

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince tez yönetimini üstlenen, bilgisini ve emeğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Öğr. Gör. Dr. Pınar BABAN'a teşekkürlerimi sunarım. Bilgi ve tecrübesini paylaşan, yönlendirmeleri ve öğütleri ile çalışmamda yardımcı olan sayın Prof. Dr. Doğan EROL'a teşekkür ederim.

Çalışmam süresince manevi desteklerini esirgemeyen, tez çalışmamın şekillenmesinde büyük katkıları olan sevgili dostlarım Mürsel ORAK, Alperen Tuğrul ÇİFTÇİ, Selin-Kaan AKSAÇ ve Ahmet ŞERAS'a teşekkürü bir borç bilirim. Bu zorlu süreçte beni asla yalnız bırakmayan Hilal MERİÇ'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Hayatımın her anında beni destekleyen, varlıkları ile güç bulduğum, en kıymetli varlığım olan aileme sonsuz minnettarlığımı ve şükranlarımı sunarım.

Ozan İbrahim Ethem BAĞRIYANIK

Mayıs 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Levha Kesme Problemlerine Karşılaştırmalı Bir Yaklaşım ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Öğr. Gör. Dr. Pınar BABAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarında yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 31/05/2019

Ozan İbrahim Ethem BAĞRIYANIK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. KESME/YERLEŞTİRME PROBLEMİ.....	5
2.1. Kesme/Yerleştirme Probleminin Temel Özellikleri.....	6
2.1.1. Kesme/Yerleştirme Problemlerinde Boyut Kavramı.....	6
2.1.1.1. Bir Boyutlu Kesme/Yerleştirme Problemi	7
2.1.1.2. İki Boyutlu Kesme/Yerleştirme Problemi	7
2.1.1.3. Üç Boyutlu Kesme/Yerleştirme Problemi.....	8
2.1.1.4. Üçten Fazla Boyutlu/Çok Boyutlu Kesme/Yerleştirme Problemi.....	9
2.1.2. Kesme/Yerleştirme Problemlerinde Atama Türü.....	9
2.1.2.1. I. Tür Atama (Temel yerleşim problemi)	9
2.1.2.2. II. Tür Atama (Beladeprobleme)	10
2.1.2.3. III. Tür Atama (Verladeprobleme)	10
2.1.2.4. IV. Tür Atama (Ladeprobleme).....	10
2.1.3. Kesme/Yerleştirme Problemlerinde Girdiler ve Çıktılar.....	11
2.1.3.1. Sürekli/Kesikli Miktar Ölçümü	11
2.1.3.2. Malzeme ve Parçaların Şekli	11
2.1.3.3. Çeşitlilik ve Tekrarlanabilirlik	12
2.1.4. Kesme/Yerleştirme Problemlerinde Kesme/Yerleştirme Planlaması.....	13
2.1.4.1. Mesafe/Aralık Kısıtı	13
2.1.4.2. Pozisyon (Çevirme) Kısıtı	14
2.1.4.3. Parça Çeşit Sayısı Kısıtı	14
2.1.4.4. Kesim Planı Çeşidine İlişkin Kısıtlar	14

2.1.4.5. Kesim Türü.....	15
2.1.4.6. Kesim Süreci	17
2.2. Kesme/Yerleştirme Problemlerinin Sınıflandırılması	17
2.3. Kesme/Yerleştirme Problemlerinin Modellenmesi ve Çözüm Yaklaşımları ...	18
2.3.1. Kesme/Yerleştirme Problemlerinin Modellenmesi	19
2.3.1.1. Bir Boyutlu Kesme/Yerleştirme Probleminin Modellenmesi	19
2.3.1.2. İki Boyutlu Kesme/Yerleştirme Probleminin Modellenmesi.....	20
2.3.1.3. Üç Boyutlu Kesme/Yerleştirme Probleminin Modellenmesi.....	21
2.3.2. Kesme/Yerleştirme Problemi İçin Mevcut Çözüm Yaklaşımları.....	21
2.3.2.1. Analitik Yöntemler.....	22
2.3.2.2. Sezgisel (Yordamsal) Yöntemler	23
2.3.2.3. Diğer Yaklaşımlar.....	24
2.3.3. Problem ile İlgili Mevcut Çalışmalar	24
3. UYGULAMA.....	31
3.1. Problemin Tanımı	31
3.2. İki Boyutlu Kesme Problemi İçin Sezgisel Bir Yöntem.....	32
3.2.1. Parçaların Yerleştirilmesi	32
3.2.1.1. Parçaların Yerleşim Önceliğinin Belirlenmesi.....	33
3.2.1.2. Paralel Yerleşim Konumu	33
3.2.2. Kesme Planlarının Oluşturulması.....	35
3.2.2.1. Kısa Kenar Paralelinin Alanları.....	36
3.2.2.2. Uzun Kenar Paralelinin Alanları	37
3.2.3. Uygulama Çizimlerinin Hazırlanması	39
3.2.4. Karşılaştırma Tablosu.....	39
3.2.4.1. Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi.....	40
3.2.4.2. En Az Stok Malzemesi Gereksinimi	41
3.2.4.3. Kesme Planı Çeşidi.....	41
3.2.4.4. Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı.....	41
3.2.4.5. Fire Oranı.....	41
3.2.5. Kesme Planları Oluşturma Algoritması.....	42
3.2.5.1. Çözüm Algoritmasının Adımları	43
3.2.5.2. Bilgisayar Uygulaması.....	45
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	47

4.1.	Birinci Sipariş Veri Seti.....	47
4.2.	İkinici Sipariş Veri Seti	48
4.3.	Üçüncü Sipariş Veri Seti	48
4.4.	Dördüncü Sipariş Veri Seti.....	49
4.5.	Beşinci Sipariş Veri Seti.....	50
4.6.	Altıncı Sipariş Veri Seti.....	50
4.7.	Yedinci Sipariş Veri Seti	51
4.8.	Sekizinci Sipariş Veri Seti.....	51
4.9.	Erol (1990) Tarafından Kullanılan Birinci Grup Veri Seti.....	52
4.10.	Erol (1990) Tarafından Kullanılan İkinci Grup Veri Seti	53
5.	KAYNAKLAR.....	56
6.	EKLER	62
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

LEVHA KESME PROBLEMLERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR YAKLAŞIM

Ozan İbrahim Ethem BAĞRIYANIK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Öğr. Gör. Dr. Pınar BABAN
2019, 61 Sayfa, 20 Sayfa Ek

İmalat sektöründe boyutları bakımından büyük ve az sayıda olan ana malzemelerden, boyutları daha küçük ve sayıca fazla olan parçaların kesilerek elde edilmesi oldukça yaygındır. Bu uygulama beraberinde kesilecek parçaların ana malzeme üzerine nasıl yerleştirilmesi gerektiği problemini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Düzce ilinde alüminyum dış cephe kaplamaları imal eden bir firmadan, iki boyutlu dikdörtgen levhalardan giyotin makas ile daha küçük parçaların kesilerek elde edildiği, kullanılacak ana levhaya ait boyut ve kullanım miktarı bilgileri ile kesilecek parçaların boyut ve talep bilgileri elde edilmiştir. Bu bilgiler kullanılarak daha önce literatürde var olan bir sezgisel yöntem güncel ihtiyaçlar gözetilerek bilgisayar programı yeniden oluşturuldu ve farklı örnekler için çözümler elde edildi. Ayrıca gerçek hayat problemlerini ele alan benzer çalışmalarda da yapıldığı gibi bir ticari amaçla oluşturulmuş olan programla de aynı örnekler için çözümler elde edildi. Farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar kullanılacak ana malzeme miktarı ve çözüm için gereken süre bakımından karşılaştırıldı. Her iki yöntemin kullanılacak ana malzeme miktarları bakımından çok yakın değerlere sahip oldukları, çözüm için gereken süreler bakımından sezgisel algoritma tabanlı programın üstün olduğu tespit edildi. Çalışma kapsamında sezgisel algoritma tabanlı bilgisayar programının oluşturduğu kesme planlarının görselleştirilmesi veya sezgisel yöntemin diğer sezgisel ya da meta sezgisel yöntemlerle melezlenmesi ilerleyen araştırmalar için konu olabilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Giyotin, Sezgisel, İki Boyutlu, Kesme ve Yerleştirme Problemi

Master Thesis

SUMMARY

A COMPARATIVE APPROACH TO SHEET CUTTING PROBLEMS

Ozan İbrahim Ethem BAĞRIYANIK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Lecturer PhD. Pınar BABAN
201, 61 Pages, 20 Pages Appendix

In manufacturing sector, it is quite common to obtain parts that are smaller in size than large size stock materials. The fact that there are too many problems with similar structure and the complexity of the problem increases the interest in this problem.

In this study, size and usage information of the main plate, size and demand information of the smaller pieces to be cut were obtained from a company which manufactured aluminumcoating materials in Düzce province, where rectangle main plates were cut to smaller pieces with guillotine shears. A computer program that base on heuristic algorithm designed to solve similar problems in the past, was created. These data were solved with the help of this program. At the same time, data were solved with a commercial program. End of this study, solutions obtained with heuristic based program were benchmark with other solutions obtained with commercial program in terms of usage of main material and time required to obtain solution. Both methods have very close values in terms of the amount of the main material to be used and the heuristic algorithm based program is superior in terms of the time required for the solution. Within the scope of this study, visualization of the cutting plans formed by the heuristic algorithm based computer program or hybridization of the heuristic method with other heuristic or metaheuristic methods may be the subject of the researches in the future.

Key Words: Guillotine, Heuristic, Two Dimensional, Cutting and Packing Problem

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Bir boyutlu giyotinli kesme örneği (Bayır, 2012).....	7
Şekil 2. İki boyutlu giyotinli kesme örneği (Scheithauer, 2018).....	8
Şekil 3. Üç boyutlu yerleştirme örneği (Scheithauer, 2018).	9
Şekil 4. Dik açılı olmayan (non-orthogonal) kesme örneği (Albayrak, 2013).	15
Şekil 5. Dik açılı iç içe yuvarlanmış (nested) kesme örneği (Scheithauer, 2018).....	16
Şekil 6. Kademeli giyotin kesme örneği (Scheithauer, 2018).	16
Şekil 7. Paralel Yerleşim Konumu	34
Şekil 8. Dik Yerleşim Konumu	35
Şekil 9. Dik konum yerleşimi için kısa kenar paralelinin alanları.....	36
Şekil 10. Paralel konum yerleşimi için kısa kenar paralelinin alanları.	37
Şekil 11. Dik konum yerleşimi için uzun kenar paralelinin alanları.	38
Şekil 12. Paralel konum yerleşimi için uzun kenar paralelinin alanları.	38
Şekil 13. Algoritmanın Akış Şeması.	44
Şekil 14. Sezgisel Program Kesme Planı Çıktısı.....	45
Şekil 15. Sezgisel programın çözümüne ait ek hesaplamalar çıktısı.....	46

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Çözüm değerleri karşılaştırma tablosu	40
Tablo 2. Birinci sipariş için sezgisel program ile elde edilen çözümlerin sonuçları	54
Tablo 3. Birinci sipariş için ticari programla elde edilen çözümün sonucu	54



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- A_{ij}**:j. kesme planında yer alan i. kesilecek parçanın sayısını,
C_j:j. kesme planının maliyetini,
D_i:i. kesilecek parçanın talep miktarını,
FO: Fire oranı,
H: Kesilecek ana malzemenin yüksekliğini,
H_i: i. kesilecek parçanın yüksekliğini,
L: Kesilecek ana malzemenin uzunluğu,
L_i: i. kesilecek parçanın uzunluğunu,
m: Boyutları ve talep miktarları farklı olan kesilecek parça çeşidi sayısı,
n:kesme planlarının sayısını,
n_{a t}: Teorik ana malzeme miktarı,
n_g : En az ana malzeme gereksinimi,
n_s : Satın alınacak stok malzemesi miktarı,
R_i: i parçasının talep miktarı,
W: Kesilecek ana malzemenin genişliğini,
W_i: i. kesilecek parçanın genişliğini,
X_j: j. kesme planının tekrar sayısını,

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte müşterilerin beklentileri ve talepleri hızlı bir şekilde değişmektedir. Bu değişim, firmalara artan rekabet koşulları olarak yansımaktadır. Firmaların faaliyetlerine devam edebilmeleri, bu artan rekabet koşullarına sağlayacakları uyuma bağlıdır. Firmaların rekabet koşullarına uyum sağlamaları için alabilecekleri iki stratejik karar vardır. Bunlardan birincisi, firma ürün veya hizmetlerini aynı alanda faaliyet gösteren diğer firmalarından daha fazla özellik ile donatarak ürünlerini veya hizmetlerini farklılaştırmasıdır. İkincisi ise benzer çıktıları elde eden firmalar için süreçlerinde verimliliğin artırılmasıdır. Firmalar, süreçlerinde verimlilik artışı ile ürün ve hizmetlerini daha düşük fiyatlandırabilir ya da kâr marjını arttırabilir. Süreçlerin verimliliğinin artması ise sabit girdi ile daha yüksek çıktı elde etmek veya daha az girdi ile aynı çıktıyı elde etmekle mümkündür. Bu ele alınacak olan süreçteki girdi ve çıktılar faaliyet gösterilen alana göre farklılıklar gösterecektir. Örneğin hizmet yoğun bir sektör için kullanılacak olan insan kaynağı bir girdi iken makine yoğun bir sektör de hammadde, enerji birer girdi ve fire ve hurda miktarı önemli bir çıktı olarak ele alınabilir.

Kâğıt, cam, tekstil, demir-çelik, mobilya vb., büyük ve az sayıda stok malzemesinden daha küçük ve fazla sayıda parçaların elde edildiği sektörlerde kullanılan hammadde, çıkan fire ve hurda miktarı önemlidir. Hurda miktarı, süreçte yer alan insan, makine vb. faktörlerden kaynaklı olarak tekrar kullanılması mümkün olmayan malzeme miktarını, fire miktarı ise sürecin en başından beri bilinen sürecin karakteristiklerinden dolayı stok malzemesinin tam verimli olarak kullanılamamasından kaynaklanan malzeme kayıplarını ifade eder. Hurda miktarlarının azaltılması kalite yönetim sisteminin oluşturulması sonucunda, fire miktarları ise stok malzemesinden kesilecek parçaların etkin bir kesim planı oluşturularak kesilmesi ile azaltılabilir.

Büyük ve az sayıda olan stok malzemesinden daha küçük ve çok sayıda parça elde edilmesi sürecinde yaşanan fire miktarlarının azaltılması problemi genel olarak dilimleme problemi olarak bilinse de aslında malzeme kesme problemi veya stok kesme (cutting stock) problemi olarak adlandırılır. Fire miktarının azaltılmaya çalışıldığı bu problemler kullanılan kesme yöntemine, faaliyet gösterilen sektörün kısıtlarına, üretimin yeteneklerine, stok malzemesine ve müşteri tarafından talep edilen parçaların şekillerine

göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkları, kesilecek olan parçaların şekil karmaşıklığı, cinsi, boyutları, talep miktarları ile ana malzemenin boyutları, kalınlığının homojen olup olmaması, kesilecek olan parçalarla arasındaki boyut mertebesi, kesme düzeneğinin teknik yeterliliği ve kesme planlarını oluşturmak için kullanılacak yöntem şeklinde daha detaylı olarak ifade etmek mümkündür. Farklılıklar kesme işlemlerinin gerçekleştirilebilirliğini ve ekonomikliğini etkiler. Uzmanların görüşlerine göre etkin bir kesme planı oluşturmak için kesme işleminin teknik boyutunun yanında ekonomik boyutu da önem arz etmektedir (Erol, 1990).

Artan rekabet koşulları lojistik sektöründe de etkisini göstermektedir. Lojistik firmalarının müşterileri, üretim maliyetlerini düşürmek için hem hammadde tedarik hem de ürünlerinin son kullanıcılarına ulaştırılması sürecinde gerçekleşecek olan taşıma maliyetlerini de ele almaktadırlar. Bu sebepten dolayı lojistik firmaları için taşıma işlemlerinde kullanılan konteyner vs. gibi hacimlerinde etkin kullanılması gerekmektedir. Bu gereklilik sonucunda yerleştirme (packing) problemleri ile karşılaşılmaktadır. Fiziksel olarak bir kesme işlemi olmamasına rağmen kesme problemleri ile aynı mantıksal yapıda olan yerleştirme problemleri, kesme problemlerinde yer alan uzunluk ve genişlik boyutlarına ek olarak yükseklik boyutunun da hesaba katıldığı problemlerdir. Kesme problemleri ve yerleştirme problemlerinin benzerliklerinin yüksek olmasından dolayı literatürde bu problemler, kesme/yerleştirme (cutting and packing) problemleri olarak aynı başlık altında incelenmektedir.

Kesme/yerleştirme problemleri her zaman büyük konteynerlere paletlerin yerleştirilmesi ya da kesilecek parçaların stok malzeme üzerine yerleştirilmesi olarak karşımıza çıkmamaktadır. Örnek olarak elektronik devre kartlarının tasarlanması sürecinde karşılaşılan dikdörtgen şekilli bileşenlerin kart üzerinde yerleşimi problemi ile karşılaşmaktadır. Bu yerleşim probleminde, iletken yolların birbirleri ile olan temaslarından kaçınılarak bileşenlerin arasında olması gereken boşluk payı da göz önünde bulundurularak en küçük alana yerleştirilmesi amaçlanır. Gazeteler ve dergilerde haber yazılarının ve ilanların sayfalara yerleştirilmesi, tesis içerisinde makinaların yerleşimlerinin veya mobilya mağazalarında mobilyaların estetik görünümü amaçlanarak yerleştirilmesi problemleri de örnek olarak verilebilir.

Gerçek hayatta karşılaşılan bazı problemler ilk bakışta kesme/yerleştirme problemlerine benzetilemede yapılan çalışmalar sonucu kesme/yerleştirme problemleri

ile aynı mantıksal yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır. Örnek olarak ilk bakışta kesme ve yerleştirme problemlerine benzemeyen hareket planlaması problemleri ele alınabilir. “Kısıtlı bir alanda farklı şekillere sahip cisimlerin yerleşiminin düzenlenmesi veya hareket planlarının oluşturulması” olarak tanımlanan hareket planlaması problemleri, kesme/yerleştirme problemleri ile benzer yapıya sahiptir. Her iki problemde temelde farklı cisimler kümesinin, kısıtlı bir alan içerisinde mümkün olan en iyi biçimde yerleştirilmesi” amacına sahiptir.

Kesme problemlerinin ilk zaman çözümleri kişisel bilgi birikimine, sezgilere ve deneye dayalı yöntemlerle (Şablonlarla sınaama yöntemi, vb.) hazırlanan kesme planlarına dayalıydı. Bu uygulamada kesme kayıplarını en aza indirgenmesine önem verilirken kesme işleminin ekonomik boyutuna önem verilmediği ve alternatif kesme planlarının olmadığı görülmektedir. Stok kesme problemi akademik anlamda ilk olarak 1939’da Rus matematikçi Kantorovich tarafından ele alınmıştır, 1960’da yayınladığı çalışmasında kesme problemini n adet makinaya m adet işin çizelgelenmesi problemi olarak ele almıştır ve firenin azaltılması amacıyla tamsayı programlama modelini oluşturmuştur (Albayrak, 2013). Ana malzemenin sınırlı yerleşim alanını, tezgâhın öngörülen sürede iş yapabilme yeteneğine ve kesilecek parçaları, tezgâhta işleme alınmayı bekleyen malzemelere benzetilebilir. Bu benzerlikten dolayı yerleştirilmeleri gereken parçaların herhangi bir özelliğine göre öncelik tanımlanıp, yerleştirilmelerinin yapılması düşünülebilir (Erol, 1990).

Kesme ve yerleştirme problemleri için akademik çalışmalar 1960’dan itibaren giderek artmıştır. Bu yoğunlaşan ilgiyi, problemin geniş uygulama alanına sahip olması, gerçek dünya problemlerinin çeşitliliği ve problemin karmaşıklığı olarak üç grupta sıralamak mümkündür:

Uygulama alanı genişliği: kesme/yerleştirme problemleri çelik, cam, giyim, gemi inşa, tekstil, kâğıt imalatı gibi birçok sektörde görülmektedir. Bunun yanında sermaye bütçeleme, montaj hattı dengeleme, bellek atama gibi birçok problem kesme/yerleştirme problemi ile benzer yapıya sahip olduğu için kesme/yerleştirme problemine dönüştürülerek çözüm aranabilir.

Gerçek dünya problemlerinin çeşitliliği: gerçek hayatta karşılaşılan kesme/yerleştirme problemleri ortak yapıya sahip olsalar da her problemin kendine ait özel

durumları ve kısıtları problemleri farklılaştırmaktadır. Bundan dolayıdır ki ilgili araştırmalarda oldukça farklı modellerin ve çözüm yöntemlerinin önerildiği görülmektedir.

Problemin karmaşıklığı: kesme/yerleştirme problemlerinin NP-zor olması bu problemleri araştırmacılar için cazip hale getirmekte ve teorik olarak önemini arttırmaktadır. Bu problemleri çözerken matematiksel modeller hesaplama yükünden dolayı bazen uygun değildir. Bu yüzden uzun zamanda en iyi çözümü elde etmek yerine makul zamanda kabul edilebilir düzeyde bir çözüm üreten sezgisel yöntemler tercih edilmeye başlanmıştır. Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki ve yapay zekâ tabanlı meta sezgisel tekniklerdeki gelişmeler daha iyi çözüm üretme yönündeki ilgiyi arttırmıştır (Aras, 2004).

Son yıllarda artan çevre bilinci göz önüne alındığında atık malzemelerin geri dönüşümü için yapılacak yatırım veya kullanılacak olan hizmet kullanım bedellerinin de yüksek olması, firmaları malzeme kullanım verimliliğini arttırmaya yöneltmiştir. Bu da kesme/yerleştirme problemlerine olan ilginin artmasına yol açmıştır.

2. KESME/YERLEŞTİRME PROBLEMİ

Müşterilerin siparişlerini karşılamak ya da üretim sürecinde kullanılacak olan ara mamulleri temin etmek için çeşitli endüstrilerde büyük boyutlu stok malzemesinden daha küçük boyutlu olan parçaların kesilerek elde edilmesi yaygındır. Bu endüstrilerde (metal, ağaç, kağıt, cam vb.) firmaların faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmaları önemlidir. Firmalar da kesme işlemlerinde verimliliğin artırılması, kesme işlemi sonucunda kesilen en küçük parçadan daha küçük olarak kalan ve kesme kaybı (trim loss) veya fire olarak tanımlanan kayıpların en küçüklenmesi en önemli amaçlardandır. Malzemelerin istenilen boyuta indirgenmesi bu amaçlar doğrultusunda ele alındığında, gelen siparişleri ya da ihtiyaç duyulan ara mamulleri karşılayacak, uygun boyuttaki stok malzemesinin seçimini ve bu malzemeye uygun şekilde kesim planının oluşturulması problemi ortaya çıkmaktadır.

Büyük stok malzemelerinin daha küçük parçalar haline indirgenmesi temel iki problemi ortaya çıkarmaktadır. Bunların birincisi büyük stok malzemesinin boyutlarının belirlenmesi ve kesilecek parçaların seçilmesini içeren atama (asorti/assortment) problemidir. İkincisi ise büyük stok malzemesinden küçük parçalar kesilirken fireyi en küçüklemek için nasıl kesim yapılacağı ile ilgili olan Kesim Kaybı (trim loss) problemidir (Bayır, 2012). Kesme problemi bu iki problemin kombinasyonu olarak tanımlanabilir.

Benzer bir yaklaşımla, boyutları bilinen belli bir hacim içerisine daha küçük boyutlu hacimlerin yerleştirilmesi problemi dağıtım sürecinde ortaya çıkmaktadır. Ürünlerin taşıma maliyetlerini azaltmak için bir seferde daha fazla ürünün nakledilmesi, konteyner, palet, kutu vb. araçların içerisine en iyi şekilde yerleştirilmesi amaçlanır. Yerleştirme sonucunda en küçük hacimli parçadan daha küçük hacimli parçalar yerleştirme kaybı olarak tanımlanır ve bu kaybın en küçüklenmesi ve daha fazla ürünü tek bir taşıma aracı içerisinde sevkiyatı sağlanması problemi Yerleştirme Problemi (packing problem) olarak tanımlanır. Literatürde kesme/yerleştirme problemi (C & P-cutting and packing) problemleri olarak ele alınır. Kesme ve yerleştirme problemlerinin kendilerine has olan özellikleri dikkate alınmaz ise kesme ve yerleştirme problemleri aynı başlık altında ele alınabilir.

Kesme/yerleştirme problemleri ile temelde aynı mantıksal yapıyı taşıyan problemler literatürde farklı isimler altında ortaya çıkmaktadır. Literatürde kesme/yerleştirme problemleri ile aynı yapıya sahip birçok problem vardır. Aşağıda kesme/yerleştirme problemleri ile aynı mantıksal yapıda olan problemlerin literatürde yer alan isimleri verilmiştir:

- Stok kesme problemleri ve kesim kaybı problemleri
- Kutu Paketleme (Bin Packing), Şerit Paketleme (Strip Packing) ve Sırt Çantası(Knapsack) problemleri
- Araç, Palet, Konteynır ve Araba yükleme problemleri
- Sınıflandırma, Azaltma, Tasarım, Bölme, Düzen ve Yerleştirme problemleri
- Zamanlama, Bellek ayırma, Değişim, Dengeleme problemleri

2.1.Kesme/Yerleştirme Probleminin Temel Özellikleri

1960'dan günümüze kadar kesme/yerleştirme problemleri başlığı altında toplanan çok sayıda problem incelenmiştir. Yapılan bu çalışmaların fazlalığı, yeni yapılacak çalışmalarda problemleri tanımlaması ve çözüm yaklaşımı geliştirilmesi noktasında bu çalışmaların önceki çalışmalardan farkını belirleyici özelliklerinin incelenmesi ihtiyacını meydana getirmiştir. Bunun sonucunda kesme ve yerleştirme problemlerinin boyut, atama türü, girdi, çıktı ve kesim/yerleşim planına ait özellikleri incelenmektedir.

2.1.1. Kesme/Yerleştirme Problemlerinde Boyut Kavramı

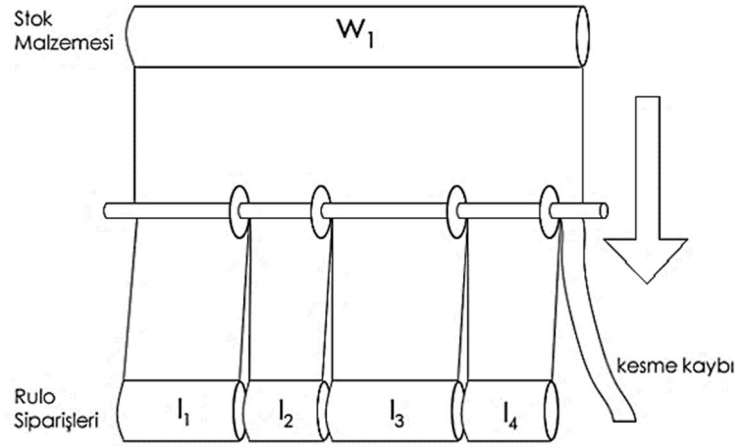
Kesme/yerleştirme problemlerinin en temel özelliği boyutudur. Belirli bir kesme/yerleştirme işlemi geometrik olarak gerçekleştirmek için stok malzemesi üzerinde kesme işlemi yapılacak en az doğrultu sayısı “kesme/yerleştirme boyutu” sayısını verir. Dyckhoff'un araştırmasında kesme/yerleştirme boyutu bir, iki ya da üç olarak ele alınmaktadır. Lakin kesme/yerleştirme problemi ile aynı yapıyı taşıyan benzer problemler için daha fazla boyutun varlığı söz konusudur(Aras, 2004; Bayır, 2012). Bu nedenden dolayı Wascher ve arkadaşları 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada Dyckhoff'un sınıflandırmasında yer alan boyut sayısına “ $N>3$ ” şeklinde bir sınıf daha eklemiştir.

Kesme/yerleştirme problemlerinde boyut kavramı tespiti her ne kadar kolay görünmekte ise de bazı durumlarda boyutu belirlemek çok kolay olmamaktadır. Geometrik olarak üç boyutlu malzemelerde gerçekleşecek olan kesme/yerleştirme işlemi için bazen

bir ya da iki boyutu göz önüne almak gerekebilir veya problemin karmaşıklık derecesi bir ve iki boyutlu olarak kalabilir (Haessler ve Sweeney, 1991)

2.1.1.1. Bir Boyutlu Kesme/Yerleştirme Problemi

Parçaların genişliği veya uzunluğu sabit ya da ihmal edilebilir olmaktadır. Her biri belli uzunluğa sahip kâğıt ya da metal rulolarının, inşaat demirlerinin, su borularının küçük parçalara kesilmesi örnek verilebilir. Bu örneklerin kesitleri sabit olduğu için önemsenmez. Bu örneklerin yanında bilgisayar disklerinde kütüklere yer ayrılması, T.V. ekranlarında reklam spotlarının sürelerinin belirlenmesi gibi problemler de bir boyutlu kesme problem örnekleridir.



Şekil 1. Bir boyutlu giyotinli kesme örneği (Bayır, 2012).

2.1.1.2. İki Boyutlu Kesme/Yerleştirme Problemi

Dikdörtgen şekilli plaka, kumaş, cam, sunta, çelik sac benzeri ana stok malzemelerinden daha küçük alana sahip parçaların kesilerek elde edilmesi, baskı devrelerinde entegre elemanlarının yerleşimi gibi problemler iki boyutlu kesme problemlerine örnek verilebilir. Gerçek hayatta karşılaşılan birçok üç boyutlu problemler iki boyuta indirgenebilir. Örnek olarak süt şişelerinin kasalara yerleştirilmesi problemi, bu problem dikdörtgen şekilli bir ana malzeme üzerine dairesel parçaların yerleştirilmesi

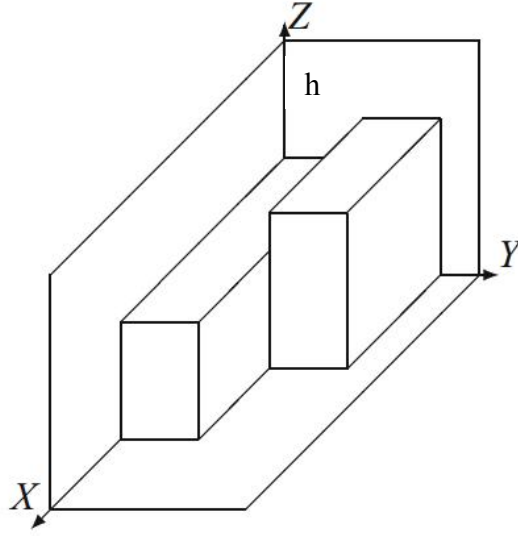
problemi olarak ele alınabilir. Sütlerin dökülme ihtimaline karşın şişelerin tabanları üzerine dikey olarak yerleştirilmesi zorunluluğu problemi iki boyutlu hale dönüştürmüştür.

2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	
				3											
1				3				5		5		5			
				3											
1				3											
				3											

Şekil 2. İki boyutlu giyotinli kesme örneği (Scheithauer, 2018).

2.1.1.3. Üç Boyutlu Kesme/Yerleştirme Problemi

Üç boyutlu problemler uzunluk, genişlik ve yüksekliklerinin belirttiği hacimlerin sınırlı kapasiteye sahip olan daha büyük hacimler içerisine yerleştirilmesi olarak ifade edilir. Bu problemler genel olarak “paketleme”, “istifleme” veya “yükleme” olarak adlandırılır. Belirli bir h yükseklik sınırı ile kısıtlanmış olan palet yükleme problemi, mermer bloklarda yapılacak olan kesme işlemi üç boyutlu kesme/yerleştirme problemlerine örnek olarak verilebilir.



Şekil 3. Üç boyutlu yerleştirme örneği (Scheithauer, 2018).

2.1.1.4. Üçten Fazla Boyutlu/Çok Boyutlu Kesme/Yerleştirme Problemi

Üç boyutlu problemlere zaman, ağırlık ve maliyet gibi kısıtlar eklenmesi durumunda oluşan problemlerdir. Kutuların sabit zaman aralıklarında bir konteyner içinde muhafaza edilmesi, ekmek hamurlarının belirli bir süre kısıtı altında pişirilmesi dört boyutlu problemlere, çok periyotlu yatırım bütçesi planlama problemi, vektör yerleştirme problemi (vector packing problem) olarak adlandırılan çok boyutlu kesme problemine örnek verilebilir (Dyckhoff ve Finke, 1992).

2.1.2. Kesme/Yerleştirme Problemlerinde Atama Türü

Bütün ana stok malzemelerinin ya da kesilecek parçaların kesme/yerleştirme planlarında yer alıp almamasına bağlı olarak 4 farklı atama türünden bahsedilebilir (Dyckhoff ve Finke, 1992; Yavuz, 2005).

2.1.2.1. I. Tür Atama (Temel yerleşim problemi)

Tüm stok malzemeleri ve parçalar, oluşturulan kesim/yerleşim planlarında yer almaktadır. Malzeme ve parçaların tümünün birbirine atanması gerektiği temel yerleşim (layout) problemlerinde görülen bir durumdur. Bu durum özellikle küçük nesnelerin

mekânsal düzenlenmesi temel sorun olduğu fabrika içi yerleşimi gibi problemlerde önemlidir.

2.1.2.2. II. Tür Atama (Beladeprobleme)

Stok malzemelerinin tümü, parçalar kümesinden seçilmiş bazı elemanlara atanmaktadır. Her bir objeye en az bir parçanın atanması söz konusudur. Bu durumda, oluşturulan kesim planlarında bazı parçalar yer almamaktadır.

2.1.2.3. III. Tür Atama (Verladeprobleme)

II. tür atamanın tersi bir durumdur. Parçaların tümü, stok malzemelerinin yer aldığı kümeden seçilmiş bazı elemanlara atanmaktadır. Seçilmeyen stok malzemeleri için kesim/yerleştirme planlarının oluşturulması söz konusu değildir.

2.1.2.4. IV. Tür Atama (Ladeprobleme)

Birbirine atanacak stok malzemesi ve parçaların seçimi söz konusudur. Mevcut parçalar kümesinden seçilmiş elemanlar, stok malzemeleri kümesinden seçilen elemanlara atanmaktadır. Elde edilen kesim/yerleştirme planlarında bu elemanlar yer almaktadır.

Kesme/yerleştirme planlarının oluşturulma şekline bağlı olarak parçaların tek veya çok aşamalı olarak atanması söz konusudur. Tek aşamalı atama sürecinde, belirli bir stok malzemesi bir bütün olarak ele alınıp kesim/yerleşim planı tek adımda oluşturulmakta ve bu kesim/yerleşim planına göre parçaların stok malzemesinden aynı anda, tek adımda elde edildiği varsayılmaktadır. Çok aşamalı atama sürecinde ise, kesim/yerleşim planları birbirini izleyen birden fazla adımda oluşturulmaktadır. Bu durumda, stok malzemesinin bir önceki aşamadan kalan kısmı ile elde edilmiş yarı mamuller bir sonraki aşamanın mevcut stok malzemelerini oluşturmaktadır. Giyotinle kesmede, kesilen bir yaprak iki farklı yaprak haline gelmekte ve stok malzeme sayısı artmaktadır. Bu tür problemler bazen iç içe yuvalanmış (nested) olarak da ifade edilmektedir (Yavuz, 2005; Bayır, 2012).

Bazı durumlarda belirli bir alt kümeye ait parçaların bir kısmı seçildiğinde bu kümeye ait diğer elemanların da aynı anda seçilmiş olması gerekir. Örneğin, bir makinaya

ait parçalar ayrı ayrı kutulara yerleştirilmişse, bu parçaların tümünün konteynıra yüklenmek üzere seçilmesi gerekir. Benzer şekilde bazı parçaların belirli parti büyüklükleri halinde seçilmesi gerekebilir. Mevcut parçalar kümesinden yapılacak seçimle ilgili bu tür kısıtların dikkate alınması gerekir.

2.1.3.Kesme/Yerleştirme Problemlerinde Girdiler ve Çıktılar

2.1.3.1.Sürekli/Kesikli Miktar Ölçümü

Stok malzemesi ve kesilecek parçalar normalde doğal sayılar yardımı ile kesikli olarak ölçülür. Ama bazı problemlerde stok malzemeleri ve kesilecek parçalar arasında bağlı bir boyut söz konusu ise ölçümler arasında ilişki bulunabilir. Bunun tipik bir örneği rulo malzemedan kesme işlemi yapılması durumudur, böyle bir durumda siparişin istenen uzunluğunu elde etmek için kaç rulo veya rulo parçası kullanılması gerektiğine karar vermek üreticiye kalmıştır. Aslında biri sabit olan iki boyutlu bu tür problemlerde malzeme rulo sayısına göre ölçülmez, sürekli değişen uzunluk ölçüsüyle ölçülür. Sonuç olarak başlangıçta iki boyutlu olarak görünen bu problemde sırası ile stok malzemesinin ve kesilecek parçaların sürekli ölçümü ile bir boyuta indirgenir. Diğer ilgili boyut kesme planlarında dikkate alınacak bir boyut olmaktan çıkar (Dyckhoff ve diğ., 1984). Dikdörtgen şekilli parçalar çok uzun rulolar üzerine yerleştğinde iki boyutlu kesme probleminin özel bir durumu olan bir buçuk boyutlu problemler ortaya çıkmaktadır (Chauny ve diğ., 1991). Bu problemler iki boyutlu problemlerin bir boyutu sabit diğer boyutunun sınırlaması olmadığı kabul edilen özel bir türevidir. Dikdörtgen parçalar kesiliyor olmasına rağmen, problem iki boyutlu değildir çünkü rulo halindeki ana malzeme boyunca uzanan yan fire, problemin bir boyutu ile tanımlanabilmektedir. Lakin problem, kesilecek parçaların yerleştirilmesi esnasında hem boy hem de genişliklerinin göz önüne alınması zorunluluğundan bir boyutlu problemlere göre daha karmaşıktır.

2.1.3.2.Malzeme ve Parçaların Şekli

Malzeme, kesme/yerleştirme probleminin karmaşıklık düzeyini etkileyen ve boyutu ile ilişkili olan bir özelliği de stok malzemeleri ve kesilecek malzemelerin şeklidir. Bir stok

malzemesi ya da kesilecek/yerleştirilecek parçanın şekli onun kesme/yerleştirme boyutu uzayındaki geometrik gösterimi olarak tanımlanabilir. Bir stok malzemesi ya da kesilecek/yerleştirilecek parçayı belirtirken onun şekli, büyüklüğü ve pozisyonundan bahsedilir. Belirli bir pozisyonda boyutları çakışan cisimler benzer olarak kabul edilir.

Geometrik şekil bakımından benzer olan stok malzemesi veya kesilecek/yerleşecek parçalar büyüklükleri açısından farklı olabilir. Şekillerin büyüklükleri uzunlukları, alanları veya hacimleri ile ifade edebiliriz.

Pozisyon, stok malzemesi veya kesilecek/yerleşecek parçalar için kesme boyutu uzayındaki yerleşimini ifade eder. Cisimlerin döndürülmesinin mümkün olmadığı durumlar için sabit pozisyonlu ifadesini kullanabiliriz. Bazı iki veya üç boyutlu problemlerde 90 derece gibi cisimlerin dönüşüne izin verilmesi söz konusu olabilir. Böyle bir durumda şekil ve büyüklüğü eş olan cisimler pozisyonları bakımından farklı olabilir.

2.1.3.3.Çeşitlilik ve Tekrarlanabilirlik

Kesme/yerleştirme problemleri, geometrik şekilleri, boyutları ve pozisyonları ile tanımlanan ana malzemeler ve kesilecek parçaların çeşitliliği açısından homojen ve heterojen problemler olarak iki ayrı sınıfta ele alınmaktadır.

Homojen problemler, boyutları ve geometrik şekilleri bakımından benzer fakat pozisyonları bakımından farklılık gösteren malzeme ve parçalar içermektedir. Tüm malzeme veya parçaların standart olduğu problemler de söz konusudur.

Heterojen problemler homojen olanların aksine benzer olan diğer iki özellik; geometrik şekil ve boyutlar bakımından da farklı malzeme ve parçalar içeren problemlerdir. Heterojenliği ifade etmekte kolaylık sağlaması için malzeme ve parçaların her birini kendi arasında benzer olanları gruplandırma yoluyla derecelendirme yoluna gidilir. Grup sayısı az ve her bir gruptaki parça sayısı çok ise düşük derecede heterojen, grup sayısı fazla ve her bir gruptaki parça sayısı az ise yüksek derecede heterojen olarak ifade edebiliriz. Örnek olarak, deri imalatında stok malzemelerinin homojen olmadığı söylenebilir çünkü stok malzemeleri geometrik şekil, boyut gibi özellikleri bakımından da farklılıklar göstermektedir. Benzer şekilde mermer ocaklarında, mermer bloklarının ebatlarının farklılıkları ve damarlı yapıları göz önüne alındığı zaman stok malzemelerinin homojen olmadığı söylenebilir. Bir kâğıt rulosundan daha küçük farklı boyutlu ruloların

kesildiği kesme problemi mermer ya da deri stok malzemesinden gerçekleştirilecek kesme ve yerleştirme problemine göre daha düşük heterojenlik derecesine sahiptir.

Tekrarlanabilirlik, aynı şekil ve ölçülerde elde edilebilen stok malzemesi veya parça çeşidi miktarındaki alt ve üst sınırı tanımlamaktadır. Belirli bir çeşit malzemedan elde edilebilir miktar çok kısıtlı olabilir. Bu durum özellikle, malzemelerin daha önceki siparişlerden artan kısımlarının ileride kullanılmak üzere stoklandığı durumlarda ortaya çıkar. Bazı malzeme veya parça çeşidi miktarı için ise üst sınır o kadar yüksek olabilir ki matematiksel olarak sınırsız kabul edilebilir (Yavuz, 2005).

2.1.4.Kesme/Yerleştirme Problemlerinde Kesme/Yerleştirme Planlaması

Kesme/yerleştirme işlemi için stok malzemesi üzerine gerçekleştirilebilir yerleştirmelerin herbirine kesme/yerleştirme planı denilir.Kesme/yerleştirme planları kesilecek/yerleştirilecek parçaların stok malzemesi üzerindeki yerleşimlerinin konumunu ve miktarlarını detaylı olarak belirten gösterimlerdir. Kesme/yerleştirilmesi istenen parçaların talepleri birden fazla ise bu parçaları birden fazla kesme/yerleştirme planında görmek mümkündür. Lakin bir kesme/yerleştirme probleminin çözümünü oluşturan tüm kesme/yerleştirme planlarında herbir parça için yer alan miktarlarının toplamı o parçanın talebinden küçük olmamalıdır.

Kesme planları hazırlanırken, kesilecek parçaların ve stok malzemelerinin geometrik formlarına bağlı olarak yerleşim planlarının oluşturulması gerekir. Kesilecek parçaların stok malzemelerinden küçük olması ve eldeki stok malzemeleri kesilecek parçaların hepsinin yerleşimine izin verecek miktar ve ölçülerde olması gerekir. Kesilecek parçaların stok malzemesi üzerine atanırken dikkat edilmesi gereken iki geometrik kısıt vardır; ilki kesilecek parça stok malzemesinin sınırlarını aşmamalı, ikincisi malzeme üzerine yerleştirilen parçalar birbirleri ile üst üste gelecek şekilde çakışmamalıdır.

2.1.4.1.Mesafe/Aralık Kısıtı

Kullanılan kesme teknolojisine bağlı olarak parçalar arasında ve malzeme kenarında bırakılması gereken paylar hesaba katılmalıdır. Parçaların zarar görmeden kesilmesi için çoğu zaman, bitişik şekiller arasında boşluk payı verilmelidir. Özellikle cam

levhaların kesim işleminde kesici disklerin kayma olasılığına karşın parçalar arası belli bir mesafe bırakılır. Yerleştirme problemlerinde bazı durumlarda parçaların zarar görmemesi, dengenin sağlanabilmesi için boşluk bırakılması gerekliliği söz konusu olabilir

2.1.4.2.Pozisyon (Çevirme) Kısıtı

Malzemelerin lifli ya da homojen olmayan bir yapıya sahip olmaları, parçaların döndürme açılarını ve yerleşim konumlarını etkilemektedir. Tekstil endüstrisinde kullanılan kumaş malzemenin dokuma yönü, dikiş işleminin özellikleri ya da kumaşın desenli olması yerleştirilecek parçaların konumunu etkiler. Kâğıt endüstrisinde kağıtların rulo malzemeden kesilirken dikkat edilecek husus su yönü denilen lifleri doğrultusunda kesme işlemi gerçekleştirilmelidir.

2.1.4.3.Parça Çeşit Sayısı Kısıtı

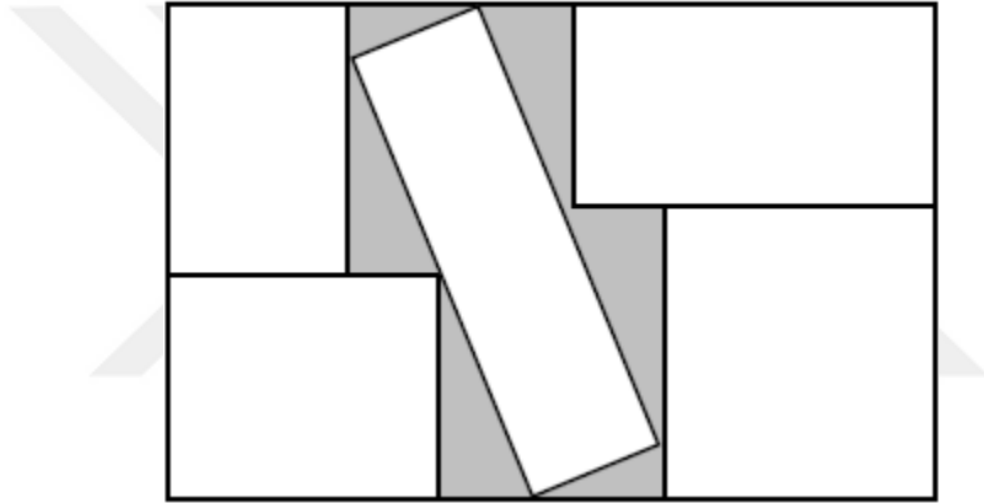
Kesim planı yapılırken karşılaşılan bir başka problem de, kesme planı içerisinde yer alacak olan parça çeşidinin sayısı bazı sebeplerden dolayı kısıtlanmasıdır. Örnek olarak, konteynere yüklenecek parçalar için sipariş listesinde birlikte olma şartı veya kesme düzeneğinin teknik yeterliliği kesme planı içerisinde yer alacak parçaların çeşidini belirler.

2.1.4.4.Kesim Planı Çeşidine İlişkin Kısıtlar

Kesme ve yerleştirme problemlerinin tek amacı kesme kayıplarını en küçükleme dışında denetlenebilir maliyetlerin en küçükleme şeklinde de olabilir. Böyle bir durum söz konusu olduğu zaman tezgahların ayar edilme ve elden geçirilme maliyetlerini etkileyen kesim planlarının sayısı önem kazanmaktadır. Hazırlık ve değişimin maliyetini azaltmak için toplam kesme planı sayısı kısıtlanabilir ya da en az değişim sayısı belirlenebilir. Bu amaç aynı zamanda kesme planında yer alabilecek parça çeşidinin üst sınırını da belirleyebilir.

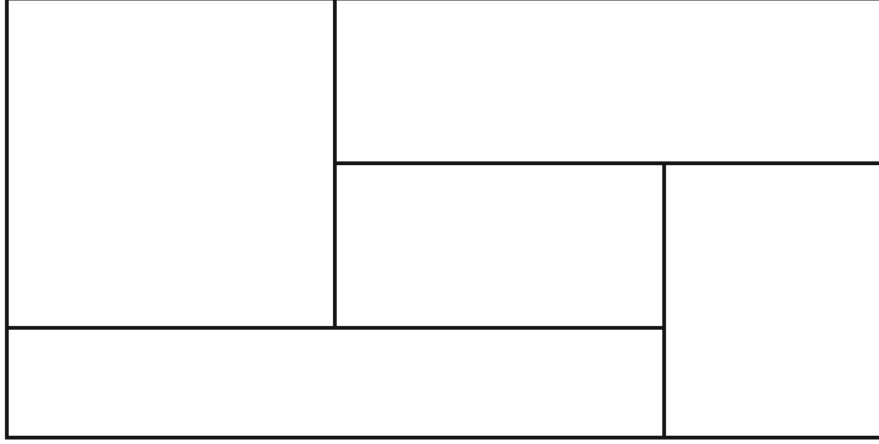
2.1.4.5. Kesim Türü

Endüstriyel uygulama alanında dikdörtgen şekilli parçalar, daha büyük ölçülerde dikdörtgen levha biçimindeki ana malzemelerden kesilmektedir. Bu türde kesme problemlerinde kesme planlarını oluştururken parçaların yerleşim açıları önem kazanır. Dikdörtgen parçaların ana malzeme kenarlarına paralel olarak kesilmesi *dik açılı kesme (orthogonal cutting)*, herhangi bir açı ile kesilmesi ise *dik açılı olmayan kesme (non-orthogonal cutting)* olarak tanımlanır (Şekil 4 ve 5).



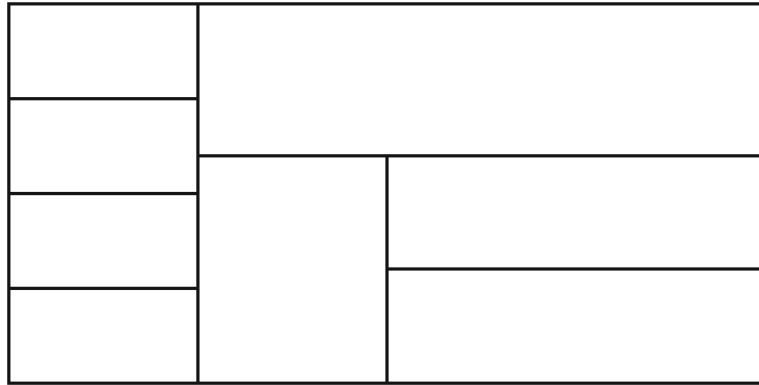
Şekil 4. Dik açılı olmayan (non-orthogonal) kesme örneği (Albayrak, 2013).

Şekil 4’de dik açılı kesme için giyotin kesme ve iç içe yuvarlanmış(nested) kesme yöntemleri kullanılır. Bunlardan en yaygın olanı giyotin kesmedir. Giyotin kesme işleminde malzeme bir kenarından diğer kenarına dik doğrultuda kesilmekte ve kesilen malzeme her adımda ikiye bölünmektedir. İç içe yuvarlanmış (nested) kesim planlarında, kesme işlemi başladığı doğrultudan devam etmeyebilir, bir noktada kesimin doğrultusu değişebilir. Bu kesme planları malzeme kesmeden yerleştirme problemlerinde dengenin sağlanabilmesi amacı ile tercih edilir.



Şekil 5. Dik açılı iç içe yuvarlanmış (nested) kesme örneği (Scheithauer, 2018).

Kesilecek parçaları elde etmek için gereken giyotin kesme sayısı kesme maliyetlerini azaltmak adına kısıtlanabilir. Giyotin kesme işlemi için bir üst sınır varsa (d) *d kademeli* giyotin kesme, eğer bir üst sınır yoksa *kısıtsız* giyotin kesme söz konusudur (Şekil 6).



Şekil 6. Kademeli giyotin kesme örneği (Scheithauer, 2018).

Tekstil ve deri sektörlerinde makasla/lazerle kesme veya eğrisel kesmeye olanak veren motorlu kesicilerle kesme söz konusu olmaktadır. Bu durumda konveks olmayan şekillerin kesilmesi problemi ortaya çıkmaktadır. Ayrıca deri sektöründe kullanılacak ana malzemenin konveks olmaması durumu da problemi zorlaştırmaktadır.

2.1.4.6.Kesim Süreci

Kesim işlemleri için ardışık kesme işlemleri gerekse bile tüm işlemlerin aynı anda kesintiye uğramadan gerçekleştiği göz önüne alınarak tek aşamada kesme sürecinin tamamlandığı varsayılır. Kesme sürecinde birden fazla aşama söz konusu ise çok aşamalı kesme sürecinden bahsedilir. Çok aşamalı kesme sürecinde kesilecek malzemeler bir süreci tamamladıktan sonra diğer kesme sürecine dahil olmaktadır. Kesilecek malzeme için kesme sürecinde birden fazla makine kullanılarak kesme işlemi, gerçekleşiyorsa çok aşamalı kesme sürecinden söz edilebilir.

2.2.Kesme/Yerleştirme Problemlerinin Sınıflandırılması

Uzun süredir çalışılmakta olan kesme/yerleştirme problemleri sadece imalat sektörünü yakından ilgilendirmemektedir. Daha önceki kısımlarda bahsedilen bellek atama problemi, çok periyotlu bütçe planlama problemi gibi birçok imalat sektörü dışındaki problemler de kesme problemleri ile aynı mantıksal yapıya sahip oldukları için kesme problemine dönüştürülerek çözülmesi mümkündür.

Kesme/yerleştirme problemleri somut boyutlara sahip olanlar ve olmayanlar olarak ikiye ayrılabilir. Somut boyutlara sahip olanlar, Öklid uzayında tanımlayabildiğimiz bir boyutlu dilimleme problemlerini, iki boyutlu kesme problemlerini veya üç boyutlu yerleştirme problemlerini kapsamaktadır. Bu problemlerin çözümünde uzunluk, genişlik ve yükseklik ölçüleri dikkate alınmaktadır. Soyut kesme ve yerleştirme problemlerinde ise ağırlık, zaman veya para gibi Öklid uzayında yer almayan boyutlar söz konusudur.

Kesme/yerleştirme problemlerinin sınıflandırması problemin boyut, parça şekilleri, stok malzemesi çeşidi ve sayısı gibi birçok özelliğe göre gerçekleştirilebilir. Ama uzun yıllardır genel olarak kabul edilen, Dyckhoff'un 1990 yılında yapmış olduğu sınıflandırma yaklaşımıdır. Bu yaklaşım kesme problemini $\alpha / \beta / \gamma / \delta$ ile gösterilen dört ayrı özelliğine göre sınıflandırmaktadır:

1. Kesme boyutu(α)
 - a. Bir boyutlu (1)
 - b. İki boyutlu (2)
 - c. Üç boyutlu (3)

- d. N boyutlu, $N > 3$
- 2. Atama türü (β)
 - a. Ana malzemelerin tamamı, kesilecek parçaların bazıları (B)
 - b. Ana Malzemelerin bazıları, kesilecek parçaların tamamı (V)
- 3. Ana Malzemelerin miktar ve biçimleri (γ)
 - a. Bir ana malzeme (O)
 - b. Boyutsal ve biçimsel olarak aynı birden çok sayıda ana malzeme (I)
 - c. Boyutsal ve biçimsel olarak farklı olan ana malzemeler (D)
- 4. Kesilecek parçaların miktar ve şekilleri (δ)
 - a. Değişik şekillerde az sayıda parça (F)
 - b. Çok farklı şekillerde çok sayıda parça (M)
 - c. Şekil olarak az farklılık gösteren çok sayıda parça (R)
 - d. Benzer şekilli parçalar (C)

Bu semboller yardımı ile $4 \times 2 \times 3 \times 4 = 96$ adet kesme yerleştirme problemi türü ifade edilebilir. Bu gösterim sayesinde çok periyotlu sermaye bütçeleme problemini ($\alpha/B/O/$), bellek tahsisi problemini ($1/V/I/M$) ve palet yükleme problemini ($2/B/O/C$) şeklinde ifade edebiliriz.

2.3.Kesme/Yerleştirme Problemlerinin Modellenmesi ve Çözüm Yaklaşımları

Günümüzde bir çok sektörde müşterilerinden gelen siparişleri ya da üretim için gerekli olan malzemelerin, boyutları daha büyük olan stok malzemelerinden kesilerek elde edilmesi ya da malzeme taşıma sistemlerinde büyük hacimlere, küçük hacimli cisimlerin yerleştirilmesi yoluna gidilmektedir. Kesme problemi, bu kesilecek olan parçaların stok malzemesinden nasıl elde edileceğinin, yerleştirme probleminde ise yerleşecek parçaların bu büyük alana nasıl yerleşeceğinin belirlenmesi problemidir. Bu problemin çözüm aşamaları ise; kesilecek malzemelerin önceliklerinin belirlenmesi ile başlar, kesilecek parçaların yerleştirilebileceği alternatif kesme planları bulunduktan sonra bu planlar arasından kaybın en az olduğu kesme planı belirlenir. Kesme planının belirlenmesi ile aynı zamanda kullanılacak olan stok malzemesinin boyutları da tespit edilmiş olur.

Bu noktada firmalar süreçlerinin etkinliğini arttırmak, geri dönüşüm maliyetlerini veya artan çevre bilinci dahilinde üretimlerinin çevreye vereceği zararı enküçüklemek arzularından dolayı kesme işlemine önem vermektedirler

2.3.1. Kesme/Yerleştirme Problemlerinin Modellenmesi

Kesme/yerleştirme problemleri ile araştırmacılar 1950'den beri sistematik olarak ilgilenmektedirler. Problemin çözümünde başlangıçta iki aşamadan oluşan geleneksel yöntem kullanılmıştır. Bu yaklaşımın ilk aşaması sayımlama ile kesme planlarını oluşturur, ikinci aşamada doğrusal programlama yardımı ile kesme planlarından her birinin miktarını belirler. Doğrusal programlama ile elde edilen sonuçlar tam sayıya dönüştürülmek kaydı ile beklenen değerlere ulaşılır (Erol, 1990).

Kesme problemleri matematiksel model kurularak ilk defa Gilmore ve Gomory tarafından 1961 yılında incelenmiştir (Gilmore ve Gomory, 1961, 1963, 1964). Bu çalışmanın temelinde her bir iterasyon sırasında sırt çantası problemi ile kesme planları üretilip daha sonra doğrusal programlama yardımı ile kesme planlarından hangilerinin hangi sayıda işleme alınacaklarını sapması vardır.

2.3.1.1. Bir Boyutlu Kesme/Yerleştirme Probleminin Modellenmesi

İnşaat demiri veya su boruları gibi malzemelerin kesim işlemleri bir boyutlu kesme problemlerine örnek verilebilir. Bu problemlerde ana malzemelerin çap, kesit ve benzeri özelliklerine göre önceden gruplandırılması gerekir. Her bir grup, belli ölçütlere uygun olarak önceden oluşturulmuş kesme planları doğrultusunda kesme işlemine tabi tutulur.

Taban alanları stok malzemesi ile aynı olan fakat yükseklikleri farklı olan hacimlerin üst üste yerleştirilmesi bir boyutlu yerleştirme problemine örnek verilebilir.

Gilmore ve Gomory tarafından oluşturulmuş olan matematiksel model:

kesme planı sayısı kısıtı;

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} L_i \leq L \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

talep karşılama kısıtı;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = D_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

(tam sayı kısıtı);

$$x_j \geq 0$$

altında karar modeli;

$$Enkx_0 = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

şeklinde yazılır.

2.3.1.2. İki Boyutlu Kesme/Yerleştirme Probleminin Modellenmesi

İki boyutlu kesme/yerleştirme problemleri, Öklid uzayında yer alan uzunluk ve genişlik boyutlarına önem verilen stok malzemelerinden yine aynı boyutları önemsenen ve boyutlarının büyüklükleri küçük olan parçaların kesilerek/yerleştirilerek elde edilmesi sürecidir.

Burada dikdörtgen şekilli ana malzemelerden yine sayısı bilinen “m” adet dikdörtgen şekilli parçaların kesileceği bir kesme problemi modeli gösterilecektir. Bu model daha önce gösterilen bir boyutlu stok kesme problemindeki simgesel ifadeler ek olarak,

kesme planı sayısı kısıtı;

$$\sum_{i=1}^m a_{ij}L_iW_i \leq LW \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

talep karşılama kısıtı;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = D_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

(tam sayı kısıtı);

$$x_j \geq 0$$

altında karar modeli;

$$Enkx_0 = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

şeklinde yazılır.

2.3.1.3. Üç Boyutlu Kesme/Yerleştirme Probleminin Modellenmesi

Üç boyutlu kesme/yerleştirme problemleri, iki boyutlu kesme/yerleştirme problemlerine ek olarak yükseklik boyutunun da önemli olduğu problemlerdir. Bu problemin matematiksel modeli için daha önceden bir ve iki boyutlu kesme problemlerindeki simgesel gösterime ek olarak,

kesme planı sayısı kısıtı;

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} L_i W_i H_i \leq LWH \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

talep karşılama kısıtı;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = D_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

(tam sayı kısıtı);

$$x_j \geq 0$$

altında karar modeli;

$$Enkx_0 = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

şeklinde yazılır.

2.3.2. Kesme/Yerleştirme Problemi İçin Mevcut Çözüm Yaklaşımları

Kesme/yerleştirme problemlerinin çözümü, nesnelerin sıralanışı, pozisyonları ve yerleşimlerinin belli bir amaç doğrultusunda sürekli olarak düzenlendiği bir süreçtir. Bundan dolayı kombinatoryal bir problem çeşididir (Bayır, 2012). Kesme/yerleştirme problemleri, kombinatoryal eniyileme problemleri sınıfında yer almaktadır. Kombinatoryal ifadesi çoğunlukla karar değişkenlerinin kesikli olduğu problemler için kullanılmaktadır. *Kombinatoryal eniyileme* ifadesi ise çözümün bir tam sayılar kümesi ya da sırası olarak ifade edildiği, karar modelinde çok fazla değişken ve kısıt olan, en iyi çözümün bulunmasının amaçlandığı problemler için kullanılmaktadır (Aras, 2004).

Kesme/yerleştirme problemlerinde genellikle amaçlanan stok malzemesi kullanım oranını arttırarak fireleri en küçükmektir, lakin fire maliyetlerinin yanında denetlenebilir diğer maliyetlerinde en küçülenmesinin istendiği durumlarda problemlerdeki kısıt sayısı

artacağından çözüm süresi üstel olarak artacaktır (Erol, 1990). Kesme/yerleştirme problemlerinin bazıları için çok az sayıda tamsayılı değişkeni olmasına rağmen makul bir sürede çözüm elde edilememektedir, ayrıca kesme/yerleştirme problemlerinin boyutu, stok malzemesi ya da kesilecek/yerleşecek parça çeşidi gibi değişken sayısı da arttıkça çözüm süresi üstel olarak artmaktadır. Bu sebeple kesme problemleri NP-zor (NP-hard/NP-complete) sınıfında yer alır (Dyckoff, 1990). Örnek olarak, bir konteynere 6 farklı yönde dönüşüne izin verilen 20 parçanın yerleşimi problemi için oluşturulacak arama ağacında 3. iterasyonda 1,7 milyon düğüme ulaşılmaktadır (Eley, 2002).

Kesme/yerleştirme probleminde çözümün karmaşıklık derecesini uygun kesme/yerleştirme planı sayısı ve değişkenlerin tam sayılı olarak ifade edilmesi ile tanımlanabilir (Gilmore ve Gomory, 1961). Kesme/yerleştirme planı sayısı ana malzeme ve kesilecek/yerleşecek parçaların boyları arasındaki orana (L/enk_l) bağlı olarak değişir.

Büyük malzemedan çok küçük parçalar kesileceği zaman uygun kesme planlarının sayısı, büyük hacimlere çok sayıda küçük hacimli parçalar yerleşeceğinde uygun yerleştirme planlarının sayısı artar (Haesler ve Sweeney, 1991). Giyotinli kesme/yerleştirme işlemlerinde aşama sayısı arttıkça uygun kesme/yerleştirme planı sayısı da çok fazla artar. Fakat çok boyutlu giyotin kesme/yerleştirmeproblemlerinde tam tersi gerçekleşir uygun kesme/yerleştirme planı sayısını azaltır ve çözümü kolaylaştırır (Gilmore ve Gomory, 1964).

NP-zor sınıfında yer alan kesme/yerleştirme problemlerinin çok küçük çaplı olan örneklerinin dışında makul bir sürede en iyi çözümün bulunması mümkün görünmemektedir. Herhangi boyutlu kesme/yerleştirme problemi için tüm kısıtları ve değişkenleri göz önüne alan genel amaçlı bir çözüm yöntemi yoktur (Erol, 1990). Ele alınacak olan kesme/yerleştirme probleminin karakteristiklerine göre çözüm yaklaşımları farklılık göstermektedir. Bu yaklaşımları; analitik yöntemler, sezgisel (yordamsal) yöntemler ve diğer yaklaşımlar olarak üç ana başlık altında toplayabiliriz.

2.3.2.1. Analitik Yöntemler

Doğrusal programlama (DP), tamsayılı Programlama(TP), dinamik programlama, sütun oluşturma tekniği, dal sınır yöntemi ya da tamsayılı programlama ve doğrusal programlamanın bileşimi analitik yöntemleri oluşturur (Dağlı, 1983).

Tamsayılı programlama kullanırken kısıtlar arttıkça çözüm uzayı genişler ve çözüm için gereken süre artar. Bu durumun üstesinden gelmek adına doğrusal programlama yardımı ile kısıtlar gevşetilerek çözüm aranır. Fakat problemin doğrusal programlama ile çözülmesi daha sonra çözüm değerlerinin, çözüm koşulunu bozmadan tekrar tamsayıya dönüştürülmesi veya ana problemin yardımcı problemler desteği ile çözülmeye çalışılması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. DP tabanlı yöntemlerin çoğunluğu 1963’de Gilmore ve Gomory tarafından bir boyutlu kesme probleminin çözümü için geliştirdikleri “sütun oluşturma tekniği” üzerinden geliştirilmiştir (Haessler ve Sweeney, 1991). Bu yöntemin avantajı bütün kesme planlarının oluşturulmasına gerek kalmadan başlangıç için temel uygun çözüm oluşturulmasının yeterli olması ve her bir adımda DP modeline girecek olan kesme planı, modelle ilişkili bir yardımcı problem (sırt çantası) çözülerek belirlenmesidir. Bu yöntemlerle elde edilen sonuçlar kesin değildir. Çok az çalışma *en iyi çözümü* garanti etmektedirler lakin bu çalışmalardaki yöntemler genel olmayan, probleme özgü tasarımları ve küçük boyutlarda kullanılabilirlikleri için yaygın değildirler (Lai ve Chan, 1997).

Analitik yöntemler; problemin karar modellerinin oluşturulması yolu ile problemin önemli karakteristiklerinin belirlenmesi, alt-üst sınırlarının oluşturulması ve kesme planlarının türetilmesi noktasında yararlı olmaktadır (Aras, 2004).

Problemin kısıt sayısı arttıkça karmaşıklık derecesinin artması ve çözüm süresinin uzaması ve ayrıca çözüm değerlerinin yuvarlatılma zorunluluğu analitik yöntemlerin istenmeyen yanlarıdır (Erol, 1990).

2.3.2.2. Sezgisel (Yordamsal) Yöntemler

Kombinatoryal olan kesme/yerleştirme probleminde kısıt ve değişkenlerin artması sonucu çözüm uzayının büyüklüğü artar. Büyüyen çözüm uzayında analitik yöntemler en iyi sonuca ulaşma sürelerinin uzunluğu ve kullanım maliyetlerinden dolayı tercih edilmemektedir. Analitik yöntemlere alternatif olarak geliştirilen sezgisel yöntemler, çözüm uzayının tamamını aramak yerine farklı algoritmalar yardımı ile paralel aramalar gerçekleştirmekte ve en iyi çözüme yakın kabul edilebilir bir çözüm bulmaktadırlar. Sezgisel yöntemler problemlerin karmaşık yapılarını daha basit hale getirdikleri, en iyi olmasa dahi kabul edilebilir sonuca makul zamanda ulaşabildikleri, çözüm değerlerinin tamsayılı olması ve çoğunda kesme planlarının önceden oluşturulmasına gerek

duymamaları sayesinde analitik yöntemlere üstünlük sağlamaktadırlar. Sezgisel yöntemler, problem bağımlı oldukları için bir yöntemin başka bir probleme uygulanması oldukça güçtür.

Günümüzde meta-sezgisel ya da modern sezgisel olarak adlandırılan yapay zekâ tabanlı yöntemler daha popülerdir. Bu yöntemler sezgiseller gibi çözüm uzayında arama yapmaktadırlar. Meta-sezgisellerin farkı çözüm uzayında komşuluk araması diye ifade edilen bölgesel arama yapmanın yanı sıra rassal olarak ilerleyen ek arama yardımı yerel minimum ya da yerel maksimum noktalarına takılmadan çözüm uzayının farklı bölgelerine ulaşmaya çalışır. Bu farklı bölgelerde arama yapma en iyi çözüme ulaşma şansını arttırmaktadır. Kombinatoryal problemlerin çözümünde genellikle genetik algoritma, tabu arama, benzetimli tavlama, yapay karınca kolonisi ve yapay sinir ağları yöntemleri tercih edilmektedir. Meta-sezgiseller yine çözüme ulaşmak için sezgisel yöntemlerle birlikte kullanılmaktadırlar (Aras, 2004; Bayır, 2012).

2.3.2.3. Diğer Yaklaşımlar

Ele alınan problemin yapısı gereği hem sezgisel hem de analitik yöntemler bir arada kullanılması gerekebilir. Boyutların veya taleplerin rassal olduğu durumlarda benzetim tekniklerinden de faydalanılmaktadır (Dağlı, 1987). Ayrıca uzman sistemler ve bulanık kümeler de örnek verilebilir (Aras, 2004).

2.3.3. Problem ile İlgili Mevcut Çalışmalar

1936 yılında Kantorovich tarafından ilk olarak akademik anlamda çalışılan stok kesme problemi, 1960'lara gelindiğinde giderek değer kazanmaya başladı ve günümüze kadar bu değer artarak devam etmektedir. Bu çalışmalar arasından Gilmore ve Gomory'nin 1961, 1963, 1964 ve 1965 yıllarında yapmış oldukları doğrusal programlama tabanlı yöntemler zor, gerçek hayat problemlerine pratik bir şekilde uygulanabilir olması bakımından önemlidir.

1992 yılında Sweeney ve Paternoster tarafından 400'ün üzerinde akademik çalışma incelenerek belli özelliklerine göre bu çalışmalar gruplandırılmıştır. İlk olarak çalışmalarını

fiziksel boyutlarına göre ve çözüm yöntemlerine göre gruplamışlardır. Problem boyutları 1, 2 ve 3 boyutlu ve çözüm yöntemleri ;

1. Sıralı atama sezgiselleri (sequential assignment heuristics): Bu yöntemlerde parçalar sezgisel atama kurallarına göre gerçekleşir. Örneğin, sol alt köşe algoritması,
2. Tek desen oluşturma prosedürleri (single-pattern generating procedures): Tek bir parçanın optimal yerleşiminin bulunduğu, kalan kesilecek parçaların önemsenmediği dinamik programlama tabanlı yöntemler,
3. Çoklu desen oluşturma prosedürleri (multi-pattern generating procedures): Herbir desenin bir diğeri ile etkileşimini önemseyen, doğrusal programlama tabanlı yöntemlerdir. Bu yöntemlerde sonuçların tam sayıya yuvarlanması gerekmektedir, olarak ele alınmıştır.

Ayrıca bu yöntemlere göre de 8 başlık altında gruplanmıştır. Bu gruplar, çok aşamalı, 1-1/2 boyutlu, atama (asorti) problemleri, oluklu kesim (corrugator trim), düzgün olamayan şekillerin kesim veya paketlenmesi, kusurlu ya da kalite farklı malzemelerin kesimi ve dört ya da daha fazla boyutlu olarak ifade edilmiştir.

(Christofides ve Hadjiconstantinou, 1995) çalışmalarında iki boyutlu giyotin kesme problemini ele aldılar. Problemin çözümü için, ağaç arama (three search) algoritmasını önerdiler. Bu algoritmanın, ağaç arama boyutunu, problemin dinamik programlama formülünün alan gevşemesi yardımıyla hesaplanan sınır değerleri ile belirlemektedir. Geliştirilen yöntemi deneysel veriler üzerinden test etmişlerdir.

(Fayard ve diğ., 1998) çalışmalarında iki boyutlu giyotin kesmesi problemini, sırt çantası tabanlı dinamik programlama yardımıyla çözmüşlerdir. Geliştirdikleri yaklaşımı deneysel veriler üzerinden test etmişlerdir.

(Wagner, 1998) çalışmasında tek boyutlu kereste destelerinin kesilmesi problemini, kesme kaybının miktarını, kesme planı çeşidini ve kesilen parçaların stok miktarlarını en küçükmeyi amaçlayacak şekilde ele aldı. Çözüm için tam sayılı programlamanın doğrusal programlama yardımı ile gevşetilmesi ve genetik algoritma yöntemlerini kullandı. Daha sonra bu iki yöntemle elde ettiği sonuçları karşılaştırdı.

(Bennell ve Dowland, 1999) çalışmalarında iki boyutlu düzgün olmayan şekillerin rulo şeklindeki stok malzemesinden kesilmesi problemini incelediler. Çözüm için genel bir yöntem olan tabu aramasını bu probleme uygulanabilir hale getirdiler, tabu arama

yönteminin eşikleme yaklaşımından faydalandılar. Kullandıkları yöntemi test etmek için daha önceki yapılmış olan benzer çalışmalardaki verileri kullandılar ve elde ettikleri sonuçları eski çalışmaların sonuçları ile karşılaştırdılar.

(Lodi ve diğ., 1999) çalışmalarında iki boyutlu giyotin kısıtlı kutu yerleşim problemini incelediler. Bu probleme çözüm için iki farklı yerleştirme sezgiselini sırayla tabu araması yöntemi ile melezlediler. Uygulama kısmında, daha önceki çalışmalarda kullanılan veri setleri için melez yöntemlerden elde edilen sonuçları, yerleştirme algoritmalarının melezlenmeden önce deterministik olarak kullanıldığında elde edilen sonuçlar ile kıyasladılar. Ayrıca parçaların 90 derece döndürülmesine izin vererek melez yöntemin yeteneklerini de belirlemeye çalıştılar.

(Hopper ve Turton, 2001) çalışmalarında iki boyutlu kutu yerleşimi problemini incelediler. Problemi çözmek için sol alt köşe sezgiseli ve bu sezgiselin sol alt köşe dolgu sezgiseline dönüşümünü sırası ile genetik algoritma, benzetimli tavlama ve naive evrimsel algoritma ile melezlediler. Uygulama kısmında önceki benzer çalışmaların verilerini kullandılar, bu melez yöntemlerin çözüm süresi, kalitesi ve değişen problem özelliklerine göre yeteneklerini karşılaştırdılar.

(Burke ve diğ., 2004) iki boyutlu düzgün şekilli parçaların kesilmesi problemini incelediler. Çözüm için, “en uygun sezgiseli” adlı yöntemi önerdiler. Sol alt köşe (bottom left) ve sol alt dolgu (bottom left fill) sezgisellerini ve en uygun sezgiselini test verileri üzerinden karşılaştırmışlardır. Bahsi geçen yerleştirme sezgisellerini genetik algoritma ve benzetimli tavlama ile melezleyerek de karşılaştırdılar. Ayrıca parçaların 90 derece döndürülmesine izin vererek kullandıkları yöntemin yeteneğini de test ettiler.

(Umetani ve diğ., 2006) çalışmalarında bir boyutlu kesme problemini incelediler. Çözüm için yerel arama algoritmasının, komşuluk araması yaparken gerçekleştireceği işlem sayısını azaltmak için doğrusal programlamadan faydalandıkları bir yöntem önerdiler. Bu yöntemi önceki çalışmaların verilerini kullanarak test ettiler.

(Saad ve diğ., 2007) çalışmalarında bir boyutlu çok amaçlı stok kesmesi problemini ele aldılar. Problemin çözümünde bulanık mantık yaklaşımından faydalandılar. Fire miktarlarını, bulanık mantık yönteminin alfa seviyeler yaklaşımı ile ifade ettiler. Çözüm kısmında, karışık tam sayılı doğrusal olamayan programlama ile bu fire değerleri için hesaplama yaptılar. Çalışmalarını nümerik bir örnek üzerinde gösterdiler.

(Burke ve diğ., 2009) çalışmalarında iki boyutlu düzgün kesme problemini ele aldılar. Bu problemin çözümü için daha önceki çalışmalarında geliştirdikleri “en uygun sezgiselini” ve bu bahsi geçen çalışmalarında karşılaştırma için kullandıkları sol alt köşe dolgu yerleştirme sezgiselinin benzetimli tavlama ile olan melez yaklaşımını birleştirerek yeni bir melez yöntem önerdiler. Yöntemlerinin yeteneklerini test verileri üzerinden ölçmeye çalıştılar.

(Msabah, Baba-Ali, 2011) çalışmalarında iki boyutlu düzgün şekillerin giyotin ile kesilmesi problemini incelediler. Sol alt köşe dolgu sezgiselinden esinlenerek yeni bir yerleştirme sezgiseli önerdiler. Geliştirilen yerleştirme algoritmasında, yerleştirilecek parçaların sıralarının oluşturulması için açgözlü yaklaşımı ve genetik algoritmadan faydalanarak yeni bir melez yöntem oluşturup bu yöntemi deneysel veriler üzerinden test ettiler.

(Aryanezhad ve diğ., 2012) çalışmalarında iki boyutlu giyotin kısıtlı stok kesme problemi birinci uygun azalan (First Fit Decreasing) sezgiseline benzer mantıkta olan sıralanmış pozisyon ağırlığı (ranked position weight) adını verdikleri sezgisel yerleştirme yaklaşımını önerdiler. Benzer önceki çalışmalardan elde edilen veriler ile geliştirilen yöntemi test ettiler, geçmiş çalışmalara ait sonuçlar ile karşılaştırdılar. Çalışmada, ayrıca belirli boyutlarda temin edilebilir stok malzemelerinden hangisinin alınmasının daha uygun olacağına yönelik bir çalışma da yaptılar.

(Cui ve diğ., 2013) çalışmalarında iki boyutlu giyotin kesmesi problemini ele aldılar. Bu problem için hem fire kaybı hem de kesme planı çeşidini en küçüklemeyi amaçladılar. Bu doğrultuda parçaları stok malzemesine sıralı grup sezgiseli ile yerleştirdiler , yerleşecek parçaları ise dinamik programlama ile sıraladılar. Deneysel veriler üzerinden önerdikleri yaklaşımlarını test ettiler.

(Cherri ve diğ., 2014) çalışmalarında kullanılabilir malzemeler dikkate alındığı bir boyutlu stok kesme problemleri için bir literatür araştırması ve sınıflandırması yaptılar. inceledikleri çalışmaları üç başlık altında sınıflandırdılar.

(Malaguti ve diğ., 2014) çalışmalarında iki boyutlu düzgün kesme problemini ele aldılar. Kesme kaybının en küçüklenmesinin yanında kesici uçların kullanım ömürlerinin uzatılması amacıyla üç aşamalı sezgisel bir yöntem geliştirdiler. Önceki benzer çalışmaların verileri ile kendi geliştirdikleri yöntemi test edilip, karşılaştırdılar. Bu yöntem fire

kaybında çok büyük farklılık oluşturmamaktadır ama kesici uçların ömrünün uzatılması bakımından önemli fark oluşturmuştur.

(Rostom ve diğ., 2014) çalışmalarında iki boyutlu düzgün şekilli giyotinsiz stok kesme problemi için yeni bir yaklaşım önerdiler. Gruplama genetik algoritma yönteminin 3 boyutlu çakışan kromozomlarını 2 boyutlu stok kesme problemi için uyarladılar. Bu yöntemi kullanarak bir gerçek hayat problemini çözdüler. Aynı problemi bir ticari program ile de çözdüler ve elde edilen sonuçları karşılaştırdılar.

(Cui ve diğ., 2015) bir boyutlu stok kesme problemine hem kullanılacak malzeme miktarı hem de kesme planı sayısı en küçük olacak şekilde bir çözüm üretmeyi amaçladılar. Çalışmalarında tamsayı doğrusal programla ile yerleşecek parçaların sıralamasını ve seçimini yaptılar, parçaların stok malzemesine yerleştirilmesi için sıralı gruplama yöntemini kullandılar. Önerdikleri yaklaşımı, önceki benzer çalışmalardan elde edilen veriler üzerinde test ettiler ve sonuçları önceki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırdılar.

(Andrade ve diğ., 2016) çalışmalarında tam olmayan iki aşamalı iki boyutlu stok kesme problemini ele aldılar. Kullanılacak stok malzemesi miktarını en küçükleme ve kullanılabilir artıkların miktarını en büyükleme amaçladılar. Bu doğrultuda, problemin iki seviyeli matematiksel modelini oluşturdular ve bunu CPLEX isimli program yardımı ile çözdüler. Deneysel veriler ile yaklaşımlarını test ettiler.

(Arbib ve diğ., 2018) çalışmalarında iki boyutlu giyotin kesmesi problemi için sıralı değer düzeltme(sequential value correction) algoritmasını geliştirdiler. Geliştirilen yöntem yardımıyla ağaç kesme sektöründe karşılaşılabilecek problemlerin her türlü kısıt ve amaçlarını içerecek şekilde çözüm geliştirilmesi amaçlandı. Bir gerçek hayat problemine uygulanan yöntemin sonuçları, verilerin temin edildiği firma tarafından kullanılan ticari yazılımla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

(Bertolini ve diğ., 2018) çalışmalarında ,iki boyutlu giyotin kesme problemi için genetik algoritmanın hesaplama araçlarından evrilmiş ağaç yapıları ile bir çözüm yöntemi geliştirdiler. Geliştirilen yöntemi önceki benzer çalışmalarda yer alan 46 örnek problem üzerinden test etmişler ve önceki çalışmaların yöntemleri ile karşılaştırmışlardır.

(Birgin ve diğ., 2019) çalışmalarında iki boyutlu giyotinsiz kesme problemini ele aldılar. Kullanılacak malzeme miktarının en küçükleme, kullanılabilir artık malzeme değerinin en büyükleme ve farklı zamanlarda gelebilecek siparişlere cevap verilebilmesi

amacı ile çoklu zaman periyodunu da içerecek şekilde bir çözüm yöntemi geliştirdiler. Geliştirdikleri yöntemi deneysel veriler üzerinden test ettiler.

(Bouaine ve diğ., 2018) çalışmalarında iki boyutlu giyotin kesmeli stok kesmesi problemini ele aldılar. Mobilya sektöründe gerçek bir problem üzerinde çalıştılar. Probleme çözüm üretirken fire miktarının ve kesme maliyetlerinin en küçüklenmesini amaçladılar. Çözümü için geliştirilen matematiksel model ve önerilen sezgisel yaklaşım melezlenerek kullanılmıştır. Eş ve farklı stok malzemelerinin kullanılabilirdiği problemler için de matematiksel model oluşturdular.

(Gasiorek ve diğ., 2018) çalışmalarında iki boyutlu alüminyum levha destelerinin giyotinle kesilmesi problemini ele aldılar. Problemin çözümü için matematiksel modelini oluşturdular. Kesme işlemi için nümerik benzetim yaptılar, bu sayede kesme işlemini önceden belirlenen ölçütler bakımından ve hesaplama maliyeti bakımından değerlendirdiler. Geliştirilen yöntemi deneysel veriler üzerinden test ettiler.

(Varsamis ve diğ., 2018) çalışmalarında üç boyutlu kutu yerleşimi problemini ele aldılar. Çözüm için problemi alt parçalara ayırdılar, ayrılan alt problemleri en uygun azalan (best fit decreasing) yerleştirme algoritması ile eş zamanlı olarak çözdüler. Böylelikle hesaplama için gereken süreyi azaltmayı başardılar. Geliştirdikleri yöntemi deneysel veriler üzerinden test ettiler.

(Wei ve diğ., 2018) çalışmalarında iki boyutlu giyotinsiz kesme problemini ele aldılar. Çözüm için merdiven(staircase) tabanlı en uygun dal-sınır sezgiseli ile problemi çözdüler. Çözümün hızını arttırmak için aç gözlü sezgisel kullanıldı. Geliştirilen yöntemi, daha önce yapılmış olan benzer çalışmalarda yer alan veriler ile test ettiler ve önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırdılar.

(Wu ve Yan, 2018) çalışmalarında iki boyutlu giyotinle stok kesme problemini ele aldılar. Düzgün dikdörtgen parça için sıralı şablon oluşturma adını verdiler, herbir kesilecek parça için kesme planı oluşturan bir algoritma oluşturdular. Kesme planlarını değerlendirirken kesme ve ayar maliyetlerini dikkate aldılar. Kesme maliyetlerini (cost balance utilization) maliyet dengesi kullanımı adını verdikleri yöntemle hesapladılar. Deneysel veriler üzerinden geliştirdikleri yöntemi test ettiler.

(Velasco ve Uchoa, 2019) çalışmalarında Christofides ve Hadjiconstantinou (1995) 'nın çalıştıkları, iki boyutlu giyotin kesme probleminde kullanılan ağaç arama algoritması yaklaşımında, ağaç arama boyutunu belirlemek için problemin dinamik programlama

formülüne uygulanan alan gevşemesini yaklaşımı yerine biri tam sayılı programlama tabanlı diğeri hibrit bir yöntem geliştirdiler. Geliştirilen yöntemi bahsi geçen önceki çalışma verileri ile test edip sonuçlarını karşılaştırdılar.

Geçmiş dönem çalışmalarında çözüm için sezgisel yöntemler veya sezgisel yöntemlerin birbirleri ile ya da metasezgisel yöntemle(ler) melezlenmesi yaygın olarak tercih edilmiştir. İncelenen çalışmalarda önerilen yaklaşımlar ya deney verileri ile ya da daha önceki çalışmalarda kullanılmış olan deney verileri üzerinden test edilmiştir. Gerçek hayat problemlerini ele alan çalışmalara bakıldığında bu çalışmalarda önerilen yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar, çoğunlukla ticari maksatlı programlarla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemlerin büyük çoğunluğu kesme kaybı (fire) miktarını en küçükmeyi gerçekleştirecek biçimdedir, ama bazı yöntemler, kesim planı çeşidinin sayısının en küçükmemesi, kesme için gerekli hesaplama maliyetinin enküçükmemesi, hesaplama için gereken sürenin en küçükmemesi, kesme araçlarının kullanım ömürlerinin en büyükmemesi ve kullanılabilir miktarlarının enbüyükmemesi gibi birden fazla amacı gerçekleştirecek biçimdedir. Ancak gerçek hayat verileriyle çalışılan araştırma ve incelemelerin son derece düşük olması dikkat çeken bir durum olarak nitelenebilir. O nedenle bu tez çalışmasında gerçek hayat verileriyle çalışılarak çözümler üzerinde durulmuş; ayrıca geliştirilmiş ticari yazılımlar da incelenip; karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında kesme/yerleştirme problemleri ile ilgili önceki çalışmalar incelendiğinde; test verilerinin yaygın kullanıldığı, giyotin kesme kısıtı ile oluşturulmuş sezgisel yöntemlerin giyotin kesme kısıt olmayanlara nazaran daha az olduğu ve bu yerleştirme sezgisellerinin problemlerde farklı önceliklere göre yerleşim yapmaya müsaade etmediği gözlemlenmiştir.

Çalışmanın uygulama aşamasında bir gerçek hayat problemi ele almış ve ilgili çalışmalarda görülen ve yukarıda .bahsedilen eksiklikleri çalışmada karşılamak için Erol (1990) tarafından, giyotin kesmesi kısıtını dikkate alan, farklı önceliklere göre yerleştirme yapmaya ve bu yerleştirme sonuçlarını birbirleri ile karşılaştırmaya olanak sağlayan sezgisel bir çalışma yapılmıştır.

3. UYGULAMA

İki boyutlu düzlemde dikdörtgen şekilli malzemelerin kesilmesi problemi NP-zor sınıfında yer almaktadır. Bu problem için uygulanacak analitik yöntemlerle en iyi çözüme ulaşılabilmektedir, lakin problemin parça çeşidi veya kısıtları arttıkça problemin çözüm süresi üstel olarak artmakta ve beraberinde hesaplama maliyeti de artmaktadır. Pratik uygulamalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda orta ölçekli bir stok kesme problemi için yaklaşık 100.000 kesme planı ele alınması gerekmektedir.

Analitik çözümlerin uygulamada karşılaşılan bu eksikliklerinin gidermek adına yapılan çalışmalarda sezgisel yöntemler tercih edilmiştir. Sezgisel yöntemler analitik yöntemlere göre daha makul sürelerde en iyi olmasa da kabul edilebilir düzeyde çözüm üretebilmektedirler. Sezgisel yöntemler problem odaklıdır, genel bir yapıları yoktur (Erol, 1990).

Çalışmanın uygulama kısmında alüminyum levhalardan dış cephe kaplamaları imal eden bir firmanın sipariş verileri ele alındı ve bu probleme ait veriler için, Erol (1990) tarafından geliştirilmiş olan benzer bir problem için geliştirilmiş sezgisel yerleştirme algoritması kullanılarak hazırlanan bilgisayar programı yardımı ile çözüm aranmıştır. Bu geliştirilmiş olan bilgisayar programı Erol (1990) tarafından hazırlanan bilgisayar programından farklı olarak, kullanım kolaylığı amaçlanarak Microsoft Excel'de oluşturulmuş olup güncel ihtiyaç duyulan hesaplama için gereken sürenin belirlenmesi Ek olarak aynı problem verileri için, bir ticari program ile de çözüm aranmıştır, elde edilen çözümler kullanılacak ana malzeme miktarları ve çözüm için gereken süreler bakımında karşılaştırılmıştır.

3.1.Problemin Tanımı

Ele alınan iki boyutlu dikdörtgen şekilli ana malzemedan yine dikdörtgen şekilli parçaların kesilmesi probleminin özellikleri aşağıda sıralanmaktadır.

1. Ana malzeme düzgün dikdörtgen şekilli sabit bir uzunluk(L) ve sabit bir genişliğe(W)sahiptir.
2. Kesilecek parçalar yine düzgün dikdörtgen şekilli fazla çeşitte ve sayıdadır.
3. Sipariş listesinde parçalar iki gruba ayrılmıştır.

4. Kesilecek parçaların boyutları ana malzemenin boyutlarından büyük olamaz.
5. Kesilecek parçalar dış bükey düzgün dörtgenlerdir.
6. Ana malzeme üzerine yerleştirilmiş parçaların kenar kalınlıkları yer tutmaz ve kesme işlemi için kesim kalınlıkları önemsizdir.
7. Ana malzeme üzerine yerleştirilen herhangi iki parçanın çakışmasına izin verilmez, bu parçaların ara kesitleri boş kümedir.

Yukarıda yer alan varsayımlar altında amaç fire miktarını en küçüklenmesidir. Kullanılacak tek çeşit ana malzeme olduğu için malzeme kullanım etkinliğinin de en büyüklenmesi olarak da yorumlanabilir.

Problemi Dyckhoff tarafından oluşturulan sınıflandırmaya göre olan gösterimi, $2/V/I/R$ şeklindedir. Gösterimdeki “2” problemin iki boyutlu olduğunu, “V” küçük parçalarının tamamının ana malzeme üzerine atanacağını, “I” Şekil ve büyüklük bakımından benzer ana malzemeyi ve “R” Şekil ve büyüklük bakımından az farklı çok sayıda kesilecek parçayı ifade eder.

3.2. İki Boyutlu Kesme Problemi İçin Sezgisel Bir Yöntem

Problemin çözümünde kullanılacak yöntem, her bir kesilecek parçanın herhangi bir kesme planındaki sayısına kısıt koymaması, farklı amaçlar ile değişen öncelik kuralı ve bu kurala göre yerleşecek parçalara öncelik tanınması, son anda gelebilecek olan talepleri karşılamak için gerekli müdahalelerin yapılması, karar verici için birden fazla alternatif oluşturup, alternatifler arasında olması gereken birden fazla ölçüt bakımından karşılaştırma yapması ve kesme planları türetildikten sonra gerekli bazı hesaplamaları yapması özelliklerine sahip olduğu için tercih edilmiştir.

3.2.1.Parçaların Yerleştirilmesi

Kesilecek olan herbir parça, daha önceden belirlenen stok malzemesi üzerine belli bir konuma yerleştirilebilir. Kesilecek parçalar yerleştirilirken, öncelikler yine bu parçaların, talep, uzun kenar, kısa kenar, alan ve bu özelliklerinin birleşimlerine göre belirlenir. Ayrıca parçaların paralel ve dik olarak isimlendirilen yerleşim şekli de bu

noktada önem arz etmektedir. Stok malzemesi üzerine yerleşecek parçaların boyut değerlerine göre yerleşim şekillerinin olma durumu belirlenir. Örneğin kesilecek parçanın uzun kenarı stok malzemesinin kısa kenarından daha uzun ise bu parça için sadece paralel yerleşim mümkün olacaktır. Eğer böyle bir durum söz konusu değil ve stok malzemesinin boyutları kesilecek parçanın boyutlarından büyük ise paralel ve dikey yerleşim mümkün olacaktır.

3.2.1.1. Parçaların Yerleşim Önceliğinin Belirlenmesi

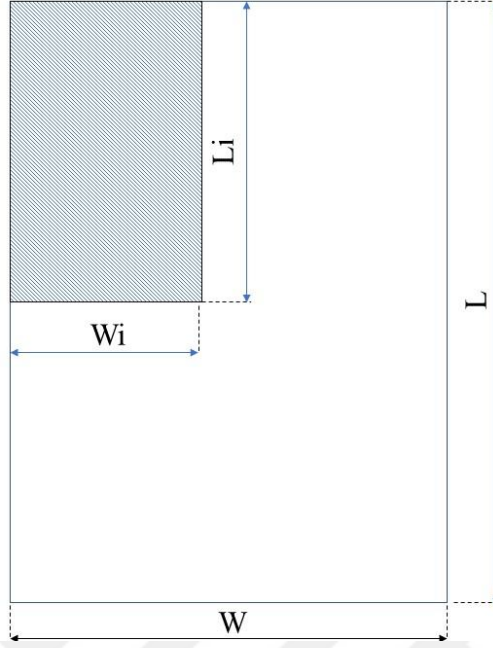
Kesilecek parçaların stok malzemesine yerleşimi gerçekleşmeden önce alanı, uzun kenarının uzunluğu gibi özellikleri dikkate alınmak kaydıyla bir sıralamaya tabi tutulurlar. Bu sıralama için dikkate alınacak özellikler şunlardır;

- i. Alan,
- ii. Talep,
- iii. Alan ile talep miktarının çarpımı,
- iv. Uzun kenarının değeri,
- v. Uzun kenarının değeri ile talep miktarının çarpımı,
- vi. Kısa kenarının değeri,
- vii. Kısa kenarının değeri ile talep miktarının çarpımı.

Bu özelliklerden herhangi biri seçildiğinde sıralama bu özelliğin değerine göre büyükten küçüğe doğru yapılır. Bu özelliklere göre yapılacak sıralamalar arasında kesim planlarının maliyetlerinin farklı olması beklenir, böylelikle karar verici için birden fazla alternatif sunulmuş olur.

3.2.1.2. Paralel Yerleşim Konumu

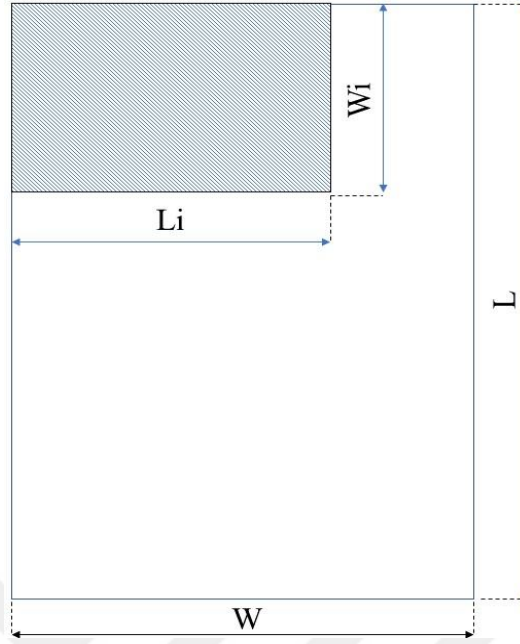
Stok malzemesine parça yerleşimi yapılırken, stok malzemesinin uzun kenarı ile kesilecek olan parçanın uzun kenarı, stok malzemesinin kısa kenarı ile kesilecek parçanın kısa kenarının paralel olması gerekmektedir. Buna göre $L \times W$ boyutlarındaki stok malzemesi üzerine $L_i \times W_i$ boyutlarındaki i parçasının paralel yerleşimi Şekil 7.'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Paralel Yerleşim Konumu

3.2.1.3. Dik Yerleşim Konumu

Stok malzemesine parça yerleşimi yapılırken, stok malzemesinin uzun kenarı ile kesilecek olan parçanın kısa kenarı, stok malzemesinin kısa kenarı ile kesilecek parçanın uzun kenarının paralel olması gerekmektedir. Buna göre $L \times W$ boyutlarındaki stok malzemesi üzerine $L_i \times W_i$ boyutlarındaki i parçasının dik yerleşimi Şekil 8.'de gösterilmektedir.



Şekil 8. Dik Yerleşim Konumu

3.2.2. Kesme Planlarının Oluşturulması

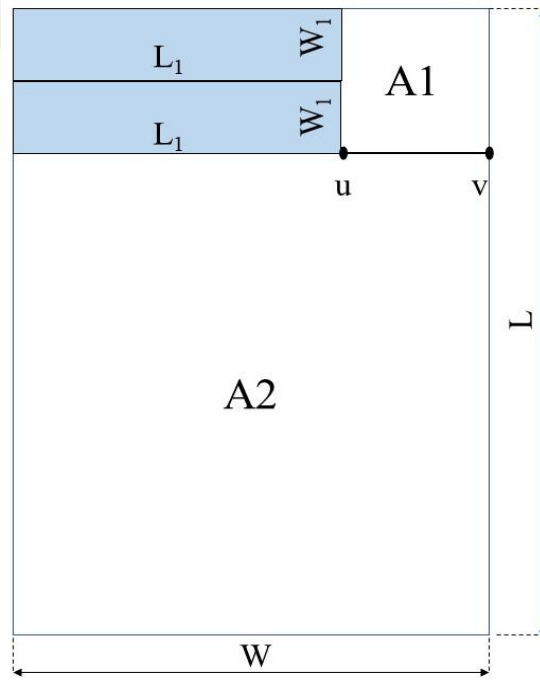
Bir stok kesme probleminin çözümünde ilk adım kesme planlarının oluşturulmasıdır. Bu adım gerçekleştirildikten sonra meydana gelen kesme planları, uygun bir yöntemle ve benimsenen bir amaç doğrultusunda birleştirilerek parçanın talebi karşılanır.

Bir öncelik kuralını benimsenmesi sonucunda oluşturulan kesilecek parçalar listesinden alınan ilk parça, stok malzemesi üzerine yerleşebileceği konum ve miktarca yerleştirilir. Listede yer alan diğer parçaların yerleşimi için kalan alanların hesaplanması gerekmektedir. Kalan alanların hesaplanması, ilk parça yerleştirildikten sonra parçanın sağ alt köşesinden stok malzemesinin uzun kenarına ve kısa kenarına paralel doğrular çizilmesi ile kalan alanlar tanımlanır. Kalan alanlara yine ilk parçanın yerleşimine benzer biçimde listenin ilk parçası yerleştirilir. Böylece birinci kademe yerleşim tamamlanmış olur. Daha sonra ikinci kademe yerleşimi için kalan alanlar hesaplanır. Bu süreç, kalan büyüklüğüne yerleşebilecek herhangi bir parça olmayana kadar devam eder. Kesilecek parçalardan boyutları en küçük olanın kalan alana yerleşemeyeceği duruma ulaşıncaya kadar kesme planının olduğu söylenir. Kesme planı miktarı ise, kendisinde bulunan en düşük

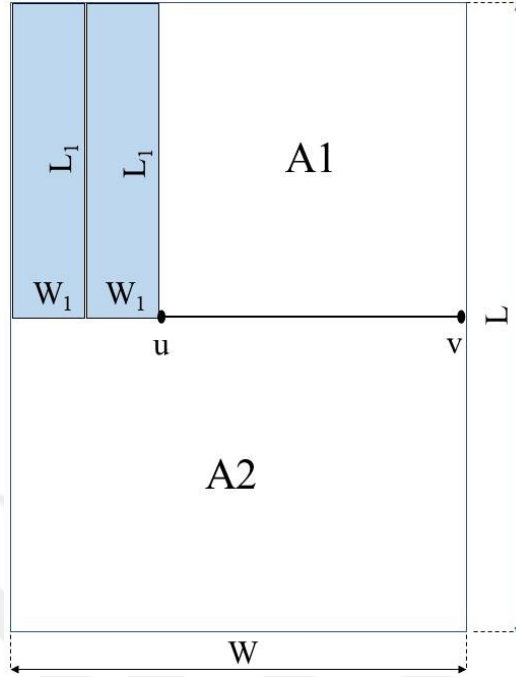
talep miktarı olan parçaya göre hesaplanır. Bir sonraki kesme planının hazırlanması için önce bu kesme planında yer alan parçaların karşılanan talep miktarları hesaplanıp aday listesinin güncellenmesi gerekmektedir.

3.2.2.1. Kısa Kenar Paralelinin Alanları

Benimsenen öncelik kuralına göre oluşturulmuş olan parça aday listesinden alınan ilk parçanın mümkün olan en fazla miktarda ve uygun konumda olarak yerleşiminin sonunda stok malzemesinin kısa kenarına paralel bir UV doğrusu çizilir. Bu doğru ile kalan alan A1 ve A2 ile ifade edilen iki alt alana bölünmüş olur. Bu alanlara parça listesinde yer alan parçaların arasından boyutları uygun olan parçalar yerleştirilir. Yerleşim yapılırken oluşmuş olan A1 ve A2 alanlarının herbirisi, stok malzemesine benzetilmektedir. Oluşturulmuş olan A1 ve A2 alanları dik konum yerleşimi için Şekil 9. ve paralel konum yerleşimi için Şekil 10. ile gösterilmiştir.



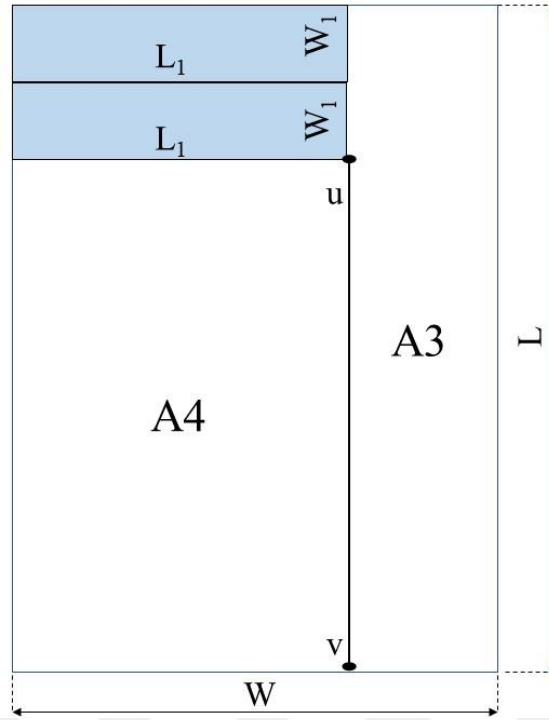
Şekil 9. Dik konum yerleşimi için kısa kenar paralelinin alanları.



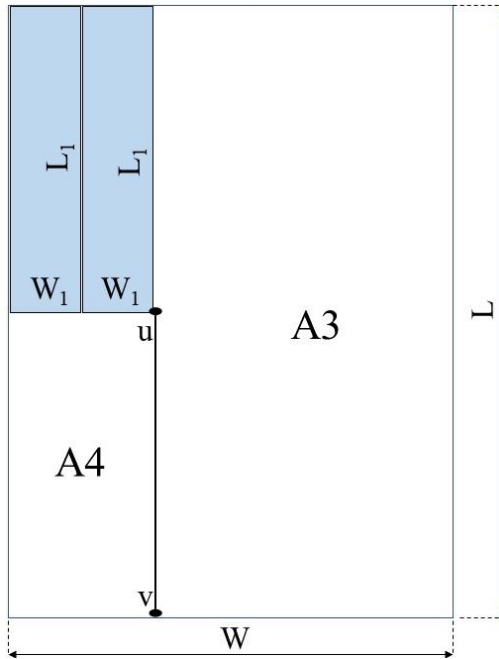
Şekil 10. Paralel konum yerleşimi için kısa kenar paralelinin alanları.

3.2.2.2. Uzun Kenar Paralelinin Alanları

Benimsenen öncelik kuralına göre oluşturulmuş olan parça aday listesinden alınan ilk parçanın mümkün olan en fazla miktarda ve uygun konumda olarak yerleşiminin sonunda stok malzemesinin uzun kenarına paralel bir UV doğrusu çizilir. Bu doğru ile kalan alan $A3$ ve $A4$ ile ifade edilen iki alt alana bölünmüş olur. Bu alanlara parça listesinde yer alan parçaların arasından boyutları uygun olan parçaların yerleşimi gerçekleştirilir. Bu yerleşim yapılırken oluşmuş olan $A3$ ve $A4$ alanlarının herbirisi, stok malzemesine benzetilmektedir. Oluşan $A3$ ve $A4$ alanları, dik konum yerleşimi için Şekil 11., paralel konum yerleşimi için Şekil 12. ile gösterilmiştir.



Şekil 11. Dik konum yerleşimi için uzun kenar paralelinin alanları.



Şekil 12. Paralel konum yerleşimi için uzun kenar paralelinin alanları.

UV doğru parçalarının ortaya çıkarmış olduğu A1, A2, A3 ve A4 alanlarına mümkün olan konumda miktarda parça yerleştikten sonra bu alanlar için tekrar kısa kenar ve uzun kenar paralelleri oluşturularak ikincil, üçüncül vb. alanların boyutları daha önce yerleştirilmemiş parçaların boyutları ile karşılaştırılarak yerleşimin mümkün olup olmadığı kontrol edilir. Eğer yerleşim mümkünse yerleşim yapılması beklenir. Parça listesinde yer alan parçalardan hiçbirisinin yerleşemeyeceği boyutlara ulaşılan kadar kısa kenar ve uzun kenar paralelleri yardımı ile yerleşim alanları oluşturulmaya devam edilir.

Kesme planlarının oluşturulması amacıyla yapılacak olan sistematik işlemler ve çözüm yönteminin diğer bileşenleri ile birlikte bölümün ilerleyen kısmında “kesme planları oluşturma algoritması” olarak toplu bir şekilde açıklanacaktır.

3.2.3. Uygulama Çizimlerinin Hazırlanması

Oluşturulan kesme planlarına göre kesim yapılabilmesi için ölçülere uygun olarak uygulama çizimlerinin hazırlanması gerekmektedir. Uygulama çizimlerinin hazırlanması halinde, kesme planlarında yer alan parçaların konumları ve miktarları kolaylıkla görülebilecektir. Ayrıca yerleşim yapılamayan, fireyi oluşturan alanların da büyüklük ve şekil bakımından ifade edilmesi mümkün olacaktır bu aynı zamanda malzeme kullanım etkinliğinin de hesaplanabilmesinde yardımcı olacaktır. Kesme planlarının oluşturulması sırasında kesme paylarının verilmesi ve giyotin makasının vuruş sayısı, giyotin makasının ayar miktarı da belirlenebilecektir.

3.2.4. Karşılaştırma Tablosu

Bu çalışmada kullanılan sezgisel yöntem için 7 farklı öncelik kuralı bulunmaktadır. Karar vericinin bu 7 farklı öncelik için elde edilen 7 farklı alternatif çözüm arasından birini seçmesi gerekmektedir. Bu noktada karar vericinin alternatif çözümleri kıyaslayabilmesi ve bu kıyaslama sonucunda kolay karar verebilmesi için önceden bazı ölçütlerin belirlenmesi, bu ölçütlere göre alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Burada kullanılacak olan ölçütlerden malzeme kullanım etkinliğini, tezgah ayar sayısını ve kesme maliyetlerini içermesi beklenir.

Alternatif kesme planları arasında karar vermek adına belirli önceliklere göre bu planlar değerlendirilir. Karar vericiye bu değerlendirme sonuçlarının bir özet tablosu haline dönüştürülerek sunulması karar sürecinin sağlıklı olması için gereklidir. Buna göre;

A_i : Alanı en büyük olan parçaya,

$A_i R_i$: Alanı ile talep miktarını çarpımının değeri en büyük olan parçaya,

L_i : Uzun kenarı en büyük olan parçaya,

$L_i R_i$: Uzun kenarı ile talep miktarını çarpımının değeri en büyük olan parçaya,

W_i : Kısa kenarı en büyük olan parçaya,

$W_i R_i$: Kısa kenarı ile talep miktarını çarpımının değeri en büyük olan parçaya,

R_i : talep miktarını en büyük olan parçaya,

öncelik tanınmasını simgeliyor olmak üzere Tablo 1.'in düzenlenmesi, karar verici için gerekli kolaylığı sağlayacaktır.

Tablo 1. Çözüm değerleri karşılaştırma tablosu

Sıra No	Karşılaştırma Ölçütleri	Öncelik Kuralları						
		A_i	$A_i R_i$	R_i	L_i	$L_i R_i$	W_i	$W_i R_i$
1	Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi							
2	En Az Malzeme Gereksinimi							
3	Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı							
4	Kesme Planı Çeşidi							
5	Fire Oranı(%)							

Satın alınacak malzeme miktarları eşit olan öncelik kuralları bu tabloda yer alan diğer ölçütler vasıtasıyla karşılaştırılarak karar vericinin karar verme sürecinde daha doğru kararlar almasına yardım edecektir. Karşılaştırma tablosunda yer alan kıyaslama ölçütlerinin açıklamaları aşağıdaki gibidir:

3.2.4.1. Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi

Kullanılacak olan stok malzemesinin miktarı teorik olarak stok malzemesinin boyutları, kesilecek parçaların boyutları ve talep miktarları yardımıyla hesaplanabilmektedir. Buna göre;

$$n_{at} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i \cdot L_i \cdot W_i}{L \cdot W}$$

denklemleri ile teorik stok malzemesi gereksinimi hesaplanabilir.

3.2.4.2. En Az Stok Malzemesi Gereksinimi

Kesilecek olan parçalardan bazıları, stok malzemesine boyutlarından dolayı bir adet yerleşebilmektedir. Gelen sipariş listesinde bu tür parçaların talep miktarlarının toplamını teorik stok malzemesi gereksinim miktarı ile karşılaştırarak büyük olan, fire hesaplamasında kullanılır.

3.2.4.3. Kesme Planı Çeşidi

Kullanılacak olan yöntemin herbir öncelik kuralına göre elde edilen çözümleri, farklı çeşitte ve sayıda kesim planlarından oluşmaktadır. Kesme planı çeşidinin az olması istenen durumdur, çünkü bu aynı zamanda kesme işlemi sırasında yapılacak tezgah ayar sayısının az olması olarak da yorumlanabilir.

3.2.4.4. Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı

Kesme planı çeşidi hesaplandıktan sonra, herbir kesme planı çeşidinin kaç defa tekrarlanacağı bize toplam kesme planı sayısını vermektedir. Toplam kesme planı sayısı aynı zaman da satın alınması gereken stok malzemesi miktarı olacaktır.

3.2.4.5. Fire Oranı

Bu problemin yapısında var olan kısıtlardan dolayı, herhangi bir öncelik kuralı için birden fazla kesme planından oluşan çözümün, teorik olarak gerekli olan ana malzeme miktarı ile gerçekleşmesi mümkün değildir. Bu noktada alternatif çözümler kıyaslanırken teorik olarak gereken ya da en az kullanılması gereken ana malzeme miktarını teorik stok malzemesi miktarına oranıyarak fire miktarı hesaplanır. Buna göre, $n_g > n_{at}$ koşulunda,

$$FO = \frac{n_s - n_g}{n_s} \text{ veya } n_g > n_{at} \text{ koşulunda ise,}$$

$$FO = \frac{n_s - n_{at}}{n_s}$$

denklemleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

3.2.5. Kesme Planları Oluşturma Algoritması

Kesme planlarının etkin yöntemlerle oluşturulması aşaması problemin çözümünde ilk ve en önemli adımıdır. Kesme planları ilk olarak parçaların daha önceden de ifade edildiği üzere bir öncelik kuralına göre sıralanması ile başlar. Ardından kesilecek ilk parça stok malzemesinin üzerine uygun konum ve en fazla miktarda yerleşimi gerçekleştirilir. Daha sonra bu yerleşimden kalan alanları hesaplamak adına kısa kenar ve uzun kenar paralelleri çizilir. Hesaplanan bu alanlara, en son kalan alanın boyutuna listede yerleşecek boyutta parça kalmayana kadar sayımlama yöntemi ile kalan parçalardan yerleştirilmeye devam edilir. Kalan alana yerleşecek herhangi bir parça olmadığı an kesme planı oluşturulmuş olur. Kesilecek parçaların listesinde herbir parçanın talebini tam olarak karşılamak için, oluşturulan herhangi bir kesme planında talebi en düşük olan parça dikkate alınır. Bir kesme planının kendisini kaç defa tekrar edeceği, yerleştirilmiş olan en düşük talepli parçanın kalan talebini karşılamak üzere bu kesme planının kaç defa gerçekleşmesi gerektiğidir. Örneğin, bir P planındaki yerleştirilmiş olan parçalardan talebi en küçük olan j. parça ve bu parçanın P planına gelene kadar karşılanmamış olan talep miktarı R_{jk} , P planının da j. parçanın yerleştirilen miktarı ise a_{jp} olsun. P kesme planından çözüme dahil edilmesi gereken miktar, tam sayı olmak üzere;

$$\frac{R_{jk}}{a_{jp}}$$

olur.

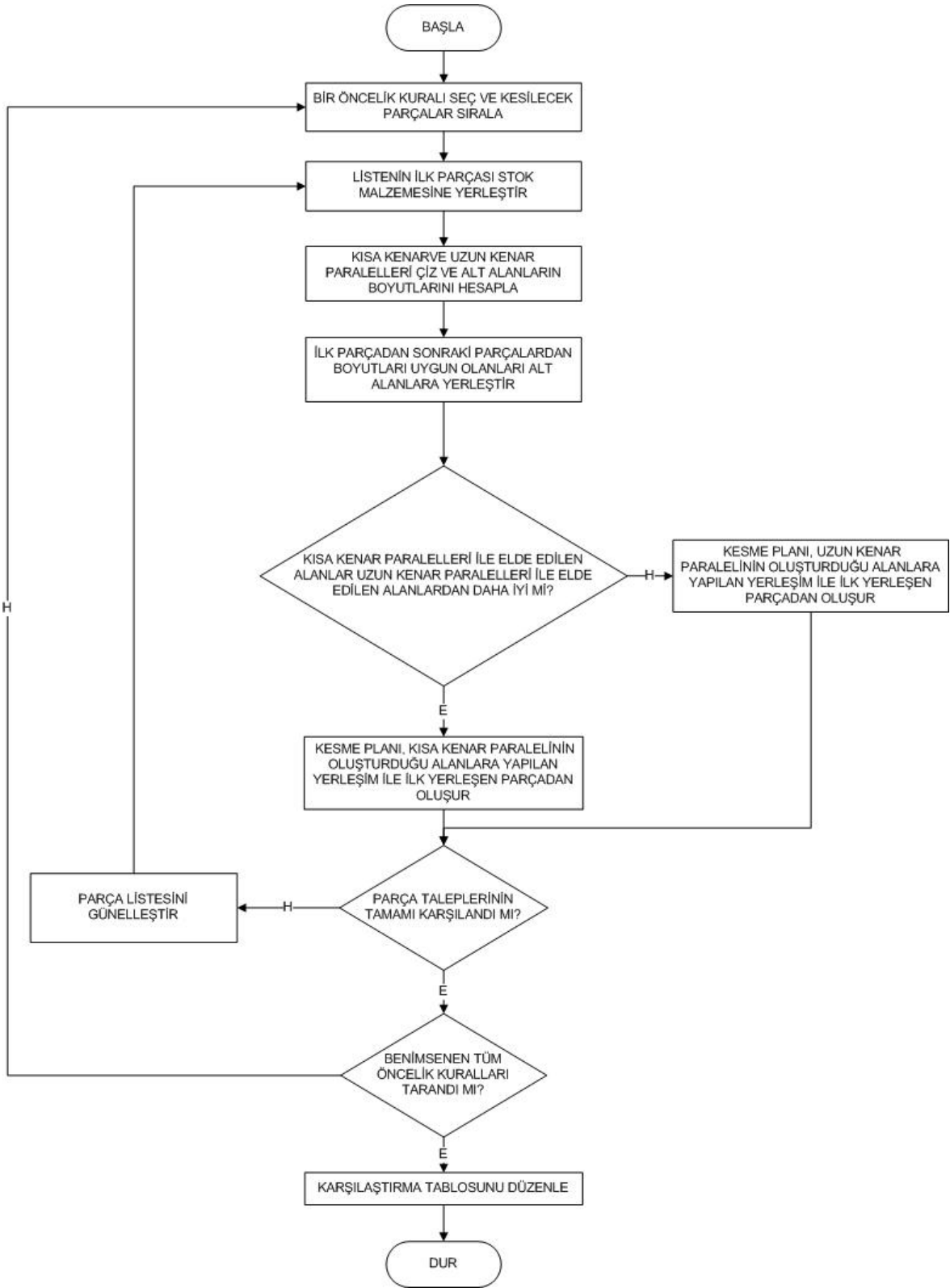
Kesme planları üzerine, fire ve diğer açılardan kısıt koymadan yerleştirme yaparak çözüm elde etmeye çalışan algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir.

3.2.5.1. Çözüm Algoritmasının Adımları

Çözüm algoritması, aşağıdaki işlem adımlarından oluşmaktadır:

- 1.Adım: Kullanılabilecek öncelik kurallarından bir tanesi seçilir. Bu öncelik kuralına göre parça listesinde yer alan kesilecek parçalar sıralanır.
- 2.Adım: Listede ilk sırada yer alan parça mümkün olan konumda en fazla miktarda olacak şekilde yerleştirilir. Daha sonra kalan alanların hesaplanması için uzun kenar ve kısa kenar paralelleri çizilir, A1, A2, A3 ve A4 alanlarının boyutları hesaplanır.
- 3.Adım: Alt alanlara ve daha sonra bu alanlarında alt alanları dikkate alınarak parça yerleştirme işlemine devam edilir.
- 4.Adım: A1 ve A2 ile A3 ve A4 alt alanlarına yapılabilmemiş yerleştirmelerin toplam alan miktarları karşılaştırılır. Yerleştirme alanı büyük olan tercih edilir. Eğer yerleşim alanları eşit ise kalan alanlardan boyutları bakımından kullanılabilir olanı tercih edilir.
- 5.Adım: Bir kesme planı oluşturulduğu bildirilir ve bunun miktarı belirlenir. Bu miktara göre kesme planında yer alan parçaların karşılanan talebi hesaplanır daha sonra kalan talep miktarları hesaplanır.
- 6.Adım: Karşılanmamış talep miktarlarına göre liste tekrar güncelleştirilerek 2.Adım'a geri dönülür. Her bir parçanın talep miktarı sifıra eşit olana kadar 2. ve 6. Adım arasındaki döngü tekrarlanır.
- 7.Adım: Öncelik kurallarından mümkün olan bir başkası seçilerek 1. ve 6. Adımları tekrarlanır.
- 8.Adım: Herbir öncelik kurallarına göre elde edilen çözüm karşılaştırma ölçütlerine göre gözden geçirilir.
- 9.Adım: Sonuçların daha kolay anlaşılması için karşılaştırma tablosu oluşturulur.

Algoritmanın akış şeması Şekil 13. ile gösterilmektedir.



Şekil 13. Algoritmanın Akış Şeması

3.2.5.2.Bilgisayar Uygulaması

Kullanılacak çözüm yöntemi için gerekli olan hesaplamaların yapılması amacıyla bir bilgisayar programı hazırlandı. Bilgisayar programı için, kullanıcılar tarafından anlaşılabilir, kolay kullanılabilir olmasının yanında, erişilebilirliği de düşünülerek Microsoft Excel’de makro oluşturuldu. Bir çalışma sayfasına stok malzemesinin boyutları ve kesilecek parçaların boyut ve taleplerini içeren veriler girildikten sonra ekrana gelen “çözüm öncelikleri” başlığı altında gelen menüden öncelik seçimi gerçekleştirildikten çok kısa bir süre sonra diğer bir excel çalışma sayfasında oluşturulan kesme planlarına erişilebilmektedir. Programın akış şeması Ek 1’de yer almaktadır.

Bilgisayar programının çıktısı olarak çözümde yer alan herhangi bir kesme planının ifade edildiği tablo gösterimi Şekil 14 ile verilmiştir. Bu gösterim sayesinde, kesim işlemi öncesi kesme planlarının çizimleri oluşturulurken, hangi parçaların stok malzemesine hangi konumda, hangi miktarda ve hangi aşamada yerleşeceği kolaylıkla anlaşılabilir.

Plan:	Levha Kullanım: ..	Fire:		
L	W	ADET	YERLEŞİM	ALT ALANLAR
Li	Wi	ri	P	0
Lj	Wj	rj	P	1
Lk	Wk	rk	D	12
Ll	Wl	rl	P	34
Ln	Wn	rn	D	342
Lm	Wm	rm	P	3424

Şekil 14. Sezgisel Program Kesme Planı Çıktısı

Kesme planında, plan numarası, levha kullanım ile ifade edilen plan tekrar sayısı, planda yerleşimi yapılan parçaların uzunluk ve genişlik değerleri, yerleşim konumları ve yerleşim alanları verilmektedir. Örneğin, Şekil 14’de yer alan örnek kesme planında,

D: Dik konumlu yerleşimi,

P: Paralel konumlu yerleşimi,

i,j,k,l,m,n : kesme planındaki parçaları,

ii,jj,kk,ll,mm,nn: i,j,k,l,m,n parçaların kesme planında bulunan miktarlarını,

0: ana malzemeyi,

1: A1 alanını,

12: A1 alanındaki A2 alanını,

34 :A3 alanındaki A4 alanını,

342: A3 alanındaki A4 alanından elde edilen A2 alanını,

3424:A3 alanındaki A4 alanından elde edilen A2 alanının A4 alanını,

ifade etmektedir.

Kullanıcı seçtiği öncelik kuralına göre elde edilen sonuçları kaydettikten sonra tekrar ilk çalışma sayfasına dönerek “Hesapla” komutunu verdikten sonra başka bir öncelik kuralını seçerek bir başka çözümü elde eder.

Herbir öncelik kuralına göre kesme planları oluşturulduktan sonra, bu çözümün teorik, gerçek ve satın alınması gereken stok malzemesi miktarları da hesaplanmaktadır. Herhangi bir öncelik kuralına göre elde edilen çözümün yukarıda bahsedilen hesaplamaların gösterimi Şekil 15’de verilmiştir.

T.KESME PLAN SAYISI.....=..... ADET
TEORİK LEVHA SAYISI.....=.....ADET
T. ANA LEVHA GEREKSİNİMİ.....=..... ADET
T. KESİM KAYBI.....=..... BİRİM
KESİM KAYBI ORANI=%

Şekil 15. Sezgisel programın çözümüne ait ek hesaplamalar çıktısı

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında gerçek hayat problemi ele alınmıştır. Probleme ait veriler Düzce ilinde dış çephe kaplamaları üreten bir firmadan tedarik edilmiştir. Firma kesme işlemlerini gerçekleştirmek için 4 farklı ebatta stok malzemesi tedarik edebilmektedir. Bu çalışmada, firmanın karşılamakta olduğu 8 farklı siparişe ait veri setleri, bu siparişler için hangi ebatlarda ne kadar stok malzemesi gerektiği bilgileri ve Doğan (1990) çalışmasında kullanmış olduğu iki farklı gerçek hayat problemlerine ait veri setleri kullanılmıştır. Uygulamanın birinci kısmında, 1990 yılında Doğan EROL'un, iki boyutlu stok kesme problemleri için geliştirmiş olduğu sezgisel yaklaşım ve bu yaklaşım için çalışmasında kullandığı bilgisayar yazılımın temel alınarak, gerekli geliştirme ve güncellemeler yapıldı. Yapılan bu çalışmalar sonucunda kullanıcıların en az bilgiyle, kolaylıkla kullanabileceği şekilde yeniden bir bilgisayar programı oluşturuldu ve bu program yardımıyla yukarıda bahsedilen problemler çözülmeye çalışıldı. İkinci kısımda ise Optimal Programs SRL firmasına ait "Cutting Optimization Pro" isimli ticari yazılım kullanılarak söz edilen problemlere çözüm arandı. Daha sonra her iki programdan elde edilen sonuçlar, fire oranları ve bilgisayar programından sonuç alma süreleri bakımından karşılaştırıldı.

Çalışmanın bu kısmında Erol (1990) tarafından oluşturulan sezgisel algoritma tabanlı bilgisayar programından sezgisel program, Cutting Optimization Pro isimli ticari programdan ise ticari program şeklinde bahsedilmiştir.

4.1. Birinci Sipariş Veri Seti

Firmadan sağlanan sekiz farklı sipariş verisinden birincisi için; firma 9 farklı kesilecek parçadan taleplerinin toplamı 28 adet olan siparişi karşılamak için 8 adet 3000 mm uzunluğunda, 1500 mm genişliğinde ve 1 mm kalınlığındaki stok malzemesini kullanmaktadır. Bu siparişe ait veri seti Ek Tablo 1'de yer almaktadır.

Sezgisel Algoritma tabanlı program ile birinci sipariş veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Ek Tablo 11'de verilmektedir.

Birinci sipariş veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 21'de verilmiştir.

Birinci sipariş veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümler incelendiğinde, bütün öncelik kurallarının kullanılacak ana malzeme miktarları bakımından aynı olduğu görülmektedir fakat çözüm süresi bakımından kısa kenar öncelikli çözümün daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılması gereken levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında her iki program, firmanın 8 adet levha kullanarak gerçekleştirdiği kesme işlemini 7 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir.

4.2.İkinci Sipariş Veri Seti

Firmadan sağlanan sekiz farklı sipariş verisinden ikincisi için; firma 16 farklı kesilecek parçadan taleplerinin toplamı 47 adet olan siparişi karşılamak için 21 adet 3000 mm uzunluğunda, 1500 mm genişliğinde ve 0,75 mm kalınlığındaki stok malzemesini kullanmaktadır. Bu siparişe ait veri seti Ek Tablo 2’de yer almaktadır.

Sezgisel Algoritma tabanlı program ile ikinci sipariş veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Ek Tablo 12’de verilmektedir.

İkinci sipariş veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 22’de verilmiştir.

İkinci sipariş veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümler incelendiğinde, uzun kenar öncelikli çözümün kullanılacak ana malzeme miktarı ve çözüm süresi bakımından daha iyi olduğu tespit edildi.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılması gereken levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında her iki program, firmanın 21 adet levha kullanarak gerçekleştirdiği kesme işlemini 20 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir.

4.3.Üçüncü Sipariş Veri Seti

Firmadan sağlanan sekiz farklı sipariş verisinden üçüncüsü için; firma 18 farklı kesilecek parçadan taleplerinin toplamı 56 adet olan siparişi karşılamak için 20 adet 3000 mm uzunluğunda, 1500 mm genişliğinde ve 1,25 mm kalınlığındaki stok malzemesini kullanmaktadır. Bu siparişe ait veri seti Ek Tablo 3’de yer almaktadır.

Sezgisel Algoritma tabanlı program ile üçüncü sipariş veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Ek Tablo 13’de verilmektedir.

Üçüncü sipariş veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 23’de verilmiştir.

Üçüncü sipariş veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümler incelendiğinde, alan, alan*talep, uzun kenar*talep ve kısa kenar* talep öncelikli çözümlerin kullanılacak ana malzeme miktarları bakımından diğerlerinden daha iyi olduğu, bu önceliklere ait çözümlerin çözüm süresi bakımından alan*talep ve kısa kenar* talep öncelikli çözümlerin en iyisi olduğu tespit edildi.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılacak levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında her iki program, firmanın 20 adet levha kullanarak gerçekleştirdiği kesme işlemini 19 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir.

4.4. Dördüncü Sipariş Veri Seti

Firmadan sağlanan sekiz farklı sipariş verisinden dördüncüsü için; firma 30 farklı kesilecek parçadan taleplerinin toplamı 39 adet olan siparişi karşılamak için 14 adet 3000 mm uzunluğunda, 1500 mm genişliğinde ve 0,80 mm kalınlığındaki stok malzemesini kullanmaktadır. Bu siparişe ait veri seti Ek Tablo 4’de yer almaktadır.

Sezgisel Algoritma tabanlı program ile dördüncü sipariş veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Ek Tablo 14’de verilmektedir.

Dördüncü sipariş veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 24’de verilmiştir.

Dördüncü sipariş veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümler incelendiğinde, alan*talep öncelikli çözümün hem kullanılacak ana malzeme miktarı hemde çözüm süresi bakımından en iyisi olduğu tespit edildi.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılacak levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında her iki program, firmanın 14 adet levha kullanarak gerçekleştirdiği kesme işlemini 12 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir.

4.5.Beşinci Sipariş Veri Seti

Firmadan sağlanan sekiz farklı sipariş verisinden beşincisi için; firma 13 farklı kesilecek parçadan taleplerinin toplamı 330 adet olan siparişi karşılamak için 27 adet 3000 mm uzunluğunda, 1500 mm genişliğinde ve 2 mm kalınlığındaki stok malzemesini kullanmaktadır. Bu siparişe ait veri seti Ek Tablo 5’de yer almaktadır.

Sezgisel Algoritma tabanlı program ile beşinci sipariş veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Ek Tablo 15’de verilmektedir.

Beşinci sipariş veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 25’de verilmiştir.

Beşinci sipariş veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümler incelendiğinde, alan*talep ve uzun kenar* talep öncelikli çözümlerin kullanılacak ana malzeme miktarı bakımından diğer çözümlerden iyi olduğu, çözüm süreleri bakımından alan*talep öncelikli çözümün en iyisi olduğu tespit edildi.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılacak levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında, firmanın 27 adet levha kullanarak gerçekleştirdiği kesme işlemini ticari program 25 adet levha, sezgisel algoritma tabanlı program 26 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir.

4.6.Altıncı Sipariş Veri Seti

Firmadan sağlanan sekiz farklı sipariş verisinden altıncısı için; firma 16 farklı kesilecek parçadan taleplerinin toplamı 121 adet olan siparişi karşılamak için 11 adet 4000 mm uzunluğunda, 2000 mm genişliğinde ve 3 mm kalınlığındaki stok malzemesini kullanmaktadır. Bu siparişe ait veri seti Ek Tablo 6’da yer almaktadır.

Sezgisel Algoritma tabanlı program ile altıncı sipariş veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Tablo 16’da verilmektedir.

Altıncı sipariş veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 26’da verilmiştir.

Altıncı sipariş veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümlerin sonuçları incelendiğinde, talep ve uzun kenar öncelikli çözümlerin iyi

olduğunu lakin çözüm süresi bakımından uzun kenar öncelikli çözümün en iyisi olduğu tespit edildi.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılacak levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında, firmanın 11 adet levha kullanarak gerçekleştirdiği kesme işlemini ticari program ve sezgisel algoritma tabanlı program 10 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir.

4.7.Yedinci Sipariş Veri Seti

Firmadan sağlanan sekiz farklı sipariş verisinden yedincisi için; firma 40 farklı kesilecek parçadan taleplerinin toplamı 230 adet olan siparişi karşılamak için 93 adet 3200 mm uzunluğunda, 1250 mm genişliğinde ve 1,50 mm kalınlığındaki stok malzemesini kullanmaktadır. Bu siparişe ait veri seti Ek Tablo 7’de yer almaktadır.

Sezgisel Algoritma tabanlı program ile yedinci sipariş veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Ek Tablo 17’de verilmektedir.

Yedinci sipariş veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 27’de verilmiştir.

Yedinci sipariş veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümleri incelendiğinde, talep öncelikli çözümün hem kullanılacak ana malzeme miktarı hemde çözüm süresi bakımından en iyisi olduğu tespit edildi.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılacak levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında, firmanın 93 adet levha kullanarak gerçekleştirdiği kesme işlemini ticari program ve sezgisel algoritma tabanlı program 82 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir.

4.8.Sekizinci Sipariş Veri Seti

Firmadan sağlanan sekiz farklı sipariş verisinden yedincisi için; firma 14 farklı kesilecek parçadan taleplerinin toplamı 115 adet olan siparişi karşılamak 74 adet 3000mm uzunluğunda, 1250mm genişliğinde ve 4 mm kalınlığındaki stok malzemesini kullanmaktadır. Bu siparişe ait veri seti Ek Tablo 8’de yer almaktadır.

Firma, 14 çeşit kesme parçasının talebini karşılamak için Sezgisel Algoritma tabanlı program ile sekizinci sipariş veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Ek Tablo 18’de verilmektedir.

Sekizinci sipariş veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 28’de verilmiştir.

Sekizinci sipariş veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümler incelendiğinde, tüm öncelik kurallarına göre elde edilen çözümlerin kullanılacak ana malzeme miktarı bakımından aynı olduğu fakat çözüm süresi bakımından kısa kenar öncelikli çözümün en iyisi olduğu tespit edildi.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılması gereken levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında, firmanın 74 adet levha kullanarak gerçekleştirdiği kesme işlemini ticari program ve sezgisel algoritma tabanlı program 68 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir.

4.9. Erol(1990) Tarafından Kullanılan Birinci Grup Veri Seti

Erol(1990) çalışmasında 14 farklı kesilecek parça için toplam talebin 728 olduğu bir gerçek hayat problemine ait veri seti, Ek Tablo 9’da yer almaktadır. Programları karşılaştırmak için daha fazla farklı özellikleri olan örnek problem ele alınması amacıyla bu veri seti kullanılmıştır.

Bu çalışmada tedarik edilen stok malzemesi boyutları 2440 mm uzunluğunda, 1220 mm genişliğinde ve 5 mm kalınlığındadır.

Sezgisel Algoritma tabanlı program ile birinci grup veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Ek Tablo 19’da verilmektedir.

Birinci grup veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 29’da verilmiştir.

Birinci grup veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümlerin sonuçları incelendiğinde, alan, alan*talep ve kısa kenar öncelik kurallarına göre elde edilen çözümlerin kullanılacak ana malzeme miktarı bakımından iyi oldukları, çözüm süresi bakımından kısa kenar öncelikli çözümün en iyisi olduğu tespit edildi.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılacak levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında, kesme işlemini ticari program ve sezgisel algoritma tabanlı program 175 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir

4.10. Erol(1990) Tarafından Kullanılan İkinci Grup Veri Seti

Erol(1990) çalışmasında 11 farklı kesilecek parça için toplam talebin 412 olduğu bir gerçek hayat problemine ait veri seti , Ek Tablo 10'da yer almaktadır. Programları karşılaştırmak için daha fazla farklı özellikleri olan örnek problem ele alınması amacıyla bu veri seti kullanılmıştır.

Bu çalışmada tedarik edilen stok malzemesi boyutları 2440 mm uzunluğunda, 1220 mm genişliğinde ve 5 mm kalınlığındadır.

Sezgisel Algoritma tabanlı program ile ikinci grup veri seti için elde edilen çözümlerin sonuçları Ek Tablo 20'de verilmektedir.

İkinci grup veri seti için ticari program ile elde edilen çözümün sonucu Ek Tablo 30'da verilmiştir.

İkinci grup veri seti için sezgisel algoritma tabanlı program ile elde edilen çözümler incelendiğinde, alan, ve uzun kenar öncelik kurallarına göre elde edilen çözümlerin kullanılacak ana malzeme miktarı bakımından iyi olduğu, çözüm süresi bakımından uzun kenar öncelikli çözümün en iyisi olduğu tespit edilmiştir.

Sezgisel algoritma tabanlı program ve ticari programın kullanılması gereken levha miktarları bakımından karşılaştırıldığında, kesme işlemini ticari program ve sezgisel algoritma tabanlı program 106 adet levha kullanarak gerçekleştirmektedir.

Tablo 2. Sonuçların kullanılacak ana malzeme miktarı bakımından karşılaştırılması

	Sezgisel Yöntem	Ticari Program	Firma Uygulaması
1.Sipariş	7	7	8
2.Sipariş	20	20	21
3.Sipariş	19	19	20
4.Sipariş	12	12	14
5.Sipariş	26	25	27
6.Sipariş	10	10	11
7.Sipariş	82	82	93
8.Sipariş	68	68	74
Erol(1990) 1.veri	175	175	-*
Erol(1990) 2.veri	106	106	-*

* kullanılan veri setleri Erol(1990)'a ait çalışmadan alındığı için veri mevcut değildir.

Tablo 3. Sonuçların **bilgisayar işlem süresi** bakımından karşılaştırılması

	Sezgisel Yöntem	Ticari Program	Firma Uygulması
1.Sipariş	0,09 sn	5,09sn	**
2.Sipariş	0,16 sn	16,28sn	**
3.Sipariş	0,16 sn	16,87sn	**
4.Sipariş	0,19 sn	14,97 sn	**
5.Sipariş	0,25 sn	10,59sn	**
6.Sipariş	0,15 sn	5,86 sn	**
7.Sipariş	0,28 sn	10,25sn	**
8.Sipariş	0,14 sn	4,50sn	**
Erol(1990) 1.veri	0,15 sn	19,84sn	-*
Erol(1990) 2.veri	0,20 sn	7,86 sn	-*

* Erol(1990) çalışmasında net bir çözüm süresi hesaplanmamıştır.

** Verilerin sağlandığı firmadan çözüm sürelerine ilişkin veri elde edilememiştir.

Bu çalışmada, gerçek hayatta karşılaşılan kesme problemine çözüm önerisi getirebilmek için; yapılan bilgisayar uygulamalarının sonuçları yukarıda Tablo 2 ve Tablo 3'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırma tablolarından görüldüğü üzere, sezgisel algoritma tabanlı bilgisayar programında sonuca varma süresi bakımından önde olduğu, kimi verilere göre de kullanılan levha sayılarının düşük olduğu anlaşılmaktadır. Firma uygulamalarında gerçekleşen bilgisayar işlem süreleri Firmanın gizlilik politikaları nedeniyle elde edilememiştir. Sonuç olarak sezgisel algoritmaya dayalı yazılımın, kullanılacak ana malzeme miktarları bakımından aynı sonuçlar, gereken hesaplama süreleri

bakımından ise de daha uygun sonuçlar ürettiği söylenebilir. Ancak anılan algoritmanın bilgisayar çıktısında kesme planlarının görünebilmesi için ek bir çalışmaya ihtiyaç olduğu açıktır. Dolayısı ile bu algoritmanın belirtilen yönde geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, mevcut çalışmalardaki sezgisel yöntemlerin eksikliklerinin giderilmesi adına bir başka sezgisel ya da metasezgisel yöntemle melezlenmesi oldukça yaygındır. Bu algorithmada kesilecek parçaların stok malzemesi üzerine yerleştirilirken kullanılacak olan sıralamayı elde etmek için genetik algoritma gibi metasezgisel bir yaklaşım ile melezlenmesi gerçekleştirilebilir.



5. KAYNAKLAR

- Albayrak, E., 2013. İki Boyutlu Dikdörtgen Şekilli Stok Kesme Problemleri İçin SezgiselMetasezgisel Algoritma Ve Yazılım Geliştirme, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Andrade, R., Birgin, E., G. ve Morabito, R., 2016. Two-stage two-dimensional guillotine cutting stock problems with usable leftover, Intl. Trans. in Op. Res., 23, 121–145.
- Aras, N., 2004. Dikdörtgen Dışı Şekillerin Kesim Planı İçin Sezgisel Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Arbib, C., Marinelli, F., Pizzuti, A., ve Rosetti, R., 2018. A Heuristic for a Rich and Real Two-dimensional Woodboard Cutting Problem, In Proceedings of the 7th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems, Haziran, Funchal, Portugal, Bildiriler Kitabı, 31-37.
- Aryanezhad, M., B., Hashemi, N., F., Makui, A. ve Javanshir, H., 2012. A simple approach to the two-dimensional guillotine cutting stock problem, Journal of Industrial Engineering International, 8, 1, 8-21.
- Bayır, F., 2012. Kesme Problemine Sezgisel Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Bennell, J., A., Dowland, K., A., 1999. A tabu thresholding implementation for the irregular stock cutting problem, International Journal of Production Research, 37, 18, 4259-4275.
- Bertolini, V., Rey, C., Sepulveda, M., ve Parada, V., 2018. Novel Methods Generated by Genetic Programming for the Guillotine-Cutting Problem, Scientific Programming, 1-13.

- Birgin, E., G., Romão, O., C. ve Ronconi, D., P., 2019. The multiperiod two-dimensional non-guillotine cutting stock problem with usable leftovers, Intl. Trans. in Op. Res., 1–27.
- Bouaine, A., Lebbar, M. ve Ait Ha, M., 2018. Minimization of the wood wastes for an industry of furnishing: a two dimensional cutting stock problem, Management and Production Engineering Review, 9, 2, 42-51.
- Burke, E., K., Kendall, G. ve Whitwell, G., 2004. A New Placement Heuristic for the Orthogonal Stock-Cutting Problem, Operations Research, 52, 4, 655-671.
- Burke, E., K., Kendall, G. ve Whitwell, G., 2009. A simulated annealing enhancement of the best-fit heuristic for the orthogonal stock-cutting problem. INFORMS Journal on Computing, 21, 3, 505-516.
- Chauny, F., Loulou, R., Sadones, S. ve Soumis, F., 1991. A Two-phase Heuristic for the Two- Dimensional Cutting-stock Problem, Journal of the Operational Research Society, 42, 1, 39-47.
- Cherri, A., C., Arenales, M., N., Yanasse, H., H., Poldi, K., C., ve Vianna, A., C., G., 2014. The one-dimensional cutting stock problem with usable leftovers – A survey, European Journal of Operational Research, 236, 2, 395-402.
- Christofides, N. ve Hadjiconstantinou, E., 1995. An exact algorithm for orthogonal 2-D cutting problems using guillotine cuts, European Journal of Operational Research, 83, 1, 21-38.
- Cui, Y., Yang, L., Zhao, Z., Tang, T. ve Yin, M., 2013. Sequential grouping heuristic for the two-dimensional cutting stock problem with pattern reduction, International Journal of Production Economics, 144, 2, 432-439.

- Cui, Y., Zhong, C. ve Yao, Y., 2015. Pattern-set generation algorithm for the one-dimensional cutting stock problem with setup cost, European Journal of Operational Research, 243, 2, 540-546.
- Dağlı, C., H., Tatoğlu ve M., Y., 1987. An Approach To Two-Dimensional Cutting Stock Problems, International Journal of Production Research, 25, 2, 175-190.
- Dyckhoff, H., 1990. A Typology of Cutting and Packing Problems, European Journal of Operational Research, 44, 145-159.
- Dyckhoff, H. ve Finke, U., 1992. Cutting and Packing in Production and Distribution: A Typology and Bibliography, Physica-Verlag, Heidelberg.
- Eley, M., 2002. Solving Container Loading Problems by Block Arrangement, European Journal of Operational Research, 141, 393-409.
- Erol, D., 1989. Giyotin Kesmede İki Boyutlu Dilme Probleminin Çözümü İçin Yordamsal Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Fayard, D., Hifi, M. ve Zissimopoulos, V., 1998. An efficient approach for large-scale two-dimensional guillotine cutting stock problems, Journal of the Operational Research Society, 49, 1270-1277.
- Gasiorek, D., Baranowski, P., Malachowski, J., Mazurkiewicz, L. ve Wiercigroch, M., 2018. Modelling of guillotine cutting of multi-layered aluminum sheets, Journal of Manufacturing Processes, 34, 374-388.
- Gilmore, P., C. ve Gomory, R., E., 1961. A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem, Operations Research, 9, 849-859.

- Gilmore, P., C. ve Gomory, R., E., 1963. A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem-Part II, Operations Research, 11, 863-888.
- Gilmore, P., C. ve Gomory, R., E., 1964. Multistage Cutting Stock Problems of Two and More Dimensions, Operations Research, 13, 94-120.
- Haessler, R., W. ve Sweeney, P., E., 1991. Cutting Stock Problems and Solution Procedures, European Journal of Operational Research, 54, 141-150.
- Hopper, E. ve Turton, B., C., H., 2001. Theory and Methodology An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for a 2D packing problem, European Journal of Operational Research, 128, 34-57.
- Lai, K., K. ve Chan, J., W., M., 1997. Developing a Simulated Annealing Algorithm for the Cutting Stock Problem, Computers Ind. Engineering, 32, 1, 115-127.
- Lodi, A., Martello, S. ve Vigo, D., 1999. Heuristic and metaheuristic approaches for a class of two-dimensional bin packing problems INFORMS Journal on Computing, 11, 4, 345-357.
- Lodi, A., Martello, S. ve Vigo, D., 2002. Heuristic Algorithms for the Three Dimensional Bin Packing Problem, European Journal of Operational Research, 141, 410-420.
- Malaguti, E., Durán, R., M. ve Toth, P., 2014. Approaches to real world two-dimensional cutting problems, Omega, 47, 99-115.
- Msabah, S., A. ve Baba-Ali, A., R., 2011. A new guillotine placement heuristic combined with an improved genetic algorithm for the orthogonal cutting-stock problem, 2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Aralık, Singapore, Bidiriler Kitabı, 482-486.

- Rostom, M., R., Nassef, A., O. ve Metwalli, S., M., 2014, 3D overlapped grouping Ga for optimum 2D guillotine cutting stock problem, Alexandria Engineering Journal, 53, 3, 491-503.
- Saad, O., M., El-Shafei, M., K. ve Ezzat, L., E., 2007. On treating multiobjective cutting stock problem in the aluminum industry under fuzzy environment, Trends in Applied Sciences Research, 2, 5, 374-385.
- Scheithauer, G., 2018. Introduction to Cutting and Packing Optimization Problems, Modeling Approaches, Solution Methods, Springer International Publishing.
- Sweeney, P., E. ve Paternoster, E., R., 1992. Cutting and Packing Problems: A Categorized, Application-Oriented Research Bibliography, The Journal of the Operational Research Society, 43, 7, 691-706.
- Umetani, S., Yagiura, M. ve Ibaraki, T., 2006. One-dimensional cutting stock problem with a given number of setups: a hybrid approach of metaheuristics and linear programming. Journal of Mathematical Modelling and Algorithms, 5, 43-64.
- Varsamis, D. ve Chanlioglou, F., 2018. A Parallel Approach of Best Fit Decreasing Algorithm. WSEAS Transactions on Computers, 17, 79-85.
- Velasco, A., S. ve Uchoa, E., 2019. Improved state space relaxation for constrained two-dimensional guillotine cutting problems. European Journal of Operational Research, 272, 1, 106-120.
- Wagner, B., J., 1999. Theory And Methodology A Genetic Algorithm Solution For One-Dimensional Bundled Stock Cutting, European Journal of Operational Research, 117, 368-381.
- Wei, L., Hu, Q., Lim, A. ve Liu, Q., 2018. A best-fit branch-and-bound heuristic for the unconstrained two-dimensional non-guillotine cutting problem. European Journal of Operational Research, 270, 2, 448-474.

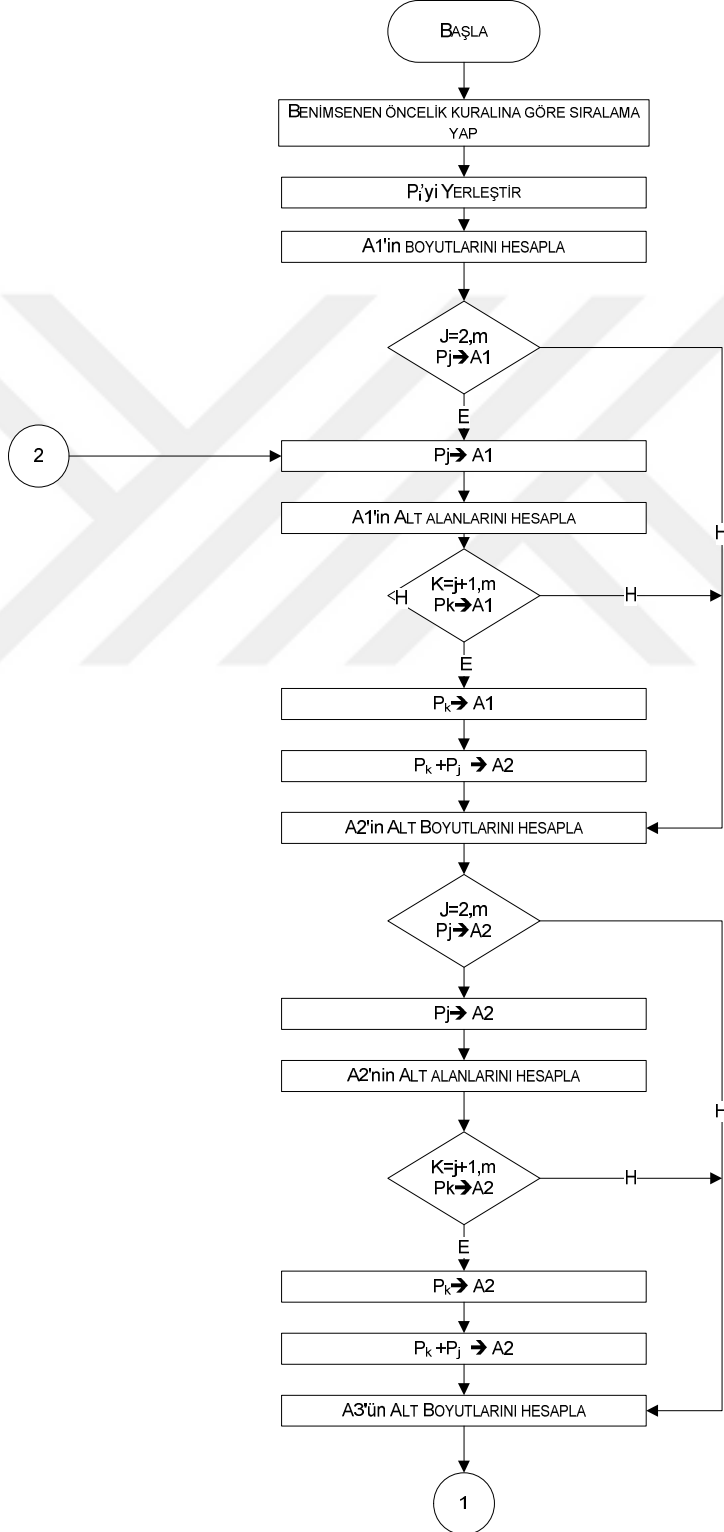
Wu, D. ve Yan, C., 2018. Balanced approach for the two-dimensional rectangular guillotine cutting stock problem with setup cost. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 452, 022087.

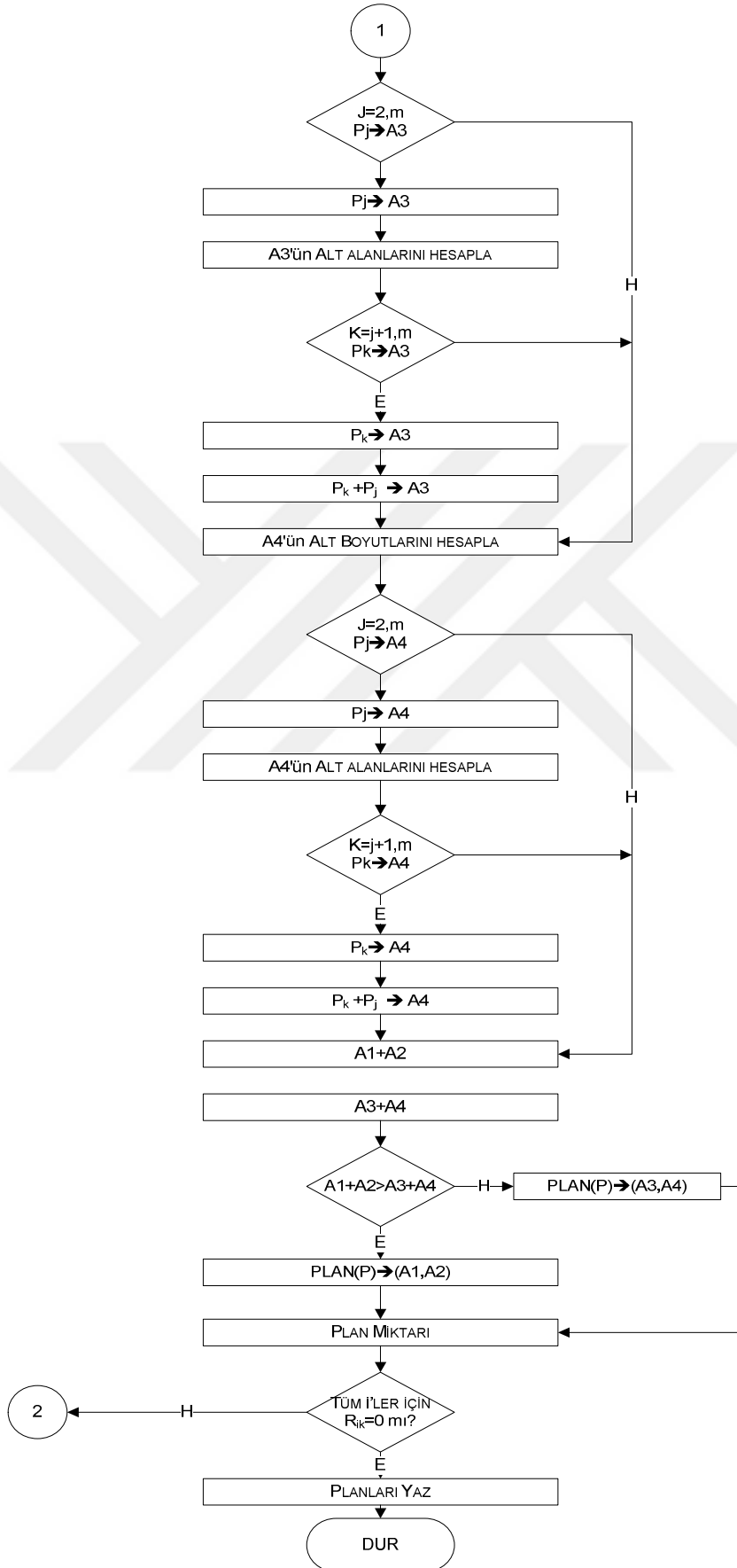
Yavuz, Y., 2005. Üç Boyutlu Stok Kesme Probleminin Matematiksel Programlama Teknikleri İle Çözümü ve Mermer Endüstrisinde Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.



6. EKLER

Ek 1. Programın Algoritması





Ek 2: Program Kodu

```

Sub StockCutting()
Sheets("Sayfa1").Select
Sheets("Sheet1").Cells.ClearContents
10 Rem KESME PLANLARI HAZIRLAMA PROGRAMI
20 TR1 = 0: TLS = 0: TLS1 = 0: S = 2: CZ = 1
N = Application.WorksheetFunction.Count(Range("d3", Range("d3").End(xlDown)))
LL = Range("a3").Value
WW = Range("b3").Value
270 If LL < WW Then T = LL: LL = WW: WW = T
280 Dim L(100), W(100), R(100), R1(100), R2(100), RI(100), KL(8), KW(8), KULM(100)
290 Dim YY(4), YS(4), YY1(4), YY2(4), A(4), L2(100, 4), W2(100, 4), KAYM(100), TPS(7)
300 Dim YZL(100, 100), YZW(100, 100), YZA(100, 100), YZŞ(100, 100), YZK(100, 100), S3(100), CZ1(7)
Dim CZS(7), TKK(7), YKK(7), TALG(7)
310 ENKL1 = LL: ENKW1 = WW: ENKA1 = LL * WW
320 CZS(1) = "ALAN": CZS(2) = "ALANxTALEP": CZS(3) = "TALEP": CZS(4) = "UZUNLUK"
330 CZS(5) = "UZUNLUKxTALEP": CZS(6) = "GENISLIK": CZS(7) = "GENISLIKxTALEP"
340 For i = 1 To N
L(i) = Range("d" & (i + 2)): W(i) = Range("e" & (i + 2)): R(i) = Range("f" & (i + 2))
400 If L(i) < W(i) Then T = L(i): L(i) = W(i): W(i) = T
430 If L(i) < ENKL1 Then ENKL1 = L(i)
440 If W(i) < ENKW1 Then ENKW1 = W(i)
450 If L(i) * W(i) < ENKA1 Then ENKA1 = L(i) * W(i)
460 TR1 = TR1 + R(i): RI(i) = R(i)
470 Next i
480 GoSub 1920
490 CZM = InputBox("1. ALAN ONCELIKLI" & Chr(13) & "2. ALAN x TALEP ONCELIKLI" & Chr(13) & "3.
TALEP ONCELIKLI" & Chr(13) & "4. UZUNLUK ONCELIKLI" & Chr(13) & "5. UZUNLUK x TALEP
ONCELIKLI" & Chr(13) & "6. GENISLIK ONCELIKLI" & Chr(13) & "7. GENISLIK x TALEP ONCELIKLI",
"Lütfen Öncelik Kuralı Seçiniz")
time1 = [Now()]
600 On CZM GoTo 620, 620, 620, 620, 620, 620, 620, 20
610 MsgBox "HATALI VERI": GoTo 490
620 ENKL = ENKL1: ENKW = ENKW1: ENKA = ENKA1: TKK(CZM) = 0: S4 = 0
630 TALG(CZM) = 0: S1 = 1: TR = TR1: S2 = 0: SYF = 0: SAYN = 1
640 For i = 1 To N
650 R(i) = RI(i): R1(i) = 0: R2(i) = 0
660 Next i
710 GoSub 2020
720 L1 = LL: W1 = WW: k = 0: K1 = 0: KK = LL * WW: 'Print "BEKLEYINIZ...", "PLAN "; S4 + S1
730 GoSub 2250
740 If P1 * P2 > O1 * O2 Then GoTo 790
750 If P1 * P2 < O1 * O2 Then GoTo 780
760 GoSub 2480
770 If KP > KD Then GoTo 790
780 Y = M: YB = "D": Y1 = O1: Y2 = O2: YK = 0: GoTo 800
790 Y = M: YB = "P": Y1 = P1: Y2 = P2: YK = 0
800 GoSub 2610
810 If KK < ENKA Then GoTo 1100
820 K1 = K1 + 1: K2 = 0
830 If K2 < 4 Then K2 = K2 + 1 Else GoTo 980
840 L1 = L2(K1, K2): W1 = W2(K1, K2)
850 If L1 < ENKL Then YY(K2) = 0: YY1(K2) = 0: A(K2) = 0: GoTo 830

```

```

860 If W1 < ENKW Then YY(K2) = 0: YY1(K2) = 0: A(K2) = 0: GoTo 830
870 If K2 = 2 Then R2(YY(1)) = YY1(1) * YY2(1): GoTo 890
880 If K2 = 4 Then R2(YY(3)) = YY1(3) * YY2(3) Else R2(YY(K2)) = 0
890 GoSub 2250
900 If M = 0 Then YY(K2) = 0: YY1(K2) = 0: A(K2) = 0: GoTo 830
910 If P1 * P2 > O1 * O2 Then GoTo 960
920 If P1 * P2 < O1 * O2 Then GoTo 950
930 GoSub 2480
940 If KP > KD Then GoTo 960
950 YY(K2) = M: YS(K2) = "D": YY1(K2) = O1: YY2(K2) = O2: GoTo 970
960 YY(K2) = M: YS(K2) = "P": YY1(K2) = P1: YY2(K2) = P2
970 A(K2) = YY1(K2) * YY2(K2) * L(M) * W(M): GoTo 830
980 If A(1) + A(2) + A(3) + A(4) = 0 Then GoTo 1090
990 If A(1) + A(2) > A(3) + A(4) Then I1 = 0: I2 = 2: GoTo 1040
1000 If A(1) + A(2) < A(3) + A(4) Then I1 = 2: I2 = 4: GoTo 1040
1010 GoSub 2740
1020 If K12 > K34 Then I1 = 0: I2 = 2: GoTo 1040
1030 I1 = 2: I2 = 4
1040 YK = YZK(S1, K1) * 10: If I1 < I2 Then I1 = I1 + 1 Else GoTo 1090
1050 If A(I1) = 0 Then GoTo 1040 Else YK = YK + I1
1060 M = YY(I1): YB = YS(I1): Y1 = YY1(I1): Y2 = YY2(I1): L1 = L2(K1, I1): W1 = W2(K1, I1)
1070 GoSub 2610
1080 GoTo 1040
1090 If k > K1 Then GoTo 820
1100 GoSub 2920
1110 If TR = 0 Then GoTo 1140
'1120 If S1 < S Then S1 = S1 + 1 Else GoTo 1140
'1130 On CZM GoTo 720, 710, 710, 720, 710, 720, 710
1140 B = 6: SYF = SYF + S2 + 5: T1 = SYF - 58
'1150 If 60 - SYF < 0 Then SYF = S2 Else GoTo 1180
'1170 SAYN = SAYN + 1
'1180 For i = 1 To S1
'1190
'1200 Next i
1400 For i = 1 To S2
If i = 1 Then
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(2, 0) = "Plan: " & S4 + i
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 1) = "Levha Kullanım: " & KULM(i)
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 2) = "Fire: " & KAYM(i)
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(1, 0) = "L"
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 1) = "W"
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 2) = "ADET"
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 3) = "YERLEŞİM"
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 4) = "ALTALANLAR"
End If
1410 For J = 1 To S1
1430 If S3(J) < i Then GoTo 1510
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(1, 0) = YZL(J, i)
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 1) = YZW(J, i)
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 2) = YZA(J, i)
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 3) = YZŞ(J, i)
Sheets("Sheet1").Range("a100000").End(xlUp).Offset(0, 4) = YZK(J, i)

```

```

1510 Next J
1520 Next i
1570 S4 = S4 + S1: S1 = 1: S2 = 0: If TR = 0 Then GoTo 1590
1580 On CZM GoTo 720, 710, 710, 720, 710, 720, 710
1590 YKK(CZM) = ((TALG(CZM) - TLS) / TLS) * 100
1600 TPS(CZM) = S4
Sheets("Sheet1").Range("B100000").End(xlUp).Offset(2, 0) = "T.KESME PLAN SAYISI.....=" & TPS(CZM)
& " ADET"
Sheets("Sheet1").Range("B100000").End(xlUp).Offset(1, 0) = "TEORİK LEVHA SAYISI.....=" & TLS &
" ADET"
Sheets("Sheet1").Range("B100000").End(xlUp).Offset(1, 0) = "T. ANA LEVHA GEREKSİNİMİ.....=" &
TALG(CZM) & " ADET"
Sheets("Sheet1").Range("B100000").End(xlUp).Offset(1, 0) = "T. KESİM KAYBI.....=" &
TKK(CZM) & " BİRİM"
Sheets("Sheet1").Range("B100000").End(xlUp).Offset(1, 0) = "KESİM KAYBI ORANI .....=% " &
YKK(CZM)
Sheets("Sheet1").Select
Sheets("Sheet1").Range("a1").EntireRow.Delete
time2 = [Now()]
zamanfarkı = time2 - time1
Sheets("Sheet1").Range("H100000").End(xlUp).Offset(1, 0) = "ALGORİTMA ÇALIŞMA SÜRESİ"
Sheets("Sheet1").Range("H100000").End(xlUp).Offset(1, 0) = zamanfarkı
1910 Exit Sub
1920 Rem .....TEORİK LEVHA SAYISI
1930 For i = 1 To N
1940 TLS = TLS + L(i) * W(i) * R(i): P1 = Int(LL / (L(i)))
1950 P2 = Int(WW / W(i)): O1 = Int(LL / W(i)): O2 = Int(WW / L(i))
1960 If P1 * P2 > 1 Then GoTo 1980
1970 If O1 * O2 <= 1 Then TLS1 = TLS1 + R(i)
1980 Next i
1990 TLS = TLS / (LL * WW): If TLS - Int(TLS) > 0 Then TLS = Int(TLS + 1)
2000 If TLS < TLS1 Then TLS = TLS1
2010 Return
2020 Rem .....SIRALAMA
2030 For i = 1 To N - 1
2040 For J = i + 1 To N
2050 On CZM GoTo 2120, 2180, 2100, 2060, 2080, 2140, 2160
2060 If L(J) = L(i) Then GoTo 2090
2070 If L(J) < L(i) Then GoTo 2220 Else GoTo 2200
2080 If W(J) = W(i) Then GoTo 2070
2090 If W(J) < W(i) Then GoTo 2220 Else GoTo 2200
2100 If R(J) = R(i) Then GoTo 2060
2110 If R(J) < R(i) Then GoTo 2220 Else GoTo 2200
2120 If L(J) * W(J) = L(i) * W(i) Then GoTo 2060
2130 If L(J) * W(J) < L(i) * W(i) Then GoTo 2220 Else GoTo 2200
2140 If L(J) * R(J) = L(i) * R(i) Then GoTo 2060
2150 If L(J) * R(J) < L(i) * R(i) Then GoTo 2220 Else GoTo 2200
2160 If W(J) * R(J) = W(i) * R(i) Then GoTo 2080
2170 If W(J) * R(J) < W(i) * R(i) Then GoTo 2220 Else GoTo 2200
2180 If L(J) * W(J) * R(J) = L(i) * W(i) * R(i) Then GoTo 2060
2190 If L(J) * W(J) * R(J) < L(i) * W(i) * R(i) Then GoTo 2220
2200 T = L(i): L(i) = L(J): L(J) = T: T = W(i): W(i) = W(J): W(J) = T

```

```

2210   T = R(i): R(i) = R(J): R(J) = T: T = R1(i): R1(i) = R1(J): R1(J) = T
2220   Next J
2230 Next i
2240 Return
2250 Rem .....YERLESTIRME
2260 For i = 1 To N
2270   P1 = 0: P2 = 0: O1 = 0: O2 = 0: M = 0
2280   If L1 < L(i) Then GoTo 2460
2290   If W1 < W(i) Then GoTo 2460
2300   KM = R(i) - R1(i) - R2(i): If KM = 0 Then GoTo 2460
2310   For J = 1 To KM
2320     If L1 - J * L(i) >= 0 Then P1 = P1 + 1 Else GoTo 2340
2330   Next J
2340   If P1 = 0 Then GoTo 2380 Else KM1 = Int(KM / P1)
2350   For J = 1 To KM1
2360     If W1 - J * W(i) >= 0 Then P2 = P2 + 1 Else GoTo 2380
2370   Next J
2380   For J = 1 To KM
2390     If L1 - J * W(i) >= 0 Then O1 = O1 + 1 Else GoTo 2410
2400   Next J
2410   If O1 = 0 Then GoTo 2450 Else KM1 = Int(KM / O1)
2420   For J = 1 To KM1
2430     If W1 - J * L(i) >= 0 Then O2 = O2 + 1 Else GoTo 2450
2440   Next J
2450   If P1 * P2 + O1 * O2 >= 0 Then M = i: GoTo 2470
2460 Next i
2470 Return
2480 Rem .....ISE YARAR ALANLAR
2490 KP = 0: KD = 0
2500 KL(1) = P1 * L(M): KW(1) = W1 - P2 * W(M): KL(2) = L1 - P1 * L(M): KW(2) = W1
2510 KL(3) = L1: KW(3) = W1 - P2 * W(M): KL(4) = L1 - P1 * W(M): KW(4) = P2 * W(M)
2520 KL(5) = O1 * W(M): KW(5) = W1 - O2 * L(M): KL(6) = L1 - O1 * W(M): KW(6) = W1
2530 KL(7) = L1: KW(7) = W1 - O2 * L(M): KL(8) = L1 - O1 * W(M): KW(8) = O2 * L(M)
2540 For i = 1 To 8
2550   If KL(i) < KW(i) Then T = KL(i): KL(i) = KW(i): KW(i) = T
2560   If KL(i) < ENKL Then GoTo 2590
2570   If KW(i) < ENKW Then GoTo 2590
2580   If i < 5 Then KP = KP + KL(i) * KW(i) Else KD = KD + KL(i) * KW(i)
2590 Next i
2600 Return
2610 Rem .....KALAN ALANLAR
2620 k = k + 1: YZL(S1, k) = L(M): YZW(S1, k) = W(M): YZ$(S1, k) = YB
2630 YZA(S1, k) = Y1 * Y2: YZK(S1, k) = YK: If YB = "D" Then GoTo 2670
2640 L2(k, 1) = Y1 * L(M): W2(k, 1) = W1 - Y2 * W(M): L2(k, 2) = L1 - Y1 * L(M): W2(k, 2) = W1
2650 L2(k, 3) = L1: W2(k, 3) = W1 - Y2 * W(M): L2(k, 4) = L1 - Y1 * L(M): W2(k, 4) = Y2 * W(M)
2660 GoTo 2690
2670 L2(k, 1) = Y1 * W(M): W2(k, 1) = W1 - Y2 * L(M): L2(k, 2) = L1 - Y1 * W(M): W2(k, 2) = W1
2680 L2(k, 3) = L1: W2(k, 3) = W1 - Y2 * L(M): L2(k, 4) = L1 - Y1 * W(M): W2(k, 4) = Y2 * L(M)
2690 R1(M) = R1(M) + Y1 * Y2: KK = KK - Y1 * Y2 * L(M) * W(M)
2700 For i = 1 To 4
2710   If L2(k, i) < W2(k, i) Then T = L2(k, i): L2(k, i) = W2(k, i): W2(k, i) = T
2720 Next i

```



```

2730 Return
2740 Rem .....ALAN 1-2/ ALAN 3-4
2750 K12 = 0: K34 = 0: V = 1
2760 If A(V) = 0 Then GoTo 2900
2770 M = YY(V): V1 = YY1(V): V2 = YY2(V)
2780 If YS(V) = "D" Then GoTo 2820
2790 KL(1) = V1 * L(M): KW(1) = W1 - V2 * W(M): KL(2) = L1 - V1 * L(M): KW(2) = W1
2800 KL(3) = L1: KW(3) = W1 - V2 * W(M): KL(4) = L1 - V1 * W(M): KW(4) = V2 * W(M)
2810 GoTo 2840
2820 KL(1) = V1 * W(M): KW(1) = W1 - V2 * L(M): KL(2) = L1 - V1 * W(M): KW(2) = W1
2830 KL(3) = L1: KW(3) = W1 - V2 * L(M): KL(4) = L1 - V1 * W(M): KW(4) = V2 * L(M)
2840 For i = 1 To 4
2850   If KL(i) < KW(i) Then T = KL(i): KL(i) = KW(i): KW(i) = T
2860   If KL(i) < ENKL Then GoTo 2890
2870   If KW(i) < ENKW Then GoTo 2890
2880   If i < 3 Then K12 = K12 + KL(i) * KW(i) Else K34 = K34 + KL(i) * KW(i)
2890 Next i
2900 If V < 4 Then V = V + 1: GoTo 2760
2910 Return
2920 Rem .....KULLANIM MIKTARLARI VE KALAN TALEP MIKTARLARI
2930 ENKL = LL: ENKW = WW: ENKA = LL * WW: KULM(S1) = TR: KAYM(S1) = KK: TR = 0
2940 For i = 1 To N
2950   If R1(i) = 0 Then GoTo 2970 Else KM = Int(R(i) / R1(i))
2960   If KM < KULM(S1) Then KULM(S1) = KM
2970 Next i
2980 For i = 1 To N
2990   R(i) = R(i) - KULM(S1) * R1(i): TR = TR + R(i): R1(i) = 0: R2(i) = 0
3000   If R(i) = 0 Then GoTo 3040
3010   If L(i) < ENKL Then ENKL = L(i)
3020   If W(i) < ENKW Then ENKW = W(i)
3030   If L(i) * W(i) < ENKA Then ENKA = L(i) * W(i)
3040 Next i
3050 TTK(CZM) = TTK(CZM) + KULM(S1) * KK: TALG(CZM) = TALG(CZM) + KULM(S1)
3060 S3(S1) = k: If S2 < k Then S2 = k
3070 Return
Sheets("Sheet1").Select
Sheets("Sheet1").Range("a1").EntireRow.Delete
End Sub

```

Ek Tablo 1. Birinci sipariş veri seti

No	Li	Wi	Ri	Firmanın Kullandığı Stok Malzemesi Miktarı
1	1705	650	1	8 adet 3000 mm x 1500 mm x 1 mm
2	1630	650	2	
3	1330	650	16	
4	1210	650	1	
5	980	650	1	
6	780	650	2	
7	730	650	2	
8	650	530	2	
9	650	480	1	

Ek Tablo 2. İkinci sipariş veri seti

No	Li	Wi	Ri	Firmanın Kullandığı Stok Malzemesi Miktarı
1	1705	930	1	21 adet 3000 mm x 1500 mm x 0,75 mm
2	1705	780	1	
3	1630	1500	6	
4	1630	1459	2	
5	1630	1455	2	
6	1630	930	2	
7	1630	780	2	
8	1630	120	6	
9	1580	980	3	
10	1455	980	2	
11	1330	930	8	
12	1330	780	6	
13	980	930	1	
14	980	780	1	
15	930	730	2	
16	780	730	2	

Ek Tablo 3. Üçüncü sipariş veri seti

No	Li	Wi	Ri	Firmanın Kullandığı Stok Malzemesi Miktarı
1	1724	949	1	20 adet 3000 mm x 1500 mm x 1,25 mm
2	1724	799	1	
3	1649	1321	10	
4	1649	949	2	
5	1649	799	2	
6	1649	309	4	
7	1649	259	2	
8	1649	184	4	
9	1349	949	8	
10	1349	799	6	
11	1321	999	5	
12	999	949	1	
13	999	799	1	
14	999	309	2	
15	999	259	1	
16	999	184	2	
17	949	749	2	
18	799	749	2	

Ek Tablo 4. Dördüncü sipariş veri seti

No	Li	Wi	Ri	No	Li	Wi	Ri	Firmanın Kullandığı Stok Malzemesi Miktarı
1	1967	1419	1	16	1415	397	1	14 adet 3000 mm x 1500 mm x 0,80 mm
2	1965	1408	2	17	1413	1336	1	
3	1856	1408	2	18	1413	607	1	
4	1650	1407	2	19	1411	351	1	
5	1428	645	1	20	1405	1344	2	
6	1426	596	1	21	1357	448	1	
7	1418	535	1	22	1352	445	1	
8	1416	983	1	23	1352	445	1	
9	1416	637	1	24	1351	559	1	
10	1416	202	1	25	1348	580	1	
11	1415	1167	1	26	1348	184	1	
12	1415	792	1	27	1344	507	2	
13	1415	642	2	28	1342	904	2	
14	1415	637	1	29	919	387	2	
15	1415	630	1	30	666	311	2	

Ek Tablo 5. Beşinci sipariş veri seti

No	Li	Wi	Ri	Firmanın Kullandığı Stok Malzemesi Miktarı
1	3000	238	50	27 adet 3000 mm x 1500 mm x 2 mm
2	3000	158	50	
3	2024	326	12	
4	1500	80	24	
5	1489	180	12	
6	1489	158	12	
7	1115	180	36	
8	1115	175	36	
9	1091	180	18	
10	1085	261	20	
11	1084	110	20	
12	756	261	20	
13	747	110	20	

Ek Tablo 6. Altıncı sipariş veri seti

No	Li	Wi	Ri	Firmanın Kullandığı Stok Malzemesi Miktarı
1	1780	1015	1	11 adet x 4000 mm x 2000 mm x 3 mm
2	1780	1380	1	
3	1780	925	1	
4	1780	880	1	
5	3990	114	30	
6	3990	205	3	
7	3990	211	3	
8	3990	185	3	
9	3990	198	3	
10	3990	160	3	
11	3990	172	3	
12	3990	172	3	
13	3600	83	31	
14	3600	91	31	
15	3156	1060	2	
16	3156	899	2	

Ek Tablo 7. Yedinci sipariş veri seti

No	Li	Wi	Ri	No	Li	Wi	Ri	Firmanın Kullandığı Stok Malzemesi Miktar
1	920	610	12	21	1152	920	12	93 adet x 3200 mm x 1250 mm x 1,50 mm
2	2040	610	1	22	2040	1152	1	
3	1520	610	33	23	1520	1152	33	
4	1390	610	1	24	1390	1152	1	
5	1220	610	3	25	1220	1152	3	
6	1820	610	2	26	1820	1152	2	
7	1020	610	1	27	1152	1020	1	
8	1170	610	1	28	1170	1152	1	
9	720	610	1	29	1152	720	1	
10	820	610	2	30	1152	820	2	
11	1320	610	1	31	1320	1152	1	
12	1720	610	1	32	1720	1152	1	
13	1520	610	21	33	1520	1152	21	
14	1220	610	3	34	1220	1152	3	
15	920	610	8	35	1152	920	8	
16	820	610	1	36	1152	820	1	
17	1865	610	2	37	1865	1152	2	
18	1220	1146	11	38	1220	1152	11	
19	1146	920	2	39	1152	920	2	
20	1520	1146	8	40	1520	1152	8	

Ek Tablo 8. Sekizinci sipariş veri seti

No	Li	Wi	Ri	Firmanın Kullandığı Stok Malzemesi Miktarı
1	2040	1042	1	74 x 3000 mm x 1250 mm x 4 mm
2	1865	1042	2	
3	1820	1042	2	
4	1720	1042	1	
5	1520	1042	62	
6	1390	1042	1	
7	1320	1042	1	
8	1220	1042	6	
9	1220	1042	11	
10	1170	1042	1	
11	1042	1020	1	
12	1042	920	22	
13	1042	820	3	
14	1042	720	1	

Ek Tablo 9. Erol'a(1990) ait çalışmada kullanılan birinci grup veri seti

No	Li	Wi	Ri
1	1370	1010	41
2	1270	1010	41
3	1320	960	82
4	1010	650	82
5	960	590	82
6	1370	300	42
7	1010	350	16
8	1320	250	84
9	960	325	16
10	1370	200	42
11	600	250	84
12	650	200	84
13	325	250	16
14	350	200	16

Ek Tablo 10. Erol'a(1990) ait çalışmada kullanılan ikinci grup veri seti

No	Li	Wi	Ri
1	1270	1010	8
2	1320	960	8
3	1370	910	41
4	1270	910	49
5	910	540	82
6	170	300	50
7	1320	250	8
8	1270	200	50
9	910	275	16
10	550	300	84
11	300	275	16

Ek Tablo 11. Birinci sipariş için sezgisel program ile elde edilen çözümlerin sonuçları

Sıra No	Karşılaştırma Ölçütleri	Öncelik Kuralları						
		A _i	A _i R _i	R _i	L _i	L _i R _i	W _i	W _i R _i
1	Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi	5	5	5	5	5	5	5
2	En Az Malzeme Gereksinimi	5	5	5	5	5	5	5
3	Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı	7	7	7	7	7	7	7
4	Kesme Planı Çeşidi	5	4	4	5	5	4	4
5	Fire Oranı(%)	40	40	40	40	40	40	40

Ek Tablo 12. İkinci sipariş için sezgisel program ile elde edilen çözümlerin sonuçları

Sıra No	Karşılaştırma Ölçütleri	Öncelik Kuralları						
		A _i	A _i R _i	R _i	L _i	L _i R _i	W _i	W _i R _i
1	Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi	14	14	14	14	14	14	14
2	En Az Malzeme Gereksinimi	19	19	19	19	19	19	19
3	Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı	20	21	21	20	20	22	21
4	Kesme Planı Çeşidi	12	13	14	11	13	13	14
5	Fire Oranı(%)	5,26	10,53	10,53	5,26	5,26	15,79	10,53

Ek Tablo 13. Üçüncü sipariş için sezgisel program ile elde edilen çözümlerin sonuçları

Sıra No	Karşılaştırma Ölçütleri	Öncelik Kuralları						
		A_i	A_i R_i	R_i	L_i	L_i R_i	W_i	W_iR_i
1	Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi	15	15	15	15	15	15	15
2	En Az Malzeme Gereksinimi	16	16	16	16	16	16	16
3	Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı	19	19	20	19	19	20	19
4	Kesme Planı Çeşidi	12	12	15	13	12	15	12
5	Fire Oranı(%)	18,75	18,75	25,00	18,75	18,75	25,00	18,75

Ek Tablo 14. Dördüncü sipariş için sezgisel program ile elde edilen çözümlerin sonuçları

Sıra No	Karşılaştırma Ölçütleri	Öncelik Kuralları						
		A_i	A_i R_i	R_i	L_i	L_i R_i	W_i	W_iR_i
1	Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi	11	11	11	11	11	11	11
2	En Az Malzeme Gereksinimi	11	11	11	11	11	11	11
3	Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı	13	12	12	12	13	12	13
4	Kesme Planı Çeşidi	11	10	11	11	11	11	11
5	Fire Oranı(%)	18,18	9,09	9,09	9,09	18,18	9,09	18,18

Ek Tablo 15. Beşinci sipariş için sezgisel program ile elde edilen çözümlerin sonuçları

Sıra No	Karşılaştırma Ölçütleri	Öncelik Kuralları						
		Ai	AiRi	Ri	Li	LiRi	Wi	WiRi
1	Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi	24	24	24	24	24	24	24
2	En Az Malzeme Gereksinimi	24	24	24	24	24	24	24
3	Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı	26	26	26	26	26	26	26
4	Kesme Planı Çeşidi	15	13	14	16	13	15	14
5	Fire Oranı(%)	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33

Ek Tablo 16. Altıncı sipariş için sezgisel program ile elde edilen çözümlerin sonuçları

Sıra No	Karşılaştırma Ölçütleri	Öncelik Kuralları						
		Ai	AiRi	Ri	Li	LiRi	Wi	WiRi
1	Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi	6	6	6	6	6	6	6
2	En Az Malzeme Gereksinimi	9	9	9	9	9	9	9
3	Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı	11	11	10	10	11	11	11
4	Kesme Planı Çeşidi	10	11	10	10	10	11	10
5	Fire Oranı(%)	22,2	22,2	11,1	11,1	22,2	22,2	22,2

Ek Tablo 19. Birinci grup veri seti için sezgisel program ile elde edilen çözümlerin sonuçları

Sıra No	Karşılaştırma Ölçütleri	Öncelik Kuralları						
		A _i	A _i R _i	R _i	L _i	L _i R _i	W _i	W _i R _i
1	Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi	137	137	137	137	137	137	137
2	En Az Malzeme Gereksinimi	164	164	164	164	164	164	164
3	Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı	175	175	208	176	206	175	191
4	Kesme Planı Çeşidi	14	14	16	17	16	14	16
5	Fire Oranı(%)	6,71	6,71	26,83	7,32	26,6	6,71	16,46

Ek Tablo 20. İkinci grup veri seti için sezgisel program ile elde edilen çözümlerin sonuçları

Sıra No	Karşılaştırma Ölçütleri	Öncelik Kuralları						
		A _i	A _i R _i	R _i	L _i	L _i R _i	W _i	W _i R _i
1	Teorik Stok Malzemesi Gereksinimi	75	75	75	75	75	75	75
2	En Az Malzeme Gereksinimi	106	106	106	106	106	106	106
3	Satın Alınacak Stok Malzemesi Miktarı	106	106	129	106	106	131	106
4	Kesme Planı Çeşidi	10	12	13	10	12	15	12
5	Fire Oranı(%)	0	0	21,70	0	0	23,58	0

Ek Tablo 21. Birinci sipariş için ticari programla elde edilen çözüm

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
3000	1500	7

Ek Tablo 22. İkinci sipariş için ticari programla elde edilen çözüm

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
3000	1500	20

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
3000	1500	19

Ek Tablo 23. Üçüncü sipariş için ticari programla elde edilen çözüm

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
3000	1500	12

Ek Tablo 24. Dördüncü sipariş için ticari programla elde edilen çözüm

Ek Tablo 25. Beşinci sipariş için ticari programla elde edilen çözüm

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
3000	1500	25

Ek Tablo 26. Altıncı sipariş için ticari programla elde edilen çözüm

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
4000	2000	10

Ek Tablo 27. Yedinci sipariş için ticari programla elde edilen çözüm

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
3200	1250	82

Ek Tablo 28. Sekizinci sipariş için ticari programla elde edilen çözüm

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
3000	1250	68

Ek Tablo 29. Birinci grup veri seti için ticari programla elde edilen çözüm

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
2440	1220	175

Ek Tablo 30. İkinci grup veri seti için ticari programla elde edilen çözüm

Uzunluk	Genişlik ▲	Miktar
2440	1220	106

ÖZGEÇMİŞ

Ozan İbrahim Ethem BAĞRIYANIK, 1993 yılında Sivas ili Zara ilçesinde doğdu. 2011 yılında Prof.Dr. Necati Erşen Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun oldu. 2015 yılında İstanbul Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. Aynı yıl içerisinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Ağustos 2017'den itibaren KTO Karatay Üniversitesinde Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir. Yabancı dili İngilizcedir.

