

**DİKDÖRTGEN ŞEKLİLİ MALZEME
KESME PROBLEMLERİ İÇİN GENETİK
ALGORİTMA TABANLI ÇOK ÖLÇÜTLÜ
BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI**

Gülay GÜMÜŞ
Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Mart-2012

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Gülay GÜMÜŞ'ün “**Dikdörtgen Şekilli Malzeme Kesme Problemleri İçin Genetik Algoritma Tabanlı Çok Ölçütlü Bir Çözüm Yaklaşımı**” başlıklı **Endüstri Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 04/02/2012 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. Nil ARAS	
Üye : Yrd.Doç.Dr.Berna ULUTAŞ	
Üye : Yrd.Doç.Dr.İlgın POYRAZ ACAR	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİKDÖRTGEN ŞEKLİ MALZEME KESME PROBLEMLERİ İÇİN GENETİK ALGORİTMA TABANLI ÇOK ÖLÇÜTLÜ BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Gülay GÜMÜŞ

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nil ARAS

2012, 96 sayfa

Malzeme kesme ve istifleme ya da fire kaybı olarak adlandırılan problemler, üretimde sık rastlanılan kaynak kullanımı sorunlarından biridir. Problemin ve uygulama alanlarının çeşitliliğine bağlı olarak, temelde aynı mantıksal yapıya sahip olan fakat farklı isimler altında kaynaklarda geçen birçok problemin bir malzeme kesme problemine dönüştürülmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada öncelikle, İki boyutlu dikdörtgen şekilli stok kesme problemleri üzerine yapılmış onlarca yayın ele alınarak çeşitli yönleriyle sınıflandırılmakta, daha sonra geliştirilen genetik algoritma tabanlı çok ölçütlü bir yaklaşım sunulmaktadır. Geliştirilen yöntemde; ana malzeme üzerine atanacak olan parçaların yerleşim sırasını belirlemek için genetik algoritma kullanılmakta, belirlenmiş bu sıraya göre parçaların ana levha üzerine yerleştirilmesinde ise literatürde var olan üç farklı yerleştirme algoritmasından yararlanılmaktadır. Genetik algoritma ile belirlenmiş olan sıraya göre üç farklı yerleşim planı elde edilmektedir. Kesme planlarının fire, maliyet, plan sayısı ve tekrar kullanılabilirlik değerleri çok ölçütlü karar verme tekniği olan TOPSIS mantığına göre değerlendirilerek uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanmaktadır. Böylece ele alınan problem için, dört farklı ölçüte göre en iyi değeri verecek olan yerleştirme algoritmasının kullanılması sağlanmaktadır. Geliştirilen algoritma, literatürde yer alan problemler ve bir gerçek hayat problemi üzerinde test edilmektedir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen yaklaşımın çözüm kalitesi itibarıyla başarılı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Malzeme Kesme Problemi, Genetik Algoritma, En Aşağı Sol Boşluk Doldurma, Fark İşlemi Algoritması, Temas Yüzeyi Algoritması, TOPSIS*

ABSTRACT**Master of Science Thesis****A MULTI CRITERIA GENETIC ALGORITHM BASED APPROACH FOR
THE RECTANGULAR CUTTING STOCK PROBLEM****G lay G M    ****Anadolu University
Graduate School of Sciences
Industrial Engineering Program****Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Nil ARAS
2012, 96 pages**

The problems called as material cutting and packing or trim loss is one of the common usage of resource drawback. It is possible that the conversion of many problems depending on the variety of problems and application areas which is basically in the same logical structure but under-named of different names in resources to a material cutting problem. In this study, first of all, a lot of studies which were performed on two dimensional rectangular stock cutting problems are classified with variety aspects and the next step is to present a developing multi-criteria approach which includes genetic algorithm based. In this developing method; to define sequence of parts which are assigned to sheet material; genetic algorithm is used and by using three different nesting algorithms existed in literature, nesting of parts to the sheet material carried out according to this defined sequence. Three different nesting plan acquired regarding to sequence defined with genetic algorithm. The value of the availability function are calculated that trim loss, cost, number of plan, and the re-usability rates about nesting plans evaluated with respect to TOPSIS, a technic that is multi-criteria decision-making application. In this way, for the problem on hand, regarding to four different criteria nesting algorithm usage that gives the best feedback is achieved. The developing algorithm is tested on the problems in the literature and real life problem. The obtained results show that the developing approach is successful in respect of the solution quality.

Keywords: *Material Cutting Problems, Genetic Algorithm, Bottom Left Fill, Difference Process, Touching Perimeter, TOPSIS*

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardım ve ilgilerini esirgemeyen, değerli görüşleriyle beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Nil ARAS'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmam sırasında desteğini benden esirgemeyen anneme ve eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. MALZEME KESME PROBLEMLERİ	5
2.1 Malzeme Kesme Problemlerine Genel Bakış	5
2.2 Malzeme Kesme Problem Tipleri	10
2.3 Malzeme Kesme Problemlerinde Karşılaşılan Kısıtlar	12
2.4 Malzeme Kesme Problemlerinde Benimsenen Amaçlar	13
2.5 Malzeme Kesme Probleminde Mevcut Çözüm Yaklaşımları	14
2.5.1 Analitik yöntemler	14
2.5.2 Sezgisel yaklaşımlar	15
2.5.3 Diğer yaklaşımlar	15
3. DİKDÖRTGEN ŞEKİLLİ MALZEME KESME PROBLEMLERİ	
ÜZERİNE YAPILAN MEVCUT ÇALIŞMALARIN ANALİZİ	17
3.1 Stok Kesme Problemleri	19
3.1.1 Tek ana malzemeli tek amaçlı problemler	20
3.1.2 Tek ana malzemeli ve çok ölçütlü problemler	23
3.1.3 Birden fazla ana malzemeli tek amaçlı problemler	23
3.1.4 Birden fazla ana malzemeli çok ölçütlü problemler	25
3.1.5 Sınırsız boyda ana malzeme kullanan problemler	26
3.1.6 Tek veya birden fazla ana malzeme kullanan problemler	27

3.2 Kutu İstifleme Problemleri	27
3.2.1 Tek ana malzemeli tek amaçlı problemler	28
3.2.2 Tek ana malzemeli çok ölçütlü problemler.....	30
3.2.3 Birden fazla ana malzemeli tek amaçlı problemler.....	31
3.2.4 Sınırsız boyda ana malzeme kullanan problemler	32
3.3 Yükleme Problemleri.....	34
3.4. Yerleştirme ve Yuvalama Problemleri	35
3.4.1 Tek ana malzemeli tek amaçlı problemler	35
3.4.2 Tek ana malzemeli çok ölçütlü problemler.....	36
3.4.3 Birden fazla ana malzemeli tek amaçlı problemler.....	37
3.4.4 Birden fazla ana malzemeli çok ölçütlü problemler	38
3.5 Sıralama Problemleri	38
3.5.1 Tek amaçlı problemler	39
3.5.2 Çok ölçütlü problemler	39
3.6 Stok Malzeme Seçim Problemleri	40
3.7 Mevcut Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	40
3.8 Mevcut Çalışmaların Genel Olarak Değerlendirilmesi ve Öneriler	46

4. İKİ BOYUTLU DİKDÖRTGEN ŞEKLİ MALZEME KESME	
PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN YENİ BİR	
YAKLAŞIM	48
4.1 Geliştirilen Yeni Yaklaşımda Kullanılan Çözüm Araçları.....	48
4.1.1 Genetik algoritmalar	48
4.1.1.1 Genetik algoritmaların çalışma ilkesi ve operatörleri.....	49
4.1.1.2 Genetik algoritmalarda parametre seçimi	51
4.1.2 Yerleştirme algoritmaları	52
4.1.2.1 En aşağı sol boşluk doldurma algoritması	53
4.1.2.2 Fark işlemi algoritması	54
4.1.2.3 Temas yüzeyi algoritması	56
4.1.3 TOPSIS yöntemi	57
4.2 Geliştirilen Yeni Çözüm Yaklaşımı.....	60

5. ÇÖZÜM YAKLAŞIMININ SINANMASI	70
5.1 Yeni Çözüm Yaklaşımının Test Problemleri İle Sınanması.....	73
5.2 Geliştirilen Yaklaşımın Gerçek Hayat Problemine Uygulanması.....	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79
Ek 1: Test Problemi-1 Verileri.....	87
Ek 2: Test Problemi-2 Verileri.....	88
Ek 3: Test Problemi-3 Verileri.....	89
Ek-4: Test Problemi 1 İçin En İyi Kesme Planları	90
Ek-5: Test Problemi 2 İçin En İyi Kesme Planları	91
Ek-6: Test Problemi 3 İçin En İyi Kesme Planları	92
Ek-7: Gerçek Hayat Problemi İçin En İyi Kesme Planları.....	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Malzeme kesme problemlerinde kullanılan kavramlar	6
2.2. Malzeme kesme problemlerinde boyut a) Bir boyutlu malzeme kesme planı b) İki boyutlu malzeme kesme planı c) Üç boyutlu malzeme kesme planı.....	8
2.3. Kesme kısıtına göre kesme planı örnekleri a) Giyotin kısıtına uymayan dik açılı kesme planı b) Dik aç kısıtına uymayan kesme planı c) Kademeli giyotin kesme kısıtına uyan kesme planı.....	9
2.4. Bant tipi malzeme kesme problemi.....	11
3.1. İncelenen yayınların sınıflandırma çalışması.....	19
3.2. Problem Türüne Göre Çalışmaların Dağılımı	41
3.3. Ana malzemenin türüne göre çalışmaların dağılımı	41
3.4. Benimsenen amacın türüne göre çalışmaların dağılımı	42
3.5. Çalışmalarda benimsenen amaçlar	42
3.6. Çalışmalarda benimsenen kısıtlar	43
3.7. Çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemleri.....	43
3.8. Sık kullanılan çözüm yaklaşımlarının dağılımı	44
3.9. Çalışmalarda uygulama yapılma oranı.....	45
3.10. Kullanılan test problem sayılarının çalışmalara göre dağılımı	45
3.11. Test problemlerinde kullanılan sipariş parça sayısının dağılımı.....	45

4.1. a) En aşağı sola yerleştirme algoritmaları (Liu ve Teng (1999)) b) En aşağı sol boşluk doldurma algoritması (Hopper ve Turton (2001)).....	54
4.2. Fark işlemi algoritmasının uygulanması (Gonçalves, 2007).....	55
4.3. Temas yüzeyi algoritması yerleştirme örneği	56
4.4. Karar matrisi.....	58
4.5. Standart karar matrisi	58
4.6. Ağırlıklandırılmış standart karar matrisi	59
4.7. Geliştirilen çözüm yönteminde kullanılan ara yüz.....	62
4.8. Kullanılan kromozomların yapısı.....	62
4.9. Kalan ana malzeme alanının tekrar kullanılabilirliği	64
4.10. OX sıralı çaprazlama yönteminin uygulanması	67
4.11. a) Kaydırma mutasyonu b) İkili mutasyon uygulanması	68
4.12. Geliştirilmiş algoritmanın yapısı.....	69
5.1. Varyans analizi sonuçları	71
5.2. Faktörlerin ayrı ayrı etkileri	72
5.3. Faktörlerin bileşik etkileri	72
5.4. Faktörler ve düzeylerine göre elde edilen sonuçlar.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. Sınıflandırmada kullanılan sembol ve açıklamaları (Dyckhoff (1990))	18
3.2. Uygulamada karşılaşılan bazı problemlerin simgesel gösterimi.....	18
4.1. 7 kromozomlu bir popülasyonun kriter ve uygunluk değerlerinin hesaplanması	66
5.1. 7 parçalı problem için yapılmış olan deney sonuçları.....	70
5.2. Test problemleri için elde edilen sonuçlar	74
5.3. Gerçek hayat problemi verileri.....	75
5.4. Geliştirilen yaklaşımın gerçek hayat problemi için bulduğu sonuçlar.....	76

KISALTMALAR DİZİNİ

MKP	: Malzeme Kesme Problemleri
GA	: Genetik Algoritma
TB	: Tavlama Benzetimi
TA	: Tabu Arama
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ÇÖKV	: Çok Ölçütlü Karar Verme
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
BLF	: En Aşağı Sol Boşluk Doldurma
BL	: En Aşağı Sol
DP	: Fark İşlemi
TP	: Temas Yüzeyi
FFF	: Sonlu İlk Sığan
FBS	: Sonlu En İyi Şerit
TOPSIS	: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Sıralanması Tekniği
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
OX	: Sıralı Çaprazlama
VB	: Viswanathan ve Bagchi
MVB	: Düzenlenmiş Viswanathan ve Bagchi

1. GİRİŞ

Endüstrilerin, temin ettikleri hammadde ya da yarı mamul olarak isimlendirilen kaynakları, insanların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla çeşitli süreçlerden geçirerek ürün haline dönüştürmesine üretim denir. Hammaddenin sisteme girdiği andan ürünün sistemden çıktığı ana kadar sistemde birçok süreç işlemektedir. Diğer bir deyişle sisteme giren hammadde birçok süreçten geçerek ürün olarak sistemden çıkmaktadır. Her endüstri dalı için bu süreçler farklılık göstermektedir. Ancak makine, inşaat, tekstil, mobilya, deri gibi çoğu endüstri dalında ortak olarak uygulanan üretim süreçlerinden birisi kesme işlemidir.

Kesme; doğada kısıtlı olarak bulunan ve belirli bir maliyet unsuru olan kaynakların, üretilecek olan ürünlere uygun boyutlarda dilimlenmesi sürecidir. Bu süreçte göz önüne alınması gereken en önemli unsur, kaynaklardan en iyi şekilde faydalanmayı sağlayan kesme planlarının oluşturulmasıdır. Bu amaca yönelik iyi kesme planlarının oluşturulması süreçten çıkan fire miktarını ve gerekli kaynak miktarını azaltacak buna bağlı olarak da malzeme tasarrufu sağlanacaktır. Bunun yanında dolaylı olarak işgücü, kapasite, taşıma, stoklar gibi kavramlarda da verimlilik sağlanmış olacaktır.

MKP (Malzeme Kesme Problemleri) temel olarak bir kaynak optimizasyonu sorunudur. Bu açıdan baktığımızda hayatta benzerlik gösteren hatta aynı çözüm yaklaşımı ile çözülebilecek birçok problem tipi olduğunu görmekteyiz. Sabit kapalı bir alanın daha küçük boyutlardaki alanlara bölümlendirilmesi ya da sabit ölçülerde kapalı bir alanın içerisine daha küçük boyutlarda makinelerin belli bir amaç doğrultusunda yerleşim planlarının belirlenmesi, kaynak malzeme üzerine elde edilmek istenilen ürün parçalarının yerleşimi olan kesme planlarının oluşturulması ile örtüşmektedir. Bir stok alanına, bir kutu içine, bir konteynerin içine, bir paletin üzerine ya da bir raf üzerine, kısıtlı alanı en iyi şekilde kullanarak mümkün olduğunca çok ürünün yerleştirilmesini konu alan istifleme problemleri de görüldüğü gibi temel anlamda MKP ile benzer yapıdadır. Ana belleğin işlemler arasında paylaştırılmasını konu alan bellek tahsisi, modüllerin yerleştirilirken iletkenlerinin birbirine değmeyecek şekilde tasarımı konu alan elektronik baskılı devre kartlarının tasarımı da benzer

problemlere örnek olarak gösterilebilir. Bu örneklerin dışında kısıtlı kaynak somut bir madde değil de süre olarak düşünüldüğünde belirli bir sürenin daha küçük işlem sürelerine dağıtıldığı hat dengeleme ve çizelgeleme problemleri, kaynağın para olarak düşünüldüğün de ise belirli sabit bir paranın gider kalemlerine dağıtıldığı sermaye bütçeleme problemlerini kapsadığını görmekteyiz.

Problem çeşitliliğinin çok fazla olması, uygulama alanının çok geniş olması ve makul bir sürede en iyi sonucu veren bir çözüm yönteminin geliştirilmemiş olması nedeni ile MKP, 1930'lu yıllardan beri araştırmacıların ve endüstrilerin ilgisini çekmiştir.

MKP, nesneler için belirli sayıda bir sıralamanın mevcut olup olmadığından ziyade en iyi sıralamanın belirlenmesi ile ilgilenen matematiğin kombinatoryal eniyileme dalında NP problem sınıfına girmektedir. 0 ya da 1 değerini alan n değişkene sahip bir problem için tüm çözümlerin sayımlama zamanı $O(2^n)$ 'dir. Küçük boyutlu problem tamsayımlama ile çözülebilmesine rağmen, büyük boyutlu problemler için bu yöntem ile çözüme ulaşmak artan boyut ile birlikte çözüm zamanının da üstel olarak artmasından dolayı mümkün değildir. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde son yıllarda geliştirilmiş olan en iyi çözümü garantilemeyen ancak makul bir sürede kabul edilebilir çözüm bulabilen GA, TB, TA, YSA gibi meta sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Literatürde karşılaşılan her türlü MKP'yi çözebilen genel amaçlı bir çözüm yaklaşımı bulunmamaktadır. En iyi çözümü sağlayan algoritmalar geliştirilmiştir, ancak bunlar ele aldıkları probleme özel durumlar içerdiklerinden ve işgücü, kapasite, gibi süreci etkileyen kavramlarla ilgili kısıt ve amaçların göz ardı edilerek sadece geometrik ve talep kısıtları altında fire kaybını enküçüklemek amacı benimsendiğinden, basite indirgenmiş olan bu yöntemlerin uygulanabilirlikleri çok düşüktür. Bu nedenle MKP, malzemeye yönelik olarak sadece fire kaybı problemi olarak değil, sistemin içerisinde bulunan diğer ölçütleri de kapsayan bir boyutta ele alınmalıdır.

ÇÖKV teknikleri; bir probleme ait sonlu sayıdaki alternatif çözümleri, belirlenmiş ölçütlere göre değerlendirilerek, alternatiflerin kabul edilebilirlik derecesini bulmak amacıyla kullanılmaktadır. Stok kesme problemlerinde çok

ölçütlülük göz önüne alınarak oluşturulmuş olan kesme planlarının gerçek hayat problemlerine uygulanabilirliği artacaktır.

Bu çalışmada, iki boyutlu dikdörtgen şekilli malzeme kesme problemini sadece fire kaybı problemi olarak değil aynı zamanda maliyet unsurunun, kullanılan plan sayısının, kesim sonrası kalan ana malzemenin tekrar kullanılabilirliğinin de ele alındığı bir çözüm yaklaşımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda söz konusu ölçütlerin ağırlıklandırılması kullanıcıya bırakılarak insan bilgi ve deneyimleri de çözüme katılmış olmaktadır.

Geliştirilen yöntemde GA sezgiseli kullanılarak ana malzeme üzerine atanacak olan parçaların yerleşim sırası belirlenmektedir. Belirlenmiş bu sıraya göre paçalar ana levha üzerine literatürde var olan üç farklı yerleştirme algoritması kullanılarak yerleştirilmektedir. Bu şekilde oluşturulmuş olan kesme planlarının fire, maliyet, plan sayısı ve tekrar kullanılabilirlik değerleri hesaplanarak bu değerler ÇÖKV tekniği ile bütünleştirilmektedir.

Bu bilgiler ışığında çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, MKP’de karşılaşılan temel kavramlar açıklanmış, benimsenen kısıt ve amaç çeşitleri belirtilmiş ve mevcut çözüm yaklaşımları genel hatlarıyla tanıtılmıştır.

Üçüncü bölümde, MKP üzerine yapılmış mevcut çalışmalar ele aldıkları problem tipleri, benimsedikleri amaçlar ve kısıtlar, geliştirdikleri çözüm yaklaşımları ve kullandıkları araçlar ayrıca geliştirilen çözüm yaklaşımlarının sınanması açısından ele alınarak analiz edilmiş, eksikliklerden yola çıkılarak yeni çözüm önerileri sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, geliştirilen yeni çözüm yaklaşımında kullanılan GA, BLF (En Aşağı Sol Boşluk Doldurma) algoritması, DP algoritması ve TP yerleştirme algoritmaları ve kullanılan ÇÖKV tekniklerinden biri olan TOPSIS yöntem ve teknikleri hakkında bilgi verilerek, önerilen yöntemin çalışma sistematığı anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, önerilen çözüm yaklaşımı çeşitli kaynaklardan alınmış veri kümeleri üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar var olan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bunun dışında yaklaşım lazerli kesim yapan bir firmandan alınan verilere uygulanmış ve elde edilen sonuçlar firmanın sonuçları ile

karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuç bölümünde önerilen çözüm yaklaşımı hakkında genel bir değerlendirilme yapılarak öneriler geliştirilmiştir.

2. MALZEME KESME PROBLEMLERİ

Stok kesme problemi genel anlamda, çeşitli endüstri dallarında üretilen ürünlerin oluşum aşamasında kullanılan küçük boyutlu parçaların kaynaklardan kesilerek elde edilmesinde kaynak eniyilemesi göz önüne alınarak kesme planlarının türetilmesini konu almaktadır. İstifleme problemleri ise, belli bir kapasiteye sahip kaynağın içine mümkün olduğunca çok sayıda küçük parça yerleştirilmesini konu almaktadır. Görüldüğü gibi hem stok kesme hem de istifleme problemlerinin amacı kullanılacak olan kaynağın en verimli şekilde kullanılması yani kaynak eniyilemesidir. Bu şekilde literatürde farklı başlıklar altında geçen ancak yapı bakımından benzer olan çok sayıda problem çeşidi vardır. Bu tür problemler için **malzeme kesme problemleri** terimi kullanılacaktır.

Bu bölümde öncelikle kesme, istifleme, yerleştirme gibi problemlerde kullanılan ortak kavramlar açıklanacaktır. Daha sonra MKP’de kullanılan boyut kavramı ve bu kavram ile ilgili diğer önemli noktalar açıklanacaktır. Genel olarak malzeme kesme problemi ile benzerlik gösteren diğer problemler genel hatlarıyla anlatılarak, bu tür problemlerde karşılaşılan kısıtlar, benimsenen amaçlar ve mevcut çözüm yaklaşımları üzerinde durulacaktır.

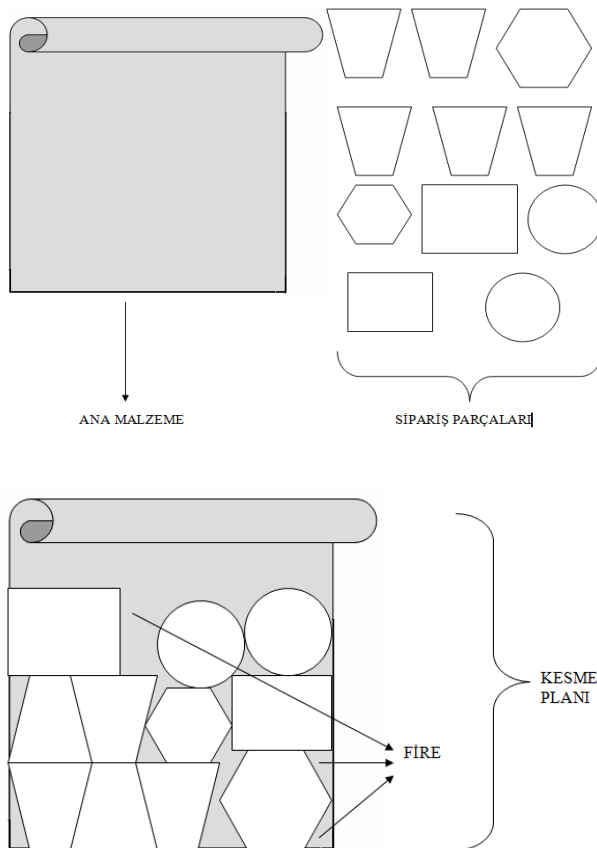
2.1 Malzeme Kesme Problemlerine Genel Bakış

MKP, ölçüleri belirli büyük ana malzemedan daha küçük parçaların kesilmesi ya da küçük parçaların ana malzeme üzerine yerleştirilmek suretiyle kesme planlarının oluşturulması olarak tanımlanmaktadır. Tanımdan da görüldüğü kesme problemlerinde kesilecek olan büyük parçalara **ana malzeme** ya da **stok malzeme**; kesim sonucunda oluşması istenilen çeşitli boyut ve şekillerdeki küçük parçalara da **sipariş parçası** denilmektedir. İstifleme problemlerinde ana malzeme; kutu gibi istiflemenin yapılacağı boş alan ya da hacim, yerleştirme problemlerinde yerleşimin yapılacağı alan, hat dengeleme problemlerinde çevrim süresi olmaktadır. Sipariş parçası ise sırasıyla istifleme problemlerinde istiflenecek olan nesne, yerleştirme problemlerinde departman veya makine, hat

dengeleme problemlerinde iş elemanı olarak düşünüldüğünde problem tipleri arasındaki benzerlik yapıları açıkça görülmektedir.

Ana malzemenin sipariş parçalarını karşılamak için nasıl kesileceğini gösteren planlara ya da sipariş parçalarının ana malzeme üzerine yerleşimini gösteren planlara **kesme planları** denir. Problem türü ve yapısına bağlı olarak tek plan kullanılabileceği gibi bir planın tekrarından oluşan birden fazla plan ya da birbirinden tamamen farklı dizilişlere ve parçalara sahip farklı planlar kullanılabilir.

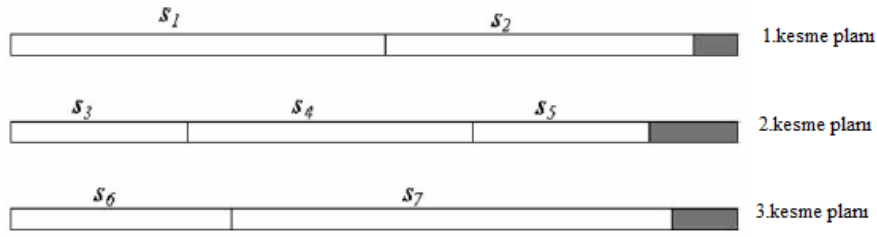
Plan çerçevesinde gerçekleştirilen kesim sonucunda sipariş parçası dışında kalan malzeme parçalarına **fire** denir. Genel olarak daha sonra kullanılabilecek büyüklükte olan fireler artık malzeme, kullanılmayacak olanları ise kırpıntı olarak isimlendirilmektedir. Şekil 2.1’de bir malzeme kesme problemlerinde kullanılan kavramlar şekil üzerinde gösterilmiştir.



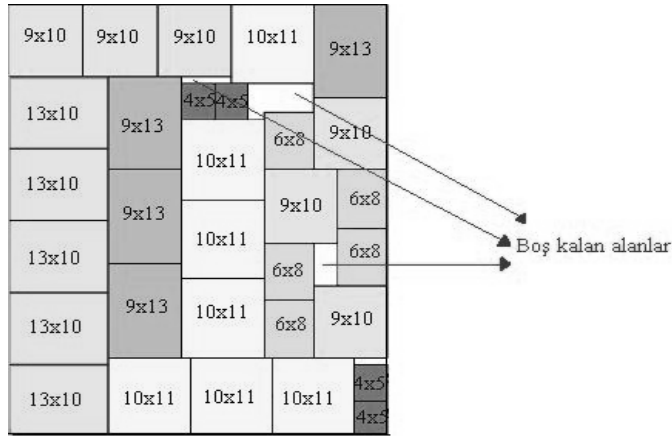
Şekil 2.1. Malzeme kesme problemlerinde kullanılan kavramlar

Kesme işlemi yapılırken göz önüne alınan doğrultu sayısına kesme boyutu denir. MKP genel olarak bir, bir-buçuk, iki ve üç boyutlu olarak sınıflandırılmaktadır. Kesilecek olan malzeme boyutu dışında ağırlık veya zaman gibi kavramlar dikkate alındığında problem üçten daha çok boyut kazanmaktadır.

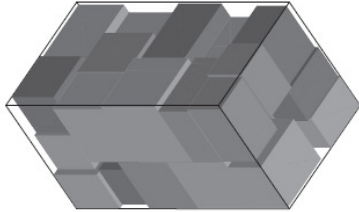
Bir boyutlu kesme problemlerinde, ana malzeme ve sipariş parçalarının yalnızca bir kesiti dikkate alınmaktadır, diğer boyutlar ihmal edilmektedir. Çubuk ve boru kesim problemleri örnek olarak gösterilebilir. Bir-buçuk boyutlu kesme problemleri, iki boyutlu kesme problemlerinin özel bir halidir. Uzunluğu sonsuz olarak kabul edilen rulo malzemelerin kullanımında ortaya çıkmaktadır. İki boyutlu kesme problemleri, üçüncü boyutun ihmal edildiği düzlemsel şekilli ana malzeme ve sipariş parçalarının kullanıldığı problemlerdir. Metal levha, cam, sunta kesimi örnek olarak gösterilebilir. Bu tür problemlerde tek bir ana malzeme kullanılabileceği gibi aynı ya da farklı ölçülere sahip birden fazla ana malzeme de kullanılabilir. Bunun dışında göz önüne alınması gereken diğer bir unsur kesilecek olan sipariş parçalarının şeklidir. Genel olarak kesilecek parçalar düzgün şekilli ve düzgün olmayan şekilli olarak ikiye ayrılır. Kare, dikdörtgen, daire gibi cisimlerin kesimi düzgün şekilli, bunların dışında kalan belli bir geometrik şekle sahip olmayan parçaların kesimi ise düzgün olmayan şekilli kesime örnek olarak gösterilebilir. Üç boyutlu kesme problemleri, üç boyutu da göz önüne alınan belli bir hacme sahip boşluğa daha küçük hacimlere sahip cisimlerin yerleştirilmesini konu almaktadır. Kutu istifleme, araç yükleme problemleri örnek olarak gösterilebilir. Üç boyutlu istifleme ve yükleme problemlerinde düzensiz şekiller kullanılabilmektedir, ancak stok kesme problemlerinde düzgün olmayan şekillerle karşılaşmamaktadır. Ana malzeme olarak ise, örneğin araç yüklemede görüldüğü gibi tek bir ana malzeme kullanılabileceği gibi paketleme problemlerinde karşılaşıldığı gibi aynı ölçülere sahip ya da farklı ölçülere sahip kutular yani ana malzemeler kullanılabilmektedir. Şekil 2.2 a’da bir boyutlu, b’de iki boyutlu ve c’de üç boyutlu malzeme kesme planına örnek gösterilmiştir.



(a)



(b)

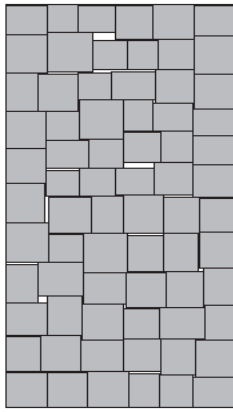


(c)

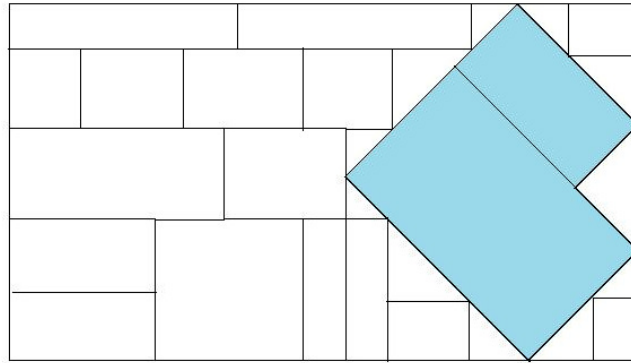
Şekil 2.2. Malzeme kesme problemlerinde boyut **a)** Bir boyutlu malzeme kesme planı **b)** İki boyutlu malzeme kesme planı **c)** Üç boyutlu malzeme kesme planı

Bir-buçuk ve iki boyutlu kesme problemlerine özgü olarak kesme teknolojisinden kaynaklanan parçaların kesme planına yerleştirilmesini etkileyen çeşitli özellikler vardır. Bunlar dik açılılık, giyotinle kesim ve kademeli kesimdir. Dik açılı kesme, Şekil 2.3 a'da görüldüğü gibi kesme işleminin ana malzemenin kenarlarına paralel olarak yapılmasıdır. Dik açılı olmayan kesme ise Şekil 2.3

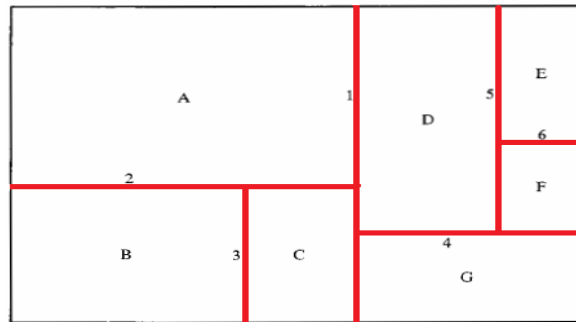
b’de görüldüğü gibi kesme işleminin belli bir açı altında yapılmasıdır. Dik açılı kesimler, giyotin kısıtlı/kısıtsız olarak ayrılmaktadır. Giyotinle kesmede malzeme bir kenardan diğer kenara boydan boya kesilmektedir. Endüstrilerde bu tür kesim için tasarlanmış giyotin tezgâhlar vardır. Giyotinle kesimde levha ilk aşamada alt parçalara ayrılmakta daha sonra bu alt parçalar da zıt yönde kesilip daha alt parçalar elde edilmektedir. Bu tür kesime kademeli kesim denir. Tanımdan da görüldüğü gibi kademeli kesim giyotin kesimin özel bir halidir ve burada kademe olarak tanımlanan, giyotin kesme işlem sayısıdır. Şekil 2.3 a’da giyotin kısıtına uymayan kesme planı örnek gösterilirken Şekil 2.3 c’de kademeli giyotin kesme kısıtına uyan kesme planı örnek gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.3. Kesme kısıtına göre kesme planı örnekleri **a)** Giyotin kısıtına uymayan dik açılı kesme planı **b)** Dik açı kısıtına uymayan kesme planı **c)** Kademeli giyotin kesme kısıtına uyan kesme planı

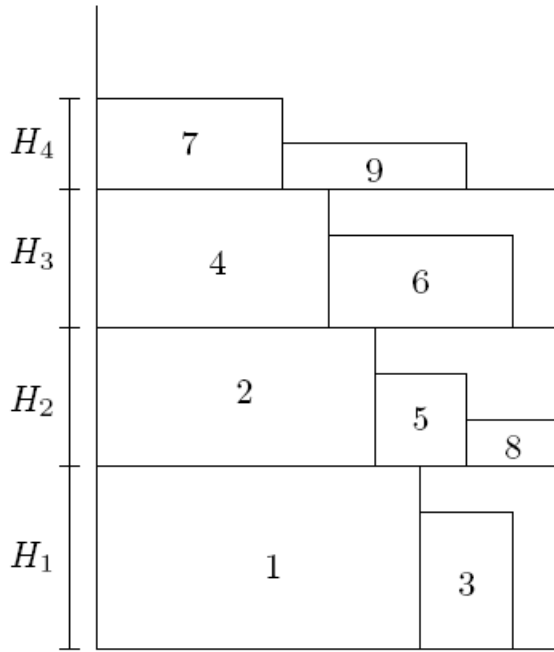
2.2 Malzeme Kesme Problem Tipleri

1930'lu yıllardan bugünlere kadar üzerinde araştırma yapılan MKP sadece endüstriyel uygulamalara yönelik olarak malzeme kesme sürecinin optimizasyonunu kapsamamaktadır. Kaynak kullanımı optimizasyonu mantığına dayanan belli bir kaynağın alt birimlere amacı enbüyükleyecek şekilde atamasını konu alan birçok problem vardır. Bu nedenle bazı araştırmacılar literatürde farklı isimler altında geçen bu problemleri sistemli bir şekilde ele alarak incelemek amacıyla sınıflandırılma çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmada MKP; stok kesme, kutu istifleme, yerleştirme ve soyut kavramlı problemler başlıkları altında incelenmiştir.

Stok kesme problemi, benimsenen amaçlar doğrultusunda belirli sayı ve ölçüdeki parçaların elde edilmesi amacıyla belirli sayı ve ölçülerdeki stok malzeme ya da malzemelerin kesilmesi için kesim planlarının oluşturulmasını konu almaktadır. Bu tür problemlerde benimsenen amaç kesim sonucunda oluşan artık malzemenin en küçüklenmesi olduğunda literatürde, fire en küçükleme problemi olarak da geçmektedir. Bunun dışında sipariş parçalarının elde edilmesi için amaca yönelik olarak elde bulundurulması gereken ana malzemenin boyutlarının belirlendiği stok malzeme seçim problemleri de kaynaklarda incelenen stok kesme problemi çeşitlerindendir. Bir-buçuk boyutlu başka bir deyişle boyu sonsuz olarak kabul edilen stok malzemelerinin kullanımında Şekil 2.4'de bir örneği gösterildiği gibi bant tipi kesme problemi ile karşılaşılmaktadır. Bu tür problemlerde stok malzemenin eni sabit boyu sonsuz olduğundan toplam uzunluğu en küçükleyecek şekilde kesme planlarının oluşturulması amaçlanmaktadır.

Kutu istifleme problemi, belirli ölçülere sahip içi boş kutular içine belirli ölçülerde nesnelerin kullanılacak olan kutu sayısını en küçükleyecek şekilde yerleştirilmesidir. Bu tür problemlerde iki boyut göz önüne alınıyorsa ve eni sabit tek bir kutu kullanılıyorsa amaç, yerleşecek olan nesnelerin tümünü içene alan kutu olarak isimlendirilen içi boş nesnenin boyunun en küçüklenmesi olmaktadır ve bu tür problemler şerit tipi paketleme olarak isimlendirilmektedir. İstifleme problemlerinde iki tip özellik ile karşılaşılmaktadır. Bu özellikler problemin

çevrim-içi ya da çevrim-dışı olmasıdır. Kutuya atanacak olan parçaların birer birer geldiği ve gelen parça dışında gelecek olan parçalar hakkında bilgi sahibi olunmadığı, parçaların geliş sırasına göre yerleştirildiği ve yerleşen parçanın bir daha kesinlikle yerinin değiştirilmediği problem tipi çevrim-içi istiflemedir. İstiflenecek olan parçaların tümü hakkında bilgi sahibi olunduğu buna göre bir atmanın yapıldığı problem tipi ise çevrim-dışı istiflemedir.



Şekil 2.4. Bant tipi malzeme kesme problemi

Yerleştirme ya da yuvalama olarak geçen problemler, belirli büyüklükteki kapalı bir alanın, bölümlerin birbirleri ile yakınlık ilişkisi gözetilerek bölümlendirilmesini ya da belli bir alana sahip atölye içerisine taşıma maliyetini en küçükleyecek şekilde makinelerin konumlandırılmasıdır.

Soyut kavramlı problemlerde ağırlık zaman ya da para gibi öklit uzayında tanımlı olmayan boyutlar söz konusudur. Ağırlık boyutuna göre sırt çantası ve yükleme, zaman boyutuna göre montaj hattı dengeleme ve çizelgeleme, finansal boyutlara göre sermaye bütçeleme ya da veri saklama boyutlarına göre bilgisayar bellek atama problemleri örnek olarak gösterilebilir. (Aras, 2005)

2.3 Malzeme Kesme Problemlerinde Karşılaşılan Kısıtlar

Kesme planlarının oluşturulmasında kullanılan temel kısıtlar iki tanedir. Bunlar;

- İstenilen tüm sipariş parçalarını karşılayacak kadar ana malzeme kullanılması. Diğer bir ifadeyle sipariş parçalarının ana malzeme sınırları içerisine yerleştirilmesidir.
- Sipariş parçalarının ana malzeme üzerine ataması yapılırken parçaların üst üste yerleştirilmemesidir.

Bunların dışında malzemeden, kesme sürecinde kullanılan teknolojiye ya da insan faktöründen kaynaklanan diğer kısıtlar kesim sürecinde etkin olmaktadır.

Talep türüne göre problemler kısıtlı ve kısıtsız olarak sınıflandırılmaktadır. Kısıtsız problem tiplerinde kesilecek olan parça sayısı talep ile sınırlandırılmayarak kesilebilecek en fazla parçanın kesilmesi amaçlanmıştır. Kısıtlı problem tiplerinde ise kesilecek parça sayısı talep miktarı ile sınırlandırılmıştır.

MKP’de genel olarak iki tür kısıt benimsenmektedir. İlki malzemenin lif yönünden, deseninden, kusurlu bölgesinden ya da homojen olmamasından kaynaklanan parçaların yerleştirilirken 90° döndürülmesine izin verilmemesi kısıtıdır. İkincisi ise kullanılan kesme teknolojisinden kaynaklanan giyotin kesime izin veren kesim planlarının oluşturulmasıdır.

Parçaların döndürülmemesi kısıtı dışında ağırlık, hassaslık, yoğunluk, kalınlık, miktar, çeşit ve ölçü malzemeden kaynaklanan başlıca kısıtlardır. Giyotin kesim kısıtı dışında dik açılı kesim, ayar sayısı, kullanılan bıçak sayısı, makine kapasitesi ve kesme payı kısıtları ise kesme sürecinde kullanılan teknolojiye bağlı olarak ortaya çıkan kısıtlardır.

Sipariş parçalarının önceliklendirilmesi, kesme planı sayısı ve fire miktarına alt veya üst sınırların getirilmesi işletme politikasından kaynaklanan kısıtlara örnek gösterilebilir. Kesme sürecinden sonraki süreçlerin aksamaması için farklı türde ürün üretilen bir üretim hattında aynı ürüne ait parçaların kesim sıralarının mümkün olduğunca birbirine yakın olarak atanması ya da ara stoklarda oluşabilecek problemlerle karşılaşmamak için sipariş parçalarının kesim sırasının

belirlenmesinde ağırlıklandırma söz konusudur ve fayda sipariş parçasının alanından bağımsızdır. Bu tür problemler literatürde ağırlıklı sipariş parçasının faydasının o parçanın alanına eşit olduğu problemler ise ağırlıksız olarak tanımlanmaktadır.

2.4 Malzeme Kesme Problemlerinde Benimsenen Amaçlar

Kesme sürecinde en önemli maliyet kalemi malzeme olduğundan dolayı incelenen literatür çalışmalarına baktığımızda en çok benimsenen amacın fire miktarını en küçüklemek olduğu görülmektedir. Çeşitli kaynaklarda ana malzeme kullanım oranını enbüyüklemek, sipariş parçalarını karşılayacak olan ana malzeme boyutlarını en küçüklemek, istiflenen ya da yüklenen parça sayısını en küçüklemek, istifleme için gerekli kutu sayısını en küçüklemek, şerit tipi kesme/paketleme problemlerinde kullanılan toplam yüksekliğin en küçüklenmesi gibi ifadelerle yer verilen kaynak kullanımı ya da başka bir deyişle fire ile ilgili amaçların dışında daha nadir olarak kesim süreci, işçilik ya da verim ve kalite gibi nitel kavramlar göz önünde bulundurularak çok amaçlılık benimsenmektedir.

Aynı sürece girecek olan parçaların kesim sırasının yakın belirlenerek birlikte taşınması ile azaltılabilecek taşıma maliyetlerinin ya da ara stokların enküçüklenmesi, makul sayıda kesme planı çeşidi kullanılarak azaltılabilecek hazırlık maliyetlerinin ya da tasarım maliyetlerinin enküçüklenmesi, kesim süreci sonunda elde edilen sipariş parçalarının ya da ana malzemelerin istiflenmesi ile ilgili olarak ortaya çıkan elde tutuma ya da karşılayamama gibi stok ile ilgili unsurları kapsayan maliyetlerin enküçüklenmesi, makine kapasitesi en büyüklenecek azaltılabilecek üretim maliyetlerinin enküçüklenmesi, sipariş parçalarını karşılamak için kullanılacak olan malzeme miktarının azaltılarak malzeme maliyetinin en küçüklenmesi göz önünde bulundurulması gereken amaçlardandır.

Oluşan artık malzemelerin daha sonra kullanılabilir olması malzeme kullanım verimliliğini artıracaktır. Ayar sayısını, kullanılan bıçak sayısını, döndürme ve vuruş sayısını en küçüklemek ise kesme süreci ile ilgili benimsenen amaçlardandır.

2.5 Malzeme Kesme Probleminde Mevcut Çözüm Yaklaşımları

MKP, nesneler ile ilgili sıralama sayısının özel matematiksel formülasyonlardan yararlanılarak hesaplandığı kombinatoriyal eniyileme matematik dalını ilgilendiren bir problemdir. Kombinatoriyal kelimesi; nesnelerin sıralanması ve seçilmesi ile ilgilenen matematiğin bir dalı olan “combinatorics” kelimesinden türetilmiştir. Yöneylem Araştırmasında kombinatoriyal eniyileme, kesikli çözüm uzayına sahip problemler için en iyi çözümü arayan yöntemlerdir. En kısa yol problemi, gezgin satıcı problemi, atama problemi, atölye çizelgeleme problemi ve araç rotalara problemi bu tür problemlere örnek olarak gösterilebilir.

Kombinatoriyal eniyileme problemleri, çözüm açısından hem kolay hem de zor problemleri bünyesinde barındırmaktadır. Kolay problemler P sınıfında, zor problemler ise NP sınıfına girmektedir. P sınıfındaki bir problem, çözüm zamanı problem genişliğinin polinom fonksiyonu olarak artan bir algoritma ile çözülebilir. Kabul edilebilir bir sürede çözüm bulabilecek algoritmaya sahip olmayan ve çözüm süresi problemin büyüklüğüne bağlı olarak üstel artan problemler NP sınıfına girmektedir.

Küçük çaplı örnekleri haricinde makul bir sürede en iyi çözümün bulunamadığı MKP de kombinatorik eniyileme problemleri arasında NP sınıfına girmektedir. Kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin belirli bir boyuta kadar olanı tamsayılı programlama yöntemi ile çözülürken, orta ve büyük boyutlu problemlerin sezgisel yöntemlerle çözülmesi gerekmektedir. Bu nedenle MKP çözümünde analitik yöntemlerden çok sezgisel yaklaşımlara başvurulmaktadır.

2.5.1 Analitik yöntemler

Kullanılan analitik yöntemler; doğrusal programlama, tamsayılı programlama, dinamik programlama, dal sınır algoritması ya da tamsayılı programlama ile doğrusal programlamanın bileşimi gibi analitik yöntemlerin bileşiminden oluşan çözüm yöntemleridir.

Kaynaklarda geçen ve en iyi çözümü sağlayan algoritmaların sayısı çok azdır. Bunlar özel problemler için geliştirildiklerinden her çeşit malzeme kesme problemini çözen bir yöntem bulunmamaktadır.

Doğrusal programlara dayalı olarak geliştirilen yöntemlerin çoğu Gilmore ve Gomory'nin (1963) bir boyutlu kesme problemi için geliştirdiği “Sütun Oluşturma Tekniği”ni temel alarak bazı ek algoritmalar geliştirmişlerdir. Bu teknikte, her sütun bir kesme planını temsil etmekte ve sırt çantası problemi çözülerek her tekrarda temele girecek olan sütun hesaplanmaktadır.

Analitik yaklaşımlar; problemin anlaşılmasında, alt ve üst sınırların belirlenmesinde, plan seçeneklerinin türetilmesinde yararlı olmakla birlikte; uygulanabilirliklerinin düşük olması, bunların dışında başka yaklaşımların geliştirilmesini gerektirmektedir (İşlier, 1993).

2.5.2 Sezgisel yaklaşımlar

Bilgisayar bilimlerinde sezgisel bir yaklaşımın problem çözümüne uygulandığı algoritmalar sezgisel algoritma olarak tanımlanmaktadır. Uygulanan yöntemin doğruluğunun ispat edilmesi gerekmez, tek istenen karmaşık bir problemi daha basit hale getirmesi veya algoritmanın tatmin edici bir sonuç bulabilmesidir.

GA, TB, TA, YSA, Karınca Kolonisi gibi meta sezgisel yöntemlerin yanı sıra kullanılan çeşitli yerleştirme algoritmaları da sezgisel yaklaşımlar sınıfına girmektedir. BL yordamı, dört köşe sezgiseli, aşağıdan yukarı yerleştirme yordamı, DP algoritması, ilk uyan sezgiseli, TP sezgiseli ve yukarı sol köşe algoritmaları en çok kullanılan yerleştirme algoritmalarına örnek olarak gösterilebilir.

2.5.3 Diğer yaklaşımlar

Çeşitli analitik yöntemlerle sezgisel yöntemlerin ya da sezgisel yöntemlerle yerleştirme algoritmaları gibi sezgisel yordamların birlikte kullanıldığı yöntemler diğer yaklaşımlar sınıfında incelenmektedir. Özellikle

endüstrilere yönelik problem çözümlerinde problemi endüstride var olan diğer işlemlerle hatta karar verici ile bütünleştiren karar destek sistemleri ya da uzman sistemler geliştirilmektedir.

Kesme problemleri ile ilgili olarak kaynaklarda yer alan çalışmaların büyük çoğunluğunu, genetik algoritmanın bir yerleştirme yordamı ile birleştirildiği melez algoritmalar oluşturmaktadır. İki aşamalı olan bu yaklaşımda genetik algoritma küçük parçaların yerleştirileceği sıralamanın belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Daha sonra bu sıralamanın ana malzeme üzerine nasıl yerleştirileceğinin belirlenmesi için ikinci bir algoritmaya gerek duyulmaktadır (Hopper ve Turton, 2001).

Bu bölümde MKP'nin yapısı ve mevcut çözüm yaklaşımları genel hatlarıyla tanıtılmıştır. İzleyen bölümde iki boyutlu dikdörtgen şekilli MKP üzerine yapılmış kaynaklar incelenmekte ve çeşitli yönleriyle sınıflandırılarak genel bir değerlendirilmesi yapılmaktadır.

3. DİKDÖRTGEN ŞEKİLLİ MALZEME KESME PROBLEMLERİ ÜZERİNE YAPILAN MEVCUT ÇALIŞMALARIN ANALİZİ

MKP'den iki boyutlu kesme problemleri literatürde, bir ve üç boyutlu kesme problemlerine göre daha geniş yer tutan bir konudur. Bunun nedeni gerçek hayat problemlerinde iki ve üç boyutlu problemlerle daha çok karşılaşılması ve üç boyutlu problemlerin çoğunun iki boyuta indirgenerek çözülebilmesidir. Endüstrilerde elde edilmek istenilen sipariş parçaların çeşitlerine baktığımızda çoğunun dikdörtgen şeklinde olduğu ya da dikdörtgene yaklaştırılmasının imalat gerçeklerine ters düşmeyeceği düşünülmektedir (İşlier, 1993). Bu nedenlerden dolayı iki boyutlu dikdörtgen şekilli malzeme kesme problemleri, MKP içerisinde önemli bir yer tutmaktadır.

Konu kapsamına giren problem türünün çeşitli olması ve çözümde göz önünde bulundurulması gereken kavramların çok çeşitlilik göstermesi nedeni ile konunun daha sistemli ele alınıp incelenmesi amacıyla zaman zaman MKP'nin sınıflandırılması konusunda çalışmalar yapılmıştır. Bunların içinde en kapsamlı olan Sweeney ve Paternoster'in (1992) 454 adet makale, tez, teknik rapor ve bildiriye kapsayan çalışmasıdır (Aras, 2005). En çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan sınıflandırma çalışması Dyckhoff (1990) tarafından tek amaçlı problemlere yönelik olarak yapılmış olan çalışmadır. Bu çalışmada MKP $\alpha / \beta / \gamma / \delta$ biçiminde ifade edilmektedir. Sınıflandırmada kullanılan semboller ve açıklamaları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Buna göre problem türleri; boyut kavramı, kesilecek olan sipariş parçalarının yerleşim yapılacak olan ana malzemelere atanmasında kullanılan yöntem, ana malzemelerin türü ve sipariş parçalarının türü göz önüne alınarak sınıflandırılmıştır. Uygulamada karşılaşılan bazı problemlerin simgesel gösterimi Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Sınıflandırmada kullanılan sembol ve açıklamaları (Dyckhoff (1990))

BOYUT (α)		ATAMA TÜRÜ (β)		ANA MALZEMELERİN TÜRÜ (γ)		SİPARİŞ PARÇALARININ TÜRÜ (δ)	
1	Bir boyutlu	B	Ana malzemelerin hepsi, sipariş parçaların bazıları	O	Bir büyük malzeme	F	Değişik şekillerde az sayıda parça
2	İki boyutlu			I	Boyutsal ve biçimsel olarak aynı birden çok sayıda malzeme	M	Çok farklı şekillerde çok sayıda parça
3	Üç boyutlu	V	Ana malzemelerin bazıları, sipariş parçalarının hepsi			R	Şekil olarak az farklılık gösteren çok sayıda parça
N	N boyutlu (N>3)					D	Boyutsal ve biçimsel olarak farklı olan malzemeler

Çizelge 3.2. Uygulamada karşılaşılan bazı problemlerin simgesel gösterimi

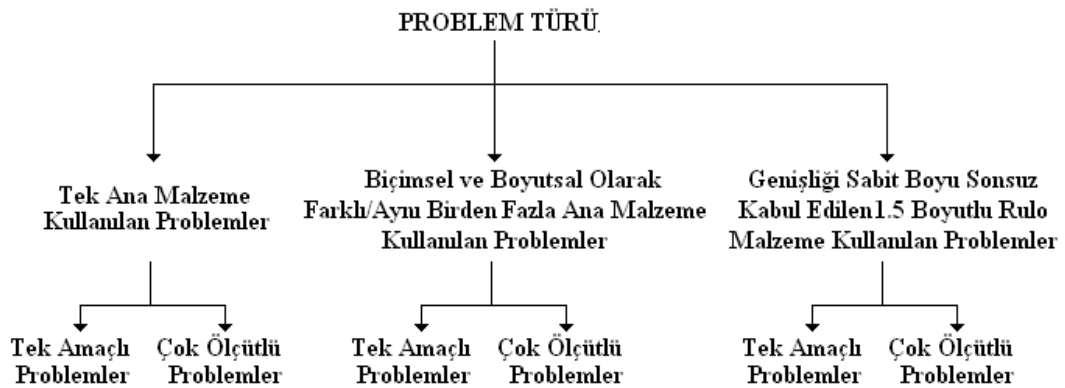
Palet yükleme	2/B/O/C
Konteyner yükleme	3/V/I
Levhelerde kesme kaybı	2/ / /
İki boyutlu malzeme kesme	2/V/I/R
Montaj hattı dengeleme	1/V/I/M
Bellek tahsisi	1/V/I/M
Para bozdurma	1/B/O/R
Çok dönemli sermaye bütçeleme	N/B/O

Bu bölümde, 1963–2009 yılları arasında yayınlanan, dikdörtgen şekilli malzeme kesme problemlerini konu alan 60'ın üzerinde yayın incelenmiştir. Yayınlar; problem türü, ana malzemenin özellikleri, sipariş parçasının özellikleri, benimsen kısıt ve amaçlar, çözüm yöntemi, çözüm yönteminin sınanması başlıkları altında analiz edilmiştir. Ele alınan yayınların daha sistemli bir şekilde incelenebilmesi amacıyla bir sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmaya

göre yayınlar Şekil 3.1’de görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır. Buna göre yayınlar, öncelikle problem türlerine göre ayrılmıştır. Daha sonra her problem türü kullanılan ana levha ve benimsenen amaç çeşidine göre alt başlıklarda toplanmıştır. Son olarak mevcut çalışmalar tartışılarak, geliştirilecek olan yaklaşımlarda üzerinde durulması gereken noktalar vurgulanmıştır.

MKP başlığı altında toplanan yapısal olarak birbirine benzer problemler bu çalışmada 6 grup altında toplanmıştır. Bunlar aşağıdaki şeklide sıralanabilir.

- Stok kesme problemleri
- Kutu istifleme problemleri
- Yükleme problemleri
- Yerleştirme ve yuvalama problemleri
- Sıralama problemleri
- Stok malzeme seçimi



Şekil 3.1. İncelenen yayınların sınıflandırma çalışması

3.1 Stok Kesme Problemleri

Bir ürünü ortaya çıkaran parçalar düşünüldüğünde her endüstri için bu parçaların hammaddesi, boyutu, şekli farklılık göstermektedir. Çoğu endüstri bu kadar çok çeşit ve ölçüdeki parçaları dışarıdan alamayacağı için uygun ana malzemeyi satın alarak parçaların elde edilmesi yoluna gitmektedirler. Bu durumda ana malzemenin ve kesim sürecinin nasıl optimize edileceği soruları

ortaya çıkmaktadır. Bu soruların yanıtları ise elde edilmek istenilen parçaların ana malzeme üzerine hangi sırada ve nasıl atanacağını konu alan stok kesme problemleri çözüm yaklaşımlarında verilmeye çalışılmaktadır. Parçaların kesildiği ana malzemeye baktığımızda parçalar, belirli boyutlara sahip tek bir malzemeden kesilebileceği gibi eş yapıya sahip ya da farklı boyut ölçülerine sahip birden fazla malzemeden kesilebilmektedir. Bunların dışında eni belirli ölçülerde olup boyu sınırsız malzemelerin kullanıldığı araştırmalar da vardır.

3.1.1 Tek ana malzemeli tek amaçlı problemler

Kesme sürecinde en önemli maliyet kalemi malzeme olduğundan dolayı incelenen literatür çalışmalarına baktığımızda en çok benimsenen amacın fire miktarını en küçükleme olduğu görülmektedir. Ayrıca bu amaca yönelik çalışmalar incelendiğinde çoğunun giyotin kesme yöntemi kullandıkları görülmektedir. Bu tür problemlerin içerisinde en eski çalışmalardan biri olan Herz (1972), hem kesme kalıplarının oluşturulmasında geçen bilgisayar zamanını azaltan hem de etkin bir sonuç bulan tekrarlı bir algoritma geliştirmiştir. Çözüm yaklaşımında çeşitli sınırlandırma teknikleri de ele alınmıştır. Geliştirilen algoritma ile Gilmore ve Gomory (1966) tarafından geliştirilen ardıştırmalı iki algoritma karşılaştırılmıştır. Aynı amaç ve kısıt altında Parada ve ark. (1998), TB algoritmasını temel alan yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntemin sınanmasında 10–500 dikdörtgen parça arasında değişen 8 farklı test problemi kullanılmıştır. Parada ve ark. (2000) çalışmasında ise aynı problem türü çözümü için beş farklı algoritma kullanmışlardır. Bunlar; Wang (1983) tarafından geliştirilen Wang algoritması, Oliveira ve Ferreira (1990) tarafından Wang algoritmasında kabul edilen kriterler geliştirilerek yazılmış olan Düzenlenmiş Wang yöntemi algoritması, grafik üzerinde çözüm noktaları arasında arama yapan Toplamsal Arama algoritması, TB algoritması ve evrimsel bir algoritmadır. 1000 test problemi üzerinde kullanılan beş algoritma sınanmıştır. Çözümler hem fire miktarı olarak hem de çözüm için gerekli bilgisayar zamanı olarak karşılaştırılmıştır.

Fire miktarını en küçükleme amacını benimseyen ancak giyotin kısıt kullanmayan Leung ve ark. (2001), sırasıyla GA ile BL ve DP algoritmasının melezlenmesinden oluşan çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Aynı şekilde TB meta sezgisel algoritması da sırasıyla bu iki yerleşim algoritması ile melezlenerek 10 ile 30 dikdörtgen parça arasında değişen 8 tez problemi üzerine uygulanmış ve performansları karşılaştırılmıştır.

Bu tür problemlerde benimsenen diğer bir amaç, kullanılacak olan ana malzeme boyutlarının en küçülenmesidir. Bu amaçla Burke ve Kendall (1998), 12 parça, 50 parça ve 100 parçalık üç ayrı test problemi üzerine GA, TA ve TB sezgisellerini uygulayarak elde edilen sonuçlar bakımından algoritmaları karşılaştırmışlardır.

Belirtilen bu amaçların dışında Alvarez-Valdes ve ark. (2002), kesilen parça değerleri ile ilgilenmişlerdir. Kesme problemlerinin dört versiyonunu ele almışlar. Bunlar; kısıtsız ağırlıklandırılmamış, kısıtsız ağırlıklandırılmış, kısıtlı ağırlıklandırılmamış, kısıtlı ağırlıklandırılmış problem türleridir. Problemin çözümünde ilk önce iki üst sınır prosedürünü temel alarak kesim sırasını belirleyen ve BL kullanılarak yerleşimin yapıldığı iki algoritma verilmiştir. Feo ve Resende (1989) tarafından geliştirilen Doyumsuz Uyumluluk Arama Yöntemi (Greedy Adaptive Search Procedure) ele alınmıştır. Son olarak da hangi parçanın kesileceğine karar verme aşamasında ilk iki algoritma ve arama aşamasında da Doyumsuz Uyumluluk Arama Yöntemini kullanan bir tabu arama algoritması geliştirilmiştir. Literatürdeki test problemleri ve rassal olarak oluşturulmuş büyük çaplı test problemleri üzerinde algoritmalar denenmiştir.

Arslanov (2000), küçük birbirine eşit dikdörtgen parçaların kesilmesinde giyotin kısıt altında optimal kesme planının oluşturulmasını incelemiştir. Artan problem parametre sayısı için sürekli kesir yöntemi kullanılmıştır. Çözüm için ise bir algoritma yazılmıştır. Algoritma ve yöntem bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Cung ve ark. (2000), kesme kalıbından elde edilen faydayı enbüyüklemeyi amaçlamışlardır. Benimsenen kısıtlar; giyotin kesim yapılması ve sipariş parçaları için en ve boyun birbirine eşit olmamasıdır. Kısıtlı ağırlıklandırılmış-ağırlıklandırılmamış kesme problem türleri için Hifi (1997a) tarafından geliştirilen MVB algoritmasına yeni bir yaklaşım getirilerek geliştirmişlerdir. Yeni

yaklaşımında çözüm uzayını sınırlamak için Fayard ve ark. (1998) çalışmasında geliştirilen başlangıç alt sınır yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca Gilmore ve Gomory (1966), Viswanathan ve Bagchi (1993) ve Hifi (1997a)'de kullanılan üst sınır yöntemlerinin kombinasyonundan oluşan bir üst sınır yöntemi kullanılmıştır. Son olarak tekrar eden kesme kalıplarını önlemek için yeni üç adet simetrik strateji geliştirilmiştir. 27 orta büyüklükteki, 9 büyük ölçekli problemlere olmak üzere toplam 36 probleme yeni geliştirilen algoritmalar uygulanmıştır.

Faina (1999), kullanılmayan alan kalitesini enbüyüklemek amacı altında giyotin kısıtını dikkate alan ve almayan problemler için çözüm yöntemi geliştirmiştir. Yöntemde TB'yı temel alan bir algoritma geliştirilmiştir. 8 ila 64 dikdörtgen parça kesimini göz önüne alan giyotin kısıtlı ve kısıtsız 11 test problemi üzerinde algoritma denenmiştir.

Hifi (1997b), toplam yararlanmayı enbüyüklemek amacı altında giyotin kısıt benimsemiştir. Ağırlıklandırılmış ve ağırlıklandırılmamış giyotin kesme problemlerine, literatürde var olan iki sezgisel algoritma melezlenerek uygulanmıştır. Bu algoritmalarından birisi ilk derinlik ve en iyiye gidiş ağaç arama prosedürlerini kullanan Morabito ve ark. (1992) tarafından geliştirilen DH algoritması, diğeri ise bir boyutlu sırt çantası problemine dayanan dinamik programlamayı kullanan Fayard ve Zissimopoulos (1995) tarafından geliştirilen KD algoritmasıdır. Bu melez algoritma KD algoritması kullanılarak bulunan iyi bir başlangıç alt sınır ile başlamaktadır. Ayrıca arama ağacının her seviyesinde yeni alt sınırın bulunmasında da KD algoritması kullanılmaktadır. KD algoritması dinamik programlamaya dayanmaktadır. Üst sınırın bulunmasında DH algoritması kullanılmaktadır. Literatürden alınan ve rassal olarak oluşturulmuş ağırlıklandırılmış ve ağırlıklandırılmamış örnekler üzerinde algoritma denemiştir.

Hifi (1997a), giyotin kısıtı altında toplam faydayı enbüyüklemeye çalışmıştır. Viswanathan ve Bagchi (1993) tarafından geliştirilen Gilmore-Gomory (1966) algoritması ile ağaç arama prosedürünü birleştiren algoritmaya yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Yeni geliştirilen yaklaşım, başlangıç alt sınırının belirlenmesi ve arama ağacının her bir noktası için üst sınır belirlenmesidir. Bu sınırların belirlenmesinde bir boyutlu sınırlandırılmış sırt çantası problemi ve dinamik programlama kumlanılmıştır. Ağırlıklandırılmış ve ağırlıklandırılmamış 12

test problemi üzerinde VB algoritması ve yeni geliştirilen MVB algoritması denenmiştir sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.1.2 Tek ana malzemeli ve çok ölçütlü problemler

Kesme sürecinde en önemli maliyet kalemi malzeme olmasına rağmen göz önüne alınması gereken birçok kısıt ve amaç söz konusudur. Yapılan çalışmaların bir üretim sürecinde uygulanabilirliği düşünüldüğünde çok amaçlı bir yapının geliştirilmesi elde edilecek faydayı arttıracaktır.

Çok amaçlı bir yapı benimseyen Zilla ve Ittai (1994), tek boyutlu kesme problemleri ile ilgilenmişlerdir. Benimsedikleri amaçlar, kullanılmayan parçaların en küçüklenmesi ve tekrar kullanılabilirlik artık ana malzemenin en büyüklenmesidir. Metal kesme atölyesinde bir uygulama yapılmıştır. Amaca uygun olarak problemin çözümü amacıyla bir algoritma geliştirilmiştir. Ancak bu algoritma küçük boyutlu problemleri çözmektedir. Bu nedenle büyük boyutlu problemlerin alt problem parçalarına bölünerek geliştirilen algoritmanın uygulanması için sezgisel bir yaklaşım kullanılmıştır.

3.1.3 Birden fazla ana malzemeli tek amaçlı problemler

Birden fazla ana levha kullanarak fire miktarını en küçüklemeyi amaçlayan çalışmalardan Cizman ve Cernetic (2004), parke üretiminde karşılaşılan tek boyutlu kesme problemleri ile ilgilenmişlerdir. Slovenya’da bir parke üretim atölyesinde uygulama yapılmıştır. İlgilenilen problem, bir kütükten parkelerin üretimi için gerekli alt kütüklerin kesilmesidir. Amaç kenar kalıntıların ve kesilen kütükten kalan son kalıntıların en küçüklenmesidir. Bu problemlerin çözümü için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu karar destek sistemi ile sisteme siparişler girilmekte, bu bilgiler doğrultusunda bunlar için gerekli alt kütük miktarları kesim planları ve buna bağlı olarak da daha önceden tanımlanmış olan ana kütük miktarları belirlenmektedir. Sistem grafiksel öğelerle ve kolay kullanım yüzleri ile desteklenmiştir. Sistem matematiksel model tabanına dayanmaktadır. Sistem siparişe göre üretimi desteklediğinden hem ürün hem de

ham madde stok maliyetleri azalmaktadır. Fabrikadan alınan bir veri kümesi ile sistem denenmiştir. Aynı amaçlı diğer bir çalışma ise Morabito ve Garcia (1998)'dir. Bu çalışmada birbiri ile eş birden fazla ana malzeme kullanarak dikdörtgen parçalar kesen bir sunta fabrikasında uygulama yapılmıştır. Otomatik kesme makinesinin yükleme, taşıma ve kesme aparatlardan kaynaklan kısıtlar (yüklenen sunta çeşidi sayısı, yüklenen suntalardan en büyüğü ile en küçüğü arasındaki fark vb.) göz önüne alınmıştır. Ayrıca giyotin kısıt benimsenmiştir. Amaç optimum kesme planının belirlenerek toplam firenin en küçüklenmesidir. Sunta endüstrisi için stok kesme formülasyonu iki parçalı sütunlar ile ifade edilmektedir. Her bir parça tam sayılı programlama ile modellenip ve alternatif iki yöntem ile çözülmüştür. Bunlardan birisi dinamik programlama, diğeri ise Gilmore ve Gomory (1963) prosedürünü amaç edinen sayısal bir yöntemdir. 600 test problemi üzerinde yöntemler denenmiştir. Ayrıca fabrikadan alınan gerçek verilere uygulanarak bir karşılaştırma yapılmıştır.

Fire miktarının en küçüklenmesi amacının dışında Hung ve Sumichrast (2000) maliyetin en küçüklenmesi ile ilgilenmişlerdir. Uygulamanın yapıldığı inşaat sektöründe kullanılacak olan parçalar; alınan çelik, demir, sac hammaddelerden kesilerek kaynak gibi çeşitli yöntemlerle kullanılma uygun hale getirilmektedir. Makalede hammadde temini ve bunların uygun olarak kesilmesi amacıyla çoklu uzman sistem tasarlanmıştır. Lien-Kang Heavy Industrial Company, Ltd. şirketinde bir uygulama yapılmıştır. Tasarlanan bu uzman sistem şirketin kullanmakta olduğu karar destek sistemi içine yerleştirilmiştir. Bu karar destek sistemi gerekli verilerin sağlanması, raporların alınması, parametrelerin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Şirketten alınan 40 proje verisi üzerinde sistem denenmiş ve şirket mühendislerinin manuel olarak oluşturdukları sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Bunun dışında Salto ve ark. (2006), giyotin kısıtı ve parçalar döndürülemez kısıtı altında kullanılan ana malzeme miktarının en küçüklenmesi buna bağlı olarak da kullanılmayan alanın en küçüklenmesi amacını benimsemişlerdir. Problemin çözümünde sıralı ve paralel genetik algoritmalar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmalar FFF yerleştirme algoritması ile melezlenmiştir. Sıralı genetik algoritma, tek işlemli sistemde uygulanan GA,

kümelenmiş is istasyonlarında uygulanan GA sabit belirli parametreler altında 28 probleme uygulanmış sonuçlara %95 güven seviyesinde t-testi uygulanmıştır. Aynı durdurma kriterleri göz önüne alınarak bilgisayar zamanları karşılaştırılmıştır. Farklı mutasyon oranları ve farklı popülasyon büyüklükleri için anlatılan GA türleri sınanmış ve literatürden alınan test problemleri ile karşılaştırılmıştır.

3.1.4 Birden fazla ana malzemeli çok ölçütlü problemler

Genişliği sabit, yüksekliği belirsiz birden fazla dikdörtgen ana levha kullanan Westerlund ve ark. (1998), fireyi ve kesim zamanını en küçükleme amaçlamışlardır. Bir kâğıt dönüşüm endüstrisinde uygulama yapılmıştır. Problemin matematiksel modelinde doğrusal olmayan eşitsizlikler olduğu için problem konkavdır. Bu nedenle problemin çözümünde konkav karışık tam sayılı doğrusal programlama kullanılmıştır. Problemi doğrusala çevirebilmek için iki aşamada çözüm üretilmektedir. Birinci aşama doğrusal olmayan eşitsizliklerdeki değişkenlerin değerini daha önce geliştirilmiş olan algoritma yardımı ile bulmak ya da kesme kalıp sayısını belirlemek; ikinci aşama, karışık tam sayılı doğrusal programlama kullanılarak çözüm elde etmektir. Karışık tam sayılı doğrusal programlama, CPLEX program paketi kullanılarak çözülmüştür. Çözüm yaklaşımı fabrikadan alınan veriler üzerinde denenmiş kesme sayısı, fire oranı değerleri belirlenmiştir.

Çok amaçlı yapı benimseyen Morabito ve Arenales (2000) diğer çalışmalardan farklı olarak miktar ve büyüklükleri belli olmayan dikdörtgen ana levhalar kullanarak miktar ve büyüklükleri belli dikdörtgen sipariş parçaların kesilmesi ile ilgilenilmişlerdir. Brezilya'da bir mobilya fabrikasında uygulamaya yapılmıştır. Gilmore ve Gomory (1965) modelini temel alan iki ve üç aşamalı giyotin kesme kalıpları kullanılarak fireyi en küçükleme amacı benimsenmiştir. Bunun yanında kesme ekipmanlarının ve makinelerinin verimliliğini arttıracak bir grup giyotin kesme kalıpları geliştirme üzerinde durulmuştur. Böylece kesme zamanını azaltmak, hammadde maliyetini düşürmek amaçlanmıştır. Fabrikadan alınan veriler hem fireyi en küçükleme amacı hem de maliyeti en küçükleme

amacı ile çözülmüş ve sonuçlar birçok ölçüt açısından (fire, maliyet, kullanılan hammadde miktarı, üretim miktarı, zaman ve kullanılan kalıp sayısı) karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda iki aşamalı ve üç aşamalı giyotin kesme sonuçları da karşılaştırılmıştır.

3.1.5 Sınırsız boyda ana malzeme kullanan problemler

Çok amaçlı yapı benimseyen Lee (2008), Tayvan'da bir valiz fabrikası süreci için bir karar destek sistemi tasarlamıştır. Benimsenen amaçlar, malzeme kesimi yapılırken kullanılan ana levha alanını en küçükmektir. Böylece malzeme maliyetinin en küçükleme ve müşteriye hızlı cevap verebilmek amaçlanmıştır. Sistem işleyişi sırasıyla şu şekildedir: Öncelikle müşteriden gelen siparişler sisteme girilmekte ve siparişler için gerekli hammaddeler belirlenerek birim fiyatları çıktı olarak verilmektedir. Siparişler için gerekli hammaddeler çeşidine göre direk üretime verilebilen aksesuarlar, bir boyutlu kesme işlemi uygulanacak genişliği sabit yüksekliği belirsiz dikdörtgen tek parça ve iki boyutlu kesme problemi uygulanacak dikdörtgen tek parçadır. Bir boyutlu kesme süreci için GA ve bir boyutlu yerleştirme algoritması uygulanmaktadır. İki boyutlu kesme süreci için ise Hwang ve ark. (1994) çalışmasında geliştirilen algoritma uygulanmaktadır. Uygulanan bu yöntemler neticesinde her üç malzeme tipi için ihtiyaç miktarları belirlenmektedir. Malzeme miktarları ile ilk adımda çıkartılmış olan birim fiyatlar çarpılarak ayrıca belli bir miktar kar oranı katılarak fiyat teklifi hazırlanmaktadır. Hazırlanan bu teklif sistemin bağlı olduğu mobil telefon sistemi aracılığı ile müşterilere bildirilmektedir. Böylece üretim için gerekli amaca uygun olarak geliştirilmiş kesme kalıpları elde edilmiş olmakta ve hazırlanan fiyat teklifi ile müşterilere hızlı cevap verilebilmektedir.

Tiwari ve Chakraborti (2006), ana levha yüksekliğinin ve kesim sayısının en küçükleme amaçlarını benimsemişlerdir. Hem giyotin kısıtın olduğu hem de olmadığı durumlar göz önüne alınmıştır. Çözüm yaklaşımında kısıtlı ve giyotin kısıtsız çok amaçlı GA benimsenmiştir. İki farklı gen yapısı kullanılmıştır. Birincisi parçaların yerleşimini gösterirken diğeri parçaların çevrilip çevrilmediğini göstermektedir. Farklı bir yerleştirme algoritması ve kesim sayısını

bulmak için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Test problemi olarak 5-20 parça arasında değişen giyotin kısıtsız 5 problem, 5-20 parça arasında değişen giyotin kısıtlı üç problem kullanılmıştır.

3.1.6 Tek veya birden fazla ana malzeme kullanan problemler

Stok kesme problemleri başlığı altında incelenen çalışmalardan farklı olarak Hifi ve Quafi (1997), iki çeşit problem tipi ile ilgilenmişlerdir. Birincisi tek ana malzemeden dikdörtgen parçaların kesilmesi yani özel problemler, ikincisi ise ana malzeme sayısının kısıtlanmadığı genel kesme problemleridir. Giyotin kesme kısıdı benimsenmiştir. Özel kesme problemlerinin çözümünde İlk En İyi Çözümü arama ve En İyiye Gidiş arama metodunun melezlenmesinden oluşan bir algoritma ile dinamik programlamaya dayanan alt sınır ve üst sınır prosedürleri kullanılmıştır. Genel kesme problemlerinin çözümünde ise dinamik programlama metodunu temel alan yeni bir algoritma ile bir sezgisel arama algoritması kullanılmıştır. Morabito ve ark. (1992) tarafından rassal olarak geliştirilmiş 400 test problemleri üzerinde yeni geliştirilen algoritmalar literatürde var olan bazı algoritmalar ile karşılaştırılmıştır.

3.2 Kutu İstifleme Problemleri

Çeşitli sayıda ve boyuttaki dikdörtgen nesnelerin boyut olarak daha büyük dikdörtgen kutu içerisine yerleştirilmesi ile ilgilenen problem tipleridir. Genel olarak benimsenen amaç, nesneleri istiflenmek için kullanılacak olan kutu sayısının en küçüklenmesidir. Yerleştirilecek olan parçalar tek bir kutuya atanabileceği gibi eş yapıya sahip birden fazla kutuya da atanabilir. Bunların dışında eni belirli ölçülerde olup boyu sınırsız kabul edilerek istifleme boyunun küçüklenmesi konusu üzerinde yapılan araştırmalar da vardır. Bu tip araştırmalar bant tipi paketleme problemleri olarak isimlendirilmektedir. Kutu istifleme problemlerinin sınıflandırılmasında kullanılabilecek diğer bir kriter ise çevrim-içi ve çevrim-dışı yerleşimdir.

3.2.1 Tek ana malzemeli tek amaçlı problemler

Tek kutu kullanarak tek amaç benimseyen istifleme problemlerinde en çok benimsenen amaçlardan biri tıpkı stok kesme problemlerinde görüldüğü gibi kullanılmayan alanın en küçüklenmesidir. Bu amacı benimseyen Hopper ve Turton (1999), problemin çözümünde melez algoritmalar kullanmışlardır. İlk öncelikle yerleştirme algoritmaları olan BL ve BLF algoritmaları karşılaştırılmıştır. BL tek başına, daha sonra artan genişlikte sıralanarak, daha sonra artan yükseklikte sıralanarak uygulanmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı şekilde BLF algoritması kombinasyonları da denenerek karşılaştırılmıştır. Bu iki algoritma GA ile melezlenerek uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Algoritma denemeleri için 50 üzerinde parça içeren 5 adet tez problemi kullanılmıştır. Hopper ve Turton (2001), bu çalışmalarında, bir öncekinde olduğu gibi melez algoritmalar kullanmışlardır. Ancak bu çalışmalarında BL sezgiselini sadece GA ile değil diğer meta sezgisel yöntemlerle de melezlemişlerdir. İlk öncelikle yerleştirme algoritmaları olan BL ve BLF algoritmaları karşılaştırılmıştır. BL tek başına, daha sonra artan genişlikte sıralanarak, daha sonra artan yükseklikte sıralanarak uygulanmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı şekilde BLF algoritması kombinasyonları da denenerek karşılaştırılmıştır. Bu iki algoritma ayrı ayrı sırasıyla GA, TB, Doğal Evrim, En iyiye gidiş, Rassal Arama sezgisel algoritmaları ile melezlenerek uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma amacıyla parça sayısı 7 ila 197 arasında değişen 7 test problemi kullanılmıştır.

Leung ve ark. (2003), aynı amaca yönelik olarak iki farklı yöntem kullanmışlardır. Bunlardan birincisi klasik GA ile DP algoritmasının melezlenmesidir. İkincisi ise; GA ile TB kombinasyonu, DP algoritması ile melezlenmiştir. GA ile TB şu şekilde kombine edilmiştir: GA yönteminde çaprazlama ve mutasyon uygulandıktan sonra oluşan yeni iki bireyden ve eski iki bireyden hangi ikisinin kalacağına TB kullanılarak karar verilmiştir. 8 tanesi 10-50 parça arasında değişen ve diğer 9 tanesi de 70-200 parça arasında değişen, iki tanesi rassal olarak türetilmiş 19 farklı test problemi için her iki algoritma ayrı ayrı 15 kez çalıştırılarak ortalama sonuçlar alınmış ve karşılaştırılmıştır.

Liu ve Teng (1999), BL yerleşim algoritmasına yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Ayrıca GA'da kullanılan uygunluk fonksiyonu için uygulanabilir bir öneri getirmişlerdir. Paketleme probleminin çözümü için yeni geliştirilen BL yordamı ile GA melezlenerek 40 parçalık ve 50 parçalık iki problem üzerine uygulanmıştır.

Binkley ve Hagiwara (2007), parçaların döndürülmesine izin verildiği ve izin verilmediği durumları göz önüne alarak aynı amaç üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla geliştirilen bir dört köşe sezgiseli ayrı ayrı GA ve Paralel Birleşimli TB algoritması ile melezlenmiştir. 21 tanesi Hopper ve Turton (2001), 10 tanesi Leung ve ark. (2003) makalelerinden alınmış olan 10-197 dikdörtgen parça arasında değişen 31 test problemi üzerinde algoritmalar denenmiş ve Leung ve ark. (2003) makalesinde geliştirilen GA ve TB melez algoritması sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Gonçaves (2007), Bean (1994) tarafından kullanılan kromozom yapısı ile GA kullanarak sıralama elde etmiştir. DP algoritması kullanılarak geliştirilmiş olan yeni bir sezgisel algoritma ile elde edilen bu sıralama yerleştirilmiştir. Yenileme yöntemi uygulanarak değiştirilmiş uyumluluk fonksiyonları hesaplanmıştır. Literatürde var olan çeşitli problemler için algoritma uygulanarak diğer sezgisel algoritmalar ile karşılaştırılmıştır.

Söke ve Bingöl (2006), dikdörtgen nesnelerin döndürülmeme kısıtını benimsemişlerdir. Problemin çözümünde GA ve TB, BL yerleşim algoritması ile melezlenerek kullanılmıştır. GA için farklı mutasyon oranları, nesil sayıları, çaprazlama yöntemleri, popülasyon büyüklükleri, ardıştırma sayısı; TB için ise farklı sıcaklık değerleri ve ardıştırma sayısı kullanılarak test problemleri üzerinde sınama yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmış ve en iyi parametreler tespit edilmiştir. Ayrıca en iyi parametreler için GA ile TB performansları da karşılaştırılmıştır.

Kullanılmayan alanı en küçükmek amacı dışında Scheithauer ve Sommerveib (1998), alan kullanımı oranını enbüyüklemek üzerine çalışmışlardır. Problemin çözümü için palet yükleme problemlerinin çözümü için yeni bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Rassal olarak oluşturulmuş 100 test problemi için geliştirilen algoritma sınanmıştır.

Chen ve Huang (2007) ise paketleme planı değerin en büyüklenmesi üzerine çalışmışlardır. Parçalar döndürülemez ve parçalar kare olamaz şeklinde iki kısıt benimsenmiştir. Kısıtlı paketleme problemleri için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma iki kısımdan oluşmaktadır. Birincisi dikdörtgen parçaların seçilmesi, ikincisi ise seçilen bu parçaların yerleştirilmesidir. Yerleştirme algoritması olarak köşelere yerleştirme algoritması kullanılmıştır. 21 küçük boyutlu 630 büyük boyutlu test problemleri ve 21 sıfır fireli test problemi ile yeni geliştirilen algoritma sınanmış ve sonuçlar literatürdeki bazı makalelerdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

3.2.2 Tek ana malzemeli çok ölçütlü problemler

Paketlemede temel amaç parçaların uygun bir kutu içinde gruplamaktır. Chan ve ark. (2007) benzer yaklaşımla bir saat fabrikasının kaplama sürecindeki işlemlerin gruplandırılması ile ilgilenmişlerdir. Benimsenen amaçlar; bir gruptaki parça konfigürasyon çeşidini en küçüklemek, bir parça bağlama ekipmanı ile yapılacak iş sayısını enbüyüklemek, zamanında teslim etmek ve makine kapasitesine göre yüklenebilecek maksimum iş yüklenerek gerekli makine işlem sıklığını azaltarak maliyeti en küçüklemektir. Üretim süreci ile ilgili çeşitli kabuller yapılmıştır. Beş farklı amaç, üç farklı ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Falkenauer (1996) makalesinde geliştirilen GA yöntemi FFF yerleştirme algoritması ile melezlenerek uygulanmıştır. Geliştirilen bu algoritma sonuçları gerçek fabrika verileri ile karşılaştırılmıştır.

Kullanılan alan oranının en büyüklenmesi ve kutulama planı belirlenirken geçen bilgisayar zamanının en küçüklenmesi amacı doğrultusunda Wu ve ark. (2002), Düşük Esneklik Önceliği (Less Flexibility First) yaklaşımını temel alan bir çözüm yöntemi benimsemişlerdir. Literatürde var olan algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. 16-97 dikdörtgen parça arasında değişen rassal olarak oluşturulmuş paketleme verileri üzerinde algoritmalar denenmiştir.

3.2.3 Birden fazla ana malzemeli tek amaçlı problemler

Birbirine eş birden fazla dikdörtgen kutu kullanan araştırmalarda en çok benimsenen amaç paketlemek için kullanılan kutu sayısını en küçükleme. Bu amaçla Dell'Amico ve ark. (2002), İki boyutlu kutu paketleme problemleri için Martello ve Vigo (1998) tarafından geliştirilmiş tek sürekli alt sınır ifadesine karşı bir alt sınır yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımın etkinliğini ölçmek amacıyla bir dal sınır algoritması geliştirilmiştir. Rassal olarak oluşturulmuş 10-100 parça arasında değişen test problemleri üzerinde yeni geliştirilen alt sınır ve sürekli alt sınır yaklaşımları denenmiş sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Lodi ve ark. (1999), dikdörtgen parçaların döndürülmesine izin verilmeme ve giyotin kesim kısıtını benimsemişlerdir. Problemin çözümünde TA algoritması kullanılmıştır. Kötü sonuçlar doğuran yönleri olmasına rağmen TA için iyi bir başlangıç noktası oluşturduğundan başlangıç çözümün bulunmasında basit bir sezgisel algoritma kullanılmaktadır. Bu algoritma Martello ve Vigo (1998) tarafından geliştirilen algoritmayı temel almaktadır. Ayrıca FFF ve FBS yöntemleri ile alt sınır hesaplanmıştır. Geliştirilen TA algoritması Martello ve Vigo başlangıç çözümü ile başlamakta ve FBS algoritması kullanılarak devam etmektedir. Toplam 36 test problemi için algoritmalar denenmiştir. FFF, FBS ve TA algoritmaları, belirli bir süre için elde edilen sonuçlar çerçevesinde karşılaştırılmıştır.

Martello ve Vigo (1998), literatürde var olan iyi performans gösteren alt sınır algoritmalarını analiz etmişler ve en kötü performansları belirlemişlerdir. Dal sınır algoritması yöntemi ile yeni bir alt sınır algoritması geliştirmişlerdir.

Kullanılan kutu sayısının en küçüklenmesi amacı dışında Fujitha (2003), çevrim-içi yerleşim konusu üzerine araştırma yapmıştır ve tek aktif ana malzeme kullanmıştır. Makalede çevrim-içi algoritma için alt sınırın $23/11$ ve üst sınırın m ana levhanın bir kenarı olmak üzere $(4/13)\sqrt{m} - o(\sqrt{m})$ olduğu kanıtlanmıştır. $O((\log \log m)^2)$ performans göstergeli yeni bir çevrim-içi algoritma geliştirilmiştir.

3.2.4 Sınırsız boyda ana malzeme kullanan problemler

Bant tipi paketleme problemleri üzerine yapılan araştırmalara baktığımızda paketleme yüksekliğinin en küçüklenmesi amacının benimsendiğini görmekteyiz. Bortfeldt (2006), çalışmasında kısıt olarak dört farklı kombinasyon benimsemiştir. Bunlar; parçalar döndürülebilir-giyotin kısıtsız, parçalar döndürülebilir-giyotin kısıtlı, parçalar döndürülemez-giyotin kısıtsız, parçalar döndürülemez-giyotin kısıtlıdır. Bant tipi paketleme yapılmaktadır. Bortfeldt ve Gehring (2001) makalesinde söz edilen konteyner yükleme amaçlı geliştirilmiş olan GA bant tipi paketleme problemleri için uyarlanmıştır. Ayrıca bir yerleştirme algoritması kullanılmamıştır. Özel genetik operatörler kullanılmıştır. Çeşitli makalelerden alınmış 10-5000 parça arasında değişen 100 den fazla test problemi üzerinde algoritma sınanmış ve ilgili makale test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Imreh (2001), çalışmasında çevrim-içi ve bant tipi paketleme problemleri üzerine araştırma yapmıştır. Paketlenecek olan dikdörtgen kutuları uzatmak suretiyle şekilleri değiştirilebilmektedir. Genel paketleme problemleri için geliştirilmiş dört farklı algoritma, boyutları değiştirilebilir çevrim-içi paketleme problemine uyarlanmıştır. Mukhacheva ve Mukhacheva (2004), aynı amaç doğrultusunda Genetik Blok algoritma geliştirmişlerdir. Toplam 15 test problemi kullanılarak algoritma sınanmış ve sonuçlar literatürde var olan bazı sezgisel yöntemler ile karşılaştırılmıştır.

Zhang ve ark. (2007), Özyinelemeli sezgisel algoritmasını temel alan bir yerleştirme algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma GA ile melezlenerek 16-197 parça arasında değişen 21 literatür problemi, 10-500 parça arasında değişen 12 uyarlanmış problem üzerinde denenmiştir. Sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Hem kesme hem de istifleme problemlerine uygulanabilecek bir çözüm yaklaşımı sunan Lee ve Sewell (1999), tek dikdörtgen ana malzemeden çeşitli büyüklükteki dikdörtgen parçaların kesilmesi ya da istiflenmesi ile ilgilenmişlerdir. Amaç firenin ya da istif boyunun en küçüklenmesidir. Tekneler için malzeme üreten bir firma göz önüne alınmıştır. Firma ana malzeme olarak bir tür sağlam plastik rulo kullanmaktadır. İlk olarak giyotinsiz kesme problemleri için matematiksel model verilmiştir. Bir TB algoritması geliştirilmiştir. TB’da

kullanılan Sıkı Alt Sınır (Tighter Lower Bound) metodu türetilmiştir. Literatürde var olan En İyi Azalan Yükseklik (The Best-Fit-Decreasing-Height), Yığın algoritma (Stack algorithm) ve Birleşik algoritma (The Combined algorithm) tanıtılmıştır. Firmadan alınan 37 veri seti üzerinde bu dört algoritma denenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca CPLEX ile programlanan tamsayılı matematiksel model ile de sonuçlar verilmiştir.

Hifi (1998) ise eni sabit yüksekliği sınırsız dikdörtgen ana malzemeden dikdörtgen parçaların kesilmesi/paketlenmesi ile ilgilenmektedir. Amaç yüksekliği en küçükmektir. Şerit ve giyotin kesme kısıtları benimsenmiştir. Üst sınırın bulunmasında; literatürde var olan Artımlı Alt Şerit sezgiseli kullanılmıştır. Bu prosedür tam sayılı doğrusal programlama ile bir boyutlu sınırlı sırt çantası problemini temel almaktadır. Problemin çözümüne iki farklı yaklaşım geliştirilmiştir. Bunlardan birinci yaklaşım iki farklı algoritma kullanmaktadır. Bu algoritmalar: Hifi (1997a) tarafından geliştirilen MVB algoritmasının Artımlı Alt Şerit sezgiseli uygulanarak geliştirilmiş olan Artımlı MVB algoritması ve birinciye göre daha kompleks olan ve ağaç arama ve ikili arama prosedürlerini kullanan kısa zamanlı MVB algoritmasıdır. İkinci yaklaşım; en uygun arama stratejisini kullanan MVB algoritmasıdır. Rassal olarak oluşturulmuş 25 problem üzerinde yaklaşımlar denenmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Azar ve Epstein (1997), tüm parçalar düşünüldüğünde en küçük eni sahip parça ε olmak üzere $O(\log(1/\varepsilon))$ performans göstergesini eniyilemeyi amaçlamışlardır. Tedris oyunundaki gibi paketlenen kutuların boyutları önceden bilinmemektedir ve kutular yerleştirildikten sonra yerleri değiştirilmemektedir. Yani çevrim-içi bir paketleme türü benimsenmiştir. Yerleştirilecek olan parçalarda döndürmeye izin verilip verilmemesine göre iki yönden problem ele alınmıştır. Benimsenen amaç istif boyunun en küçüklümesidir. Makalede çevrim-dışı paketleme ile kutular paketlenildiğinde elde edilen yükseklik maliyeti ile çevrim-içi paketleme maliyeti arasındaki oran performans göstergesi olarak ele alınmıştır. Parçaların döndürülmesine izin verildiği takdirde sabit bir performans oranı veren bir algoritma geliştirilmiştir. Parçaların döndürülmesine izin verilmediğinde ise $O(\log(1/\varepsilon))$ performans göstergeli bir algoritma tasarlanmıştır. Burada genişlik ε ile $1-\varepsilon$ arasında

sınırlandırılmıştır. Hiçbir algoritmanın $\Omega(\sqrt{\log(1/\epsilon)})$ değerinden daha iyi sonuç vermediği gösterilmiştir. Vega ve Zissimopoulos (1998) ise istif yüksekliğinin $1+\epsilon$ sürede optimal değere ulaşması konusu üzerine çalışmışlardır. Amacı gerçekleştirmek amacıyla yeni bir matematiksel yaklaşım geliştirilmiştir.

Paketleme boyunun küçüklenmesi amacının dışında Kim ve ark. (2001), yükseklik maliyeti ile her bir parça için azaltma maliyetinin toplamının en küçüklenmesi üzerine çalışmışlardır. Paketlenecek olan dikdörtgen kutuların şekilleri değiştirilebilmektedir Amaç fonksiyonu, karesel fonksiyon ile ifade edilmiştir. Bir parçanın yüksekliğinin düşürülmesi yükseklik maliyetini düşürürken azaltma maliyetini yükseltmektedir. Bu nedenle parçaların şekillendirilmesinde bulanık mantık kullanılmıştır. Parçaların yerleştirilmesinde ise BL sezgiseli kullanılmıştır. 6 parçalı bir adet test problemi üzerinde geliştirilen çözüm yaklaşımı sınanmıştır.

3.3 Yükleme Problemleri

Belli bir kapasiteye sahip dikdörtgen alana daha küçük ölçüdeki nesne kümesinin yüklenmesi problemini ele alan bir araştırma konusudur. Burada amaç ana nesne belli kapasiteye sahip olduğundan dolayı yüklenecek olan nesne sayısını enbüyüklemektir. Palet yükleme, araç yükleme, konteyner yükleme gibi çeşitleri vardır. Çalışma kapsamında incelenmiş olan makaleler palet yükleme problemlerini kapsamaktadır. Palet yükleme problemlerinde yüklenen nesne kümesindeki parçaların boyutları birbirine eşittir.

Amaral ve Wright (2001), problemin çözümünde Stratejik Salınım algoritması kullanmışlardır. Geçersiz sonuçların limitli olarak bulunmasına izin verildiği bir algoritmadır ve içerisinde TA algoritması kriterleri de kullanılmıştır. 100 test problemi üzerinde denenmiştir. Bir tane 97 kutuluk büyük çaplı bir problemde denenmiştir. Bhattacharya ve ark. (1998) ise bu konuda İlk Uygun Derinlik stratejisini kullanan yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Dowsland (1984)'de geliştirilen En Fazla Genişlikli Sıra Dolumu Dizilimi (Maximal Breath Filling Sequence) kullanılmıştır. Yerleşimde yukarı sol köşe yordamı kullanılmıştır. Büyük çaplı problemlerde hesaplama zamanı uzadığından arama

uzayını sınırlayan iki çeşit yaklaşım geliştirilmiştir. Bunlardan biri alt sınır, diğeri baskın durumdur. 2000'in üzerinde problem ile algoritma denenmiştir.

3.4. Yerleştirme ve Yuvalama Problemleri

Yuvalama, kesilecek olan parçaların ana levha üzerine yerleştirilmesini konu alan problem tipleridir. Yerleştirme ise, bir alan üzerine birimlerin yerleştirilmesini konu alan problem tipleridir. Tesis yerleşim problemleri olarak da isimlendirilmektedir.

3.4.1 Tek ana malzemeli tek amaçlı problemler

Hadjiconstantinou ve Iori (2007), kesilecek olan çeşitli sayıda ve büyüklükte dikdörtgen parçaların veya kare parçaların dikdörtgen tek ana levha üzerine yuvalandırılması ile ilgilenmişlerdir. Amaç, kesilen parçaların değerlerinin en büyüklenmesidir. Parçaların döndürülememesi kısıtı benimsenmiştir. Geliştirilen beş açgözlü algoritma ile alt sınır ve üst sınır hesaplanmıştır. Bu hesaplar başlangıç çözüm olarak kullanılmıştır. Çözüm yaklaşımı olarak melez bir GA geliştirilmiştir. GA için seçkincilik, göç oranı, farklı çaprazlama alternatifleri kullanılmıştır. Yerleştirme algoritması olarak ise TC çevrim-içi sezgisel algoritması kullanılmıştır. Parça sayısı 100'den küçük olan 38 problem ve parça sayısı 40-4000 arasında olan 630 problem için hem bilgisayar zamanı hem de sonuç olarak algoritma sınanmış ve sonuçlar literatürde var olan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Healy ve ark. (1999), dikdörtgen parçaların dikdörtgen bir alana kullanılmayan alanı en küçükleyecek şekilde yerleşiminin yapılmasını incelemişlerdir. Problemin çözümünde bir boyutlu ε -yakınlık yerleştirme problemleri temel alınmıştır. Bu problemler BL yerleştirme algoritması ile en iyi çözüm $O(n)$ süresinde bulunmaktadır. Yeni geliştirilen algoritma BL ve sağ üst köşe yerleşimine dayanmaktadır. Daha iyi bir şekilde sonuç $\Omega(n \log n)$ sürede bulunmaktadır.

Schnecke ve Vornberger (1997), tesis yerleşim problemleri ve makro hücre yerleşim oluşum problemlerini ele almışlardır. Amaç akış maliyetini en küçükmektir. Çözüm için GA kullanılmıştır. Ancak farklı olarak yerleşim gösterimi ikili bölme ağaçları ile yapılmış ve özel genetik operatörler kullanılmıştır.

3.4.2 Tek ana malzemeli çok ölçütlü problemler

Almeida ve ark. (1998), dikdörtgen parçaların ana levha üzerinde kapladığı alanı en küçükleyecek yerleşimin yapılması ve optimal kesme sırasının belirlenmesi amaçlarını benimsemişlerdir. Kesme problemleri için optimal yerleşimin yapılması amacıyla Stockmayer (1983) tarafından geliştirilen algoritma incelenmiştir. Ancak bu algoritma sadece yerleşimi göz önünde bulundurmaktadır. Bu nedenle matematiksel modellerle desteklenerek kesim yönünü dikkate alarak optimal kesme sırasını belirleyen yeni bir algoritma yazılmıştır. Ayrıca hem Stockmayer algoritması hem de yeni geliştirilen algoritmaya iki farklı yaklaşım uygulanmıştır. Bunlar KL; İlk uygun çözümün rassal olarak türetilmesi ve Mis; ilk uygun çözümün yukarıdan aşağıya kümelenmiş yapı kullanılarak türetilmesidir. Performans ölçütü olarak dört ifade kullanılmıştır. Bunlar toplam alan, yarı çevre (a^2+b^2), toplam alan-işgal edilmiş alan oranı, alan + özel uzunluk ($A+\lambda W$)'dir. Rassal olarak oluşturulmuş 10 problem üzerinde KL-Stockmayer, Mis-Stockmayer ve KL-yeni geliştirilen algoritma, Mis-yeni geliştirilen algoritma denenmiş ve ortalama sonuçlar alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Yeni geliştirilen algoritmanın performans ölçütleri göz önüne alındığında Stockmayer algoritmasına göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Bunun dışında çok ölçütlü yapı benimseyen tesis yerleşimi problemleri ile ilgilenen Ertay ve ark. (2006), Sert Plastic Profile Industry şirketinde bir uygulama yapmışlardır. Bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Departmanlar arasındaki ilişkiler bulanık mantık yöntemi ile belirlenmektedir. Eldeki veriler ve bulanık mantık yönteminden elde edilen veriler Vis-Factory programına girilerek alternatif yerleşim planları oluşturulmaktadır. Bu planlara ait uzaklık değerleri,

malzeme aktarma araçlarının verimliliği, aktarma maliyeti, şekil oranı ve bulanık mantık yöntemi ile elde dilmiş olan yakınlık ilişkileri elde edilmektedir. Alternatif planlar kalite ve esneklik açısından AHP yöntemi ile değerlendirilmektedir. Son olarak bu nitel ve nicel sonuçları değerlendirmek amacıyla veri zarflama analizi kullanılmaktadır. Veri zarflama analizinde aktarma maliyeti ve yakınlık ilişkileri girdi olarak; şekil oranı, malzeme aktarma araçlarının verimliliği, esneklik ve kalite çıktı olarak değerlendirilerek her bir alternatifin etkinlik katsayısı hesaplanmaktadır. Yang ve Kuo (2003) ise çözüm yaklaşımı olarak hiyerarşik AHP ve Veri zarflama yöntemleri kullanmışlardır. Tayvan'da bir IC paketleme şirketinde uygulama yapılmıştır. Spiral paket programı kullanılarak elde edilen verilere uygun alternatif yerleşim planları çıkartılarak uzaklık ölçüsü, ilişkisel yakınlık ve şekil oranı olarak nicel bazı değerler hesaplanmaktadır. Çıkartılan bu alternatif planlar, nitel özellikler (esneklik, ulaşılabilirlik ve bakım) açısından AHP kullanılarak değerlendirilmektedir. Son olarak bu alternatif planların nitel ve nicel ölçülerini birleştirerek etkinlik skoru hesabı veri zarflama yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Şirketten alınan gerçek veriler ile çözüm yaklaşımı değerlendirilmiştir.

3.4.3 Birden fazla ana malzemeli tek amaçlı problemler

Birden fazla dikdörtgen ana malzeme kullanarak dikdörtgen parçaların yuvalandırılması ile ilgilenen Babu ve Babu (1999), ana malzemenin verimliliğini arttırmayı amaç olarak benimsemişlerdir. Yani firenin en küçüklenmesi üzerine çalışmışlardır. Fire göz önüne alınırken kalan parçanın işe yarayıp yaramamasına göre bir değerlendirme yapılmaktadır. Aşındırıcı su jeti kesme prosesi kullanıldığı için her parçaya kesme genişliği payı eklenmektedir. Parçaların hangi ana malzemeye nasıl bir sırada yerleştirileceği GA ile yerleştirme ise BL yöntemi ile yapılmıştır. 50 parça ve 5 ana levhalı bir adet rassal olarak türetilmiş problem üzerinde melez algoritma denenmiş ve sonuçlar literatürde var olan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

3.4.4 Birden fazla ana malzemeli çok ölçütlü problemler

Chryssolouris ve ark. (2000), halı dokuma fabrikasında bir uygulama yapmışlardır. Dikdörtgen desenlerin halılar üzerine yerleştirilmesi ile ilgilenmişlerdir. Getirilen çözüm yaklaşımı desen yerleşim plan alternatiflerinin türetilmesini kapsamaktadır. Bu alternatifler arasında geçiş bir kural çerçevesi içinde olmakta en son olarak farklı kriterler kullanılarak performansları hesaplanmaktadır. Bu kriterler teslim tarihi, ana malzeme ve makinelerin kullanımını enbüyüklemek ve maliyeti en küçükmektir. Bu kriterleri doğrusal ölçekli dönüşüm yöntemi ile normalleştirildikten sonra birleştirmek için basit katkılı ağırlıklandırma metodu kullanılmıştır. Alternatifler arasındaki geçiş kuralı, uzman kişi ve fabrika verilerinden elde edilen bilgilere dayanarak geliştirilmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesi ve sonuç bir karar destek sistemi ile verilmektedir. Bu karar destek sistemi çeşitli veri tabanları ile ilişkilidir ve planlama yapılırken gerçek çalışma takvimini kullanmaktadır. Çözüm olarak makine bazında desen yerleşim planları çıkmaktadır. 2 ana malzeme ve 79 tane siparişin bulunduğu fabrikadan alınan bir örnek üzerinde sistem denenmiştir.

3.5 Sıralama Problemleri

Kesim sürecinde eğer birden fazla kesme planı oluşturulmuşsa aynı siparişi oluşturan parçaların birlikte ya da kısa bir süre farkı ile kesilmelerini sağlamak amacıyla oluşturulan kesme planlarının hangi sırada sürece dâhil edileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu sıranın belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar sıralama problemleri olarak bilinmektedir.

Yerleştirme problemlerinde de bahsedildiği gibi Almeida ve ark. (1998) dikdörtgen parçaların ana levha üzerine yerleştirilmesi ve kesme sırasının belirlenmesi problemlerini birlikte ele almışlardır.

3.5.1 Tek amaçlı problemler

Faggioli ve Bentivoglio (1998), partiler halindeki kesim sipariş kuyruğunu en küçükleme amacıyla uygun kesim planı sırasının belirlenmesi problemin çözümü amacıyla matematiksel model ve üç aşamalı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Birinci aşamada aç gözlü arama yöntemi kullanılmış. İkinci aşamada arama yöntemi geliştirilerek TA ve yerel arama prosedürü uygulanmıştır. Üçüncü aşama ise örtülü numaralandırma prosedürleri uygulanmıştır. Her bir prosedür rassal olarak oluşturulmuş 300 test problemine uygulanmış sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yanesse (1997), bir ahşap kesme sürecinde birden fazla dikdörtgen ana ahşap levhalardan dikdörtgen panellerin kesilmesi süreci ile ilgilenmiştir. Aynı ölçüdeki paneller bir yığın oluşturmaktadır ve siparişler içerisindeki aynı ölçülü son panel kesilinceye kadar o ölçüye ait yığın açık yığın olarak isimlendirilmektedir. Amaç açık yığın sayısını en küçükleyecek kesme kalıbı sırasını belirlemektir. Problemin çözümünde dal sınır algoritması kullanılmıştır.

3.5.2 Çok ölçütlü problemler

Madsen (1988), çalışmasında kesme süreci ile ilgili çok amaçlı ve gilyotin kısıtlı bir yapı benimsemiştir. Bu amaçlar; kullanılmayan alanın en küçüklenmesi ve aynı siparişteki ilk parça ile son parça arasındaki ana malzeme sayısı olarak uzaklığın en küçüklenmesidir. Cam sanayisinde uygulama yapılmıştır. İki aşamalı bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Birinci aşamada Gilmore ve Gomory (1966) stok kesme algoritması uygulanarak kesme planlarının belirlenmesidir. İkinci aşamada ise belirlenen bu kesme planlarının kesim sırasını belirlemek amacıyla gezgin satıcı yaklaşımı ile formüle edilmiştir. Algoritmanın test edilmesi için cam sanayinden alınan gerçek veriler kullanılmıştır.

3.6 Stok Malzeme Seçim Problemleri

Kesme süreci ile ilgili olarak elde edilmesi gereken sipariş parçalarına uygun ana levhanın belirlenmesi ile ilgilenen problem tipidir. Bu konuda Gasımov ve ark. (2004), fire maliyetini ve toplam stok maliyetini en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Kesilecek sipariş parçalarının yerleştirirken döndürülmesine izin verilmemektedir. Problemin çözümünde doğrusal ve doğrusal olmayan karma tamsayılı çok ölçütlü iki model önerilmiştir. Modellerin konveks olmayan doğası gereği daha önce geliştirilmiş olan skalerleştirme yöntemi kullanılmış, ağırlıklandırma yöntemi ile bulunamayan Pareto en iyi çözümler bulunmuştur. Türetilmiş bir örnek ile yöntem anlatılmıştır.

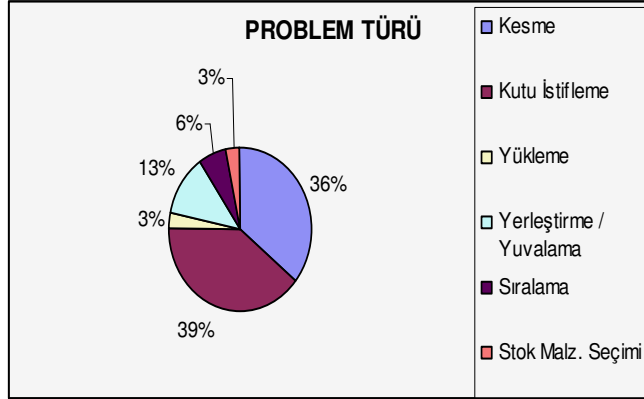
Lin (2006) ise kullanılan alanı en küçüklemek doğrultusunda dikdörtgen sipariş parçalarının sağlanabilmesi için gerekli olan tek dikdörtgen ana malzemenin belirlenmesi ile ilgilenmiştir. Sıralama algoritması olarak GA yerleştirme algoritması olarak ise rassal BL kullanarak melez algoritma geliştirmiştir. 9 adet test problemi üzerinde geliştirilen yöntem denenmiş ve sonuçlar literatürde var olan en iyi tam sayılı programlama sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

3.7 Mevcut Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde incelenen çalışmalar problem tipi, sipariş parçasının özellikleri, ana malzemenin özellikleri, benimsenen amaç ve kısıtlar, çözümde kullanılan bilgisayar programları, uygulama yeri ve geliştirilen çözüm yaklaşımı açısından sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırma çalışmasından elde edilen sonuçlar problem türüne, kullanılan ana malzemeye, benimsenen amaçlara/ölçütlere, göz önüne alınan kısıtlara, çözüm yaklaşımına ve çözüm yaklaşımının sınanma çeşidine göre değerlendirilmiştir.

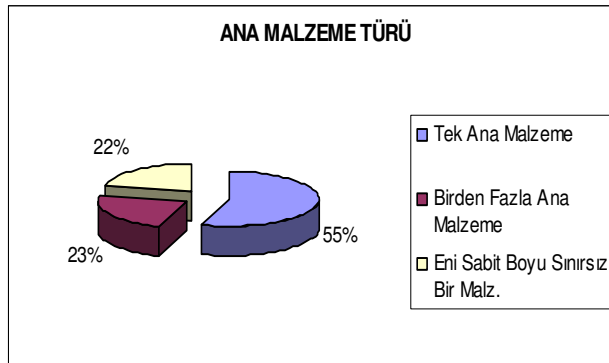
Çalışmalar problem tipine göre; stok kesme, kutu istifleme, yükleme, yerleştirme/yuvalama, sıralama ve stok malzeme seçimi başlıkları altında incelenmiştir. Şekil 3.2’de de görüldüğü gibi %36’lık bir oranla kesme, %39’luk

bir oranla da kutu istifleme incelenen çalışmaların büyük bir kısmını oluşturmaktadır.



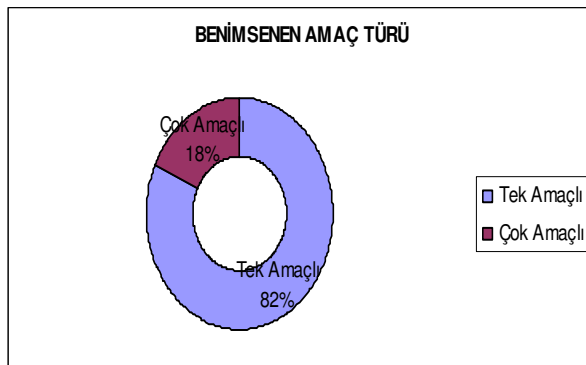
Şekil 3.2. Problem Türüne Göre Çalışmaların Dağılımı

Problem tipinden sonra çalışmalar alt başlık olarak kullanılan ana malzemeye göre sınıflandırılmıştır. Genel anlamda kullanılan ana malzeme terimi kesme problemlerinde stok malzemesini, istifleme problemlerinde nesnelerin istiflendiği kutuyu, yerleştirme problemlerinde tesisi, yükleme problemlerinde paleti ya da konteyneri simgelemektedir. Bunlar; boyutları belirli tek ana malzeme, boyutları belirli aynı ölçülere sahip ya da farklı ölçülere sahip birden fazla ana malzeme ve genişliği sabit boyu sonsuz kabul edilen şerit tipi malzemelerdir. Şekil 3.3’de verilen grafikten de görüldüğü gibi incelenen çalışmaların yarısından fazlası tek ana malzeme kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır.

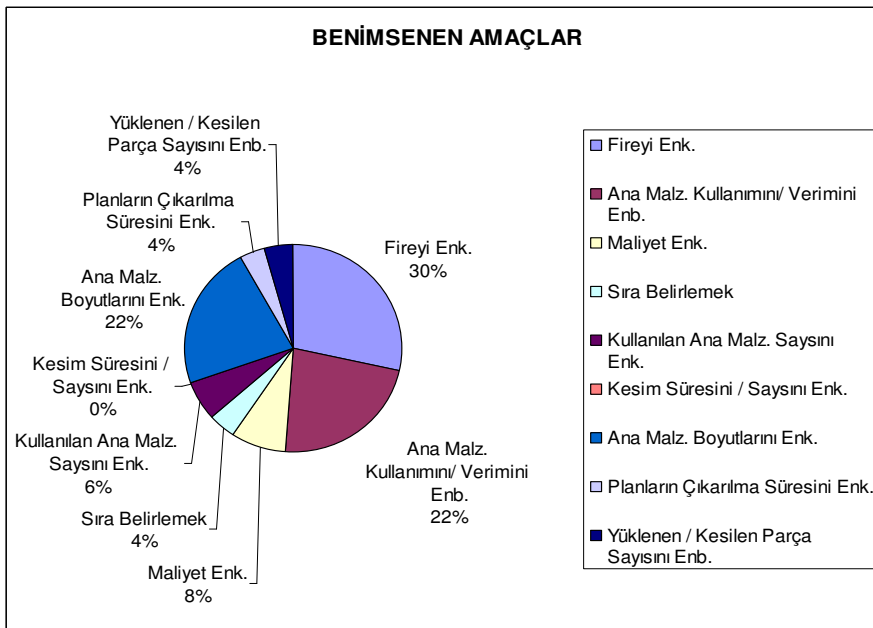


Şekil 3.3. Ana malzemenin türüne göre çalışmaların dağılımı

Benimsenen amaçlar öncelikle tek/çok amaçlılık açısından incelenmiş, daha sonra Şekil 3.4’de verildiği gibi genel başlıklar altında gruplandırılmıştır. Şekil 3.5’e baktığımızda çok büyük bir oranla tek amaçlılığın benimsendiği görülmektedir. Amaçların çeşitliliğine baktığımızda en büyük oranın firenin en küçüklenmesi, ana malzeme kullanımının en büyüklenmesi ve ana malzeme boyutlarının en küçükleme olduğu görülmektedir. Bu oranlardan da görüldüğü gibi kesme sürecindeki en önemli unsur ana malzemedir. Bu nedenle ana malzemenin optimizasyonu üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır.

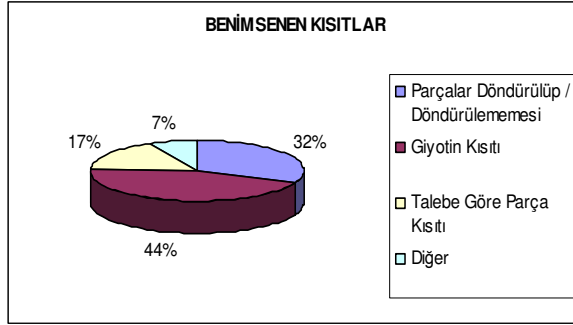


Şekil 3.4. Benimsenen amacın türüne göre çalışmaların dağılımı



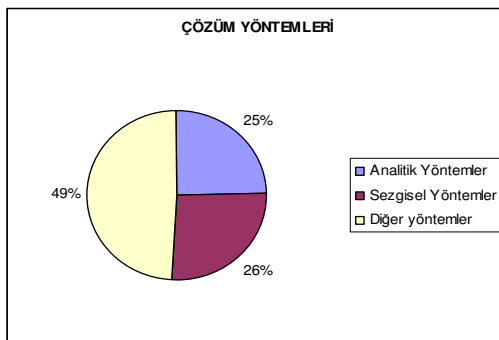
Şekil 3.5. Çalışmalarda benimsenen amaçlar

Şekil 3,6'dan de görüldüğü gibi çalışmalarda, parçaların kesme planına yerleştirilirken 90° döndürülüp-döndürülememesi kısıtı, giyotin kısıtı, kesilecek parça sayısının talebe göre ayarlanması kısıtı ve üretim sürecinden kaynaklanan diğer kısıtlar benimsenmiştir. En çok ilgilenilen, giyotin kısıtı daha sonra parçaların yön kısıtı olmuştur.

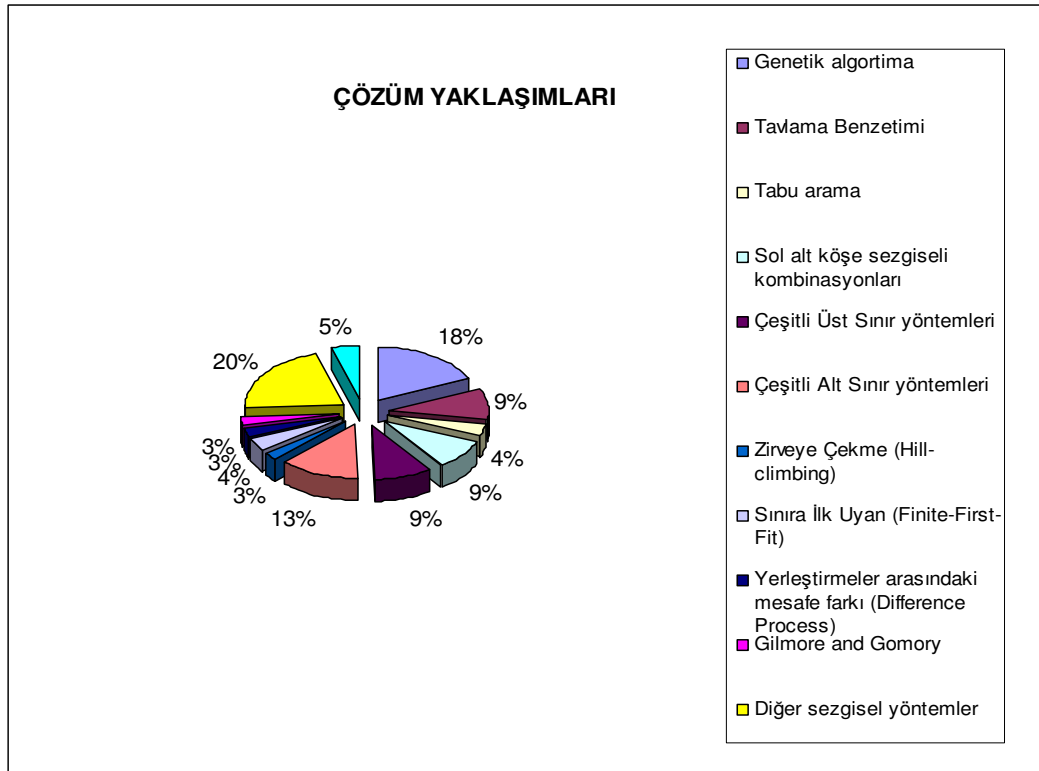


Şekil 3.6. Çalışmalarda benimsenen kısıtlar

İncelenmiş olan çalışmalarda NP olarak tanımlanan kesme problemlerinin çözümü için genel başlıklar altında analitik yöntemler, sezgisel yaklaşımlar ve diğer yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin kullanım yüzdeleri Şekil 3.7'de verilmiştir. Şekil 3.8'de ise incelenmiş olan çalışmalarda sık olarak rastlanılan analitik yöntemler, sezgisel yöntemler ve yerleştirme algoritmaları kullanım dağılımı verilmiştir. İncelenmiş olan çalışmaların içindeki en büyük çözüm yöntemi oranı genetik algoritmaya aittir. Üst sınır ve alt sınırların bulunması için geliştirilmiş olan sezgisel ve analitik yöntemler de büyük bir orana sahiptir.

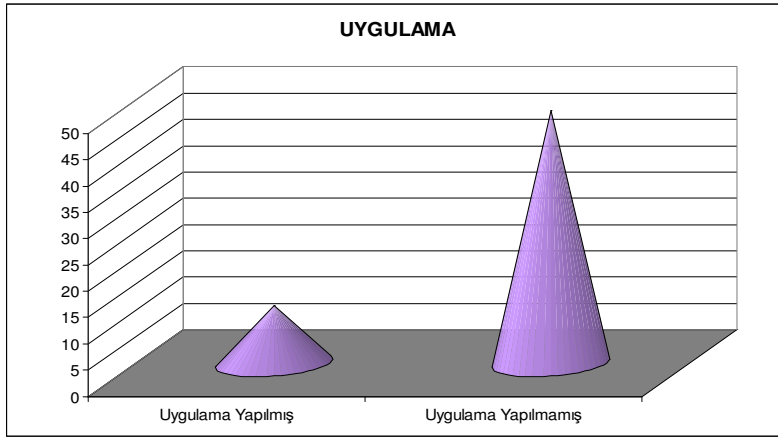


Şekil 3.7. Çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemleri

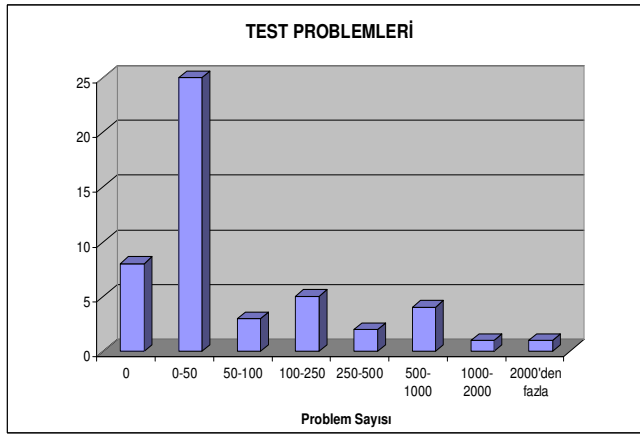


Şekil 3.8. Sık kullanılan çözüm yaklaşımlarının dağılımı

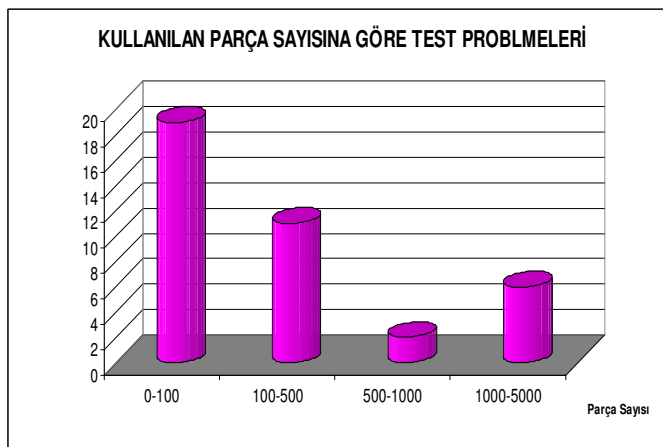
Geliştirilmiş olan bu çözüm yaklaşımlarının sınanmasında Şekil 3.9'dan da görüldüğü gibi çok büyük bir oranla gerçek hayat problemleri ile sınama yapılmamış, literatürde var olan test problemleri kullanılmıştır. Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'deki verilere bakıldığında geliştirilen çözüm yaklaşımlarının yaklaşık yarısının sınamasında kullanılan test problem sayısı 50 ve altındadır. Problemlerde kullanılan sipariş parça sayısı genellikle 0-100 aralığında yoğunlaşmıştır.



Şekil 3.9. Çalışmalarda uygulama yapılma oranı



Şekil 3.10. Kullanılan test problem sayılarının çalışmalara göre dağılımı



Şekil 3.11. Test problemlerinde kullanılan sipariş parça sayısının dağılımı

3.8 Mevcut Çalışmaların Genel Olarak Değerlendirilmesi ve Öneriler

İncelenmiş olan çalışmaların çıkarılabilir sonuçlar ve bu sonuçlarda görülen eksiklikler dikkate alındığında ileride yapılacak olan çalışmalar için önerilebilecek bazı potansiyel araştırma önerileri aşağıda verilmiştir.

- ◆ Ana levha özellikleri grafiğinden de görüldüğü gibi çalışmaların %69'luk bir kısmı tek ana levha üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak farklı ölçülerde ana levha alternatiflerinin arasından sipariş parçalarına uygun ana malzemelerin kullanılması kullanım verimliliğini arttıracak ve fire miktarını azaltacaktır. Bu durumda birçok endüstri için büyük bir kalem olan malzeme maliyetini azalmış olacaktır. Bu nedenle sipariş parçaları için uygun ana malzeme seçim problemleri ile kesme problemlerini birlikte ele alarak bir çözüm yaklaşımı geliştirerek daha verimli bir çözüm elde etmek üzerinde durulması gereken konulardan biri olabilir.
- ◆ Özellikle hazırlık aşaması düşünüldüğünde üretim süresini arttırmayacak ancak malzeme yönünden fayda sağlayacak olan kesme planı alternatifleri üreten ve bu planların üretim sürecine dâhil edilmesinde kullanılacak olan sırayı belirleyen bir çözüm yaklaşımı geliştirmeye ihtiyaç vardır.
- ◆ Çalışmaların %81 gibi çok büyük bir kısmı tek amaç üzerine yoğunlaşmıştır. Bu oranın büyük bir kısmını ise fire miktarını en küçükleme ve malzeme kullanımını enbüyükleme oluşturmaktadır. Ancak üretim sürecinde malzeme büyük bir etken olmasına karşın bunun yanında işçilik ile ilgili faktörler, taşıma faktörleri, ayar faktörleri, firenin yeniden kullanılabilirliği, bazen kesme planlarının oluşturulması süresi, stok maliyeti, elde tutma maliyeti gibi stok ile ilgili unsurlar, kullanılan makine kapasitesi ile ilgili unsurlar da üretim sürecinde etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde malzemenin yanında diğer unsurları da göz önünde bulunduran çok amaçlı bir yapının ele alınması daha çok üzerinde çalışılması gereken bir konu olabilir.
- ◆ Benimsenen kısıtlara bakıldığında çalışmalarda ilgilenilen problemlerin %48'lik bir kısmının kısıtsız olduğu görülmektedir. Kısıtlı problemlerde ise en çok ele alınan kısıtlar kesme süreci ile ilgili olan giyotin kısıtı ve sipariş parçalarının deseninden kaynaklanabilecek parçaların kesme planlarına

yerleştirilirken 90 derece döndürülerek yerleştirilememesi kısıttır. Oysa gerçek uygulamalarda malzeme ile ilgili olarak kalınlık, ağırlık, yoğunluk, parça çeşidi; kesme süreci ile ilgili olarak sipariş teslim süresi, bıçak sayısı, kesme kapasitesi, kesme payları, makine hassasiyeti ve çeşitli yönetsel kısıtlar vardır. Geliştirilen yöntemlerin uygulamada kullanılır olması açısından çözümde bu tür kısıtların göz önüne alınmasına ihtiyaç vardır.

- ◆ Bu tür problemlerde yukarıda da bahsedildiği gibi bir süreci etkileyen birden fazla girdi ve çok sayıda performans ölçütü diğer bir değişle çıktı mevcuttur. Bunun yanında çok çeşitli yöntemlerle elde edilebilecek birçok kesme planı alternatifleri mevcuttur. Bu nedenle oluşturulan bu alternatifler için bir etkinlik ölçüm yöntemi kullanılabilir.
- ◆ Ana malzeme ya da kesme planı sayısının belirlenmesinde, kesme planı sırasının belirlenmesinde kalite, esneklik gibi bazı nitel kavramların değerlendirilmesi amacıyla ya da birden fazla amaç benimsenmek istendiğinde bu amaçların ağırlıklandırılmasında AHP gibi karar verme yöntemlerinin kullanılması potansiyel bir araştırma konusu olabilir.
- ◆ Çözüm yöntemi olarak geliştirilen birçok sezgisel yöntemde kullanılan parametreler daha önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlara dayanarak sabit kabul edilmektedir ya da belirli aralıktaki iki-üç alternatif denenerek en iyi sonucu veren kabul edilmektedir. Oysa her sürecin ve benimsenen değerlerin birbirinden farklı olduğu düşünüldüğünde çözüm türetilmeden önce çözüm yönteminde kullanılacak olan parametrelerin belirlenmesinde deney tasarımının kullanımına ihtiyaç vardır.
- ◆ Çalışmaların çoğunda GA ile BL, FFF ve DP algoritmaları melezlenerek kullanılmıştır. GA ile TA, GA ile TB gibi meta sezgisel yöntemlerin melezlenmesi potansiyel bir araştırma konusu olabilir.

4. İKİ BOYUTLU DİKDÖRTGEN ŞEKLİ MALZEME KESME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN YENİ BİR YAKLAŞIM

Bu çalışmada, iki boyutlu dikdörtgen şekilli malzeme kesme problemlerinin çözümü için; genetik algoritma, yerleştirme algoritmaları ve çok ölçütlü karar verme tekniklerinin beraber kullanıldığı bir yaklaşım sunulmaktadır. İzleyen bölümde önerilen yaklaşımda kullanılan bu teknikler ana hatlarıyla anlatılmakta ve daha sonra geliştirilen yeni yaklaşım tanıtılmaktadır.

4.1 Geliştirilen Yeni Yaklaşımda Kullanılan Çözüm Araçları

Önerilen yaklaşımda kullanılan çözüm araçları sırasıyla, genetik algoritmalar, üç farklı yerleştirme algoritması ve ÇÖKV tekniklerinden birisi olan TOPSIS yöntemidir. Bu bölümde kullanılan bu yöntemler açıklanmaktadır.

4.1.1 Genetik algoritmalar

Genetik Algoritma; MKP gibi diğer NP sınıfına giren eniyileme problemlerinin çözümünde yaklaşık iyi sonuçlar bulmayı hedefleyen arama yöntemidir. Canlılardaki evrim prensibine dayanmaktadırlar. Diğer bir deyişle, doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için “iyi”nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için, yeniden üretme, çaprazlama ve değiştirme gibi operatörleri kullanır. Bu yöntemlerin temel mantığı topluluğun nesilden nesile geçmesi sırasında kötü çözümlerin yok olmasına ve iyi çözümlerden daha iyi çözümlere ulaşılmasına dayanır.

GA 1970’li yıllarda Michigan Üniversitesinde öğretim üyeliği yapan John Holland ve onun çalışma arkadaşları ile öğrencileri tarafından geliştirilerek bilgisayar ortamına taşınmıştır. Daha sonra John Holland’ın öğrencisi David Goldberg’in “Gaz Borularının Genetik Algoritma İle Optimizasyonu” adlı doktora tezi ile birlikte genetik algoritmaların teorik olmaktan öteye piyasalarda

uygulanabilirliği ispatlanmıştır. 1989 yılında David Goldberg'ın bu konuda klasik sayılabilecek kitabı yayınlanmıştır (Kahraman ve Özdağlar, 2004).

4.1.1.1 Genetik algoritmaların çalışma ilkesi ve operatörleri

GA'lar ile ilgili temel kavramlar aşağıda kısaca anlatılmaktadır:

Gen, kendi başına anlamlı bilgi taşıyan en küçük birim olarak tanımlanır. Stok kesme problemlerinde parçayı, montaj hattı dengeleme problemlerinde iş elemanını temsil etmektedir.

Kromozom, birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziye denir ve alternatif aday çözümlerini gösterirler.

Popülasyon, kromozomlardan oluşan topluluğa denir. Popülasyon, geçerli alternatif çözüm kümesidir.

GA'lar bir çözüm uzayındaki her noktayı, kromozom ile kodlar. Her noktanın bir uygunluk değeri vardır. Çözüm uzayındaki noktalar kümesi bir araya gelerek popülasyonu oluşturur. Her kuşakta, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler kullanılarak yeni bir popülasyon oluşturulur. Çözüm uzayından rassal olarak seçilen noktalar üzerinde operatörler yardımıyla daha iyi noktalara ulaşmak amaçtır. Bu arama iyi sonuç elde edilemeyene kadar devam etmektedir. GA'lar ile problemlerin çözülmesinde hedeflenen sonucu üretecek özelliklerin kalıtım yolu ile başlangıç çözümlerinden elde edilen yeni çözümlere onlardan da daha sonraki çözümlere geçtiği kabul edilmektedir. Genel olarak GA'da izlenen adımlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Uygun çözümleri simgeleyen N adet kromozomdan oluşan başlangıç popülasyonunun oluşturulması
2. Her x kromozomu için $f(x)$ uygunluk değerinin hesaplanması
3. Topluluktan uygunluk değerlerini dikkate alarak (uygunluk değeri daha iyi olanların seçilme olasılığı yüksek olacak şekilde) iki kromozomun seçilmesi

4. Belirli bir çaprazlama olasılığıyla ebeveynlerden gelen kromozomların çaprazlanarak yeni bireylerin oluşturulması ya da çaprazlama yapılmazsa ebeveynlerden gelen kromozomları aynen bir sonraki nesle kopyalanması
5. Yeni bireylerin belirli bir olasılığa göre mutasyona uğratılması
6. Oluşturulan bireyin yeni topluluğa eklenmesi
7. Önceki topluluğun, yeni toplulukla değiştirilmesi
8. Sonlandırma koşulu sağlandıysa mevcut topluluktaki en iyi çözümün belirlenmesi, sağlanmadıysa 2. adıma dönülmesi

Kodlama, problemin değişkenlerinin GA'da gösterilmesidir. Kromozomların kodlanması, genetik algoritmalar ile problem çözmenin ilk aşamasıdır. Kodlama yaklaşımı problem türüne göre farklılık gösterir. GA'lar için ikili kodlama, permütasyon kodlama, değer kodlama, tam sayı kodlama, reel sayı kodlama, vektör kodlama ve ağaç kodlama kullanılan kodlama yöntemlerine örnek olarak gösterilebilir.

Uygunluk Fonksiyonu, kromozom içerisindeki kodlanmış ya da kodlanmamış bilgiler çözümlenerek elde edilen sayısal değerdir. Her problem için bir uygunluk fonksiyonun belirlenmesi gerekmektedir. Uygunluk fonksiyonu, tasarımın veya parametre değerinin ne kadar iyi olduğunu gösterir ki, bunun için mantıklı bir uygunluk fonksiyonunun modelleme sırasında seçilmesi önemli bir aşamayı temsil eder.

Seçme Yöntemi, yeni topluluğu oluşturmak için mevcut topluluktan çaprazlama ve mutasyon işlemine tabi tutulmak için uygunluk fonksiyonu iyi olanların belirli bir yöntemle göre seçilme işlemidir. Teoriye göre iyi olan bireyler yaşamını sürdürmeli ve bu bireylerden yeni bireyler oluşturulmalıdır. Bu nedenle tüm seçim yöntemlerinde uygunluk değeri fazla olan bireylerin seçilme olasılığı daha yüksektir. Rulet Seçilimi, Turnuva Seçilimi ve Sıralı Seçilim, kararlı hal seçimi, rastgele seçme gibi çeşitleri vardır.

Çaprazlama, iki kromozomun birbirleri arasında gen alışverişinde bulunup iki yeni kromozom oluşturmasıdır. Çaprazlama yapılacak iki kromozom rastgele seçilir. Oluşan yeni birey ebeveynlerinin bazı özelliklerini almış ve bir bakıma ikisinin kopyası olmuştur. Popülasyonda ne oranda bir çaprazlamaya izin verildiği çaprazlama oranı ile gösterilir. Diğer bir deyişle çaprazlama oranı, fertlerin

eşleştiklerinde çaprazlama yapıp yapmayacaklarına ilişkin olasılığı ifade eden orandır. Başlıca çaprazlama yöntemleri tek noktalı, iki noktalı ve çok noktalı çaprazlama, sıralı çaprazlama, kısmi eşleştirmeli çaprazlama, devirli çaprazlama, sıralamaya dayalı çaprazlama, konum tabanlı çaprazlama şeklinde belirtilebilir.

Mutasyon, kromozomu oluşturan karakter dizisinde yapılan rastgele değişikliğe denir. Mutasyon, oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önleyerek çeşitliliği sağlamak ve sonuca daha hızlı ulaşmak amacıyla gerçekleştirilir. Mutasyon algoritmanın yerel optimum noktalara takılmasını önleyerek bir başka optimum çözüme sıçrayabilmeyi sağlar. Mutasyon oranı, tıpkı çaprazlama oranında olduğu gibi mutasyonun olasılığını ifade eden bir orandır. Yine rastgele yöntemlerle kromozomun mutasyona uğrayıp uğramayacağı belirlenir ve buna göre mutasyon gerçekleştirilir. İkili mutasyon, Kaydırma Mutasyonu, Ters mutasyon ve Bitişik mutasyon mutasyon çeşitlerinden bazılarıdır.

Elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonrasında mevcut topluluktaki en iyi uygunluk değerine sahip bireyin kaybolma ihtimalinin önlenmesi için topluluktaki uygunluk fonksiyonu en iyi olan bireyin hiçbir işleme tabi tutulmadan bir sonraki nesile aktarılmasına denir.

4.1.1.2 Genetik algoritmalarda parametre seçimi

Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı, kuşak aralığı, seçim stratejisi ve fonksiyon ölçeklemesi olarak bilinen ve GA performansı üzerinde önemli etkiye sahip olan bu parametrelere kontrol parametresi denir.

Popülasyon Büyüklüğü: Bir popülasyonda yer alan kromozom sayısı olarak tanımlanabilir. Çözüm zamanını uzatmayacak ancak yerel en iyiye takılmayacak kadar da büyük olacak bir değerin belirlenmesi gerekmektedir. Tüm problemler için belirlenmiş en iyi popülasyon büyüklüğü değeri yoktur.

Çaprazlama Olasılığı: %0-100 arasında değer alan çaprazlama oranının artması, popülasyon içindeki iyi kromozomların kaybolma olasılığını arttırmaktadır.

Mutasyon Olasılığı: Mutasyon, oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önleyerek çeşitliliği sağlamak ve sonuca daha hızlı ulaşmak amacıyla gerçekleştirilir. Mutasyon, popülasyondaki çeşitliliği sağlamaktadır.

Kuşak Aralığı: Her kuşaktaki yeni kromozom oranına kuşak aralığı denmektedir. Genetik operatörler için kaç tane kromozomun seçildiğini gösterir. Yüksek bir değer birçok kromozomun yer değiştirdiği anlamına gelmektedir (Emel ve Taşkın, 2002).

Seçim Stratejisi: Ebeveyn kromozomlardan çaprazlama ve mutasyon operatörlerinden sonra oluşan yavru kromozomlardan hangisinin yeni nesile aktarılacağı seçim stratejisi ile belirlenir. Kuşaksal stratejide, yavru kromozomlar ebeveyn kromozomların yerine geçer yani popülasyon yavru kromozomlardan oluşur. Denge durumu stratejisinde ise, yavru kromozomlar popülasyondaki en kötü kromozomların yerine geçer.

Fonksiyon Ölçeklemesi: Doğrusal ölçekleme, üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Probleme göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi GA'nın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır (Emel ve Taşkın, 2002).

4.1.2 Yerleştirme algoritmaları

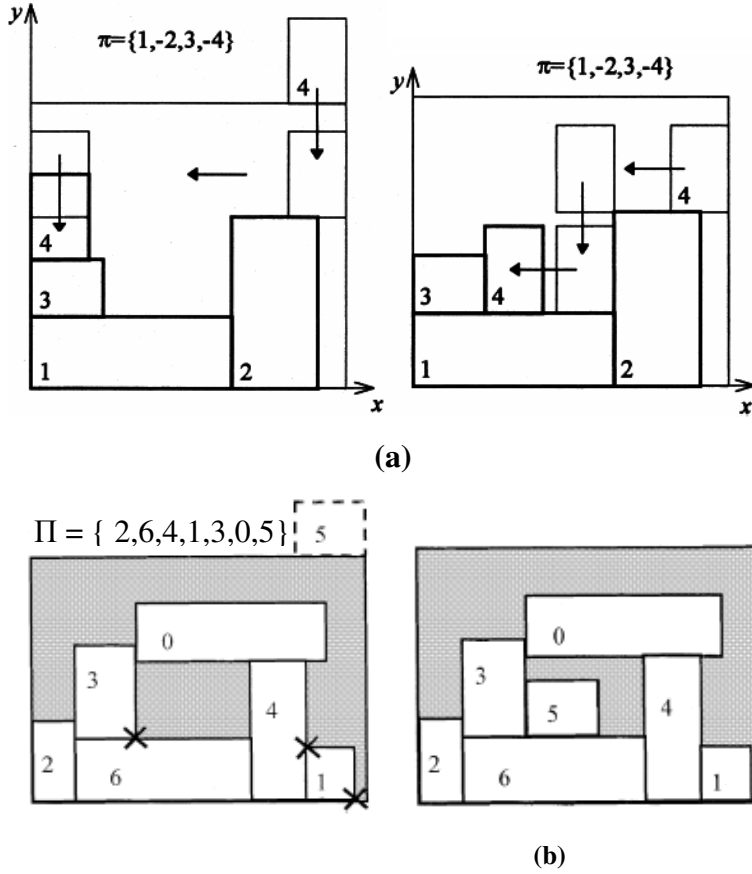
MKP çözümü için bazı kaynaklarda iki parçalı çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Her kesme planı ana malzeme üzerine yerleşecek olan parçaların yerleşme sırasını temsil eden bir permütasyon ile gösterilir. Bu permütasyonda belirlenmiş olan sıraya göre parçalar, yerleştirme algoritması kullanılarak ana malzeme üzerine yerleştirilirler. İşte bahsedilen iki parçalı çözümünün birinci parçasını parçaların yerleştirme sırasını belirlemek oluştururken ikinci parçasını bir yerleştirme algoritması kullanılarak yerleşimin yapılması oluşturmaktadır. Literatürde malzeme kesme ve istifleme problemleri için geliştirilmiş çok sayıda yerleştirme algoritması mevcuttur. Bu bölümde BLF, TP, DP algoritmaları anlatılacaktır.

4.1.2.1 En aşağı sol boşluk doldurma algoritması

Jokobs (1996), tarafından geliştirilen BL algoritmasında, bir dikdörtgen parça başlangıçta ana malzemenin sağ üst köşesine yerleştirilmektedir. Permütasyonda belirlenmiş her parça mümkün olan en alt noktaya kadar indirilmekte ve sonra daha sonra gidilebilecek en sola kaydırılmaktadır. BL algoritması bazı kesme kalıpların elde edilmesinde yetersizdir. Bunun üstesinden gelmek için, gelişmiş BL olarak isimlendirilen BL algoritmasının yeni versiyonu Liu ve Teng (1999) tarafından geliştirildi. Buna göre tıpkı BL algoritmasında olduğu gibi dikdörtgen parçalar gidilebilecek en aşağı ve en sol noktaya kadar hareket ettirilmektedir. Bu iki algoritma arasındaki fark; geliştirilmiş BL algoritmasında parçaların alt boşluklar kontrol edilerek hareket ettirilmesidir. Hopper ve Turton (2000) tarafından geliştirilen BLF algoritmasında, parça ana malzemenin uygun en alt pozisyonuna yerleştirilmekte ve en sola yaslandırılmaktadır (Söke ve Bingöl, 2006). Böylece daha önce yerleştirilmiş olan parçaların üzerinden atlama yapılarak aralarda kalan boşluklarda değerlendirilmiş olmaktadır.

BL, geliştirilmiş BL algoritmalarının yerleştirme metodu Şekil 4.1 a'da BLF algoritması yerleştirme metodu ise Şekil 4.1 b'de gösterilmiştir.

Yerleşmiş olan parçaların arasında kalan boşluklar dikkate alınmadığı için BL ve geliştirilmiş BL algoritmaları uygulanarak oluşturulmuş olan kesme kalıplarında fazla sayıda boşluk olduğu görülmektedir. Bu dezavantajının yanı sıra her iki algoritmanın da zaman karmaşıklığı n parça sayısı olmak üzere $O(n^2)$ 'dir yani karmaşıklığı düşüktür. BLF algoritmasında ise boşlukları daha az bir kesme planı elde edilirken zaman karmaşıklığı $O(n^3)$ olmaktadır. Zaman karmaşıklığının artması yani çözüm süresinin uzaması nedeni ile kullanılan melez meta sezgisel uygulamalarda BLF algoritmaları tercih edilmemektedir.



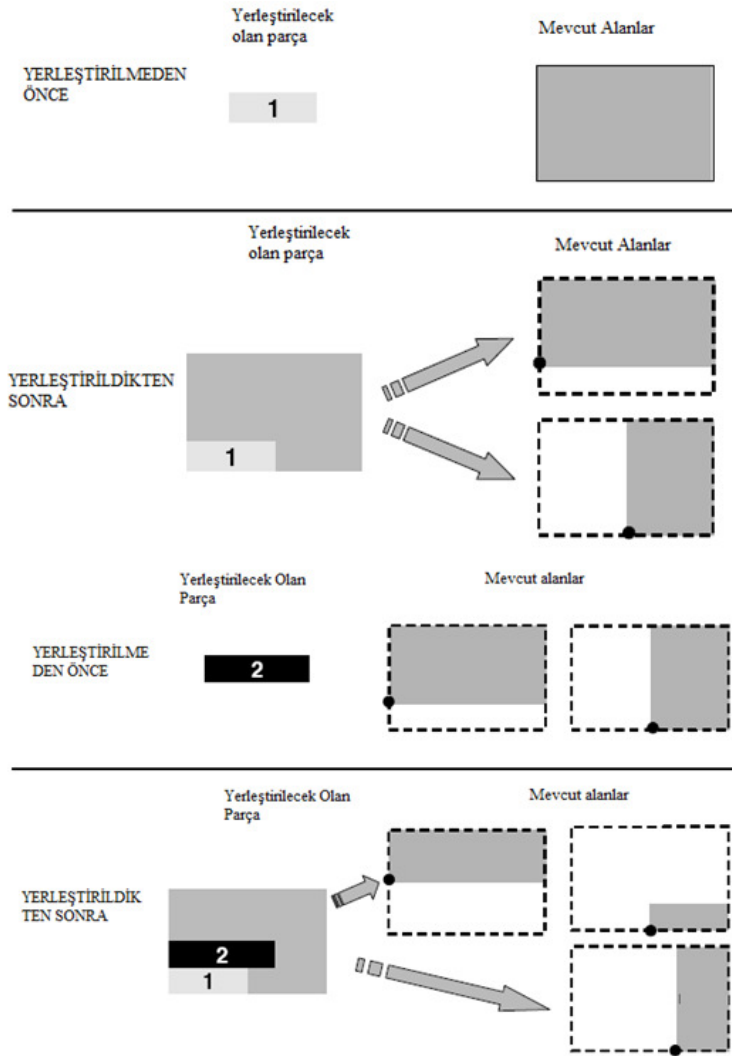
Şekil 4.1. a) En aşağı sola yerleştirme algoritmaları (Liu ve Teng (1999)) **b)** En aşağı sol boşluk doldurma algoritması (Hopper ve Turton (2001))

4.1.2.2 Fark işlemi algoritması

BL algoritması yerleştirilmiş olan parçaların pozisyonu ile ilgilenirken DP algoritması parçalar yerleştikten sonra boş kalan alanlar ile ilgilenmektedir. Genel olarak DP algoritmasını uygulamak BL algoritmasını uygulamaktan çok daha karmaşıktır. Bir parçanın boşluklara yerleştirilmesinin birçok olası yolu olduğundan dolayı boşlukları saymak zordur. Bunun yanında boşlukları doldurduğu için daha iyi kalıpların oluşmasını sağlamaktadır (Leung ve ark. 2001)

DP algoritmasının uygulaması Şekil 4.2’de gösterilmiştir. DP algoritması boşluklarla ilgilendiğinden dolayı uygulamanın en başında bir adet boşluk vardır, o da ana malzemenin alanıdır. Parçalar yerleştirilirken boşlukların en sol ve en alt pozisyonuna yerleştirilmektedir. Bu nedenle ilk parça yerleştirildikten sonra iki adet boşluk oluşmaktadır. Birincisi parçanın üstünde kalan alan, ikincisi ise

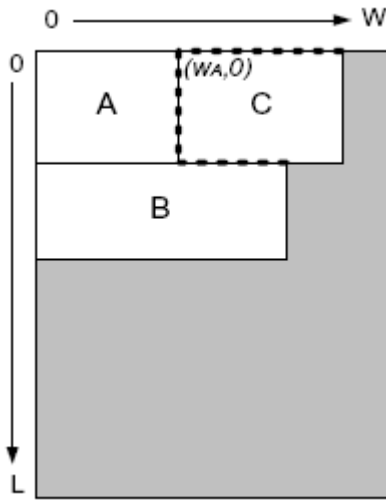
parçanın sağında kalan alandır. İkinci parça geometrik açıdan eğer alanlara uygunsa bu iki alandan birinin sol alt pozisyonuna yerleştirilecektir. Mevcut alanlardan hangisi içine yerleştirileceği seçilirken uygun boşluğun sol alt köşesinin orijine olan dik uzaklığı hesaplanır. En yakın alan hangisi ise yeni parça o alan yerleştirilir. Burada orijin parçaların ilk olarak yerleştirilmeye başlandığı ana malzemenin sol alt köşesidir. Bu şekilde belli bir permütasyonda verilen parçalar yerleştirildikçe yeni alanlar oluşmakta mevcut alanlardan bazıları ise yerleştirilen bir parçanın bir kısmı tarafından doldurulmaktadır. (Leung ve ark. 2003). Bu nedenle her parça yerleşiminden sonra mevcut boşluk alan listesi güncellenmelidir.



Şekil 4.2. Fark işlemi algoritmasının uygulanması (Gonçalves, 2007)

4.1.2.3 Temas yüzeyi algoritması

TP algoritmasında, yerleştirilecek olan parçanın daha önce yerleştirilmiş olan parçalar ile temas yüzeyi uzunluğunu arttırmak böylece daha sıkı, boşluksuz bir kesme planı elde etmek amaçlanmıştır. İlk parça orijin olarak kabul edilen noktadan başlanarak yerleştirilir. Stok kesme ve istifleme problemlerinde genellikle orijin ana malzemenin sol alt köşesidir. İkinci parça ve permütasyonda belirlenmiş olan diğer parçalar yerleştirilirken **skor** olarak isimlendirilen pozisyona bağlı parametre hesaplanır. Skor, parçanın yerleştirileceği pozisyonda daha önceden yerleştirilmiş olan parçanın ve ana malzemenin yüzeyi ile temas ettiği uzunluğun toplamıdır. Örneğin Şekil 4.3’de görüldüğü gibi C parçası $(w_A, 0)$ noktasına yerleştirilmek istensin. Bu nokta için C parçasının skoru kesik koyu ile belirtilen çizginin uzunluğunun toplamı yani $l_C + w_C + (w_B - w_A)$ ’dır (Zachariadis ve ark. 2009).



Şekil 4.3. Temas yüzeyi algoritması yerleştirme örneği

Yerleşecek olan parça skoru hesaplanmış pozisyonlar arasından en yüksek skora sahip olan pozisyona yerleştirilir. Eğer skorlar arasında bir eşitlik söz konusu ise orijine yakın olan pozisyon tercih edilir.

4.1.3 TOPSIS yöntemi

Karar verme, eldeki tüm bilgilerin dikkate alınarak durumun kavranması, alternatif eylem biçimleri ile getirilecek sonuçların gözden geçirilmesi ve uygun eylemin seçilerek uygulanma sürecidir (Kaya ve ark. 2007). Karar vericiler alternatifler arasından seçim yaparken değişik amaçları gerçekleştiren, bazen de birbiriyle çelişen seçenekler arasından en uygun olanı bulmak zorundadırlar. Bu nedenle kararlar üzerine etki eden tüm kriterlerin değerlendirilmesi ve analizi amacıyla bilim ve teknolojiye gelişmelere de paralel olarak ÇAKV ve ÇÖKV yöntemleri geliştirilmiştir.

Topçu (1999) tarafından, ÇAKV ve ÇÖKV şu şekilde tanımlanmıştır: Seçeneklerin bir matematiksel programlama yapısı ile dolaylı olarak tanımlandığı ve sonsuz sayıda olduğu sürekli durumda ÇAKV, seçeneklerin açıkça sonlu sayıda bir liste ile tanımlandığı kesikli durumda ÇÖKV yöntemleri kullanılır.

Bu çalışmada ÇÖKV tekniklerinden TOPSIS kullanılmıştır. TOPSIS, yöntemi, “n” boyutlu “m” alternatif şeklinde tanımlanabilecek ÇÖKV problemlerinde kullanılan bir yöntemdir. Yöntem genel olarak seçilen alternatiflerin pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak olması esasına dayanır (Kaya ve ark. 2007). Aşağıda TOPSIS yönteminin adımları tanımlanmıştır.

Adım 1: Karar Matrisinin (A) Oluşturulması

Karar matrisinde, n adet alternatif ($a_1 \dots a_n$) alt alta sıralanır ve karşılarında k adet değerlendirme ölçütünün alternatiflere göre aldığı değerler ($y_{1k} \dots y_{nk}$) Şekil 4.4’de verildiği gibi listelenerek karar matrisi oluşturulur.

Alternatifler	Özellikler		
	y_1	y_2	y_k
a_1	y_{11}	y_{12}	y_{1k}
a_2	y_{21}	y_{22}	y_{2k}
a_n	y_{n1}	y_{n2}	y_{nk}

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1k} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2k} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nk} \end{bmatrix}$$

Şekil 4.4. Karar matrisi

Adım 2: Standart Karar Matrisinin (R) Oluşturulması

Denklem (4.1) kullanılarak A matrisi normalize edilir. Standart karar matrisi Şekil 4.5'deki gibi oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, n; j=1, \dots, k \quad (4.1)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2k} \\ - & & & - \\ - & & & - \\ - & & & - \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nk} \end{bmatrix}$$

Şekil 4.5. Standart karar matrisi

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması

Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir ($\sum_{i=1}^k w_i = 1$). Daha sonra (4.2) kullanılarak Şekil 4.6'da verilen V matrisi elde edilir.

$$V_{ij} = w_i r_{ij} \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, k \quad (4.2)$$

$$V_{\bar{v}} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1k} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2k} \\ - & & & - \\ - & & & - \\ - & & & - \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nk} \end{bmatrix}$$

Şekil 4.6. Ağırlıklandırılmış standart karar matrisi

Adım 4: İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması

İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilir. Denklem (4.3) kullanılarak ideal çözüm seti $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_k^*\}$ şeklinde bulunur.

$$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\}$$

(4.3)

Negatif ideal çözüm seti ise, V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü maksimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Denklem (4.4) kullanılarak negatif ideal seti $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_k^-\}$ şeklinde bulunur.

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\}$$

(4.4)

Her iki formülde de J fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değer setini göstermektedir.

Adım 5: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

Her alternatifin ideal ve negatif ideal çözümden sapmaları (4.5) ve (4.6) ile hesaplanır. Buradan elde edilen sapma değerleri ise İdeal Ayırım (S_i^*) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) Ölçüsü olarak adlandırılmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^k (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i = 1, \dots, n \quad (4.5)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, \dots, n \quad (4.6)$$

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

Her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değerinin hesaplanması (4.7)'de gösterilmiştir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad i = 1, \dots, n \quad (4.7)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili alternatifin ideal çözüme, $C_i^* = 0$ ilgili alternatifin negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

Adım 7: Tercih yapılması

Maksimum C_i^* değeri seçilir.

4.2 Geliştirilen Yeni Çözüm Yaklaşımı

Genel olarak ele alınan problemler eni ve boyu sabit ölçütlerdeki bir veya daha fazla dikdörtgen ana levhadan sabit ölçülerde farklı çeşitlerde ve çok sayıda dikdörtgen sipariş parçalarının kesimi ile ilgilidir. Sipariş parçaları ana levha üzerine yerleştirilirken döndürülmesine izin verilir. Sipariş parçalarının ana levha

üzerine yerleştirilmesi sonucunda oluşan kesme kalıpları, dört farklı ölçüt ile değerlendirilmiştir. Bunlar toplam fire, toplam maliyet, kullanılan ana malzeme sayısı ve tekrar kullanılabilecek fire miktarıdır.

Çözüm yapısı üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, GA kullanarak ana malzeme üzerine yerleşecek olan sipariş parçalarının sırasının belirlenmesi; ikinci aşama, üç farklı yerleştirme algoritması (BLF, DP, TP) kullanılarak parçaları ana levhaya yerleştirmek; üçüncü aşama, yerleşimleri TOPSIS çok ölçütlü karar verme yöntemini kullanarak, benimsenen dört farklı ölçüte göre değerlendirmektir.

Tasarlanmış olan programda Şekil 4.7 verilmiş olan bir ara yüz vasıtasıyla algoritma için gerekli bazı parametrelerin girişi yapılmaktadır. Bunlardan birinci kısımda belirlenmiş olan dört farklı ölçütün çözüm içindeki % olarak ağırlıkları belirlenmektedir. Bu ağırlıklar TOPSIS yönteminin üçüncü adımında ağırlıklı standart karar matrisinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. İkinci kısımda yerleşim sonunda ana malzemedan artan kısmın yeniden değerlendirilebilirliğinin ölçüsü olan boyut değeri girilmektedir. Başka bir ifade eğer ana malzemedan artan dikdörtgen kısmın alanı bu alan girilen değerden büyükse tekrar kullanılabilir parça olarak, küçükse hiçbir değeri olmayan kırpıntı parça olarak değerlendirilmektedir. Üçüncü kısımda GA parametreleri olan popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, ardıştırma sayısı ve GA’da seçim yöntemi olarak turnuva seçilimi kullanıldığı için bu yöntem için gerekli olan turnuva sayısı girilmektedir. Ayrıca algoritmanın kaç kez çalıştırılacağı diğer bir deyişle bir problem için yapılacak olan deney sayısı da deney sayısı alanında belirtilmektedir. Dördüncü kısımda ise eğer ele alınan problemin fire miktarı olarak en iyi değeri biliniyor ise bu değer girilmektedir. Algoritmanın sona erdirilmesi ardıştırma sayısının tamamlanmasıdır, ancak dördüncü kısımda girilmiş olan en iyi değer yakalandığında da algoritma durdurulmaktadır.

Geliştirilmiş olan yöntemde öncelikle ara yüz kullanılarak girilen parametreler ile ele alınan problemde kullanılan ana malzeme ve sipariş parçalarının ölçüleri okunarak algoritma başlamaktadır. Çözüm yönteminin birinci kısmı GA kullanılarak ana levha üzerine atanan sipariş parçalarının sırasının belirlenmesi olduğundan algoritmanın çalışma temelini oluşturan kromozomlar

oluşturulmaktadır. Kullanılan GA yönteminde, her gen bir sipariş parçasını temsil etmektedir. Her kromozom ise bir mevcut sipariş parçaları için oluşturulmuş olan kesme planlarını yani çözümü göstermektedir. Genlerin kromozom üzerindeki dizilimi kesme planına sipariş parçalarının atanma sırasını vermektedir. Kromozomun son on geni ana malzemelerin kullanım sırasını temsil etmektedir. 7 sipariş parçası ve 3 ana malzemeden oluşan bir problemin çözümü için oluşturulmuş olan bir kromozomun yapısı Şekil 4.8’de verilmiştir

Şekil 4.7. Geliştirilen çözüm yönteminde kullanılan ara yüz

2	7	-5	4	3	-1	6	2	1	2	3	1	1	3	2	3	1
Sipariş parçalarının atanma sırası							Ana malzemelerin kullanılma sırası									

Şekil 4.8. Kullanılan kromozomların yapısı

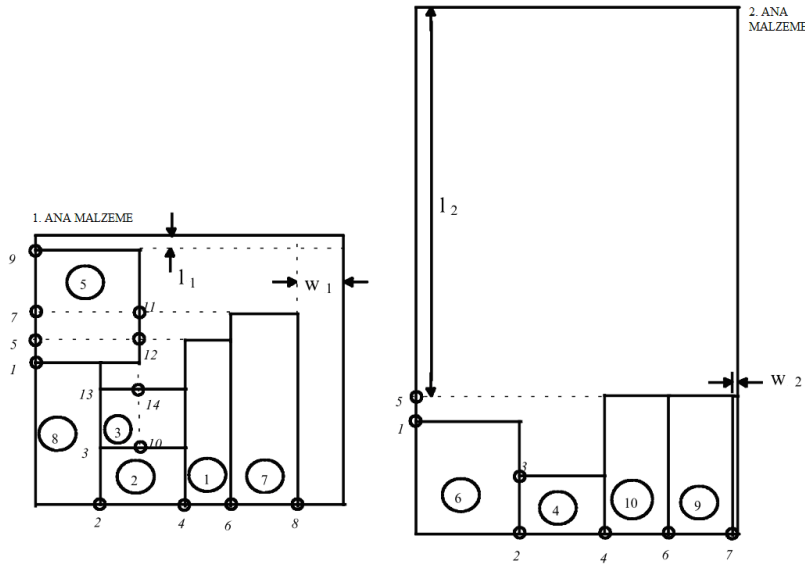
Buna göre öncelikle ikinci sipariş parçasından başlanarak ikinci ana levha üzerine yerleşime başlanacaktır. Sırasıyla yedinci, beşinci, dördüncü, üçüncü,

birinci ve altıncı sipariş parçaları yerleştirilecektir. Yerleşim sırasında iki no'lu ana levhanın sıradaki sipariş parçası için uygun alanı olmadığında bir no'lu ana levhaya geçilecektir. Sipariş parçalarının önünde kullanılan eksi işareti parçalanın yerleştirilirken 90° döndürüleceğini göstermektedir.

Ara yüz vasıtası ile girilen popülasyon büyüklüğü parametresine göre kromozomlar bir araya gelerek ilk popülasyon oluşturulmaktadır. Oluşturulan her kromozomun uygunluk fonksiyonun hesaplanması için öncelikle sırası belirlenmiş olan sipariş parçaları, ana parça üzerine yerleştirilmelidir. Çözümün ikinci aşaması olan bu kısımda Bölüm 4.1.2'de anlatılan üç farklı yerleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bunlar BLF, DP ve TP yöntemleridir. Böylece her kromozom üç ayrı şekilde yerleşime tabi tutulmaktadır. Farklı kromozom yapıları farklı yerleştirmelerde farklı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Örneğin BLF yöntemi ile en iyi değeri veren kromozom yapısı DP yöntemi ile en iyi değeri vermemektedir. Bu nedenle farklı yerleşim çeşitlerini kullanmak olası bir en iyi kesim planını kaçırmamanın önüne geçirecektir.

Yerleşimler sonucunda oluşan kesim planları dört farklı ölçütle değerlendirilmektedir. Bunlar toplam fire, toplam maliyet, kullanılan ana malzeme sayısı ve oluşan firenin tekrar kesip kullanılabilirliği ya da hiçbir değerinin kalmaması yönüdür.

Kalan ana malzeme alanının tekrar kullanılabilirliği şu şekilde hesaplanmaktadır. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi kalan parçanın uzunluğu l_j ve eni w_j olarak verilmiştir. Kalan bu ölçüler kullanıcı tarafından belirlenmiş olan sınır değerinden (1) büyükse parça tekrar kullanılabilir alan olarak değerlendirilmektedir, değil ise kırpıntı yani hiçbir değeri olmayan malzemedir. Buna göre denklem (4.9), (4.10), (4.11) ve (4.12) değerlendirilerek denklem (4.8) ile kullanılan ana malzemenin alanı hesaplanır. Hesaplanmış olan bu alan denklem (4.13) fire ve (4.14) maliyet değerlerinin hesaplanmasında kullanılır. Kullanılabilirlik ölçütünün değeri ise; eğer artık malzeme var ise 2, kırpıntı malzeme oluşmuş ise 1 değerini almaktadır.



Şekil 4.9. Kalan ana malzeme alanının tekrar kullanılabilirliği

$$A_j = \sum_{j=1}^m a_j \quad (4.8)$$

$$l_j > l \quad \text{ve} \quad w_j < l \quad \Rightarrow \quad a_j = W_j \times L_j \quad (4.9)$$

$$l_j > l \quad \text{ve} \quad w_j < l \quad \Rightarrow \quad a_{ij} = W_j \times (L_j - l_j) \quad (4.10)$$

$$l_j < l \quad \text{ve} \quad w_j > l \quad \Rightarrow \quad a_j = (W_j - w_j) \times L_j \quad (4.11)$$

$$l_j > l \quad \text{ve} \quad w_j > l \quad \Rightarrow \quad a_{ij} = (W_j - w_j) \times (L_j - l_j) \quad (4.12)$$

W_j = j-inci ana malzemenin eni

L_j = j-inci ana malzemenin boyu

A_j = j-inci ana malzemenin alanı

l_j = j-inci ana malzemenin kullanılmayan boyu

w_j = j-inci ana malzemenin kullanılmayan eni

l = tekrar kullanılmak amacıyla kalan parça için belirlenmiş en küçük ölçüt

Denklem (4.13)'de verilen fire miktarı, toplam ana malzeme alanından yerleşim yapılmış olan sipariş parçalarının alanının çıkartılması ile bulunmaktadır. Denklem (4.14)'da ise maliyet, kullanılan ana malzeme alanının birim maliyeti ile çarpılması ile bulunmaktadır. Burada birim maliyet olarak ana malzemenin bir m^2 'sinin alanı alınmıştır.

$$fire = \frac{\frac{\text{Kullanılan Ana Malzemenin Toplam Alanı} - \text{Sipariş Parçalarının Toplam Alanı}}{\text{Kullanılan Ana Malzemenin Toplam Alanı}} \times 100 \quad (4.13)$$

$$maliyet = \frac{\text{Kullanılan Ana Malzemenin Toplam Alanı}}{\text{Toplam Alanı}} \times \text{Birim Fiyat} \quad (4.14)$$

Öncelikle yerleşim neticesinde oluşmuş olan kesme planında artan ana malzemenin tekrar kullanılabilirliği değerlendirilmekte, buna uygun olarak diğer ölçütler hesaplanmaktadır. Daha sonra bu değerlere TOPSIS yönteminde anlatılmış olan adımlar uygulanarak her bir alternatif çözümün yani kromozomun ideal çözüme yakınlığı diğer bir deyişle uygunluk değeri bulunmaktadır. Çizelge 4.1'de 7 kromozomdan oluşmuş bir popülasyon için yerleşimler neticesinde oluşmuş olan kesme planlarının ölçütlerinin değerleri ve bu ölçütlerin TOPSIS ile değerlendirilmesi ile oluşmuş olan uygunluk fonksiyonları gösterilmiştir. Uygunluk fonksiyonunun yani ideal çözüme yakınlık değerinin büyük olması istendiğinden örnekte 7 kromozomlu popülasyon için en iyi çözüm 6. Kromozomda belirtilmiş olan sıranın TC yerleştirme algoritması ile yerleştirilmesi neticesinde oluşmuştur ($C = 0,97$).

Uygunluk fonksiyonu da hesaplandıktan sonra eğer en iyi değere ulaşılmadı ise ve GA için durdurma kriteri sağlamadıysa, popülasyon içerisinde çeşitliliği arttırmak amacıyla GA operatörleri uygulanır. Öncelikle her bir yerleştirme için popülasyonda en büyük uygunluk değerine sahip kromozomlar değiştirilmeden bir sonraki nesile aynen aktarılır (elitizm). Başka bir deyişle kromozomlar içinde BL algoritması kullanılarak en iyi değeri, DP yöntemi kullanılarak en iyi değeri veren ve TP yöntemi kullanılarak en iyi değeri veren birer kromozom bir sonraki nesile aynen aktarılır.

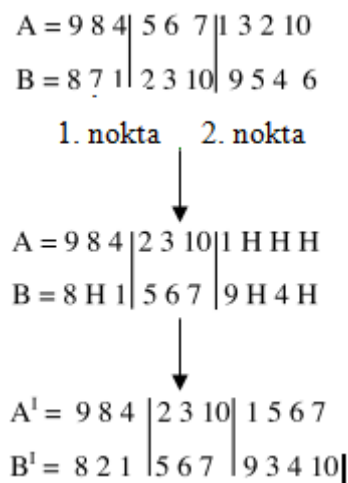
Çizelge 4.1. 7 kromozomlu bir popülasyonun kriter ve uygunluk değerlerinin hesaplanması

KROMOZOM	YERLEŞİM TÜRÜ	TOPLAM FİRE	KULLANILAN ANA MALZEME SAYISI	TOPLAM MALİYET	FİRENİN TEKRAR KULLANILMASI	UYGUNLUK FONKSİYONU (TOPSIS C değeri)
1	BLF	56,92	2	3.600	2	0,29
	DP	29,51	2	3.303	2	0,64
	TC	65,31	2	4.005	2	0,19
2	BLF	42,92	2	3.465	2	0,47
	DP	16,02	2	3.249	2	0,81
	TC	65,31	2	4.005	2	0,19
3	BLF	32,15	2	3.487	2	0,61
	DP	16,02	2	3.314	2	0,81
	TC	56,85	2	4.048	2	0,29
4	BLF	45,16	2	4.590	2	0,44
	DP	26,10	2	4.014	2	0,68
	TC	4,92	2	3.654	2	0,95
5	BLF	45,16	2	4.590	2	0,44
	DP	26,10	2	4.014	2	0,68
	TC	4,92	2	3.654	2	0,95
6	BLF	21,18	2	4.050	2	0,74
	DP	37,29	2	4.158	2	0,54
	TC	3,08	2	3.600	2	0,97
7	BLF	48,31	2	3.735	2	0,40
	DP	72,14	2	4.140	2	0,10
	TC	4,72	2	3.063	2	0,95

Bir sonraki nesili oluşturacak olan diğer kromozomların seçiminde ise turnuva seçilimi kullanılır. Turnuva seçilimi şu şekilde işlemektedir: Algoritma başlangıcında ara yüz vasıtası ile belirlenmiş olan turnuva sayısı kadar birey rassal olarak popülasyon içerisinden seçilmektedir. Seçilmiş olan bu bireyler arasında uygunluk fonksiyonu en yüksek olan birey bir sonraki nesile aktarılmaktadır. Seçilmiş olan kromozomun tekrar seçilme olasılığı vardır. Bu işlem popülasyon sayısı kadar devam etmektedir. Böylece belli sayıdaki kromozomlar birbiri ile yarıştırlarak uygunluk fonksiyonu büyük olan bireyler hayatta kalmakta ve yeni popülasyonu oluşturmakta, uygunluk değeri düşük olan bireyler ise elenmektedir. Bu yöntem ile ardıştırma sayısı arttıkça popülasyonda en iyi değere sahip bireyler kalacağından algoritmanın yerel en iyiye takılma olasılığı da artmaktadır. Bu nedenle popülasyon içinde çeşitliliği sağlayarak yerel en iyi değere takılmanın

önlenmesi için bir önceki popülasyondaki her bir yerleştirme için en kötü değerlere sahip kromozomlar bir sonraki nesile değiştirilmeden aynen aktarılır. Böylece eski popülasyondaki kromozomların yerini turnuva seçimi ile belirlenmiş olan kromozomlar alır.

Seçilmiş olan kromozomlara sırasıyla çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanır. Ancak popülasyondaki her kromozoma bu operatörler uygulanmaz. Öncelikle popülasyon içinden rassal olarak iki kromozom seçilir, bu iki kromozoma çaprazlama uygulanıp uygulanmayacağı şu şekilde belirlenir: Rassal olarak türetilen sayı ara yüz de belirlenmiş olan çaprazlama oranından küçükse çaprazlama uygulanır. OX çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, gen havuzundan rassal olarak iki kromozom seçilir. Bu kromozomlar üzerinde yine rassal olarak iki ayrı kesim noktası belirlenir. Kesim noktaları arasındaki kromozomlar karşılıklı olarak yer değiştirilir. Kesim bölgesi dışında yer alan genler içerisinde tekrarlı genler oluşursa bunlar yerine ilk kromozomdaki sırası ile soldan sağa doğru kromozomda bulunmayan genler yazılır. OX yönteminin işleyişi Şekil 4.10'da A ve B olarak kodlanmış olan iki ebeveyn kromozom üzerinde gösterilmektedir. Sıralı çaprazlama yöntemine göre, 5,6,7 genleri yerine; 2,3,10 genleri atanır ve A kromozomunda daha önce 2,3 ve 10 bulunan yerlere H yazılır. H yerine dizide olmayan parçalar eklendiğinde yeni kromozomlar elde edilir.



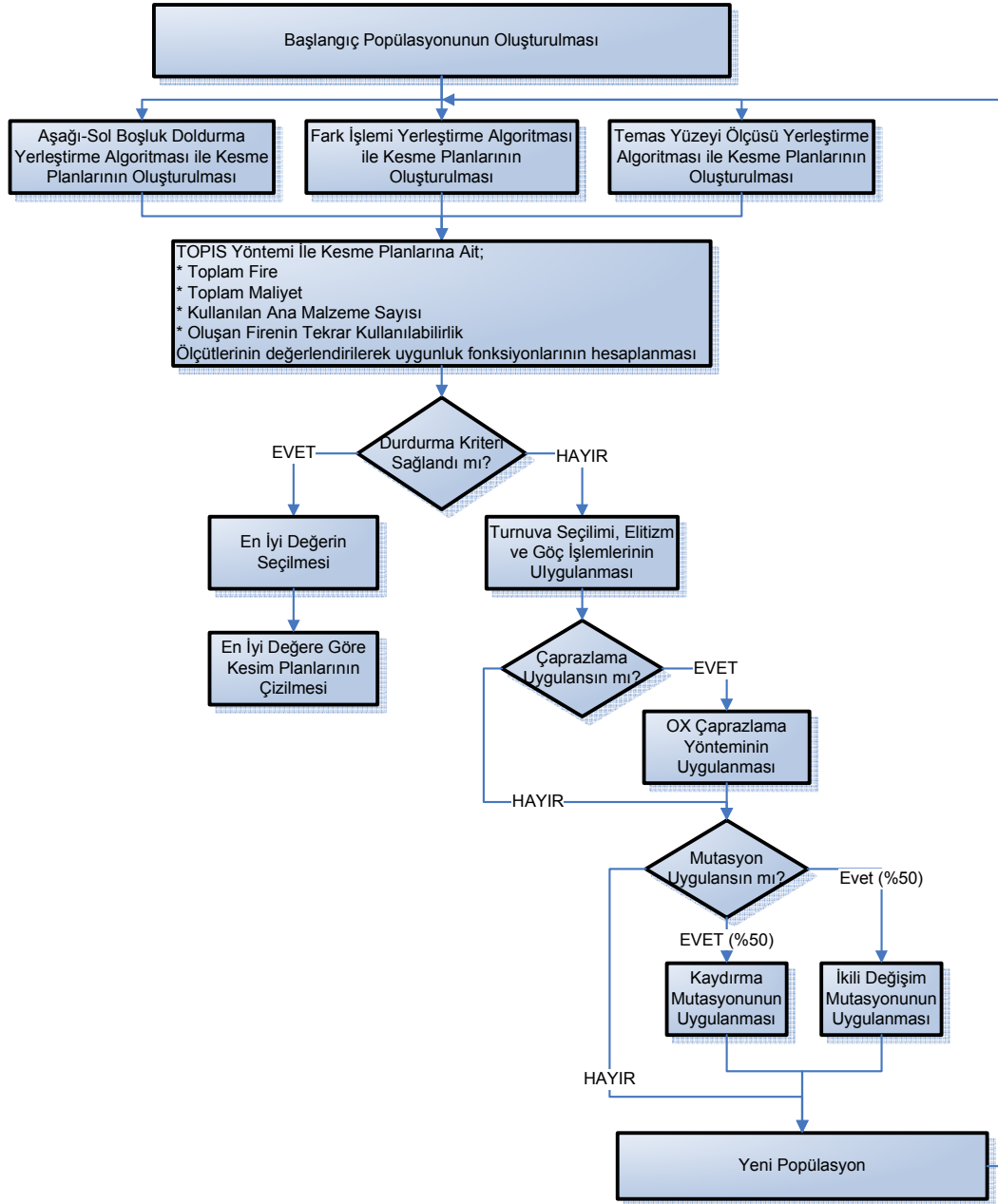
Şekil 4.10. OX sıralı çaprazlama yönteminin uygulanması

Çaprazlama iki birey seçilerek yapılırken mutasyon tek bir bireye uygulanmaktadır. Kromozoma mutasyon uygulanıp uygulanmayacağı çaprazlama da olduğu gibi rassal olarak türetilen bir sayının verilen mutasyon olasılığından küçük olması durumuna göre karar verilir. İki tür mutasyon çeşidi kullanılmıştır. Bunlar kaydırma ve ikili mutasyon türleridir. Hangi türün kullanılacağı ise rassal olarak belirlenmektedir. Bunlardan kaydırma mutasyonu Şekil 4.11 a'daki gibi kromozom üzerinden rassal olarak iki farklı gen seçilir ve bu genler karşılıklı olarak yer değiştirilir. İkili mutasyon türünde ise Şekil 4.11 b'de görüldüğü gibi kromozom üzerinden rassal olarak bir gen seçilir ve genin önündeki sipariş parçasının döndürülme durumunu temsil eden işaret ters çevrilir; yani + ise -, - ise + yapılır.



Şekil 4.11. a) Kaydırma mutasyonu b) İkili mutasyon uygulanması

Çaprazlama ve mutasyona uğramış yeni popülasyona tekrar yerleştirme algoritmaları uygulanarak her bir kromozomun uygunluk fonksiyonları hesaplanır. Bu döngü GA için belirlenmiş olan durdurma kriteri gerçekleşinceye kadar devam etmektedir. Durdurma kriteri, ardıştırma sayısının tamamlanmasıdır. Geliştirilmiş olan algoritmanın ana yapısı Şekil 4.12'de verilmiştir. Durdurma kriteri sağlandığında her bir ardıştırmadan gelen en iyi değerlerden oluşan bir küme oluşturulur ve bu küme için her bir kromozomun ölçüt değerlerine göre tekrar TOPSIS yöntemi ile göreceli yakınlık değerleri hesaplanır ve en büyük değer seçilir. En iyi değerlerin tekrar TOSIS ile değerlendirilmesinin nedeni her bir en iyi değer içinde bulunmuş olduğu popülasyona göre hesaplanmış olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.12. Geliştirilmiş algoritmanın yapısı

5. ÇÖZÜM YAKLAŞIMININ SINANMASI

Geliştirilen programın çözümünde öncelikle en iyi sonucu verecek GA parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Lin, Chang-Chun (2006) çalışmasında yer alan 7 parçalı ve optimum çözümü (fire oranı = 0) bilinen bir problem üzerinde 2^5 faktörlü bir deney tasarımı çalışması yapılmıştır.

Çizelge 5.1. 7 parçalı problem için yapılmış olan deney sonuçları

		Seviye	Faktör A (mutasyon oranı)				
Seviye	Faktör B (çaprazlama oranı)		1	2	3	4	5
		Deney Sayısı	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
1	0,1	1	16,70	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	16,67	0,00	0,00	16,67
		3	0,00	16,67	16,67	0,00	0,00
		4	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,3	1	16,67	0,00	16,67	0,00	0,00
		2	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		3	16,67	0,00	100,00	0,00	0,00
		4	28,88	0,00	16,67	0,00	0,00
3	0,5	1	0,00	16,67	0,00	28,80	16,67
		2	16,67	0,00	0,00	16,67	16,67
		3	100,00	16,67	0,00	0,00	0,00
		4	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00
4	0,7	1	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00
		2	100,00	16,67	16,67	0,00	0,00
		3	0,00	100,00	0,00	0,00	16,67
		4	100,00	16,67	16,67	0,00	0,00
5	0,9	1	0,00	16,67	0,00	0,00	16,67
		2	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00
		3	100,00	16,67	16,67	0,00	0,00
		4	16,67	16,67	16,67	16,67	0,00

Deneylerde GA çalışmasına en çok etki eden çaprazlama ve mutasyon oranları iki farklı faktör olarak ele alınmıştır. Her bir faktör için ise 5 farklı seviye belirlenmiştir. Popülasyon büyüklüğü 50 olarak, turnuva seçim katsayısı ise 3

olarak alınmıştır. Her bir deney 150 ardıştırma için çalıştırılmış ve dört kez tekrarlanmıştır. Deney dört farklı ölçüt göz önüne alınarak çalıştırılmış ve uygunluk değeri hesaplanmıştır. Ancak hesaplanan uygunluk fonksiyonu, içinde bulunduğu popülasyona göre göreceli olarak hesaplandığından elde edilen sonuçlar içinde bulunduğu popülasyonunun en iyi sonucudur, tekrarlı yapılmış olan deneylerde farklı popülasyonlar söz konusu olduğu için bir birbiri ile kıyaslanması doğru olmayacağından fire miktarları göz önüne alınmıştır. Belirlenmiş olan faktörler ve seviyelere göre yapılmış olan deney sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar minitab 14 programı ile analiz edilmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçları Şekil 5.1’de verilmiştir.

General Linear Model: sonuc versus A; B

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	5	1; 2; 3; 4; 5
B	fixed	5	1; 2; 3; 4; 5

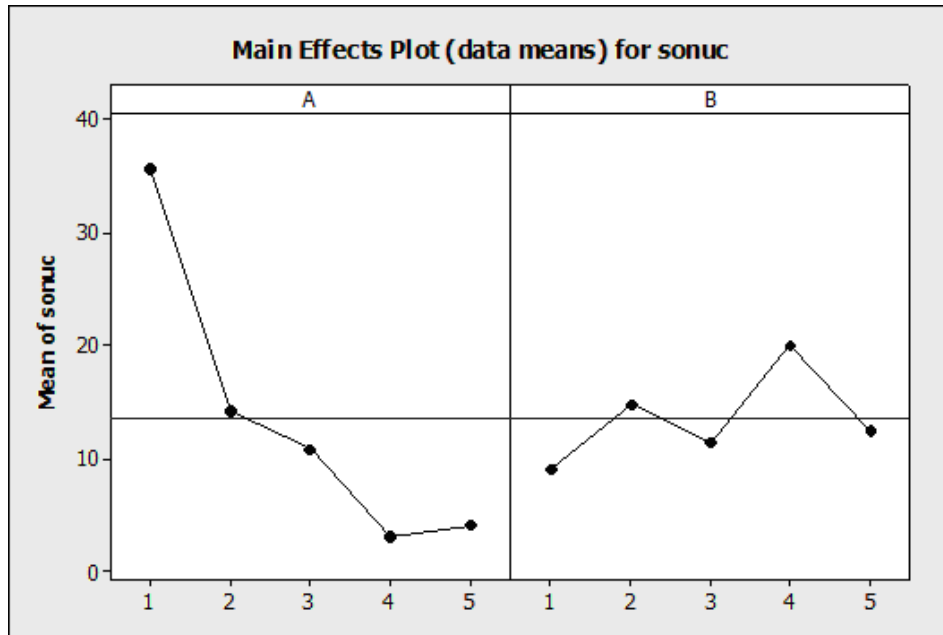
Analysis of Variance for sonuc, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	4	13830,6	13830,6	3457,7	5,21	0,001
B	4	1356,9	1356,9	339,2	0,51	0,728
A*B	16	6601,0	6601,0	412,6	0,62	0,857
Error	75	49778,6	49778,6	663,7		
Total	99	71567,1				

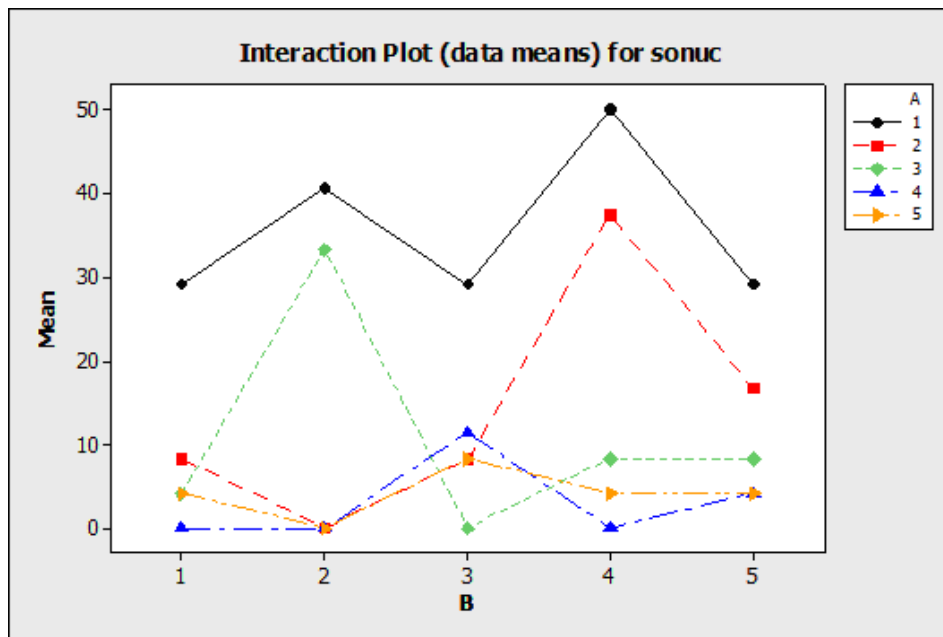
S = 25,7627 R-Sq = 30,44% R-Sq(adj) = 8,19%

Şekil 5.1. Varyans analizi sonuçları

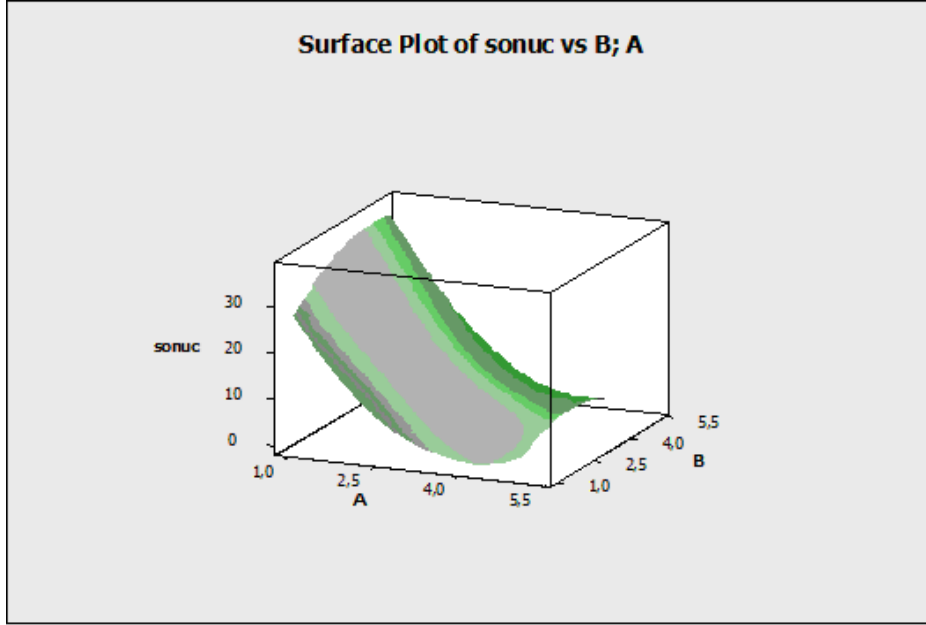
Elde edilen sonuçlara göre A faktörünün (mutasyon oranı) sonuç üzerinde etkili olduğunu ($p < 0,05$) ancak B faktörünün belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir. A ve B faktörlerinin ayrı ayrı sonuç üzerine etkileri Şekil 5.2’de verilmiştir. Birleşik etkileri ise Şekil 5.3 verilmiştir. Faktörler ve düzeylere göre elde edilen sonuç Şekil 5.4’de görülmektedir.



Şekil 5.2. Faktörlerin ayrı ayrı etkileri



Şekil 5.3. Faktörlerin bileşik etkileri



Şekil 5.4. Faktörler ve düzeylerine göre elde edilen sonuçlar

İstenilen sonucun (en küçük fire miktarının) küçük olması istendiğinden birleşik etki grafiklerinden ve sonuç tablosundan da görüldüğü gibi B faktörü (mutasyon oranı) 4. seviyede yani 0,7 değerini aldığı anda optimum çözüm sağlanmaktadır. B faktörü (mutasyon oranı) ise her ne kadar sonuç üzerinde etki olmasa da A ve B'nin bileşik etkisi grafiğinde B 2. seviyede iken en iyi sonuçları verdiğinden B faktörü için en iyi düzey 2. Seviye yani 0,3 değeri olarak belirlenmiştir.

5.1 Yeni Çözüm Yaklaşımının Test Problemleri İle Sınanması

Geliştirilen yaklaşımın sınanması amacıyla Leung ve ark. (2001) çalışmasında yer alan 30 parçalı, Hopper ve Turton (2001) çalışmasında yer alan 1. kategoride bulunan 16 parçalı ve 5. Kategoride bulunan 73 parçalı test problemleri kullanılmıştır. Ancak söz konusu problemler tek amaç benimsemişlerdir ve tek ana levha bilgisi vardır. Geliştirilen yöntemin sınanması açısından problemde kullanılan ana levha çeşidi arttırılmış, birim fiyat belirlenmiş ve artan ana malzeme için tekrar kullanılabilirlik değeri belirlenmiştir. Kullanılan

test problemlerine ait veriler Ek-1’de verilmiştir. Her test problemi 5 defa çalıştırılmış ve edilen sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Test problemleri için elde edilen sonuçlar

	PARÇA SAYISI	DENEY NO	FİRE ORANI (%)	KULLANILAN ANA MALZEME SAYISI	TOPLAM MALİYET (TL)	TEKRAR KULLANILACAK MALZEME	YERLEŞİM TÜRÜ
PROBLEM 1	16	1	0,00	1	400	YOK	TC
		2	0,00	1	480	YOK	TC
		3	0,00	1	400	YOK	TC
		4	0,00	1	400	YOK	BLF
		5	0,00	1	400	YOK	BLF
PROBLEM 2	30	1	0,00	1	2925	YOK	TC
		2	1,85	2	3564	VAR	TC
		3	1,23	2	2961	VAR	TC
		4	0,00	1	2925	YOK	TC
		5	1,23	2	3546	VAR	TC
PROBLEM 3	73	1	1,10	1	6552	VAR	BLF
		2	1,10	1	6552	VAR	BLF
		3	2,17	1	6624	VAR	BLF
		4	1,10	1	6552	VAR	BLF
		5	1,10	1	6552	VAR	BLF

Problemler için kullanılan popülasyon büyüklükleri sırasıyla 100, 250 ve 500’dür. Deney Tasarımı çalışmasında belirlendiği üzere çaprazlama oranı 0.3, mutasyon oranı 0,7 olarak alınmıştır. Her problem türü için turnuva seçim katsayısı 3 ve ardıştırma sayısı 1500 olarak alınmıştır. Literatürde sonuçlar fire oranı olarak verildiğinden yeni yaklaşımdan elde edilen sonuçlar sadece bu ölçüte göre karşılaştırılabilmiştir. Problem 1 ve Problem 2’de fire miktarında en iyi değer olan “0” elde edilmiştir. Problem 1 için bulunan en iyi sonuçlar ile oluşturulan kesme kalıpları Ek-2’de, Problem 2 için bulunan en iyi sonuçlar ile oluşturulan kesme kalıpları Ek-3’te verilmiştir. Hopper ve Turton (2001) çalışmasındaki problem 3 için TB BLF melez algoritması kullanarak elde etmiş olduğu kesim planı yüksekliği ile optimal yükseklik arasındaki fark %3’tür.

Geliştirilmiş olan algorithmada ise 91 kesim planı yüksekliği ile %1,1'lik bir fark yakalanmıştır. Problem 3 için bulunan en iyi sonuçlar ile oluşturulan kesme kalıpları Ek-4'te verilmiştir.

5.2 Geliştirilen Yaklaşımın Gerçek Hayat Problemine Uygulanması

Geliştirilen yaklaşım, bir metal makine sanayisinden alınan verilere uygulanmıştır. Firma Bystronik 1800 W 1998 Model CNC Lazer ile kesim yapmaktadır. Kesim planlarının oluşturulmasında ise lazer tezgahının özel bir yazılımı olan Bywork kullanılmaktadır. Yazılıma cad ortamında çizilmiş olan parça resimlerini tanıtmakta ve kesmeye gireceği nokta, parçalar arasında kesme payları gibi parametreler tanımlandıktan sonra otomatik kesme kalıpları oluşturulmaktadır. Bu yazılım kullanılarak oluşturulmuş olan bir kesme planı örneği için veriler Çizelge 5.3'de verilmiştir. Geliştirilen yaklaşım ile Bywork programında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, sonuçlar 5.4'de verilmiştir.

Parça en ve boyları ile kullanılan standart hammadde ölçüleri firmadan alınmıştır. Tekrar kullanılma sınırı belirlenirken ise firma yetkililerinden görüş alınmış ve eğer kalan fireye tekrar parça yerleştirip kestiğimizde oluşan maliyet satış fiyatını geçmiyorsa kullanıldığını, değil ise hurda olarak değerlendirildiği belirtilmiştir. Daha sonra yerleşim yapılacak parça ölçülerinin yine benzer ölçülerde olduğu varsayılarak yapılmış olan hesaplamalara göre tekrar kullanılma sınırı 50 cm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.3. Gerçek hayat problemi verileri

SİPARİŞ PARÇASI				ANA MALZEME			
NO	EN (cm)	BOY (cm)	TALEP MİKTARI	NO	EN (cm)	BOY (cm)	FİYAT (TL)
1	5	30	10	1	88	125	0,00003264
2	68	5	5	2	100	200	0,00003264
3	60	11	5	3	125	250	0,00003264
4	45	39	2				
5	15	11	5				

Çizelge 5.4. Geliştirilen yaklaşımın gerçek hayat problemi için bulduğu sonuçlar

PARÇA SAYISI	DENEY NO	FİRE ORANI (%)	KULLANILAN ANA MALZEME SAYISI	TOPLAM MALİYET (TL)	TEKRAR KULLANILACAK MALZEME	YERLEŞİM TÜRÜ
27	1	1,00	1	0,359	VAR	BLF
	2	0,60	1	0,356	VAR	BLF
	3	3,26	1	0,366	VAR	BLF
	4	2,39	1	0,362	VAR	BLF
	5	3,26	1	0,366	VAR	BLF

Bywork programı 88x125 malzemesi için oluşturmuş olduğu kesme planında fire oranı %1,5'tur, tekrar değerlendirilebilecek parça artmamıştır ve toplam maliyet 0,35904 TL olmuştur. Ancak geliştirilmiş olan yaklaşım 100x200 ana levhasını seçerek kesme planını oluşturmuş ve 2 No'lu deney ile %0,59 fire oranını yakalamıştır. 100x109'luk bir kesme planı oluşturmuş 100x91'lik bir kısım tekrar kullanılmak üzere değerlendirilecektir. Toplam maliyet ise 0,355776 TL olarak hesaplanmıştır. Problem 4 için bulunan en iyi sonuçlar ile oluşturulan kesme kalıpları Ek-5'te verilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İki boyutlu MKP için iyi sonuç verecek GA tabanlı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Literatür taraması sonucunda çok amaçlı çözüm yaklaşımların az yer tuttuğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında genel olarak tek ana levha kullanılarak oluşturulmuş kesme planlarının olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada hem kullanılacak ana levha sayısının birden fazla olduğu hem de birden fazla ölçütün olduğu problem tipleri için çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Böylece fire miktarının yanında kesme sürecinde sürenin azaltılması ve maliyetin azaltılması için kesme planı sayısının, ana malzeme sayısının azaltılması ve kalan firenin tekrar kullanılabilirliğinin göz önüne alınarak ana malzemenin daha verimli kullanılmasını kapsayan çok ölçütlü bir yapı benimsenmiştir.

Birden fazla ölçüt benimsendiği için bu ölçütlerin çözümdeki ağırlıklarının belirlenmesi kullanıcıya bırakılmıştır. Her bir kesme planı için elde edilen bu dört farklı ölçütün birleştirilmesi için ÇÖKV yöntemi olan TOPSIS kullanılmıştır. Çözüm yaklaşımı GA tabanlı olduğundan dolayı kromozomlar, ana levha alternatifleri için yapılandırılmış ve kesim parçalarının kesme planı üzerine yerleştirme sıraları belirlenmiştir. Daha sonra literatür çalışmasında farklı problem türleri için farklı yerleştirme türlerinin kullanılarak iyi sonuç verdiği görüldüğünden GA ile sırası belirlenmiş olan parçaların kesme planı üzerine yerleşiminde üç farklı yerleştirme türü ele alınmıştır. GA parametrelerinin belirlenmesinde, literatürden alınmış olan bir veri kümesi üzerinde deney çalışması yapılmıştır. Popülasyon büyüklüğü ve turnuva seçim katsayısı sabit kabul edilerek GA’larda sonucu en çok etkileyen iki önemli parametre olan mutasyon oranı ve çaprazlama oranı için beş seviye belirlenerek yapılmış olan deney sonuçlarına göre en iyi seviyeler belirlenmiştir. Popülasyon büyüklüğü kesilecek olan parça sayısına göre arttırılmış, turnuva seçim katsayısı ise tüm problemlerde sabit kabul edilmiştir.

Geliştirilmiş olan bu yaklaşım literatürde var olan bazı problemler üzerinde denenmiş ancak bu problemler tek amaçlı olduğundan dolayı sadece fire miktarı karşılaştırması yapılabilmektedir. Hem literatürde var olan problemlerde hem

de gerçek hayattan alınmış olan bir metal kesme probleminde geliştirilen yaklaşımın var olan sonuçlara göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Söz konusu yaklaşımın geliştirilmesi amacıyla ele alınabilecek bazı noktalar aşağıda yer almaktadır:

- Geliştirilen yaklaşım düzgün şekilli sipariş parçaları ile birlikte düzgün ama dairesel ya da düzgün olmayan sipariş parçalarını da kapsayacak şekilde genişletilebilir.
- Benimsenen bu dört ölçütün dışında kesim süreci maliyeti, kesme süresi, işçilik, taşıma maliyeti gibi farklı unsurlarında göz önüne alındığı bir yapı geliştirilebilir.
- Geliştirilen yaklaşımda göz ardı edilmiş olan kesme payları ya da kesme parçalarının öncelikleri çözüm yapısına dâhil edilebilir.
- TOPSIS yönteminde ölçütlerin ağırlıklarının hesaplanmasında AHP gibi bir prosedür kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Almeida, A.M.C., Martins, E.Q.V. ve Rodrigues, R.D. (1998), “Optimal cutting directions and rectangle orientation algorithm” *European Journal of Operational Research*, 109, 660-671.
- Alvarez-Valdes, R., Parajon, A. ve Tamarit, J.M. (2002), “A tabu search algorithm for large-scale guillotine (un)constrained two-dimensional cutting problems” *Computers & Operations Research*, 29 (7), 925-947.
- Amaral, A. ve Wright, M.B. (2001), “Experiments with a strategic oscillation algorithm for the pallet loading problem” *Int. J. Prod. Res.*, 39(11), 2341-2351.
- Aras, N. (2005), *Dikdörtgen Dışı Şekillerin Kesim Planları İçin Sezgisel Bir Yaklaşım*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Arslanov, M.Z. (2000), “Continued fractions in optimal cutting of a rectangular sheet into equal small rectangles” *European Journal of Operational Research*, 125 (2), 239-248.
- Azar, Y. ve Epstein, L. (1997), “On Two Dimensional Packing” *Journal of Algorithms*, 25 (2), 290-310.
- Babu, A.R. ve Babu, N.R. (1999), “Effective nesting of rectangular parts in multiple rectangular sheets using genetic and heuristic algorithms” *Int. J. Prod. Res.*, 37 (7), 1625-1643.
- Bean, J.C. (1994), “Genetics and random keys for sequencing and optimization” *ORSA Journal on Computing*, 6, 154–160.
- Bhattacharya, S., Roy, R. ve Bhattacharya, S. (1998), “An exact depth-first algorithm for the pallet loading problem” *European Journal of Operational Research*, 110 (3), 610-625.
- Binkley, K. J. ve Hagiwara, M. (2007), “Applying self-adaptive evolutionary algorithms to two-dimensional packing problems using a four corners’ heuristic” *European Journal of Operational Research*, 183, 1230–1248.

- Bortfeldt, A., Gehring, H. (2001), "A hybrid genetic algorithm for the container loading problem" *European Journal of Operational Research*, 131, 143–161.
- Bortfeldt, A. (2006), "A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces" *European Journal of Operational Research*, 172, 814–837.
- Burke, E. ve Kendall, G. (1998), "Comparison of meta heuristic algorithms for clustering rectangles" *Computers & Industrial Engineering*, 37(1-2), 383-386.
- Chan, F. T. S., Au, K.C., Chan, L.Y. ve Lau, T.L. (2007), "Using genetic algorithms to solve quality-related bin packing problem" *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, 71–81.
- Chen, D. ve Huang, W. (2007), "A new heuristic algorithm for constrained rectangle-packing problem" *Asia - Pacific Journal of Operational Research*, 24(4), 463-478.
- Chrysosolouris, G., Papakostas, N. ve Mourtzis, D. (2000), "A decision-making approach for nesting scheduling: a textile case" *Int. J. Prod. Res.*, 38 (17), 4555-4564.
- Cizman, A. ve Cernetic, J. (2004), "Improving competitiveness in veneers production by a simple to use DSS" *European Journal of Operational Research*, 156, 241-260.
- Cung, V.D., Hifi, M. ve Le Cun, B. (2000), "Constrained two-dimensional cutting stock problems a best-first branch-and-bound algorithm" *Intl. Trans. in Op. Res.*, 7 (3), 185-210.
- Dell'Amico, M., Martello, S. ve Vigo, D. (2002), "A lower bound for the non-oriented two-dimensional bin packing problem" *Discrete Applied Mathematics*, 118 (1), 13-24.
- Dowsland, K.A. ve Dowsland W.B. (1992), "Packing problems" *European Journal of Operational Research*, 56, 2-14.
- Dyckhoff, H. (1990), "A typology of cutting and packing problems" *European Journal of Operational Research*, 44, 145-159.

- Emel, G. G., Taşkın, Ç. (2002), “Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları” *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, XXI (1), 129-152.
- Ertay, T., Ruan, D. ve Tuzkaya, U. R. (2006), “Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems” *Information Sciences*, 176, 237–262.
- Faggioli, E. ve Bentivoglio, C.A. (1998), “Heuristic and exact methods for the cutting sequencing problem” *European Journal of Operational Research*, 110 (3), 564-575.
- Faina, L. (1999), “An application of simulated annealing to the cutting stock problem” *European Journal of Operational Research*, 114 (3), 542-556.
- Falkenauer E. (1996), “A hybrid grouping genetic algorithms for bin packing” *Journal of Heuristics*, 2, 5–30.
- Fayard, D. ve Zissimopoulos, V. (1995), “An approximation algorithm for solving unconstrained two-dimensional knapsack problems” *European Journal of Operational Research*, 84, 618-632.
- Fayard, D., Hifi, M., Zissimopoulos, V. (1998), “An effecient approach for large-scale two-dimensional cutting stock problems” *Journal of the Operational Research Society*, 49, 1270-1277.
- Feo T, Resende M.G.C. (1989), “A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem” *Operations Research Letters*, 8, 67-71.
- Fujitha, S. (2003), “On line grid packing with a single active grid” *Information Processing Letters*, 85, 199-204.
- Gasımov, R. N., Sipahioğlu, A. ve Saraç, T. (2004), “1.5 boyutlu stok malzemesi seçimi problemi için çok ölçütlü bir karar modeli ve çözüm yaklaşımı” *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi*, Gaziantep – Adana.
- Gilmore, P. ve Gomory, R. (1963), “A linear programming approach to the cutting-stock problem” *II. Operations Research*, 11, 863-888.
- Gilmore, P. ve Gomory, R. (1965), “Multistage cutting stock problems of two and more dimensions” *Operations Research*, 14, 94-120.

- Gilmore, P. ve Gomory, R. (1966) "The theory and computation of knapsack functions" *Operations Research*, 14, 1045-1074.
- Gonçalves, J. F. (2007), "A hybrid genetic algorithm-heuristic for a two-dimensional orthogonal packing problem" *European Journal of Operational Research*, 183, 1212–1229.
- Hadjiconstantinou, E. ve Iori, M. (2007), "A hybrid genetic algorithm for the two-dimensional single large object placement problem" *European Journal of Operational Research*, 183, 1150–1166.
- Healy, P., Creavin, M. ve Kuusik, A. (1999), "An optimal algorithm for rectangle placement" *Operational Research Letters*, 24 (1-2), 73-80.
- Herz, J.C. (1972), "Recursive Computational Procedure for Two-dimensional Stock Cutting" *IBM Journal of Research and Development*, 16, 462–469.
- Hifi, M. (1997a), "An improvement of Viswanathan and Bagchi's exact algorithm for constrained two-dimensional Cutting stock" *Computers & Operations Research*, 24 (8), 727-736.
- Hifi, M. (1997b), "The DH/KD algorithm: A hybrid approach for unconstrained two-dimensional cutting problems" *European Journal of Operational Research*, 97 (1), 41-52.
- Hifi, M. ve Quafi, R. (1997), "Best-first search and dynamic programming methods for cutting problems: the cases of one or more stock plates" *Computers & Industrial Engineering*, 32(1), 187-205.
- Hifi, M. (1998), "Exact algorithms for the guillotine strip cutting/packing problem" *Computers & Operations Research*, 25 (11), 925-940.
- Hopper, E., Turton, B. (1999), "A genetic algorithm for a 2D industrial packing problem" *Computers & Industrial Engineering*, 37 (1-2), 375-378.
- Hopper, E. ve Turton, B.C.H. (2001), "An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for a 2D packing problem" *European Journal of Operational Research*, 128 (1), 34-27.
- Hung, C.Y. ve Sumichrast, R.T. (2000), "A multi expert system for material cutting plan generation" *Expert Systems with Applications*, 19, 19-29.

- Hwang, S. M., Kao, C. Y., & Horng, J. T. (1994). On solving rectangle bin packing problems using genetic algorithms” *I.E.E.E. International Conference*, 2, 1583–1590.
- Imreh, C. (2001), “Online strip packing with modifiable boxes” *Operations Research Letters*, 29, 79-85.
- İşlier, A. (1993), *Malzeme kesme planlarının tasarımında çok ölçütlü karar verme tekniklerinin uygulanması*, Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jakobs, S. (1996), “On genetic algorithms for the packing of polygons” *European Journal of Operational Research*, 88, 165-181.
- Kahraman, A. M. ve Özdağlar D. (2004), “Su Dağıtım Sistemlerinin Genetik Algoritma İle Optimizasyonu” *D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 6(3), 1-18.
- Kaya İ., Kılınç, M.S ve Çevikcan, E. (2007), “Makine teçhizat seçim probleminde bulanık karar verme süreci”, *Mühendis ve Makine*, 49, 8-14.
- Kim, J.K., Kwang, H.L. ve Yoo, S.W. (2001), “Fuzzy bin packing problem” *Fuzzy Sets and Systems*, 120 (3), 429-434.
- Lee, H.F. ve Sewell, E.C. (1999), “The strip-packing problem for a boat manufacturing firm” *I.I.E. Transactions*, 31 (7), 639-651.
- Lee, S. L. (2008), “A decision support system for luggage typesetting” *Expert Systems with Applications*, 35, 1620–1627.
- Leung, T.W., Young, C.H. ve Troutt, M.D. (2001), “Applications of genetic search and simulated annealing to the two-dimensional non-guillotine cutting stock problem” *Computers & Industrial Engineering*, 40 (3), 201-214.
- Leung, T.W., Chan, C.K. ve Troutt, M.D. (2003), “Application of a mixed simulated annealing –genetic algorithm heuristic for the two dimensional orthogonal packing problem” *European Journal of Operational Research*, 145, 530-542.
- Lin, C. C. (2006), “A genetic algorithm for solving the two-dimensional assortment problem” *Computers & Industrial Engineering*, 50, 175–184.

- 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 (2), 413-420.
- Lodi, A., Martello, S. ve Vigo, D. (1999), "Approximation algorithms for the oriented two-dimensional bin packing problem" *European Journal of Operational Research*, 112 (1), 158-166.
- Madsen, O. B. G. (1988), "An Application of Travelling-Salesman Routines to Solve Pattern-Allocation Problems in the Glass Industry" *The Journal of the Operational Research Society*, 39(3), 249-256.
- Martello, S. ve Vigo, D. (1998), "Exact solution of the two dimensional finite bin packing problem" *Manegement Science*, 44 (3), 388-399.
- Morabito, R., Arenales, M., ve Arcaro, V. (1992), "An and-or graph approach for two dimensional cutting problems" *European Journal of Operational Research*, 58, 263-271.
- Morabito, R. ve Garcia, V. (1998), "The cutting stock problem in a hardboard industry: A case study" *Computers & Operations Research*, 25 (6), 469-485.
- Morabito, R. ve Arenales, M. (2000), "Optimizing the cutting of stock plates in a furniture company" *Int. J. Prod. Res.*, 38 (12), 2725-2742.
- Mukhacheva, E. A. ve Mukhacheva, A. S. (2004), "The Rectangular Packing Problem: Local Optimum Search Methods Based on Block Structures" *Automation and Remote Control*, 65(2) 248-257.
- Oliveira, J. F. ve Ferreira, J. S. (1990), "An improved version of Wang's algorithm for twodimensional cutting problems" *European Journal of Operational Research*, 44, 256-266.
- Parada, V., Sepulveda, M., Solar, M. ve Gomes, A. (1998), "Solution for the constrained guillotine cutting problems by simulated annealing" *Computers & Operations Research*, 25(1), 37-47.
- Parada, V., Palma, R., Sales, D. ve Gomes, A. (2000), "A comparative numerical analysis for the guillotine two-dimensional cutting problem" *Annals of Operations Research*, 96, 245-254.

- Salto, C., Alba, E. ve Molina, J. M. (2006), "Analysis of distributed genetic algorithms for solving cutting problems" *Intl. Trans. in Op. Res.*, 13, 403–423.
- Scheithauer, G. ve Sommerveib, U. (1998), "4 block heuristic for the rectangle packing problem" *European Journal of Operational Research*, 108 (3), 509-526.
- Schnecke, V. ve Vornberger, O. (1997), "Hybrid Genetic Algorithms for Constrained Placement Problems" *I.E.E.E. Transactions on Evolutionary Computation*, 1 (4), 266-277.
- Soke, A. ve Bingul, Z. (2006), "Hybrid genetic algorithm and simulated annealing for two-dimensional non-guillotine rectangular packing problems" *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19, 557–567.
- Stockmayer, L. (1983), "Optimal orientations of cells in slicing floor-plan designs" *Information and Control*, 57, 91-101.
- Sweeney, P., Paternoster, E. (1992), "Cutting and packing problems: a categorized application-oriented research bibliography" *Journal of the Operational Research Society*, 43, 691-706.
- Tiwari, S. ve Chakraborti, N. (2006), "Multi-objective optimization of a two-dimensional cutting problem using genetic algorithms" *Journal of Materials Processing Technology*, 173, 384–393.
- Topcu Y.İ. (1999), *Çok ölçütlü sorun çözümüne yönelik bir bütünlüştür karar destek modeli*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vega, W.F. ve Zissimopoulos, V. (1998), "An approximation scheme for strip packing of rectangles with bounded dimensions" *Discrete Applied Mathematics*, 82, 93-101.
- Viswanathan, K.V., Bagchi, A. (1993), "Best-first search methods for constrained two-dimensional cutting stock problems" *Operations Research*, 41, 768-776.
- Wang, P. (1983), "Two algorithms for constrained two-dimensional cutting stock problems" *Operations Research*, 31, 573-586.

- Westerlund, T., Isaksson, J. ve Harjunkoski, I. (1998), "Solving a two-dimensional trim-loss problem with MILP" *European Journal of Operational Research*, 104, 572-581.
- Wu, Y.L., Huang, W., Lau, S.C., Wong, C.K. ve Young, G.H. (2002), "An effective quasi-human based heuristic for solving the rectangle packing problem" *European Journal of Operational Research*, 141, 341-358.
- Yanasse, H.H. (1997), "On a pattern sequencing problem to minimize the maximum number of open stacks" *European Journal of Operational Research*, 100, 454-463.
- Yang, T. ve Kuo, C. (2003), "A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem" *European Journal of Operational Research*, 147, 128-136.
- 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, 729-743.
- Zhang, D. F., Chen, S. D. ve Liu, Y. J. (2007), "An improved heuristic recursive strategy based on genetic algorithm for the strip rectangular packing problem" *Acta Automatica Sinica*, 33(9), 911-916.
- Zilla, S. S. ve Ittai, W. (1994), "The One Dimensional Cutting Stock Problem Using Two Objectives" *The Journal of the Operational Research Society*, 45(2), 231-236.

EKLER

Ek 1: Test Problemi-1 Verileri

ANA MALZEME			
NO	EN (cm)	BOY (cm)	FİYAT (TL)
1	20	20	1
2	16	25	1,2

SİPARİŞ PARÇASI			
NO	EN (cm)	BOY (cm)	TALEP MİKTARI
1	2	12	1
2	7	12	1
3	8	6	1
4	3	6	1
5	3	5	1
6	5	5	1
7	3	12	1
8	3	7	1
9	5	7	1
10	2	6	1
11	3	2	1
12	4	2	1
13	3	4	1
14	4	4	1
15	9	2	1
16	11	2	1

Ek 2: Test Problemi-2 Verileri

ANA MALZEME			
NO	EN (cm)	BOY (cm)	FİYAT (TL)
1	45	65	1
2	39	75	1,2

SİPARİŞ PARÇASI			
NO	EN (cm)	BOY (cm)	TALEP MİKTARI
1	17	6	1
2	6	9	1
3	12	9	1
4	6	6	1
5	9	12	1
6	6	12	1
7	17	12	1
8	6	9	1
9	12	9	1
10	6	12	1
11	9	6	1
12	9	6	1
13	6	12	1
14	14	6	1
15	14	9	1
16	6	15	1
17	6	15	1
18	9	9	1
19	15	9	1
20	9	15	1
21	6	9	1
22	11	12	1
23	9	12	1
24	6	12	1
25	9	18	1
26	15	6	1
27	15	12	1
28	9	12	1
29	9	12	1
30	6	12	1

Ek 3: Test Problemi-3 Verileri

ANA MALZEME			
NO	EN (cm)	BOY (cm)	FİYAT (TL)
1	60	90	1
2	60	500	1,2

SİPARİŞ PARÇASI				SİPARİŞ PARÇASI			
NO	EN (cm)	BOY (cm)	TALEP MİKTARI	NO	EN (cm)	BOY (cm)	TALEP MİKTARI
1	6	34	1	30	3	16	1
2	3	13	1	31	5	14	1
3	5	13	1	32	13	14	1
4	12	10	2	33	2	3	4
5	7	6	2	34	7	3	2
6	15	6	1	35	2	11	1
7	7	25	1	36	7	11	1
8	15	25	1	37	14	33	1
9	12	21	1	38	4	12	1
10	7	16	1	39	3	12	2
11	5	16	2	40	18	16	1
12	3	21	1	41	18	12	1
13	5	21	1	42	4	4	1
14	7	5	2	43	3	4	1
15	5	5	1	44	1	3	1
16	1	4	1	45	9	6	2
17	10	4	1	46	1	6	1
18	13	6	1	47	2	6	2
19	13	12	1	48	18	5	1
20	9	12	1	49	9	3	2
21	6	23	1	50	18	9	1
22	3	7	1	51	12	2	1
23	5	7	1	52	9	2	2
24	1	2	1	53	3	8	1
25	10	2	1	54	9	8	1
26	6	6	2	55	9	10	1
27	5	6	2	56	5	3	1
28	7	14	1	57	18	3	1
29	6	14	2				

Ek-4: Test Problemi 1 İçin En İyi Kesme Planları

9	13	15	
6	8	16	14
4	10	12	
3	5	11	
1	2	7	

DENEY NO 1

14	15	
12	13	
5	11	16
6	7	10
1	2	4
		9
		8

DENEY NO 2

10	15	14	
9	13	12	
8			
7	11		
3	4	5	
1	2		

DENEY NO 3

15	16	14
9	13	11
4	5	10
7	8	12
6	2	3
1		

DENEY NO 4

15	7	16	14
8	11	13	
6		10	12
4	9	5	
1	2	3	

DENEY NO 5

Ek-5: Test Problemi 2 İçin En İyi Kesme Planları

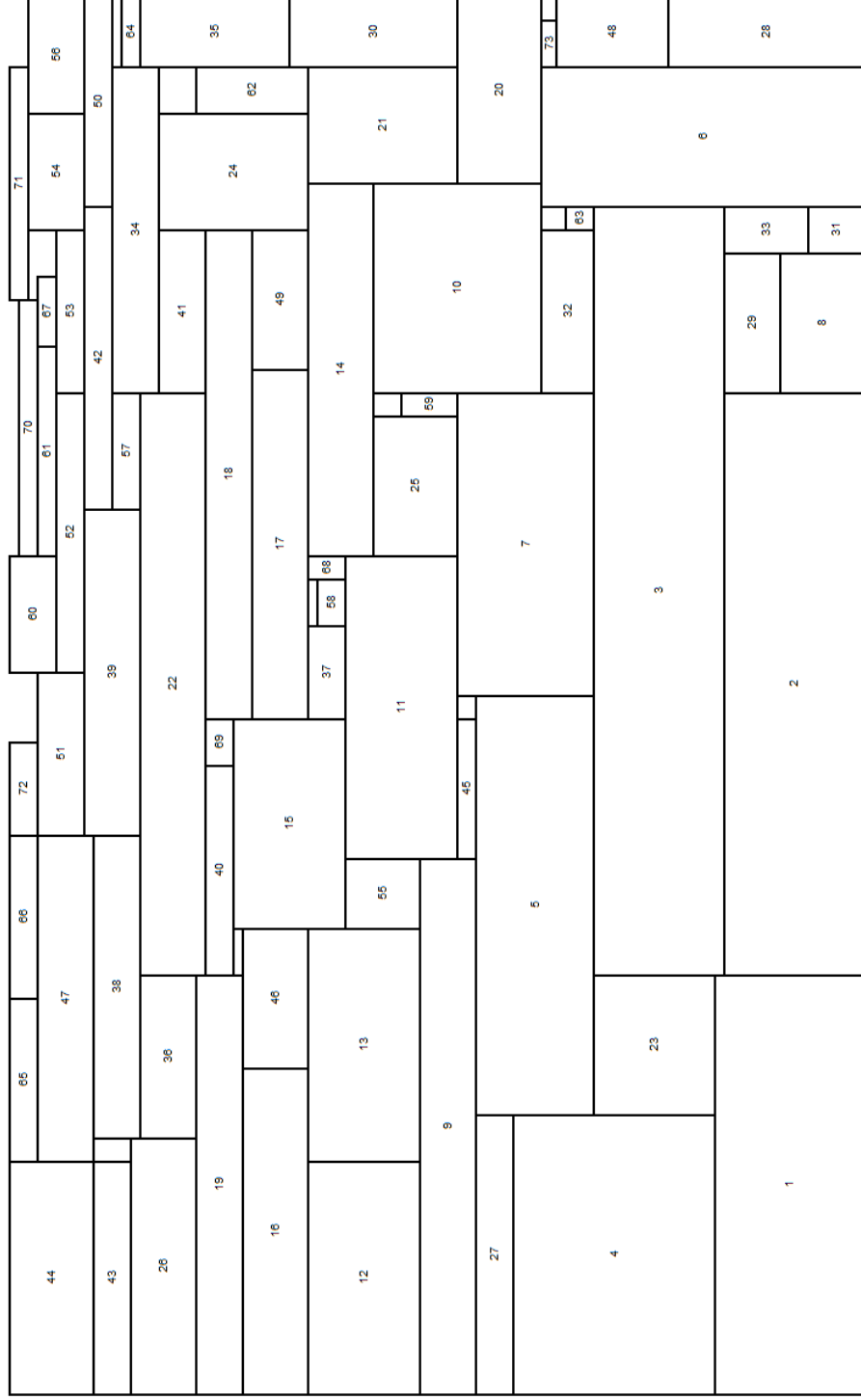
18	19	23	26	30
		21	25	27
17		20	29	24
12		15	16	28
22		8	11	14
5		6	7	10
1	2	3	4	9

DENEY NO:1

15	16	20	30	27	28	29
			26			25
11		19	23	24		22
10		13	14	21		18
6		7		17		
2			8	9		
1		3	4	5		12

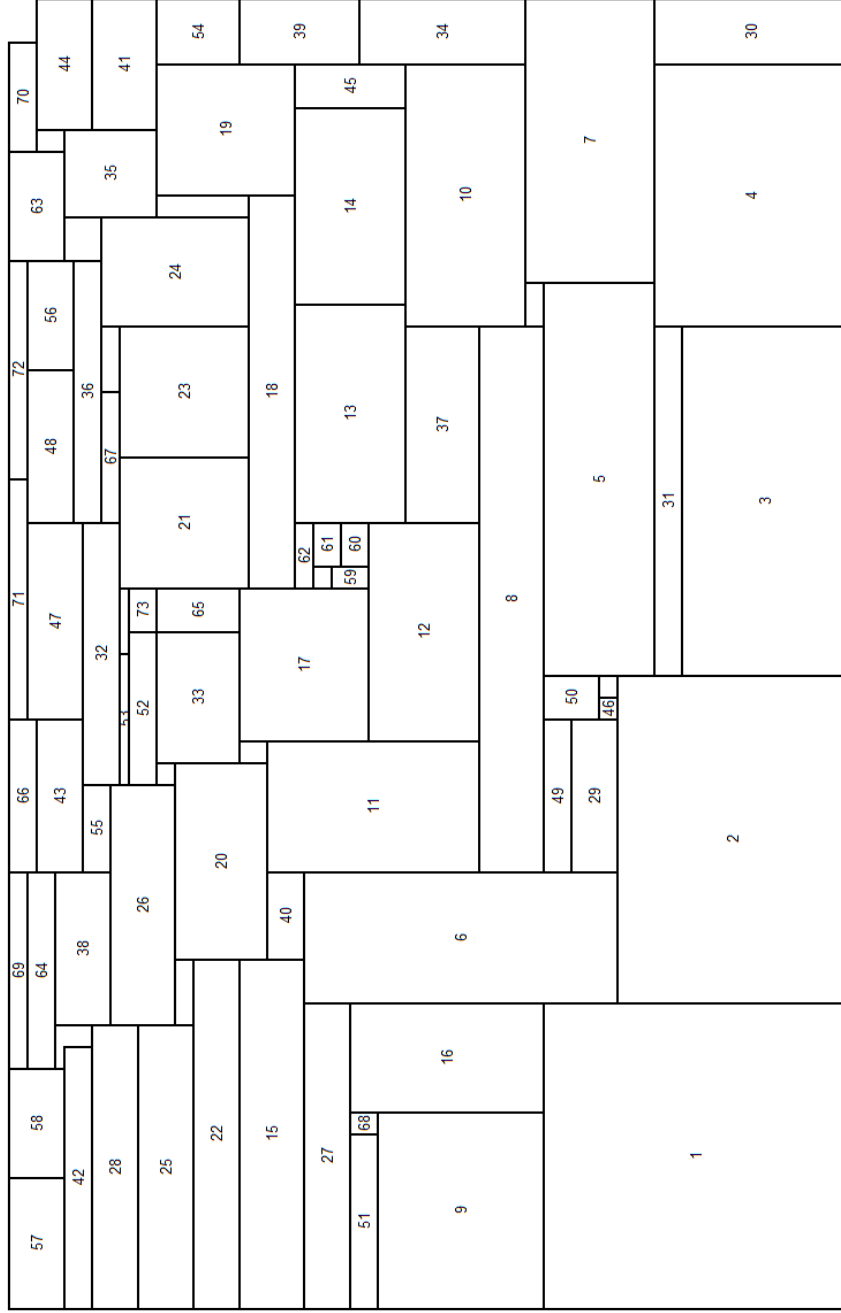
DENEY NO:4

Ek-6: Test Problemi 3 İçin En İyi Kesme Planları



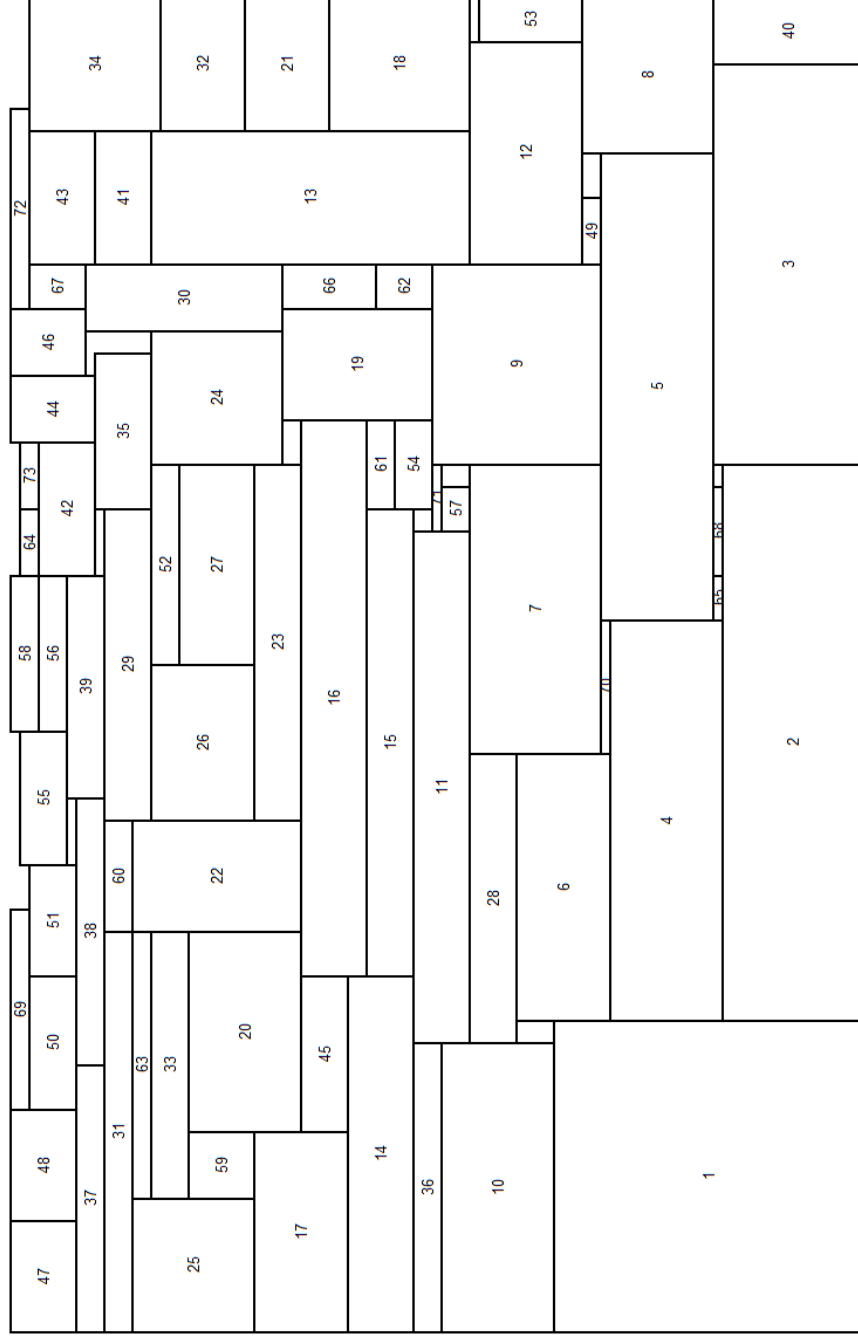
DENEY NO:1

Ek-6: (Devam) Test Problemi 3 İçin En İyi Kesme Planları



DENEY NO:4

Ek-6: (Devam) Test Problemi 3 için En İyi Kesme Planları



DENEY NO:5

Ek-7: Gerçek Hayat Problemi İçin En İyi Kesme Planları

1	2	3	4	8	11	12	13	16	17	18	19	20	23	25	26	27
6	7	15	21	9	14	10										

DENEY NO:2