Yapılan karşılaştırmalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yerleştirme ve sıralama özellikleri sabit tutulduğunda, parça yerleştirme özelliğine göre verimlilik değerleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur ($p>0,05$).
- Yerleştirme ve parça yerleştirme sabit tutulduğunda;
 - X yerleştirme ve yatay parça yerleştirme koşulu altında genişlik azalanına göre planlama yapılmalıdır ($p<0,05$).
 - X yerleştirme ve rotasyonlu parça yerleştirme koşulu altında genişlik azalanına göre planlama yapılmalıdır ($p<0,05$).
 - Diğer ihtimallerde verimlilik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlük hesaplanamamıştır ($p>0,05$).
- Sıralama ve yerleştirme özellikleri sabit tutulduğunda, parça yerleştirme özelliğine göre verimlilik değerleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur ($p>0,05$).
- Sıralama ve parça yerleştirme sabit tutulduğunda;
 - Uzunluk azalanı ve yatay parça yerleştirme koşulu altında, Y yerleştirmeye göre planlama yapılmalıdır ($p<0,05$).
 - Uzunluk azalanı ve rotasyonlu parça yerleştirme koşulu altında, Y yerleştirmeye göre planlama yapılmalıdır ($p<0,05$).
 - Genişlik azalanı ve dikey parça yerleştirme koşulu altında, X yerleştirmeye göre planlama yapılmalıdır ($p<0,05$).
 - Diğer ihtimallerde verimlilik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlük hesaplanamamıştır ($p>0,05$).
- Parça yerleştirme ve yerleştirme sabit tutulduğunda;
 - Yatay parça yerleştirme ve X yerleştirme koşulu altında genişlik azalanına göre planlama yapılmalıdır ($p<0,05$).
 - Rotasyonlu parça yerleştirme ve X yerleştirme koşulu altında genişlik azalanına göre planlama yapılmalıdır ($p<0,05$).
 - Diğer ihtimallerde verimlilik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlük hesaplanamamıştır ($p>0,05$).
- Parça yerleştirme ve sıralama sabit tutulduğunda;

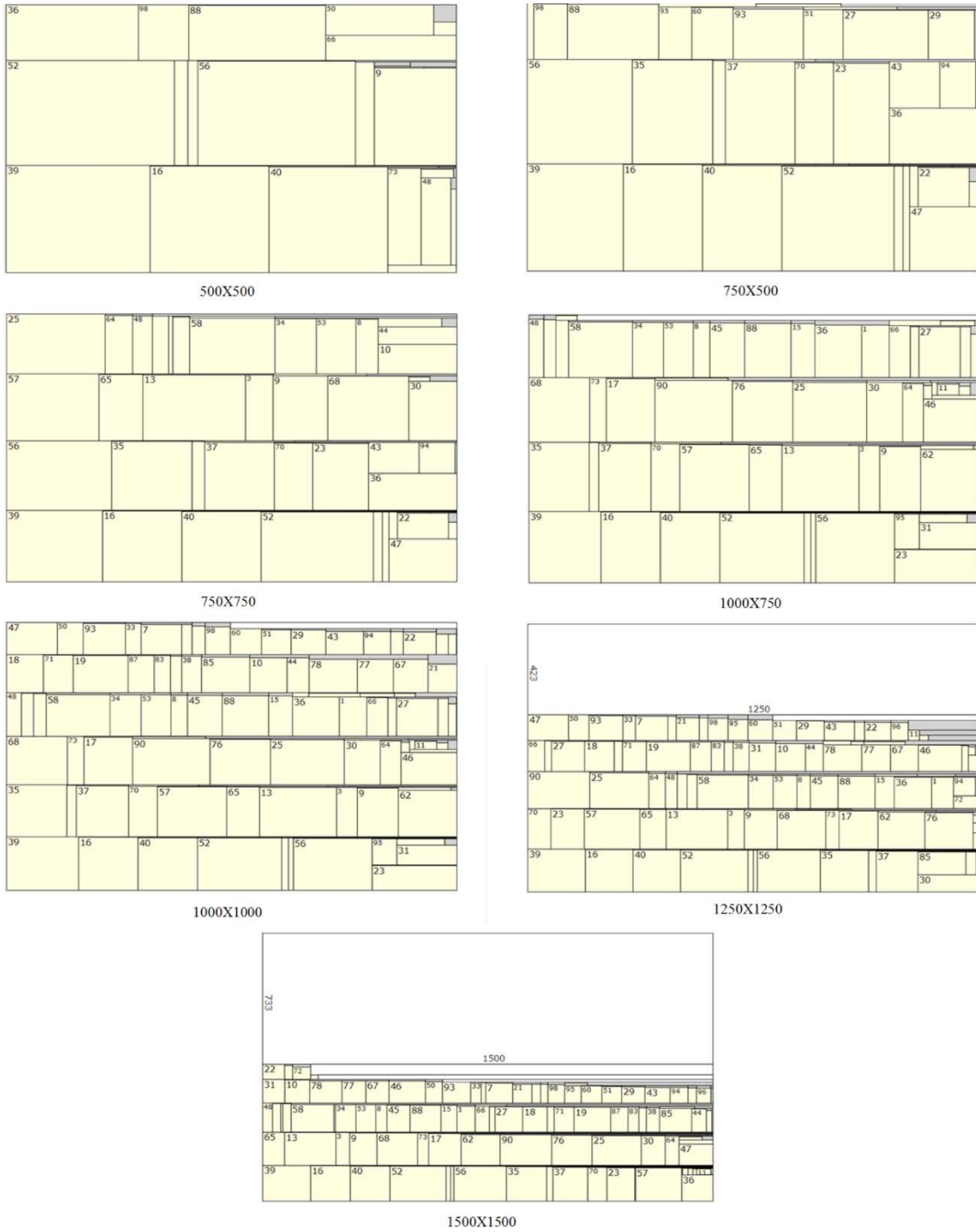
- Yatay parça yerleştirme ve uzunluk azalanı koşulu altında, Y yerleştirmeye göre planlama yapılmalıdır ($p < 0,05$).
- Rotasyonlu parça yerleştirme ve uzunluk azalanı koşulu altında, Y yerleştirmeye göre planlama yapılmalıdır ($p < 0,05$).
- Dikey parça yerleştirme ve genişlik azalanı koşulu altında, X yerleştirmeye göre planlama yapılmalıdır ($p < 0,05$).
- Diğer ihtimallerde verimlilik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlük hesaplanamamıştır ($p > 0,05$).

Sonuçlar değerlendirildiğinde, en uygun iki planlama özelliği;

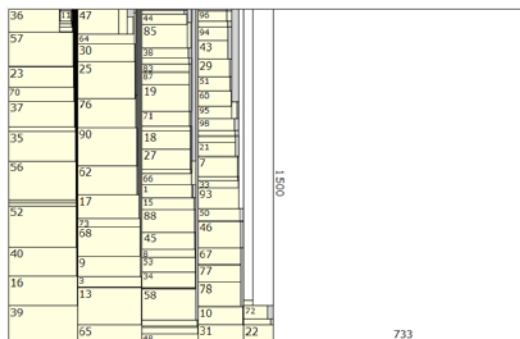
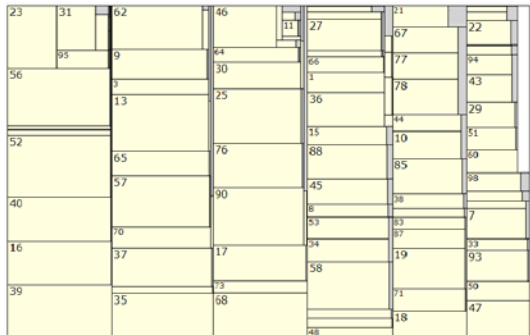
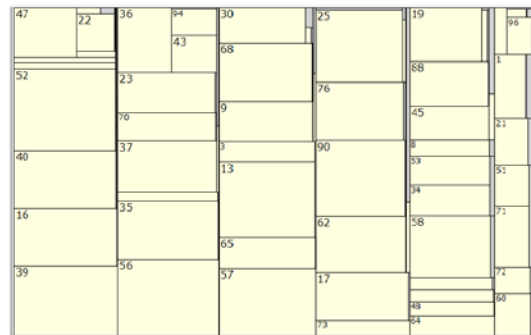
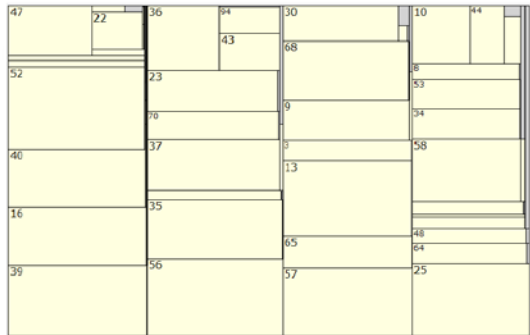
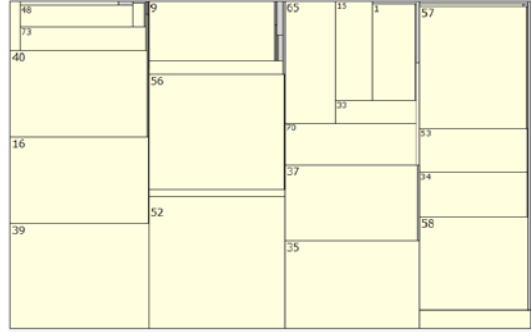
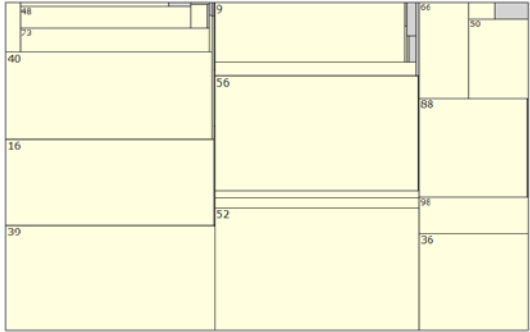
- Parçaların konumu X ekseninde olacaksa, genişlik azalanı ile rotasyonlu parça yerleştirme (Şekil 3.12)
- Parçaların konumu Y ekseninde olacaksa, uzunluk azalanı ile rotasyonlu parça yerleştirme (Şekil 3.13)

şeklinde olmalıdır. Anlaşılacağı üzere, parça yerleştirme hususunda rotasyon faktörü sonucu pozitif yönlü etkilemektedir. Burada bir diğer faktör olarak asimetri göze çarpmaktadır. Eğer parçalar Y ekseninde (yani üst üste komşuluğu olacak şekilde) yerleştirilmek istenirse, azalan sıralaması uzunluğa göre yapılmalıdır. Aksi durumda eğer parçalar X ekseninde (yani yan yana komşuluğu olacak şekilde) yerleştirilmek istenirse, azalan sıralaması uzunluğa göre yapılmalıdır.

**Şekil 3.12. X Eksenli Komşuluklu Genişliğe Göre Sıralanmış Rotasyonlu Kesme Planı
Örnek Blok Görselleri**



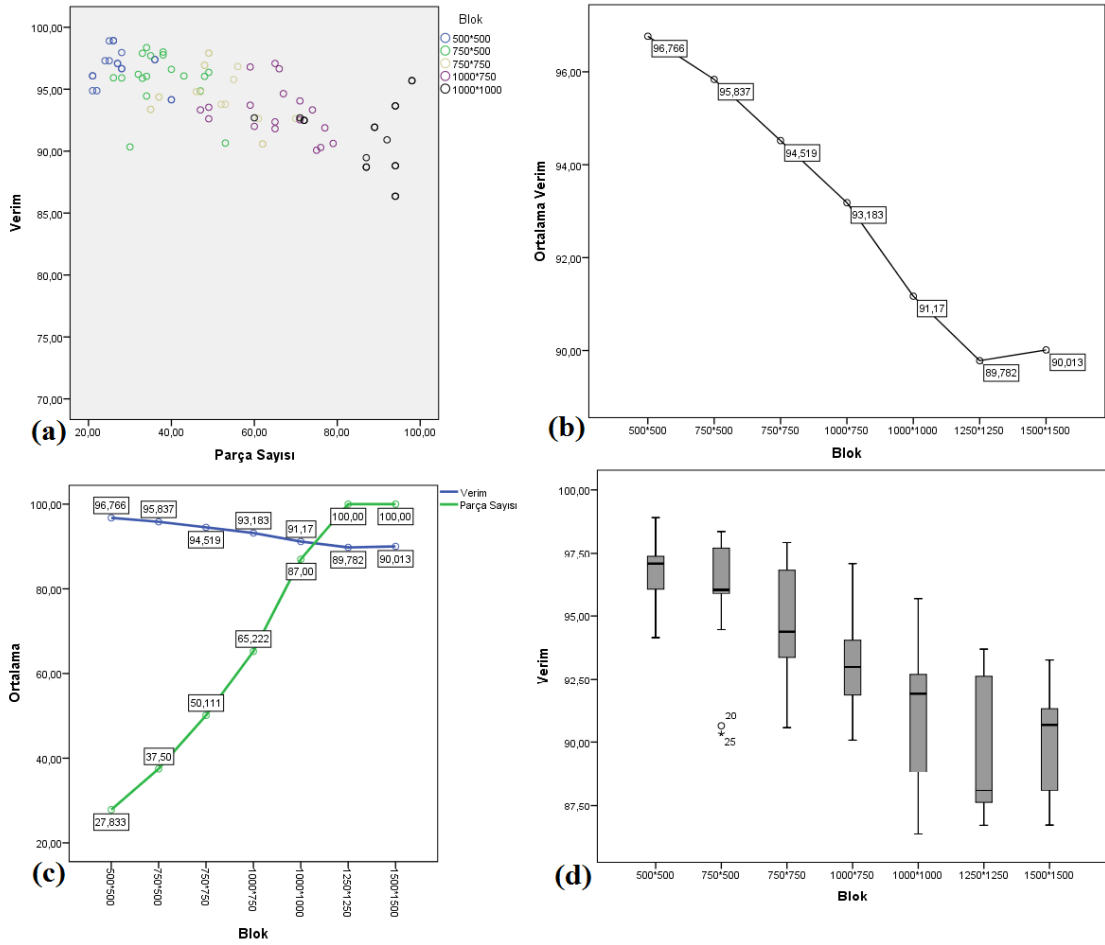
**Şekil 3.13. Y Eksenli Komşuluklu Uzunluğa Göre Sıralanmış Rotasyonlu Kesme Planı
Örnek Blok Görselleri**



1500X1500

Yazılımın etkinliğini değerlendirmek için yapılan bir diğer ölçüm ise blok büyüklüklerine göre verimin ve yerleştirilen parça sayısına göre verimin incelenmesi olmuştur. Belirtilen özelliklere dair istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamasa da, benzer problemleri çözecek kişilerce tercih oluşturması açısından Şekil 3.14'teki grafikler hazırlanmıştır.

Şekil 3.14. Blok, Verim ve Kesilen Parça Sayısı Grafikleri



Şekil 3.14 (a)'da yer alan gösterim kesilen parça sayısının artışına göre verimliliğinin dağılımını göstermektedir. Aynı zamanda yapılan renklendirme ile farklı bloklardaki kesilen parça sayısı ve verim yüzdelerindeki değişim de görülebilmektedir. Grafik incelendiğinde, parça sayısı arttıkça verimin düştüğü anlaşılmaktadır. Renklendirmede oluşan kümelerde ise verim yüzdesi düşük olan blokların büyük alana sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, blok alanının artması ile daha rahat parça yerleşimi yapılacağından, parçalar arasındaki kullanılmayacak kısımların (fire) artacağı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla yapılacak uygulamalarda toplam parça alanının blok

alanından mümkün mertebe büyük olması, sonuçların iyileştirileceğini göstermektedir. Şekil 3.14 (b)'de ise aynı durum daha sade bir şekilde görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta; parçaların tamamının kesme planına dahil edilebildiği ilk boyut olan 1250x1250 boyutlu bloğun en kötü verime sahip olduğu, ancak bir kademe yüksek olan 1500x1500'lük bloktaki yerleşimde verimin arttığı noktasıdır. Buradan parçalardaki büyük asimetrinin (uzunluğun genişliğe göre çok daha büyük olması ya da tam tersi) mevcut olması halinde bloğun boyutlarının büyük parçaya yakın ya da çok daha büyük olmasının verimliliği arttıracığı sonucuna ulaşabilir. Şekil 3.14 (c)'de yukarıda bahsedilen iki durum (a ve b) bir arada görülmektedir. Şekil 3.14 (d)'de ise bloklardaki verimliliğin istatistiksel dağılımının grafiği (box plot) görülmektedir. Buna göre, küçük alanlara sahip bloklarda (500x500; 750x500) verimliliğin daha tutarlı olduğu ve diğer boyutlardaki bloklara göre yüksek olduğu görülmektedir. Blok boyutlarının büyümesi ile seçilen kesme planına göre verimliliklerdeki sapmanın büyüdüğü, aynı zamanda verimliliğin de istikrarlı bir biçimde düştüğü anlaşılmaktadır. Bu durum blok boyutlarının daha da büyümesi ile değişmektedir. Testlerde kullanılan en büyük boyutlu iki blokta (1250x1250; 1500x1500) verimlilikteki sapmanın azaldığı ve ortalamanın yükseldiği hesaplanmıştır.

3.7.BULGULAR

Bu tezin temel amacı olan kesme problemine uygun çözüm bulunmasına ilişkin nihai sonuçlar bu başlık altında yer almaktadır. Veri setindeki Ω olarak kodlanan malzemeye ait sipariş miktarlarına göre kesilen parçaların en uygun kesim planları hazırlanmıştır. Firmanın belirttiği üzere, testere kesiminden 3-5 mm kayıp yaşanmaktadır. Bu durum göz önüne alınarak analizde ortalama 4 mm sabit talaş kaybı yazılımdaki ilgili bölüme eklenmiştir. Çalışmanın bir diğer önermesi olarak sipariş miktarı kendi içerisinde blokta kalan uygun parça ya da parçalara yerleştirmek suretiyle kesim planları oluşturulmuştur. Başlık 3.6.'da bahsedilen test aşamalarına göre ve kullanılan blokların boyutları (5000x300) göz önüne alındığında, çözüm için X eksenine komşuluklu genişlik azalanına göre rotasyonlu parça yerleştirme uygulanmıştır.

İki buçuk boyutlu olarak hazırlanan çözüm önerisinde ortalama verimlilik $\%87,53 \pm 10,93$ olarak hesaplanmıştır. Farklı kalınlıklardaki plakalara bölünmüş olarak iki boyutlu çözümler gerçekleştirilmiştir. Kalınlıklara göre plaka sayıları ile üçüncü

boyut olarak tek boyutlu kesme çözümü hesaplanmıştır. Böylelikle firma için sipariş edilmesi gereken blok sayısına iki buçuk boyutlu çözüm ile ulaşılmış olmaktadır. Farklı kalınlıklara göre plakaların kesim sonucunda ortaya çıkan istatistiksel değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kalınlıklara Göre Kesim İstatistikleri

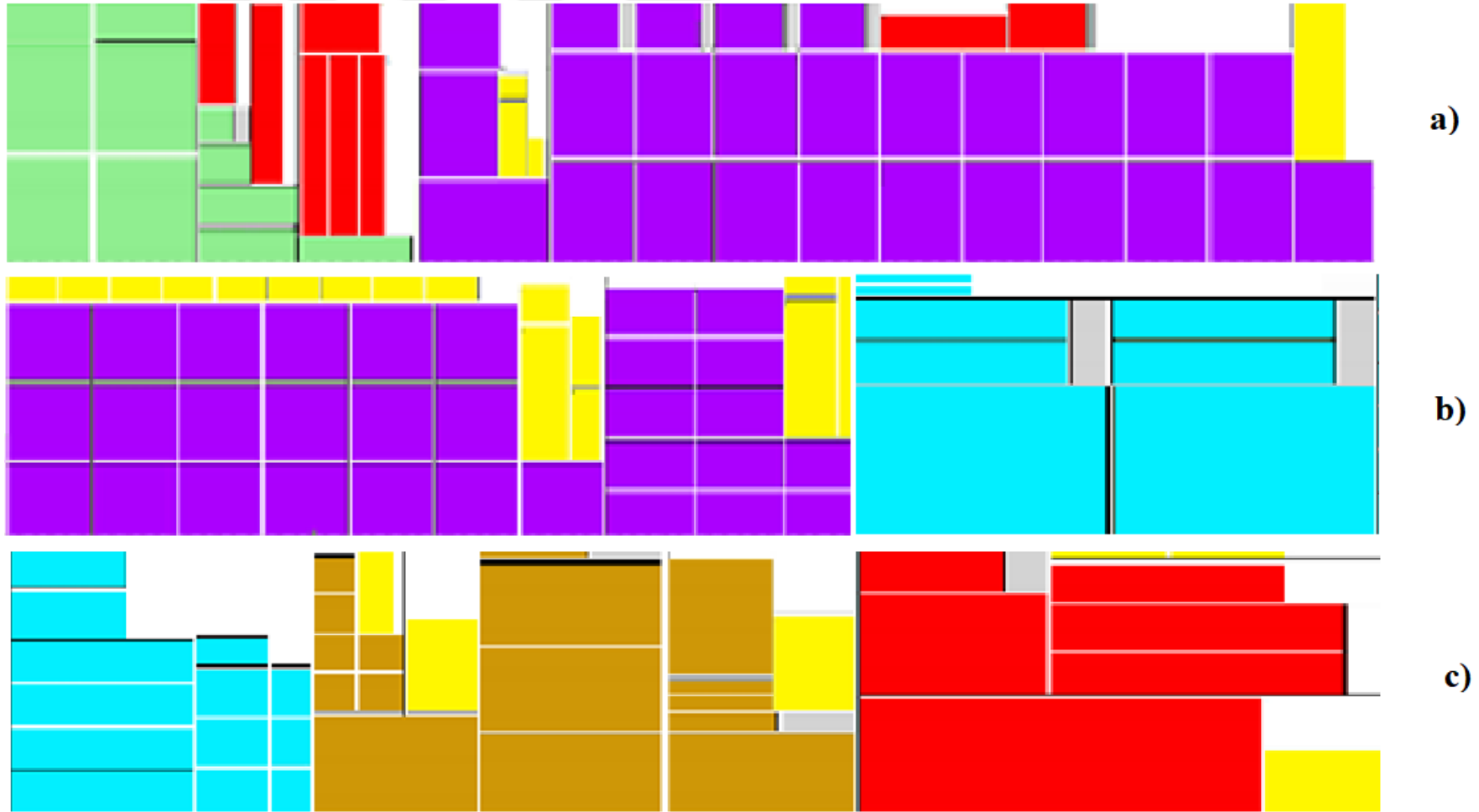
İSTATİSTİKLER	KALINLIK				
	5mm	10mm	15mm	20mm	25mm
SİPARİŞ SAYISI	28	54	48	48	57
KULLANILAN BLOK SAYISI	11	9	8	12	11
İŞ SAYISI	125	92	67	95	84
STOKA DÖNEN BLOKTAN KALAN PARÇA SAYISI	52	30	12	27	29
VERİMLİLİK (%)	87,23±13,23 (50,64-100,00)	84,38±13,40 (53,60-100,00)	90,03±7,63 (73,28-100,00)	89,80±7,42 (72,41-100,00)	87,06±8,55 (62,75-100,00)
FİRE ALANI (m ²)	0,008±0,011 (0,00-0,049)	0,015±0,015 (0,00-0,088)	0,017±0,019 (0,00-0,111)	0,014±0,016 (0,00-0,102)	0,016±0,015 (0,00-0,053)
TALAŞ ALANI (m ²)	0,009±0,012 (0,00-0,059)	0,012±0,011 (0,00-0,060)	0,012±0,013 (0,00-0,061)	0,015±0,045 (0,00-0,436)	0,011±0,011 (0,00-0,053)
KESİM ALANI (m ²)	0,13±0,124 (0,002-1,14)	0,19±0,15 (0,002-1,053)	0,20±0,25 (0,018-1,120)	0,19±0,27 (0,019-1, 244)	0,19±0,25 (0,014-1,220)
STOKTA KALAN BLOK BOYUTLARI	22*75 66*20 36*39 12*95 278*10 80*20 2468*18 1432*23 1439*16 2586*22 2892*18 230*176	683*36 824*44 1427*47 683*35 1058*42 1570*26 875*33	3514*40 2874*40 1865*30 791*46	908*28 4192*32 2572*35 1766*35 1112*35	1016*42 1649*42 1424*42 928*42 816*32

Bulgular incelendiğinde 5 mm kalınlığındaki plakalardan oluşan çözümde verimlilik ortalama %87,23 olarak hesaplanmıştır. Fire alanının talaş alanı ile hemen hemen benzer miktarlarda ve standart sapmada olması, talaş alanının en az fire alanı kadar önemli olduğunu göstermektedir. Kalınlık arttıkça verimliliğin de yükseldiği

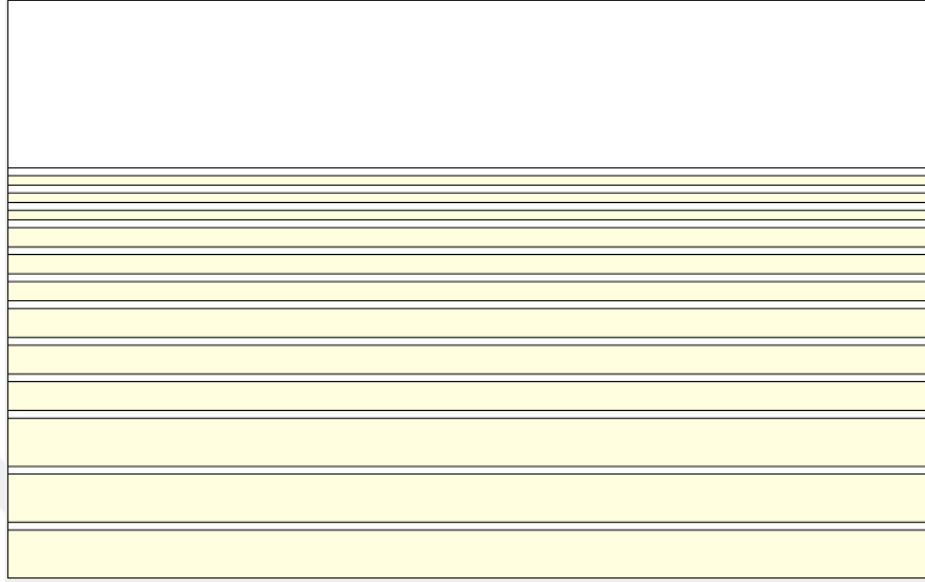
görülmektedir. Aynı şekilde kesim alanının ve fire alanının da arttığı saptanmıştır. Her ne kadar adet bakımından beş mm kalınlığındaki plakalardan stoka dönen miktarlar fazla gözükse de hacimsel olarak diğer kalınlıktaki bloktan kalan parçaların daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 3.15'te programdan elde edilen kesme planlarının örnek 5000x300x25 mm boyutlarındaki bir blokta yerleştirilmiş hali görülmektedir. Bloğun en boy oranındaki büyük orantısızlıktan dolayı kesim planı üçe bölünerek gösterime dahil edilmiştir. Sırası ile yeşil, mor, mavi ve kahverengi ile belirlenmiş olan siparişler bloğa sırası ile yerleştirilmiştir. Kırmızı renk ile belirtilmiş siparişler ise bloğun kalan alanına sığmadığından diğer siparişlerden artakalan uygun alanlara yerleştirilmiştir. Sarı renk ile belirlenen siparişteki parçalar ise tamamen kesim sonucu arta kalan küçük parçalara yerleştirilerek kesim planına dâhil edilmişlerdir.

Şekil 3.15. 25mm Kalınlığındaki Bloğun İki Boyutlu Kesme Planı Örneği

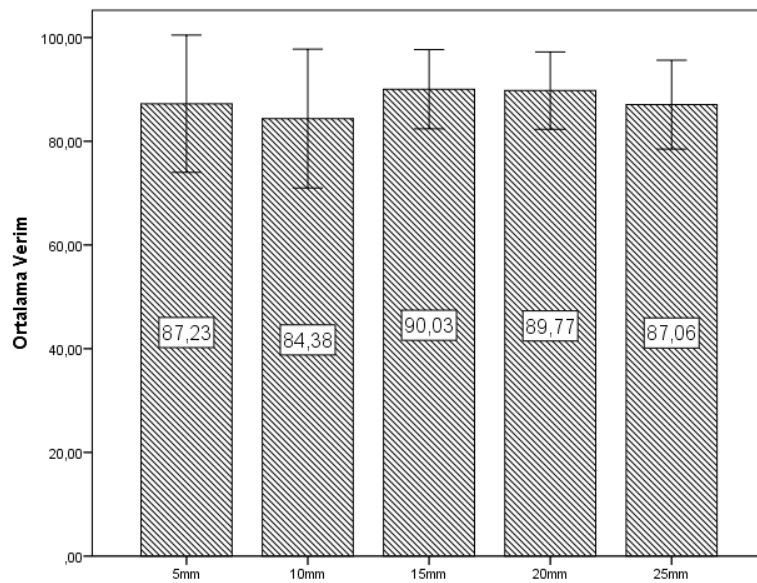


Şekil 3.16. 25-15-10-5 mm Kalınlıklarındaki Blokların Tek Boyutlu Kesme Planı
Örneği



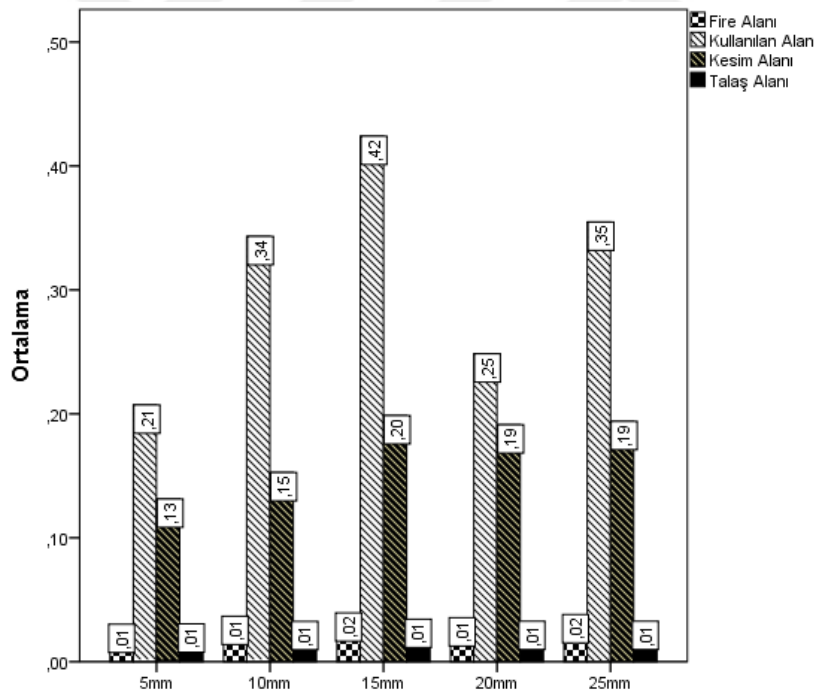
Şekil 3.16'daki gösterim, 2,5 boyutlu kesimin ikinci boyutun üstü olan kısmını ifade etmektedir. Şöyle ki, iki boyutlu plakalar oluşturulduktan sonra, bu blokların kalınlıkları alınarak sabit genişlikte tek boyutlu kesme planlaması uygulanmaktadır. Gösterimde de (Şekil 3.16) farklı kalınlıklardaki blokların nasıl yerleştirileceğine dair gösterim yer almaktadır.

Şekil 3.17. Kalınlıklara Göre Ortalama Verim Miktarları



Şekil 3.17’de farklı kalınlıklara göre plakalardan alınan ortalama verimlilik yüzdeleri görülmektedir. En yüksek ortalama 15 mm kalınlıktaki plakalarda görülmektedir. Tabii ki verimlilik yüzdesinin kalınlık boyutu ile herhangi bir ilişkisi yoktur. Verimlilik yüzdesinin değişmesinin, kalınlık arttıkça parçalardaki uzunluk ve genişlik değerlerinin de artmasıyla alakalı olduğu düşünülmektedir. Yazılımın test edildiği başlıkta da bahsedildiği gibi, en ideal blok boyutunun siparişlerdeki parça boyutlarıyla uyumlu olduğu durumlarda verimliliğin artması burada da yaşanmaktadır. Standart boyuttaki blok yüksek değişkenliği olan parçalarda ve sipariş sırası zorlamasına ancak bu derece yanıt verebilmektedir. Her halükarda uygulama sonuçları test verilerinden çok da farklı değildir. Test verileri ile gerçek veriler arasındaki ortalama verimlilik farkı %6 olarak hesaplanmaktadır. Birinci standart sapma aralığında (76,60-98,46) ise yine de test verilerine ulaşıldığı görülmektedir.

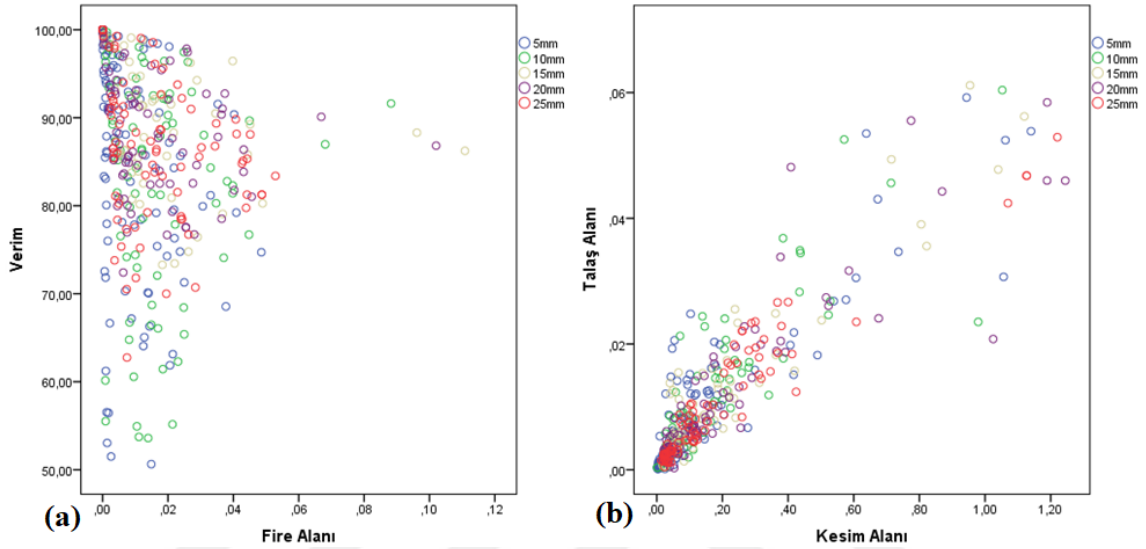
Şekil 3.18. Farklı Kalınlıklara Göre Kesim Alanları



Şekil 3.18’de kesim işlemi ile alakalı alanlar gösterilmektedir. Farklı kalınlıklardaki ortalama fire alanı, kullanılan alan, kesim alanı ve talaş alanı bilgileri yer almaktadır. Bu verilerden anlaşılması gereken, eğer bahsi geçen alanlar büyük ise iş sayısının daha az olduğu, siparişte yer alan parça sayısının ya da parça alanlarının daha

büyük olduğu olacaktır. Bu açıdan bakıldığında eğer siparişlerdeki parçaların sayısı az ve boyutları karmaşık ise fire miktarının artacağı, verimliliğin düşeceği ve stoktan kesime parça taşıma iş sayısının artacağı ön görülmektedir.

Şekil 3.19. Fire Alanı-Verim ile Kesim Alanı-Talaş Alanı Dağılım Grafikleri



Yukarıdaki Şekil 3.19 (a) ve (b)'de fire alanının değişmesine göre verimdeki yüzdeyi gösteren dağılım grafiği ve kesim alanının değişmesine göre talaş alanındaki değişimi gösteren dağılım grafiği yer almaktadır. Aynı zamanda gerekli renklendirme ile farklı kalınlara sahip plakalardaki durum da incelenebilmektedir. Birinci grafikte (a) halkaların yoğunlukla %80-100 verim ve 0,00 - 0,02 m² fire alanı sınırlarında kümelendiği görülmektedir. Stoka dönen parça sayısının fazla olduğu 5 mm ve 10 mm kalınlıktaki plakalarda verimin düştüğü burada şekilsel olarak ifade edilmektedir. Az sayıda olsa da 15 mm ve 20 mm kalınlığındaki plakalarda %80'in üzerinde verim olmasına rağmen, fire alanının büyük olduğu hesaplanmıştır. Böyle bir olasılıkta yeni bloğa atanan yüksek parça sayılı siparişlerin sebep olduğu görülmüştür. İkinci grafikte (b) ise kesim alanı ile talaş alanı arasındaki ilişki görselleştirilmiştir. Anlaşılacağı üzere kesim alanının artması parça sayısının artması anlamına geleceğinden, talaş alanı da aynı ölçüde artış gösterecektir. Şöyle ki, parça sayısının artması ile kesilen yüzey sayısı artmakta, dolayısıyla kesimden ortaya çıkan talaş kaybı da büyümektedir. 15 mm kalınlığındaki plakalarda daha çok parça içeren siparişlerin yer aldığı Şekil 3.19 (b)'den yorumlanabilmektedir.

Talaş miktarı, parça sayısı, blok büyüklüğü, iş sayısı ve verim istatistikleri göz önüne alındığında, hazırlanan çözüm yöntemi yukarıda belirtilen sonuçları üretmiştir. Bahsi geçen değişkenlerdeki uygunluklar göz önüne alındığında, bahsi geçen firma hesaplaması yapılan metal cinsinden (5000x300x300) boyutlarında toplam **dört blok** sipariş vermelidir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde metal blok kesimi yapan bir firmanın gerçek verilerinden yararlanarak, kesim planlarının hazırlanarak ihtiyaç duydukları blok sayısı hesaplanmasına çözüm aranmıştır. Bahsi geçen kesme işlemi dikdörtgensel nesnelere yapılmaktadır. Aynı zamanda kesme sürecinde kullanılan gereç metal bloğun içerisinde hareket ettirilemeyeceğinden, kesme işlemi giyotinli yapılmak zorundadır. Dolayısıyla Türkiye'nin çelik sanayisinde hatırı sayılır yeri olan bir firmanın verimliliğini arttırmak için uygun; giyotinli iki buçuk boyutlu ortogonal kesim problemine çözüm aranmıştır. Problemin çözümünü gerçekleştirmek için ilk olarak paketleme problemi için geliştirilen bir algoritma olan En Az Kalan (LWF) Sezgiseli kesme problemi için uyarlanmıştır. Uyarlanan bu algoritma bir diğer sezgisel olan İlk Uygun Azalan (FFD) Sezgiseli ile birleştirilmiştir. Oluşturulan hibrit yöntem; yerleştirilen parça sayısını en çok hale getirecek sonuca ulaşma süresini ve fire miktarlarını azaltmayı hedeflemektedir.

Bahsi geçen yöntemin NP-zor bir problem olması sebebiyle, gelişmiş bilgisayar teknolojilerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle sezgisellerin çözümünde, optimum çözümü garanti etmeyen fakat kısa sürede kabul edilebilir sonuçlar üreten bir yazılım geliştirilmiştir. Kesme problemini çözmeyi hedefleyen bu program C# dilinde yazılan özgün bir program olma niteliği taşımaktadır.

Uygulanan sezgisel test aşamalarında yüksek verimlilik değeri ile kesme problemine uygun sonuçlar üretme noktasında gerçek hayatta da kullanılabileceğini göstermektedir. Farklı parça boyutlarındaki, farklı parça komşuluklarındaki ve farklı yerleştirme düzenlerine göre test edilen uygulama ortalama olarak %93 verim sonucu üretmiştir. LWF sezgiselinin giyotin kesim eklenmiş ve bu sebeple kesme problemine uyarlanmış hali olan tezde verimliliğin %90'ın üzerinde çıkması, gerçek hayat problemlerinde bu modelin geçerli çözümler üreteceğini vadetmektedir. Literatürde bahsi geçen sezgiselin giyotinli kesime uyarlanmış bir şekilde kullanımına rastlanılmamıştır.

Kullanılan yöntemin Ω firmasındaki gerçek parça miktarlarına uyarlanması sonucunda ortalama verimlilik %87,53 hesaplanmıştır. Kesme, paketleme ve yerleştirme problemlerinde yapılan genel uygulama tek seferde tüm parçaların

modellere dahil edilmesi yönündedir. Ancak tezde gerçek hayat verileri kullanıldığından dolayı, kesim planları mevcut siparişlere göre düzenlenmiştir. Dolayısıyla verimliliğin test verilerine göre düşük çıkması bu duruma bağlanmaktadır. Bu açıdan bakıldığında tezdeki uygulamayı benzer akademik çalışmalardan ayıran bir faktör de kesme planında siparişlerin göz önüne alınması olacaktır. Sipariş miktarlarına göre ayrı ayrı kesme planlarının düzenlenmesi ve bunlar üzerinden verimlilik hesaplanması, dikkate alınamayan fire miktarlarını ortaya çıkarmıştır. Böylece yazılımı kullanan ve kesme işlemini yapan bir yönetici uygun parça düzenlemesini, talaş kaybını, verimi ve ihtiyaç duyduğu hammadde miktarını doğru bir şekilde hesaplayabilmektedir. Mevcut yazılım ile kesme işlemi bilgi sahibi olan bir yönetici hızlı bir şekilde farklı planlamalar ortaya koyarak şirketlerin birinci amacı olan sağ kalım amacını gerçekleştirebilecektir.

Testere kalınlığında yapılacak değişimler ve bu değişimler sonucunda ortaya çıkan kesme planları, ihtiyaçlar doğrultusunda ortaya çıkacak maliyetleri ilgili yöneticilere kolaylıkla gösterebilecektir. Dolayısıyla olası bir teknolojik gelişimin maliyeti de kesme sürecine eklenerek yönetsel süreçteki gerek finans gerek üretim kararlarına bu problemin çözümü yardımıyla destek olunabilecektir. Benzer bir şekilde bu problem ile yapılan iş sayısı da ortaya konulduğundan; stoka girip çıkan malzeme sayısı, stok trafiği, stok hacmi ve buna dayanan personel ihtiyacı da hesaplanabilmektedir.

Kesme probleminin çözümü için kullanılan matematiksel, sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Matematiksel modeller bir problemi çerçevesini çizmek ve geçerli bir çözüm üretebilmek adına kullanılmaktadır. Bunun yanında parça sayısının az olduğu kesme problemlerinde optimum çözüme makul bir zaman dilimi içerisinde ulaşması matematiksel modelleri son derece üstün kılmaktadır. Kesilecek parçaların sayısı arttıkça ihtiyaç halinde uzun süre boyunca çalıştırılarak problemin optimum çözümüne ulaşmak, kullanılan sezgisellerin ideale en yakın değeri ne derece yakalayabildiklerini belirlemek için faydalıdır. Ayrıca parça sayısının (tezde olduğu gibi) kesim problemlerinde beklenenden çok daha uzun sürelerde bile en uygun çözüme ulaşamaması, matematiksel modellerin yapısal bir dezavantajıdır.

Sezgisel modeller matematiksel modellerin yaşattığı değişken büyüklüğüne bağlı uzun çözüm sürelerini ortadan kaldırmaktadır. Çözümüne ihtiyaç duyulan bir probleme

göre uygun bir sezgisel bulmak ya da bu problem için basit ya da karmaşık bir sezgisel geliştirmek mümkündür. Sezgisel yöntemlerin kavramsallaştırılması ve bilgisayar teknolojileri ile kullanılması diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Ancak sezgisel yöntemler matematiksel tekniklerde olduğu gibi kesin çözümü garanti etmemektedir. Bir diğer sorunsal da sezgisel tekniklerin çözüm sürelerinin meta-sezgisel tekniklerden daha uzun olmasıdır. Ancak tezde yer alan siparişlere göre kesim planı oluşturmada, kesilecek parçaların sayılarının fazla olmamasından dolayı, meta-sezgisel tekniklerin süre avantajından faydalanmaya gerek kalmamıştır.

Bu tez çalışmasında yer alan bir kısıt, uygulanan sezgiselin düzenli dikdörtgensel nesnelere üzerine yapılmış olmasıdır. Diğer çalışmalarda; farklı boyutlardaki çokgenler, konveks nesnelere ya da şekilsiz konkav nesnelere ile çözüm aramak olabilecektir. Başka bir açıdan meta-sezgisel teknikler ile yapılan çalışmanın tekrarlanması sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilebilir.

Tezde yer alan sonuçlar değerlendirildiğinde, kesme probleminin endüstrideki bir açığı gidermede faydalı olabileceği düşünülmektedir. Gerek kesme problemi olarak gerekse paketleme ve yerleştirme problemi olarak endüstride yer alan birçok üretim işletmesinde bu yöntemler uygulanabilmektedir. Çalışmadan da anlaşılacağı gibi kesme problemi kapsamında faaliyet gösteren işletmelerde de kendi problemlerinin dinamikleri ortaya konularak verimlilik artırımına gidilebilir. Dolayısıyla endüstrideki aktörler ile yapılan karşılıklı çalışmalar sayesinde üretim yapan şirketlerden yola çıkarak Türk sanayisine pozitif sonuçlar doğurabilecek atılımlar görülebilecektir.

KAYNAKÇA

- AARTS, E., KORST, J. ve MICHIELS, W. (2005). Simulated Annealing. *Search Methodologies* (s. 187-210). Boston: Springer.
- ABOUSLEIMAN, R., RAWASHDEH, O. ve BOIMER, R. (2017). Electric Vehicles Energy Efficient Routing Using Ant Colony Optimization, 6 (1): 1-14.
- AFSHARIAN, M., NIKNEJAD, A. ve WAESCHER, G. (2014). A Heuristic, Dynamic Programming-Based Approach for a Two-Dimensional Cutting Problem with Defects. *OR Spectrum*, 36 (4): 971-999.
- AHN, S., PARK, C. ve YOON, K. (2015). An Improved Best-First Branch and Bound Algorithm for the Pallet-Loading Problem Using a Staircase Structure. *Expert Systems with Applications*, 42: 7676-7683.
- ALOTTO, P., CAITI, A., MOLINARI, G. ve REPETTO, M. (1996). Multiquadrics-Based Algorithm for the Acceleration of Simulated Annealing Optimization Procedures. *IEEE Transactions on Magnetics*, 32 (3): 1198-1201.
- ALVES, C., ve CARVALHO, J. V. (2008). A Stabilized Branch and Price and Cut Algorithm for The Multiple Length Cutting Stock Problem. *Computers & Operations Research*, 35 (4): 1315-1328.
- ANAND, S., MCCORD, C., SHARMA, R. ve BALACHANDER, T. (1999). An Integrated Machine Vision Based System for Solving the Nonconvex Cutting Stock Problem Using Genetic Algorithms. *Journal of Manufacturing Systems*, 18 (6): 396-415.
- ARBIB, C. ve MARINELLI, F. (2005). Integrating Process Optimization and Inventory Planning in Cutting-Stock with Skiving Option: an Optimization Model and Its Application. *European Journal Of Operational Research*, 163 (3): 617-630.
- ASLAN, E. (2014). *Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemine Sezgisel Bir Yaklaşım ve Bir Uygulama*.(Yayınlanmamış Doktora Tezi).Kayseri: Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- ASLAN, E. (2018). *İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme (1 b.)*. Ankara: Seçkin.

- AYAN, T. Y. (1999). *Sezgisel Araştırmanın Araç Rotalama Problemlerinde Kullanılması ve Bir Sezgisel Metod Denenmesi*.(Yayınlanmamış Doktora Tezi). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- BAESLEY, J. E. (1985). Algorithms for Unconstrained Two-Dimensional Guillotine Cutting. *The Journal of the Operational Research Society*, 36 (4): 297-306.
- BAKER, B. S. (1985). A New Proof for the First-Fit Decreasing Bin-Packing Algorithm. *Journal Of Algorithms*, 6 (1): 49-70.
- BAYIR, F. (2012). *Kesme Problemine Sezgisel Bir Yaklaşım*.(Yayınlanmamış Doktora Tezi) İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- BENNELL, J. A. ve DOWSLAND, K. A. (1999). A TABU Thresholding Implementation for the Irregular Stock Cutting Problem. *International Journal of Production Research*, 37 (18): 4259-4275.
- _____, (2001). Hybridising TABU Search with Optimisation Techniques for Irregular Stock Cutting. *Management Science*, 47 (8): 1160-1172.
- BLAZEWICZ, J., DROZDOWSKI, M., SONIEWICKI, B. ve WALKOWIAK, R. (1991). *Two-Dimensional Cutting Problem*. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.
- _____, HAWRYLUK, P. ve WALKOWIAK, R. (1993). Using a TABU Search Approach for Solving the Two-Dimensional Irregular Cutting Problem. *Annals of Operations Research*, 41 (4): 313-325.
- BOLAT, B., EROL, K. O. ve İMRAK, C. E. (2004). Genetic Algorithms in Engineering Applications and the Function of Operators. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma*, 4: 264-271.
- BURKE, E. K., KENDALL, G. ve WHITWELL, G. (2004). A New Placement Heuristic for the Orthogonal Stock-Cutting Problem. *Operations Research*, 52 (4), 655-671.

- _____. (2009). A Simulated Annealing Enhancement of the Best-Fit Heuristic for the Orthogonal Stock-Cutting Problem. *INFORMS Journal on Computing*, 21 (3): 505-516.
- CHAZELLE, B. (1983). The Bottomn-Left Bin-Packing Heuristic: An Efficient Implementation. *IEEE Transactions on Computers*, 32 (8); 697-706.
- CHEN, C. L. S., HART, S. M. ve THAM, W. M. (1996). A Simulated Annealing Heuristic for the One-Dimensional Cutting Stock Problem. *European Journal of Operational Research*, 93 (3): 522-535.
- CHENG, C., FEIRING, B. ve CHENG, T. (1994). The Cutting Stock Problem - A Survey. *International Journal Production Economics*, 36: 291-305.
- CHERRI, A. C., ARENALES, M. N., YANASSE, H. H., POLDI, K. C. ve VIANNA, A. C. (2014). The One-Dimensional Cutting Stock Problem with Usable Leftovers—A Survey. *European Journal of Operational Research*, 236: 395-402.
- CHOPARD, B. ve TOMASSINI, M. (2018). Simulated Annealing. *An Introduction to Metaheuristics for Optimization* (s. 59-79). Cham: Springer.
- CHIONG, R. ve BENG, O. K. (2007). A Comparison Between Genetic Algorithms and Evolutionary Programming Based on Cutting Stock Problem. *Engineering Letters*, 14 (1): 72-77.
- COFFMAN, E. G., Garey, M. R., Johnson, D. S. ve TARJAN, R. E. (1980). Performance Bounds for Level-Oriented Two-Dimensional Packing Algorithms. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 9 (4): 808-826.
- _____ ve GILBERT, E. N. (1984). Dynamic, First-Fit Packings in Two or More Dimensions. *Information and Control*, 61 (1): 1-14.
- CUI, Y. (2008). Heuristic and Exact Algorithms for Generating Homogenous Constrained Three-Stage Cutting Patterns. *Computers & Operations Research*, 35: 212-225.

- _____, CUI, Y.P. ve YANG, L. (2014). Heuristic for the Two-Dimensional Arbitrary Stock-Size Cutting Stock Problem. *Computers & Industrial Engineering*, 78: 195-204.
- _____, ZHONG, C. ve YAO, Y. (2015). Pattern-Set Generation Algorithm for the One-Dimensional Cutting Stock Problem with Setup Cost. *European Journal of Operational Research*, 243: 540-546.
- CUNHA, M. D. ve SOUSA, J. (1999). Water Distribution Network Design Optimization: Simulated Annealing Approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125 (4): 215-221.
- DAGLI, C. H. (1990). Knowledge-Based Systems for Cutting Stock Problems. *European Journal of Operational Research*, 44: 160-166.
- _____, ve HAJAKBARI, A. (1990). Simulated Annealing Approach for Solving Stock Cutting Problem. *1990 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics Conference* (s. 221-223), IEEE. Los Angeles, 4-7 Kasım 1990.
- DAHL, G. ve STOER, M. (2015). A Cutting Plane Algorithm for Multicommodity Survivable Network Design Problems. *INFORMS Journal on Computing*, 10 (1): 1-11.
- DAMOIRS, S., RÖNNQVIST, M. ve WEINTRAUB, A. (2008). Using Operational Research for Supply Chain Planning in the Forest Products Industry. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 4 (46): 265-281.
- DELORME, M., IORI, M. ve MARTELLO, S. (2016). Bin Packing and Cutting Stock Problems: Mathematical Models and Exact Algorithms. *European Journal of Operational Research*, 255: 1-20.
- DEMİR, M. (2015). *Sezgisel Yöntemlerde Altın Oran*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi) Malatya: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- DERELİ, T. ve DAŞ, G. S. (2010). Konteynır Yükleme Problemleri için Karınca Kolonisi Optimizasyonu Yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (4): 881-894.

- DOMINGUEZ, O., JUAN, A. A., BARRIOS, B., FAULIN, J. ve AGUSTIN, A. (2016). Using Biased Randomization for Solving The Two-Dimensional Loading Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet. *Annals of Operations Research*, 236: 236-383.
- DORIGO, M. ve SOCHA, K. (2007). An Introduction to Ant Colony Optimization. *Approximation Algorithms and Metaheuristics* (s. 418-431). New York. Chapman & Hall
- _____ ve STÜTZLE, T. (2010). Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances. *Handbook of Metaheuristics* (s. 227-264). New York: Springer.
- DU, Z., YANG, J., YAO, Z. ve XUE, B. (2002). Modeling Approach of Regression Orthogonal Experiment Design for the Thermal Error Compensation of a CNC Turning Center. *Journal of Materials Processing Technology*, 129: 619-623.
- DUSBERGER, F. ve RAIDL, G. R. (2015). Solving the 3-Staged 2-Dimensional Cutting Stock Problem by Dynamic Programming and Variable Neighborhood Search. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 47: 133-140.
- DYCKHOFF, H. (1990). A Typology of Cutting and Packing Problems. *European Journal of Operational Research*, 44 (2): 145-159.
- _____ ve FINKE, U. (1992). *Cutting and Packing in Production and Distribution a Typology and Bibliography*. Aachen: Springer.
- EMEL, G. G. ve TAŞKIN, Ç. (2002). Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (1): 129-152.
- ENEAL, M., GALANTE, G. ve PANASCIA, E. (2005). The Facility Layout Problem Approached Using a Fuzzy Model and a Genetic Search. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 16: 303-316.
- ENGİN, O. (2001). Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Artırılmasında Parametre Optimizasyonu. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

- ERDOĞMUŞ, P. (2016). Doğadan Esinlenen Optimizasyon Algoritmaları ve Optimizasyon Algoritmalarının Optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4: 293-304.
- ERGÜLEN, A. ve KAZAN, H. (2007). Taşımacılık Sektörünün İşleyiş Süreci, Bulanık Dağıtım Probleminin Tamsayılı Doğrusal Programlama Model Denemesi. *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 3 (6): 109-125.
- ERJAVE, J., GRADISAR, M. ve TRKMAN, P. (2009). Renovation of the Cutting Stock Process. *International Journal of Production Research*, 47 (14): 3979-3996.
- ESHGHI, K. ve JAVANSHIR, H. (2008). A Revised Version of Ant Colony Algorithm for One-Dimensional Cutting Stock Problem. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 15 (4): 341-348.
- FAINA, L. (1999). An Application of Simulated Annealing to the Cutting Stock Problem. *European Journal of Operational Research*, 114: 542-556.
- FARLEY, A. A. (1990). Selection of Stockplate Characteristics and Cutting Style for Two Dimensional Cutting Stock Situations. *European Journal of Operational Research*, 44: 239-246.
- FIDANOVA, S. (2004, June). Ant Colony Optimization for Multiple Knapsack Problem and Model Bias. *International Conference on Numerical Analysis and Its Applications* (s. 280-287), Rousse. 29 Haziran – 3 Temmuz 2004
- FIGUEIRA, J. R., FONSECA, C. M., HALFFMANN, P., KLAMROTH, K., PAQUETE, L. ve RUZIKA, S. (2017). Easy to Say They Are Hard, but Hard to See They Are Easy-Towards a Categorization of Tractable Multiobjective Combinatorial Optimization Problems. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 24: 82-98.
- FOERSTER, H. ve WÄSCHER, G. (1998). Simulated Annealing for Order Spread Minimization in Sequencing Cutting Patterns. *European Journal of Operational Research*, 110 (2): 272-281.

- FREVHILLE, A. (2005). The Multidimensional 0–1 Knapsack Problem: An Overview. *European Journal of Operational Research*, 155: 1-21.
- FURINI, F., MALAGUTI, E. ve THOMOPULOS, D. (2016). Modeling Two-Dimensional Guillotine Cutting Problems via Integer Programming. *INFORMS Journal on Computing*, 28 (4): 736-751.
- GARRIDO, L. ve TERASHIMA-MARIN, H. (2005). Building Hyper-Heuristics Through Ant Colony Optimization for the 2D Bin Packing Problem. *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems* (s. 654-660), Melbourne, 14-16 Eylül 2005.
- GAU, T. ve WAESCHER, G. (1995). CUTGEN1: A Problem Generator for the Standard One-Dimensional Cutting Stock Problem. *European Journal of Operational Research*, 84 (3): 572-579.
- GEHRING, H. ve BORTFELDT, A. (1998). Ein Tabu Search-Verfahren für Containerbeladeprobleme mit Schwach Heterogenem Kistenvorrat. *OR Spektrum*, 20: 237-250.
- GENDREAU, M. ve POTVIN, J. Y. (2010). TABU Search. *Handbook of Metaheuristics* (s. 41-60). New York: Springer.
- GERO, J. S. ve KAZAKOV, V. (1997). Learning and Re-Using Information in Space Layout Problems Using Genetic Engineering. *Artificial Intelligence in Engineering*, 11 (3): 329-334.
- GILMORE, P. C. ve GOMORY, R. E. (1965). Multistage Cutting Stock Problems of Two and More Dimensions. *Operations Research*, 13 (1): 94-120.
- _____, (1966). The Theory and Computation of Knapsack Functions. *Operations Research*, 14 (6): 1045-1074.
- GLOVER, F. (1986). Future Paths for Integer Programming And Links to Artificial Intelligence. *Computer and Operations Research*, 13 (5): 533-549.
- GOLDBERG, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. New York: Addison-Wesley.

- GOLDEN, B. L. (1976). Approaches to the Cutting Stock Problem. *A I I E Transactions*, 8 (2): 265-274.
- GOLINI, R., CANIATO, F. ve KALCHSCHMIDT, M. (2017). Supply Chain Integration Within Global Manufacturing Networks: A Contingency Flow-Based View. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28 (3): 334-352.
- GOMES, A. M. ve OLIVEIRA, J. F. (2006). Solving Irregular Strip Packing Problems by Hybridising Simulated Annealing and Linear Programming. *European Journal of Operational Research*, 171 (3): 811-829.
- GONÇALVES, J. F. (2007). A Hybrid Genetic Algorithm-Heuristic for a Two-Dimensional Orthogonal Packing Problem. *European Journal of Operational Research*, 183 (3): 1212-1229.
- GONZALEZ, Y., MIRANDA, G. ve LEON, C. (2016). Multi-Objective Multi-Level Filling Evolutionary Algorithm for the 3D Cutting Stock Problem. *Procedia Computer Science*, 96: 355-364.
- GÖZÜPEK, D. ve GENÇ, G. (2009). Hücresel Ağlarda Kanal Planlama Problemine TABU Araması Yaklaşımı. *Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı* (s. 251-256). Harran Üniversitesi. Şanlıurfa. 11-13 Şubat 2009
- HANAFI, S. ve FREVILLE, A. (1998). An Efficient TABU Search Approach for the 0–1 Multidimensional Knapsack Problem. *European Journal of Operational Research*, 106 (3): 659-675.
- HIFI, M. (2004). Exact Algorithms for Unconstrained Three-Dimensional Cutting Problems: a Comparative Study. *Computers & Operations Research*, 31: 657-674.
- HINTERDING, R. ve KHAN, L. (1993). Genetic Algorithms for Cutting Stock Problems: With and Without Contiguity. *Progress in Evolutionary Computation* (s. 166-186). Melbourne. 16 Kasım.
- HINXMAN, A. (1980). The Trim-Loss and Assortment Problems: A Survey. *European Journal of Operational Research*, 5 (1): 8-18.

- HOPPER, E. ve TURTON, B. (2001). An Empirical Investigation of Meta-Heuristic and Heuristic Algorithms for a 2D Packing Problem. *European Journal of Operational Research*, 128 (1): 34-57.
- JAHROMI, M. H., TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R., MAKUI, A. ve SHAMSI, A. (2012). Solving an One-Dimensional Cutting Stock Problem by Simulated Annealing and TABU Search. *Journal of Industrial Engineering International*, 8 (24) : 2-8.
- KALEKA, A. ve MORGAN, N. A. (2017). Which Competitive Advantage(s)? Competitive Advantage–Market Performance Relationships in International Markets. *Journal of International Marketing*, 25 (4): 25-49.
- KAPLAN, R. S. (1994). Management Accounting (1984-1994): Development of New Practice and Theory. *Management Accounting Research*, 5 (3): 247-260.
- KESKİN, F. D. (2015). Tek Boyutlu Kesme Problemi: Bir İşletme Uygulaması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17 (1): 180-196.
- KESKİNTÜRK, T. ve SÖYLER, H. (2006). Global Karınca Kolonisi Algoritması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4): 689-698.
- KIRKPATRICK, S., GELATT, C. D. ve VECCHI, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220 (4598), 671-680.
- KONG, M. TIAN, P. ve KAO, Y. (2008). A New Ant Colony Optimization Algorithm for the Multidimensional Knapsack Problem. *Computers & Operations Research*, 35: 2672-2683
- LAI, K. ve CHAN, J. (1997). Developing A Simulated Annealing Algorithm for The Cutting Stock Problem. *Computers and Industrial Engineering*, 32: 115-127.
- LEAO, A. A., CHERRI, L. H. ve ARENALES, M. N. (2014). Determining the K-Best Solutions of Knapsack Problems. *Computers&OperationsResearch*, 49: 71-82.
- LEE, Y. H. ve LEE, M. H. (2002). A Shape-Based Block Layout Approach to Facility Layout Problems Using Hybrid Genetic Algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 42: 237-248.

- LEVINE, J. ve DUCATELLE, F. (2004). Ant Colony Optimization and Local Search for Bin Packing and Cutting Stock Problems. *The Journal of the Operational Research Society*, 55 (7): 705-716
- LEUNG, T., YUNG, C. ve TROUTT, M. D. (2001). Applications of Genetic Search and Simulated Annealing to the Two-Dimensional Non-Guillotine Cutting Stock Problem. *Computers and Industrial Engineering*, 40: 201-214.
- LIU, D. ve TENG, H. (1999). An Improved BL-Algorithm for Genetic Algorithm of the Orthogonal Packing of Rectangles. *European Journal of Operational Research*, 112: 413-420.
- LODI, A., MARTELLO, S. ve VIGO, D. (1999). Heuristic and Metaheuristic Approaches for a Class of Two-Dimensional Bin Packing Problems. *INFORMS Journal on Computing*, 11 (4), 345-357.
- _____ ve MONACI, M. (2002). Two-Dimensional Packing Problems: A Survey. *European Journal of Operational Research*, 141 (2): 241-252.
- LU, Q., WANG, Z. ve CHEN, M. (2008). An Ant Colony Optimization Algorithm For The One-Dimensional Cutting Stock Problem With Multiple Stock Lengths. *2008 Fourth International Conference on Natural Computation* (s. 475-479). Jinan. 18-20 Ekim 2008
- LUTFIYYA, H., MCMILLIN, B., POSHYANONDA, P. ve DAGLI, C. (1992). Composite Stock Cutting Through Simulated Annealing. *Mathematical and Computer Modelling*, 16 (1): 57-74.
- MACEDO, R., ALVES, C. ve CARVALHO, J.M.V. (2010). Arc-Flow Model for the Two-Dimensional Guillotine Cutting Stock Problem. *Computers & Operations Research*, 37: 991-1001.
- MARTELLO, S., MONACI, M. ve VIGO, D., (2003). An Exact Approach to the Strip-Packing Problem. *INFORMS Journal on Computing*, 15 (3): 310-319.
- MARTIN, R. R. ve STEPHENSON, P. C. (1988). Putting Objects into Boxes. *Computer Aided Design*, 20 (9): 506-514.

- MATOUSEK, J. ve GAERTNER, B. (2007). *Understanding and Using Linear Programming*. Berlin: Springer.
- MATSUMOTO, K., UMETANI, S. ve NAGAMOCHI, H. (2011). On the One-Dimensional Stock Cutting Problem in the Paper Tube Industry. *Journal of Scheduling*, 14 (3): 281-290.
- MENG, G., HERAGU, S. S. ve ZIJM, H. (2004). Reconfigurable Layout Problem. *International Journal of Production Research*, 42 (22): 4709-4729.
- MIRHASSANI, S. A. ve BASHIRZADEH, A. J. (2015). A GRASP Meta-Heuristic for Two-Dimensional Irregular Cutting Stock Problem. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81: 455-464.
- MOHAMED, B. M. A. ve ADNAN, Y. (2009). Optimization by Ant Colony Hybride for the Bin-Packing Problem. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49: 354-357.
- MUKHACHEVA, E. A. ve MUKHACHEVA, A. S. (2006). L. V. Kantorovich and Cutting-Packing Problems: New Approaches to Combinatorial Problems of Linear Cutting And Rectangular Packing. *Journal of Mathematical Sciences*, 133 (4): 1504-1512.
- OLIVEIRA, J. F. ve FERREIRA, J. S. (1990). An Improved Version of Wang's Algorithm for Two-Dimensional Cutting Problems. *European Journal of Operational Research*, 44: 256-266.
- ONWUBOLU, G. C. ve MUTINGI, M. (2001). A Genetic Algorithm Approach to Cellular Manufacturing Systems. *Computers & Industrial Engineering*, 39 (1): 125-144.
- ÖZBAKIR, L. (2004). Çok Objektifli Esnek Atölye Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Modellenmesi, Analizi ve Çözümü.(Yayımlanmamış Doktora Tezi). Kayseri: Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- ÖZGÜVEN, C. (2003). *Doğrusal Programlama ve Uzantıları*. Ankara: Detay Yayıncılık.

- PAVLYUKEVICH, I. (2007). Levy Flights, Non-Local Search and Simulated Annealing. *Journal of Computational Physics*, 226: 1830-1844.
- PARADA, V., SEPULVEDA, M., SOLAR, M. ve GOMES, A. (1998). Solution for the Constrained Guillotine Cutting Problem by Simulated Annealing. *Computers & Operations Research*, 25 (1): 37-47.
- PETRIDIS, V., KAZARLIS, S. ve BAKIRTZIS, A. (1998). Varying Fitness Functions in Genetic Algorithm Constrained Optimization: the Cutting Stock and Unit Commitment Problems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 28 (5): 629-640.
- PISINGER, D. (2002). Heuristics for The Container Loading Problem. *European Journal of Operational Research*, 141 (2): 382-392.
- PIYACHAYAWAT, T. ve MUNGWATTANA, A. (2017). A Hybrid Algorithm Application for the Multi-Size Pallet Loading Problem Case Study: Lamp and Lighting Factory. *4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)* (s. 100-105). Nagoya. 27-29 Nisan 2017
- POLDI, K. C. ve ARENALES, M. N. (2009). Heuristics for the One-Dimensional Cutting Stock Problem with Limited Multiple Stock Lengths. *Computers & Operations Research*, 36: 2074-2081.
- PUREZA, V. ve MORABITO, R. (2006). Some Experiments with a Simple TABU Search Algorithm for the Manufacturer's Pallet Loading Problem. *Computers & Operations Research*, 33 (3): 804-819.
- QI, D., ZHANG, S., LIU, M. ve LEI, Y. (2017). An Improved Hierarchical Genetic Algorithm for Collaborative Optimization of Manufacturing Processes in Metal Structure Manufacturing Systems. *Advances in Mechanical Engineering*, 9 (3): 1-10.
- QUEIROZ, T. A., MIYAZAWA, F. K., WAKABAYASHI, Y. ve XAVIER, E. C. (2012). Algorithms for 3D Guillotine Cutting Problems: Unbounded Knapsack, Cutting Stock and Strip Packing. *Computers & Operations Research*, 39 (2): 200-212.

- REEVES, C. R. (2010). Genetic Algorithms. *Handbook of Metaheuristics* (s. 109-139). Montreal: Springer.
- ROSS, K. W. ve TSANG, D. H. (1989). The Stochastic Knapsack Problem. *IEEE Transactions on Communications*, 37 (7): 740-747.
- SCHMITZ, T. ve ZIEGERT, J. (1999). Examination of Surface Location Error Due to Phasing of Cutter Vibrations. *Precision Engineering*, 23: 51-62.
- SHET, C. ve DENG, X. (2000). Finite Element Analysis of the Orthogonal Metal Cutting Process. *Journal of Materials Processing Technology*, 105 (1): 95-109.
- SILVA, E., ALVELOS, F. ve CARVALHO, J. V. (2010). An Integer Programming Model for Two- and Three-Stage Two-Dimensional. *European Journal of Operational Research*, 205 (3), 699-708.
- SINGH, N. K. ve BAIDYA, S. (2013). A Novel Work for Bin Packing Problem by Ant Colony Optimization. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2 (2): 71-73.
- SONG, C., JIANG, J., BAI, S. ve BAO, L. (2013). An Improved Artificial Fish Swarm Algorithm for Cutting Stock Problem. *Ninth International Conference on Natural Computation* (s. 501-505). Shenyang. 23-25 Temmuz 2013
- SÖKE, A. ve BİNGÜL, Z. (2004). Genetik Algoritmaların Farklı Çaprazlama Teknikleriyle İki Boyutlu Kesme Problemlerine Uygulanışı. *Politeknik Dergisi*, 7 (1): 1-11.
- _____, (2005). İki Boyutlu Giyotinsiz Kesme Problemlerinin Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile Çözümlerinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 8 (1) 23-35.
- STEUDEL, H. J. (1979). Generating Pallet Loading Patterns: A Special Case of the Two-Dimensional Cutting Stock Problem. *Management Science*, 25 (10): 997-1004.
- SULIMAN, S. (2006). A Sequential Heuristic Procedure for the Two-Dimensional Cutting-Stock Problem. *International Journal of Production Economics*, 99 (1): 177-185.

- SÜRSAL, G. (1980). Stok Kesim Problemleri ve Doğrusal Programlamaya Dayanan Bir Çözüm Yöntemi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 9 (1): 89-108.
- SWEENEY, P. E. ve PATERNOSTER, E. R. (1992). Cutting and Packing Problems: a Categorized, Application-Orientated Research Bibliography. *Jornal of Operational Research Society*, 43 (7): 691-706.
- TAHA, H. (2000). *Yöneylem Araştırması*. Çev. Ş. A. Baray ve Ş. Esnaf. İstanbul: Literatür Yayınları.
- TAY, F. E., CHONG, T. Y. ve LEE, F. C. (2002). Pattern Nesting on Irregular-Shaped Stock Using Genetic Algorithms. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 15 (6): 551-558.
- TERZİ, Ü. ve CİHAN, A. (2011). Dikişli Boru Üreten Bir İşletmede Sac Dilme İşleminin Optimizasyonu. *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu* (s. 819-824). İstanbul Ticaret Üniversitesi. İstanbul. 23-24 Haziran 2011.
- TOMAT, L. GRADISAR, M. (2017). One-Dimensional Stock Cutting: Optimization of Usable Leftovers in Consecutive Orders. *Central European Journal of Operations Research*, 25 (2): 473-489.
- TOPAL, E. S. ve ÇOĞUN, C. (2006). BSD Tornalamada İşleme Hataları ve Düzeltme Stratejileri Üzerine Bir Derleme Çalışması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (1): 142-151.
- TÜZEMEN, A. (2014). *Ameliyathanede Malzeme Planlaması: Ameliyathane Operasyon Reçetesi (AOR) ile Yeni Randevu Sisteminin Tasarımı ve Bir Uygulama*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
- UMETANI, S., YAGIURA, M. ve IBARAKI, T. (2003). One-Dimensional Cutting Stock Problem to Minimize The Number of Different Patterns. *European Journal of Operational Research*, 146 (2): 388-402.

- UNGER, R. ve MOULT, J. (1993). Finding the Lowest Free Energy Conformation of a Protein is an Np-Hard Problem: Proof And Implications. *Bulletin of Mathematical Biology*, 6 (55): 1183-1198.
- VALDES, R. A. ve PARAJON, A. (2002). A TABU Search Algorithm for Large-Scale Guillotine (Un)Constrained Two-Dimensional Cutting Problems. *Computers & Operations Research*, 29 (7): 925-947.
- _____, ve TAMARIT, J. M. (2002). A Computational Study of LP-Based Heuristic Algorithms for Two-Dimensional Guillotine Cutting Stock Problems. *OR Spectrum*, 24 (2): 179-192.
- _____, PARRENO, F. ve TAMARIT, J. M. (2005). A TABU Search Algorithm for The Pallet Loading Problem. *Or Spectrum*, 27 (1): 43-61.
- _____, (2007). A TABU Search Algorithm for a Two-Dimensional Non-Guillotine Cutting Problem. *European Journal of Operational Research*, 183 (3): 1167-1182.
- VANDERBECK, F. (2015). A Nested Decomposition Approach to a Three-Stage, Two-Dimensional Cutting-Stock Problem. *Management Science*, 47 (6): 864-879.
- VANZELA, M., MELEGA, G. M., RANGEL, S. ve ARAUJO, S. A. (2017). The Integrated Lot Sizing and Cutting Stock Problem with Saw Cycle Constraints Applied to Furniture Production. *Computers and Operation Research*, 79: 148-160.
- VIEGAS, J. L., VIEIRA, S. M., HENRIQUES, E. M. ve SOUSA, J. M. (2014). A TABU Search Algorithm for the 3D Bin Packing Problem in the Steel Industry. *CONTROLO'2014-Proceedings of the 11th Portuguese Conference on Automatic Control* (s. 355-365).Porto. 21-23 Temmuz 2014.
- WAESCHER, G., HAUSSNER, H. ve SCHUMANN, H. (2007). An Improved Typology of Cutting and Packing Problems. *European Journal of Operational Research*, 183 (3): 1109-1130.

- WAGNER, B. J. (1999). A Genetic Algorithm Solution for One-Dimensional Bundled Stock Cutting. *European Journal of Operational Research*, 117 (2): 368-381.
- WANG, P. Y. (1983). Two Algorithms for Constrained Two-Dimensional Cutting Stock Problems. *Operations Research*, 31 (3): 573-586.
- WEI, L., ZHANG, D. ve CHEN, Q. (2009). A Least Wasted First Heuristic Algorithm for the Rectangular Packing Problem. *Computers and Operation Research*. 36: 1608-1614.
- WEINGARTNER, H. M. ve NESS, D. N. (1967). Methods for the Solution of the Multidimensional 0/1Knapsack Problem. *Operations Research*, 15 (1): 83-103.
- WU, H., LEUNG, S. C., SI, Y. W., ZHANG, D. ve LIN, A. (2016). Three-Stage Heuristic Algorithm for Three-Dimensional Irregular Packing Problem. *Applied Mathematical Modelling*, 41: 431-444.
- YANG, C.T., SUNG, T.C. ve WENG, W.C. (2006). An Improved TABU Search Approach With Mixed Objective Function for One-Dimensional Cutting Stock Problems. *Advances in Engineering Software*, 37 (8): 502-513.
- YANG, B., LI, C., HUANG, L., TAN, Y. ve ZHOU, C. (2009). Solving One-Dimensional Cutting-Stock Problem Based On Ant Colony Optimization. *2009 Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC* (s. 1188-1191). Seoul. 25-27 Ağustos 2009
- YANG, X.S. (2010). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*. United Kingdom: Luniver Press.
- ZACHARIADIS, E. E., TARANTILIS, C. D. ve KIRANOUDIS, C. T. (2009). A Guided TABU Search for the Vehicle Routing Problem with Two-Dimensional Loading Constraints. *European Journal of Operational Research*, 195 (3): 729-743.

ZHANG, Z., CHENG, W., TANG, L. ve CHENG, Y. (2007). Improved Ant Colony Optimization for One-Dimensional Bin Packing Problem With Precedence Constraints. *Third International Conference on Natural Computation*(s. 539-543). Haikou. 24-27 Ağustos 2007

İnternet Kaynakları

(URL1). 21.10.2018 tarihinde <https://neos-guide.org/content/optimization> adresinden alındı

(URL2). 21.10.2018 tarihinde <https://neos-guide.org/content/optimization-taxonomy> adresinden alındı

EK

PROGRAMIN PSEUDO KODLARI

Klavyeden herbir Blok için bilgileri al ve bilgileri bir diziye yerleştir

Blok sayısı = Blok hesaplanır

Blok uzunluk ve genişlik değerlerini “Blok_Boyutları” tablosuna aktar

Blokların boyutlarına göre Alan Değişkeni hesapla ve Blok_Boyutları tablosuna ekle

(Blok_Boyutları, Alan) = (Blok_Boyutları, Uzunluk) x (Blok_Boyutları, Genişlik)

Blok_Boyutları = (Blok_No, Blok_Uzunluk, Blok_Genişlik, Blok_Alan)

B_Uzunluk = Blok Uzunluğu

B_Genişlik = Blok Genişliği

B_Alan = Blok Alanı

Metin Dosyasından herbir Parça için bilgileri al

Parça sayısı = Parça hesaplanır

Parça uzunluk ve genişlik değerlerini “Parça_Boyutları” tablosuna aktar

Parçaların boyutlarına göre Alan Değişkeni hesapla ve Parça_Boyutları tablosuna ekle

(Parça_Boyutları, Alan) = (Parça_Boyutları, Uzunluk) x (Parça_Boyutları, Genişlik)

Parça_Boyutları = (Parça_No, Parça_Uzunluk, Parça_Genişlik, Parça_Alan)

P_Uzunluk = Parça Uzunluğu

P_Genişlik = Parça Genişliği

P_Alan = Parça Alanı

Parçaların pozisyon bilgilerini kaydeden “Pozisyon” tablosu oluştur. (P_X, P_Y,

P_Uzunluk, P_Genişlik)

P_X = X pozisyonu

P_Y = Y pozisyonu

P_Uzunluk = Parça Uzunluğu

P_Genişlik = Parça Genişliği

Parça dizisindeki elemanları azalan sırada düzenle

Loop(Sıralama) Başla (Sıralama=1) ise

Parça_Boyutları (Alan_Listesi, Azalan)

Eğer (Sıralama=2)

Parça_Boyutları (Parça_Boyutları.Uzunluk, Azalan)

Eğer (Sıralama=3)

Parça_Boyutları (Parça_Boyutları.Genişlik, Azalan)

Loop(Sıralama) Son

Kenar Temizleme Miktarını Kaydet

ÜstT=Blok Üstünden Temizleme Miktarı

AltT=Blok Altından Temizleme Miktarı

SağT=Blok Sağından Temizleme Miktarı

SolT=Blok Solundan Temizleme Miktarı

Kenar Temizleme Miktarını blok boyutlarından çıkar ve blok boyutlarını güncelle

//Blok boyutlarına eklenen kenar temizleme miktarı ile asıl kesim yapılacak alan belirlenmiş olmaktadır//

B_Uzunluk=B_Uzunluk-(SağT+SolT)

B_Genişlik=B_Genişlik-(ÜstT+AltT)

Testere Kalınlığı bilgisini al

T_Kalınlık= Testere Kalınlığı

T_Kalınlık değişkeninin parça pozisyon bilgisine ekle ve parça pozisyon bilgisini güncelle

P_X=P_X+T_Kalınlık

P_Y=P_Y+T_Kalınlık

// Testere kalınlığı, parçaların pozisyon bilgisine eklenmektedir. Böylelikle sadece tek yönlü büyüme ve tek bir parçada büyüme sağlanarak, parçaların mükerrer uzaması ya da genişlemesi önlenmiş olmaktadır.//

Blok=0 // blok sayacı

Parça=0 // parça sayacı

P_X=0

P_Y=0

//İlk yerleşimin koordinat değeri sıfır olarak alınır.//

Kesme İşlemi gerçekleştirilir

Döngü1

Sıralama bilgisine ve testere kalınlığına göre ilk değişken seçilir ve yerleştirme

yapılır.

İlk parçanın yerleşimine göre blok bölünür

Oluşan yeni üç adet blok bilgisi güncellenir.

Blok_Boyutları1=(Blok_No, Blok_Uzunluk2, Blok_Genişlik2, Blok_Alan2)

B_Uzunluk1=Blok Uzunluğu1

B_Genişlik1=Blok Genişliği1

B_Alan1=Blok Alanı1

Blok_Boyutları2=(Blok_No, Blok_Uzunluk2, Blok_Genişlik2, Blok_Alan2)

B_Uzunluk2=Blok Uzunluğu2

B_Genişlik2=Blok Genişliği2

B_Alan2=Blok Alanı2

Blok_Boyutları3=(Blok_No, Blok_Uzunluk3, Blok_Genişlik3, Blok_Alan3)

B_Uzunluk3=Blok Uzunluğu3

B_Genişlik3=Blok Genişliği3

B_Alan3=Blok Alanı3

B_Uzunluk3=0

B_Genişlik3=0

B_Alan3=0

//Blok3 kukla olarak elde tutulur.//

İlk parçanın yerleştirildiği Blok1'e diğer en uygun parça yerleştirilir.

En uygunluk değeri = $\min(P_Uzunluk_i, P_Uzunluk_{i+1})$

Döngü2

B_Alan1 < P_Alan ise Blok2'ye yerleştirme yapılır.

Blok2 ilk parçanın yerleşimine göre çocuk blok ikiye bölünür.

Blok2 ve Blok 3 olarak tanımlanır.

Blok_Boyutları2=Blok_Boyutları1

Blok_Boyutları3=Blok_Boyutları2

En uygun değere göre parça yerleşimleri yapılır.

Eğer Parça=0 ise Döngü2 sonlandırılır ve kesme planı çizilir.

Eğer B_Alan=0 ve Parça>0 ise yeni blok alınır.

Eğer B_Alan=0 ve Parça=0 ise Döngü1 sonlandırılır

Kesme planı çizilir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selim ÇAM
Doğum Yılı ve Yeri : 1985, İstanbul

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : İstatistik
Yüksek Lisans Öğrenimi : İşletme ABD, Sayısal Yöntemler BD
Yabancı Dili : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi : Memur
(Cumhuriyet Üniversitesi Araş. ve Uyg. Hastanesi)

İletişim

E-Posta Adresi :