



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Dikdörtgen parçalar ile iki boyutlu kesme ve paketleme problemi için sezgisel yöntemler kullanan bir hibrit metodoloji

A hybrid methodology using heuristic methods for two-dimensional cutting and packing problem with rectangular pieces

Yazar(lar) (Author(s)): Hüseyin FIRAT¹, Nuh ALPASLAN², Davut HANBAY³

ORCID¹: 0000-0002-1257-8518

ORCID²: 0000-0002-6828-755X

ORCID³: 0000-0003-2271-7865

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Fırat H., Alpaslan N. ve Hanbay D., “Dikdörtgen parçalar ile iki boyutlu kesme ve paketleme problemi için sezgisel yöntemler kullanan bir hibrit metodoloji”, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 979-988, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.487602

Dikdörtgen Parçalar ile İki Boyutlu Kesme ve Paketleme Problemi için Sezgisel Yöntemler Kullanan Bir Hibrit Metodoloji

Araştırma Makalesi / Research Article

Hüseyin FIRAT¹, Nuh ALPASLAN^{2*}, Davut HANBAY¹

¹Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, İnönü Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Bingöl Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 26.11.2018 ; Kabul/Accepted : 21.01.2019)

ÖZ

Kesme ve paketleme problemi, endüstrilerde farklı amaçlar için kullanılan malzemelerden belirli büyüklük ve oranlarda küçük parçaların kesilmesi işlemidir. Bu problem, matematiksel modellerle ifade edilemediğinden dolayı, çözüm için çok boyutlu uzayda kombinasyonel optimizasyon kullanılır. Bu problemin amacı, yerleştirme işlemi için kullanılan malzemenin kullanılabilirliğini arttırmak ve fire oranını minimize etmektir. Bu çalışmada, iki boyutlu düzenli kesme ve paketleme problemine, geliştirilmiş alt-sol, alt-sol dolgu yerleşim algoritmaları, uygun olmayan çokgen ve ilk uygun azalan sezgisel algoritmalarından oluşan birleştirilmiş bir yöntem ile çözüm sunulmuştur. Parçaların belirli bir permütasyon sırasına göre alt-sol kısımdan başlayarak yerleşimi için geliştirilmiş alt-sol yerleşim algoritması, yerleşim modelinde mevcut boş alanlara uygun parçaların yerleştirilmesi için alt-sol dolgu algoritması, parçalar arasında geometrik çakışmayı önlemek için uygun olmayan çokgen yöntemi ve parçalar alanlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralandıktan sonra seçim algoritması olarak da ilk uygun azalan sezgisel algoritması kullanılmaktadır. 11 farklı test verisi için yerleştirme işlemi gerçekleştirilmiş ve performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Birleştirilmiş sezgisel yöntemlerle gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda P2 ve P10 yerleşim modellerinde firesiz bir yerleşim olduğu görülmektedir. Bu da optimal çözümün elde edildiğini göstermektedir. Diğer yerleşim modellerinde ise, % 4.54 ile % 16.7 aralığında fire oranı elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, kesme ve paketleme probleminin çözümü için önerilen sezgisel yöntemlerin etkinliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kesme ve paketleme problemi, uygun olmayan çokgenler, geliştirilmiş alt-sol ve alt-sol dolgu yerleşim teoremi, ilk uygun azalan sezgisel algoritması.

A Hybrid Methodology Using Heuristic Methods for Two-Dimensional Cutting and Packing Problem with Rectangular Pieces

ABSTRACT

The cutting and packing problem is the process of cutting small pieces of certain sizes and proportions from materials used for different purposes in industries. Because this problem cannot be expressed by mathematical models, combinational optimization in multidimensional space is utilized for the solution. The aim of this problem is to increase the usability of the material used for the placement process and to minimize the trim loss. In this study, a solution is presented to two-dimensional regular cutting and packing problem by a combined method consisting of improved bottom-left, bottom-left fill placement algorithms, no-fit polygon and first fit decreasing heuristic algorithms. The improved bottom-left placement algorithm for the placement of parts starting from the bottom-left part according to a certain permutation order, bottom-left fill algorithm for the placement of suitable pieces to the available free spaces in placement model, no-fit polygon method for preventing the geometric overlap between the parts and the first fit decreasing heuristic algorithm is used as the selection algorithm after ordering from large to small according to the parts areas. Placement process and performance evaluation was performed for 11 different test data. As a result of the studies carried out with combined heuristic methods, it is seen that there is a placement without any waste in P2 and P10 placement models. This shows that the optimal solution is obtained. In other placement models, a trim loss was obtained between 4.54% and 16.7%. The experimental results show the effectiveness of the proposed heuristic methods for the solution of the cutting and packing problem.

Keywords: Cutting and packing problem, no-fit polygons, improved bottom-left and bottom-left fill placement theorem, first-fit decreasing heuristic algorithm.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : nalpaslan@bingol.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kesme ve paketleme problemi, günlük hayatta pek çok farklı şekilde ortaya çıkmaktadır. Bir insanın, bir bavul veya dolabın içine elbiselerini yerleştirilmesi veya bir dondurucuda gıda maddelerinin yerleştirilmesi vb. gibi paketleme problemleri örnek olarak verilebilir. İnsanlar, kesme ve paketleme problemini sezgisel ve mekânsal farkındalık kullanarak belli bir dereceye kadar çözebilmektedir. Ancak, benzer pek çok kesme ve paketleme probleminin olduğu endüstriyel ortamlarda, bu problemi manuel yolla çözmek genel itibariyle mümkün değildir ve daha çok insan gücü gerektirdiği için maliyet açısından da uygun bir durum değildir. Kesme ve paketleme probleminin bilgisayar destekli otomasyonu ise, bu probleme oldukça iyi bir çözüm sunmaktadır. Bu çözüm akademik ve endüstriyel tabanlı çalışmalar yapan topluluklar için oldukça iyi bir araştırma konusu olmuştur. Bilgisayarlarda sezgisel veya mekânsal farkındalık olmadığından dolayı düzenler oluşturulurken, algoritmaya dayalı yöntemler geliştirilmiştir. Endüstriyel tabanlı çalışmalarda problemler genel itibariyle karmaşık olduğundan dolayı daha fazla modelleme gerektirmektedir.

Kesme ve paketleme problemi, birleştirici optimizasyon problemidir [1]. Bu problemin genel tanımı "büyük bir malzemenin belirli oranlarda ve belirli büyüklüklerde küçük parçaların kesilmesidir. İmalat endüstrilerinin çoğunda hammaddelerin küçük parçalara kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi genel itibariyle atıkla sonuçlanmaktadır. Bundan dolayı, fazla olan atık miktarını olabildiğince azaltmak ve elde bulunan malzemenin kullanımını maksimum yapmak istenmektedir. Bu problemin örnekleri, sac metal, kâğıt, giyim, cam, plastik, deri, otomotiv vb. gibi pek çok endüstride görülmektedir [2]. Kesme ve paketleme problemi ile ilgili 1940'lı yıllardan bu yana çeşitli çalışmalar olmasına rağmen, daha çok 1960'lı yılların başlarında araştırma alanı olmuştur. Geçtiğimiz yarım yüzyılda, pek çok endüstri için daha iyi kesim kalıpları üretmek adına birçok teknik geliştirilmiştir. Kesme ve paketleme endüstrisinde ve akademik literatürde var olan çok sayıda problem, aynı türden bir probleme gönderme yapmasından dolayı, kesme ve paketleme problemindeki esas yapıyı araştırmak ve akademik toplulukta araştırmaların verimliliğini arttırmak için problemleri sınıflandırmak oldukça önemliydi. Bu doğrultuda, 1990 yılında Dyckhoff, problem tiplerini tanımlayabilmek için dört farklı özellikten oluşan bir sınıflandırma topolojisi önermiştir [3].

Birinci özellik, problem boyutunun tanımlanmasıdır. Bir, iki, üç ve N boyutlu problemler olabilir. Genel itibariyle problemler 1/2/3 boyutludur ve N-Boyutlu kesme ve paketleme problemi dışında açıklayıcıdır. N boyutlu bir problem için kamyon yüklemesi örneği düşünülebilir. Bu örnek üç mekânsal boyut içermektedir, ancak ağırlık da önemli bir faktör olduğunda başka bir mekânsal olmayan boyut eklenmektedir. Bu durumda, uzunluk, yükseklik, genişlik ve ağırlık olmak üzere boyut sayısı dört olmaktadır. N boyuttaki problemlere, veri depolama

için bilgisayar belleğinin dinamik dağılımı ve sermaye bütçeleme problemi de örnek olarak verilebilir.

İkinci özellik, görev türüdür. Burada iki önemli durum vardır: i) yerleştirme yapılacak kaynak üzerine tüm parçalar yerleştirilir, ii) yerleştirme yapılacak kaynak sınırlıdır ve tüm parçalar yerleştirilemez. Birinci durumda, kaynak üzerine yerleştirilecek olan parçaların iyi bir şekilde düzenlenmesi üzerinde durulurken, ikinci durumda ise amaç, bazı nesnel işlevleri en aza indirmek için sınırlı sayıdaki kaynaklara olabildiğince çok parça yerleştirmektir.

Üçüncü özellik, yerleştirme işleminin yapılacağı kaynakların (kullanılacak olan malzemenin veya nesnelere) çeşitliliğini içermektedir (iki boyutlu paketlemede kullanılan malzemeler). Burada oluşabilecek durumlar şunlardır: i) tek bir kaynak, ii) birden fazla aynı kaynak ve iii) birden fazla farklı kaynak. İlk durumdaki farklılık, yerleştirme yapılacak kaynaklar arasında herhangi bir etkileşim olmamasıdır. Birden fazla aynı kaynağın kullanıldığı ikinci durumda, mevcut kaynak üzerinde yerleştirme işlemi tamamlandıysa, yeni bir kaynak üzerinde yerleştirme işleminin başlatılması gerekmektedir. Son durum olan farklı kaynakların kullanıldığı durumda ise, üretilen çözümlerin kalitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir ve bir kez daha, bir kaynağın yerleştirme işleminin tamamlanması halinde yeni bir kaynağın yerleştirme işleminin ne zaman başlayacağı tanımlanmalıdır.

Dördüncü özellik ise, yerleştirme işlemi için kullanılacak olan küçük parçaların çeşitliliği ile ilgilidir (iki boyutlu paketlemedeki şekiller). Dört farklı durum vardır: i) aynı parçalar/şekiller, ii) az sayıda ve farklı parçalar, iii) çok sayıda aynı parça ancak birkaç farklı parça ve iv) birçok aynı ve birçok farklı parça. Bu parçaların/şekillerin yerleştirilme işlemleri problemde probleme değişkenlik göstermektedir. Bu dört özellik, kesme ve paketleme problemi için bir sınıflandırma oluşturacak şekilde birleştirilebilmektedir.

Kesme ve paketleme probleminin iş ve endüstrideki uygulamaları çok geniş olduğundan, son yıllarda birçok araştırmacı bu problemi çözmek için çeşitli yöntemler geliştirmiştir. Bu problem ile ilgili literatürde uygulanabilir sezgisel (uygun olmayan çokgen, alt-sol, alt-sol dolgu ve geliştirilmiş alt-sol vb.) ve metasezgisel (genetik algoritma, benzetimli tavlama, tabu arama vb.) yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler ile kesme ve paketleme probleminin çözümü için malzeme kullanımdan elde edilecek olan verimi arttırmak ve optimal çözümler üretmek amaçlanmaktadır. Bu problemin çözümü için sadece metasezgisel veya sezgisel yöntemler kullanmak yerine, bu yöntemlerin birleştirilme durumu çoğu araştırmacı tarafından araştırılmış ve son yıllarda metasezgisel yöntemler ile alt-sol, geliştirilmiş alt-sol veya alt-sol dolgu sezgisel yöntemleri kullanılarak geliştirilen yerleşim düzenlerinde elde edilen verimlilik değerlerinin başarılı olduğu gözlemlenmiştir. [4] nolu çalışmada, metasezgisel yöntemlerden genetik algoritma (GA) ve

sezgisel yöntemlerden ise geliştirilmiş alt-sol ile alt-sol dolgu yöntemleri kullanılarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir. 16, 17, 25 ve 29 dikdörtgen parçanın yerleştirme işlemi gerçekleştirildiğinde sırasıyla %91, %87, %79 ve %88 oranında bir verimlilik değeri elde edilmiştir. [5] nolu çalışmada metasezgisel yöntemlerden genetik algoritma ve sezgisel yöntemlerden geliştirilmiş alt-sol yerleşim algoritması kullanılarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir. 10, 28, 40, 50 ve 97 dikdörtgen parçanın yerleştirme işlemi gerçekleştirildiğinde sırasıyla %100, %93.75, %96.38, %93.75 ve %96 oranında bir verimlilik değeri elde edilmiştir.

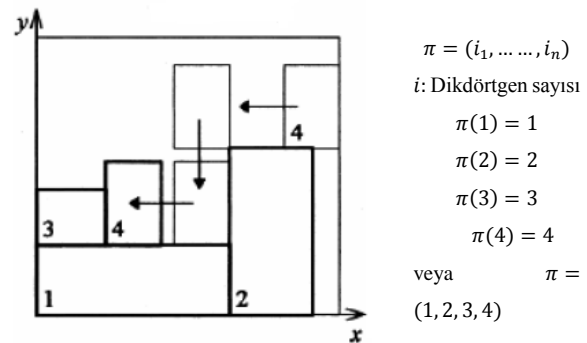
Bu çalışmada ise, herhangi bir metasezgisel yöntem kullanılmadan sadece sezgisel yöntemlerle dikdörtgen parçalar kullanılarak iki boyutlu kesme ve paketleme problemine çözüm aranması amaçlanmıştır. Çalışmadaki temel amaç, endüstriyel ve imalat sektörlerinde kullanılan malzemeden (sac metal, alüminyum, cam, kâğıt) maksimum verim alınacak şekilde bir planlama yapmaktır. Bu planlamada ise, kullanılan malzemeden elde edilecek olan atık (fire) değeri oldukça önemlidir. Fire değeri ne kadar az olursa, verimlilik de o kadar fazla olur. Fire değeri, kullanılan malzemeden istenilen parçaların kesilmesiyle doğrudan bağlantılıdır. Kesim işleminin iyi yapılması için de endüstriden endüstriye farklılık gösteren malzeme üzerine yerleştirilecek olan parçaların (şekillerin) maksimum bir şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Yerleştirme işlemlerinin verimli bir şekilde gerçekleşmesi için geliştirilmiş alt-sol [6], alt-sol dolgu [7], uygun olmayan çokgenler [8] ve ilk uygun azalan sezgisel algoritmalarından [9] oluşan birleştirilmiş bir yöntem ele alınmıştır.

Bu çalışma kapsamında, ikinci bölümde, yerleşim planlarının oluşturulması için geliştirilmiş alt-sol ve alt-sol dolgu yerleşim yöntemleri, üçüncü bölümde, yerleştirme işleminde kullanılacak olan dikdörtgen parçalar arasında oluşabilecek geometrik çakışmayı önlemek için kullanılan uygun olmayan çokgenler yöntemi, dördüncü bölümde, parçaların yerleştirilmesi için seçim algoritması olarak ilk uygun azalan sezgisel algoritması, beşinci bölümde, bu çalışmadaki kesme ve paketleme probleminin çözümü için nasıl bir yaklaşımın uygulandığı, altıncı bölümde, yerleştirme işlemleri için kullanılan veri setleri, yedinci bölümde, yerleştirme işleminin gerçekleşmesi için kullanılan birleştirilmiş sezgisel yöntemler ile ilgili geliştirilen uygulamalar ve son bölümde ise, yapılan çalışmalara dair sonuçlar yer almaktadır.

2. GELİŞTİRİLMİŞ ALT-SOL VE ALT-SOL DOLGU YERLEŞİM YÖNTEMİ (IMPROVED BOTTOM-LEFT AND BOTTOM-LEFT FILL PLACEMENT METHOD)

Kesme ve paketleme problemini çözmek için kullanılan yaklaşımlardan biri, sırasıyla, yerleştirme işlemi için kullanılacak olan parçaları belirli bir sıraya bırakmak, daha sonra en alttaki ve en soldaki en uygun konumu seçmek ve bu konuma parçaları sırasıyla yerleştirmektir.

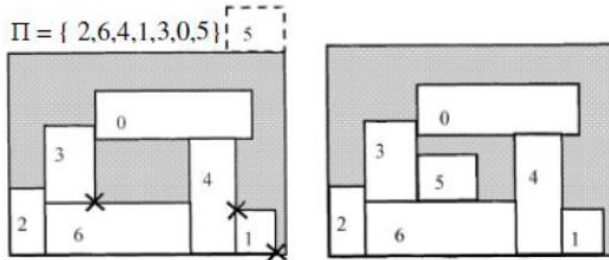
Literatürde bu işlem, bir alt-sol yerleştirme politikası olarak bilinmektedir. Bu yerleştirme işlemlerini gerçekleştirmek için alt-sol yerleşim algoritmaları kullanılmaktadır. Literatürde üç önemli alt-sol yerleşim algoritması bulunmaktadır. Bunlardan ilki 1996 yılında Jakobs tarafından kullanılmıştır [10]. Jakobs, girdi olarak yerleştirilecek olan dikdörtgen parçaların bir listesini tutar ve her bir parçayı sırayla yerleştirme yapılacak alana/yüzeze yerleştiren alt-sol yöntemini kullanmaktadır. Yerleştirme işleminde, öncelikle yerleştirilecek olan dikdörtgen sağ üst konuma yerleştirilmekte ve mümkün olduğu kadar aşağı ve sola kaydırılarak art arda hareket ettirilmektedir. İkinci algoritma ise, 1999 yılında Liu ve Teng tarafından kullanılan geliştirilmiş alt-sol yerleşim algoritmasıdır [11]. Bu algoritmada, kaydırma yöntemi kullanılarak yerleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Liu ve Teng, aşağı doğru hareketin mümkün olmadığı durumlarda sadece sola kayma işleminin gerçekleşmesi için aşağı doğru hareket önceliği veren geliştirilmiş bir alt-sol sezgisel yerleşim yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirilmiş alt-sol algoritması, aynı alt-sol algoritmasında olduğu gibi yerleştirilecek olan parça öncelikle sağ üst konuma yerleştirilmekte ve Şekil 1'de gösterildiği gibi bu parça olabildiğince aşağı doğru ve daha sonra altında kalan parçanın üst kenarı boyunca bir köşeyle karşılaşınca kadar sola doğru hareket ettirilmektedir. Bir köşeyle karşılaştıktan sonra bu parça yine aşağı doğru ve sonra tekrar olabildiğince sola doğru hareket ettirilmektedir. Bu şekilde tüm parçalar yerleştirilinceye kadar işlemler devam ettirilmektedir. Liu ve Teng tarafından geliştirilen alt-sol yerleşim yönteminde, Jakobs yerleşim yönteminden farklı olarak, yerleşim işleminde kullanılan dikdörtgen parçalar için aşağı yönde hareket önceliklidir ve geliştirilmiş alt-sol yerleşim algoritmasıyla daha iyi yerleşim planları elde edilmektedir. Geliştirilmiş alt-sol algoritması ile gerçekleştirilen yerleştirme işlemi Şekil 1'de gösterildiği gibi π permütasyonu ile ifade edilebilmektedir.



Şekil 1: Geliştirilmiş alt-sol algoritması (Improved bottom-left algorithm) [12]

Yerleştirme işlemlerinde kullanılan algoritmalarından biri de alt-sol dolgu algoritmasıdır. Alt-sol dolgu algoritması, yerleşim modelinde mevcut boş alanlara uygun parçaların yerleştirildiği bir yöntemi kapsamaktadır [13]. Bu algoritma, Şekil 2'de gösterildiği gibi parçaları daha önce konumlandırılmış olanlarla örtüşmeden, yerleştirme

işleminin yapılacağı yüzeyin alt-sol yerine mümkün olduğu kadar sırayla ve boşlukları doldurarak yerleştirmeyi içermektedir. Bu çalışma kapsamında yerleştirme işlemleri için geliştirilmiş alt-sol ve alt-sol dolgu algoritmaları kullanılmaktadır.

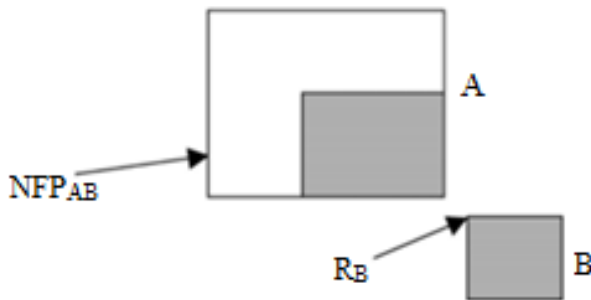


Şekil 2. Alt-sol dolgu algoritması (Bottom-left fill algorithm) [9]

3. UYGUN OLMAYAN ÇOKGENLER YÖNTEMİ (NO-FIT POLYGONS (NFP) METHOD)

Uygun olmayan çokgenler, düzenli ve düzensiz şekilleri/parçaları içeren kesme ve paketleme problemlerinde yerleştirilecek olan parçalar arasında çakışma olup olmadığını test etmek için kullanılan güçlü bir veri yapısıdır. 1966 yılında Art tarafından “şekil kaplama” olarak tanımlanan bu trigonometrik tekniğin ardındaki fikir şu şekilde ortaya çıkmıştır [14]:

Verilen iki çokgenden, A (sabit parça) ve B (A sabit parçanın etrafında dönen parça), B çokgeni üzerinde R_B bir referans noktası olmak üzere, B ile bağlantılı A çokgeninin uygun olmayan çokgeni NFP_{AB} olarak ifade edilmektedir. Bu NFP_{AB} , Şekil 3’te gösterildiği gibi örtüşme olmadan A çokgeninin sınırı etrafında B çokgeni kaydırıldığında R_B referans noktası tarafından izlenen noktalar kümesidir. Her iki şekil arasındaki etkileşime göre üç durum ortaya çıkabilir. Çokgen B, referans noktasının NFP_{AB} içinde olacağı şekilde yerleştirilmişse, çokgen A ile çakışır; Referans noktası NFP_{AB} ‘nin sınırındaysa, çokgen B çokgen A’ya değeri, ama çakışma olmaz. Son olarak, referans noktası NFP_{AB} ‘nin dışındaysa, A ve B çokgenleri üst üste gelmez veya dokunmaz.



Şekil 3. A ve B çokgenleri tarafından üretilen NFP_{AB} (NFP_{AB} produced by polygons A and B)

Literatürde bulunan bazı uygulamalarda görülenlerden farklı olarak, genellikle çokgen B’nin çokgen A ile örtüşüp örtüşmediğini tespit etmek için uygun olmayan çokgen yöntemi kullanılmaktadır. Ancak burada bu geometrik araç ideal bir ortam elde etmek için alt-sol ve

alt-sol dolgu sezgisel yerleştirme yöntemleri ile birleştirilmiştir. Uygulamamız için, A ve B’nin iki rastgele nokta kümesini içeren Minkowski toplamı kullanılarak, uygun olmayan çokgen yapımı gerçekleştirilmiştir. Minkowski toplamı, denklem 1’de gösterildiği gibi A’daki her noktayı B’deki her noktaya ekleyerek elde edilir.

$$A \oplus B = \{a + b : a \in A, b \in B\} \quad (1)$$

4. İLK UYGUN AZALAN SEZGİSEL ALGORİTMASI (FIRST-FIT DECREASING HEURISTIC ALGORITHM)

İlk uygun azalan sezgisel algoritması, Coffman tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir [15]. Bu sezgisel algoritmanın uygulanması şu şekildedir. Öncelikle, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçaların alanları hesaplanır ve alanlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. Daha sonra, yerleştirme yapılacak yüzeye alan en büyük olan dikdörtgen parça ile yerleştirme işlemi başlar. Eğer yerleştirilebiliyorsa, bir sonraki alan en büyük olan dikdörtgen parçanın yerleştirilmesi gerçekleştirilir. Yerleştirme işlemleri gerçekleştirilirken, geliştirilmiş alt-sol veya alt-sol dolgu yerleştirme algoritmalarından biri seçilir. Yerleştirme yapılacak yüzeye tüm parçalar yerleştirilinceye kadar işlemler devam eder. Bu sezgisel algoritmanın kullanılmasının avantajı, boşlukların en verimli bir şekilde kullanılmasıdır.

5. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI (SOLUTION APPROACH)

Bu çalışmada, dikdörtgen parçaların yerleştirme işlemleri için ikinci bölümde anlatılan geliştirilmiş alt-sol ve alt-sol dolgu yerleşim yöntemleri, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçalar arasında olabilecek çakışma durumunu önlemek için üçüncü bölümde anlatılan uygun olmayan çokgen yöntemi ve seçim algoritması olarak da dördüncü bölümde anlatılan ilk uygun azalan sezgisel algoritması birleştirilerek iki boyutlu dikdörtgen şekillerin kesme ve paketleme problemlerine çözüm aranmaktadır. Bu çözüm yönteminde, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçalar alanlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır. Yerleştirme işleminde ise, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçalar için başlangıç noktası sol-üst köşe alınarak yerleşim işlemi gerçekleştirilmektedir. Yerleştirme işlemi en fazla alana sahip dikdörtgen parça ile başlamaktadır ve daha sonra yerleştirilecek olan diğer dikdörtgen parçalar alanlarına göre uygun konumlara yerleştirilmektedir. Ayrıca, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçalar döndürülebilmektedir. Önerilen çözüm yaklaşımı için geliştirilen algoritma adımları şu şekildedir.

Adım 1: Genişliği W ve yüksekliği H olan yerleştirme işlemi için kullanılacak dikdörtgen yüzeyi ve genişlikleri w_i ve yükseklikleri h_i , $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ olacak şekilde yerleştirilecek olan n tane dikdörtgen parçayı belirle.

Adım 2: Yerleştirme işlemi için kullanılacak olan dikdörtgen parçaları alanlarına göre büyükten küçüğe doğru sırala.

Adım 3: Yerleştirilecek olan dikdörtgen parçalardan alanı büyük olanı başlangıç olarak belirlenen sol-üst köşeye yerleştir.

Adım 4: Yerleştirme işlemi için kullanılacak mevcut boş yerleri belirle.

Adım 5: Mevcut olan boş yerlere geometrik çakışma olup olmadığı kontrol edilerek yerleştirilecek olan dikdörtgen parçaları alanlarına göre azalan sırada yerleştir.

Adım 6: n tane dikdörtgen parça yerleştirildikten sonra Adım 7'ye git.

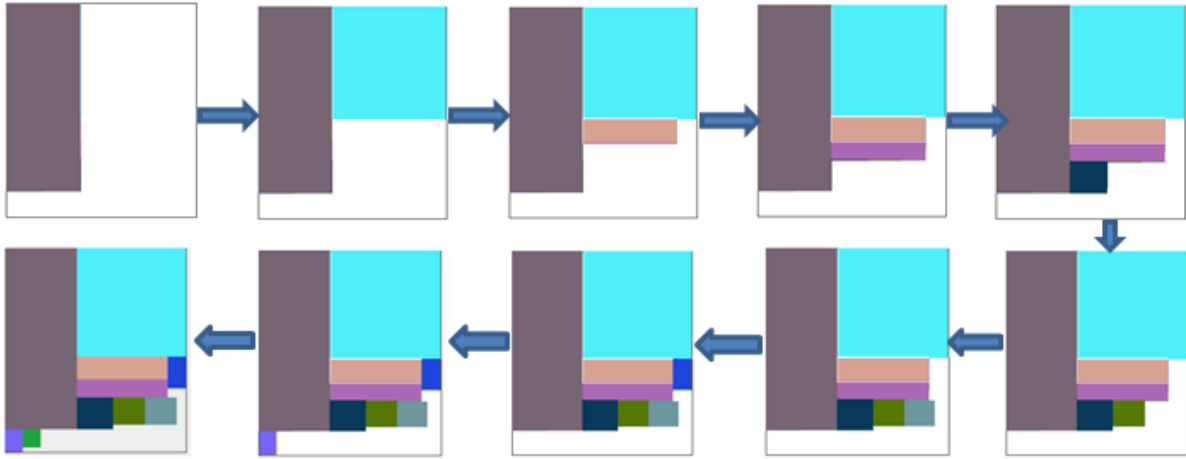
Adım 7: Bitir.

$$\text{Verimlilik} = (KA / BYA) * 100 \quad (2)$$

$$\text{Fire} = ((BYA - KA) / BYA) * 100 \quad (3)$$

Büyük yüzeyin alanı (BYA), yerleştirme yapılacak yüzeyin toplam alanıdır. Kullanılan alan (KA) ise, yerleştirme yapılacak yüzey üzerine yerleştirilen dikdörtgen parçaların alanları toplamıdır. Verimlilik değeri, yerleştirme işlemi için kullanılan yüzeyin kaçta kaçının kullanıldığını göstermektedir. Fire değeri ise, yerleştirme işlemi yapılan yüzeyde kullanılmayan alanı göstermektedir.

Yerleştirme yapılacak yüzey boyutları (Genişlik x Yükseklik) = 40×45 , Yerleştirme işlemi için kullanılacak dikdörtgen parça sayısı 10 ve bu dikdörtgen parçaların boyutları (genişlik ve yükseklikleri) $\{(16,40), (24,24), (20,5), (20,4), (8,7), (7,6), (7,6), (4,7), (4,5), (4,4)\}$ şeklinde verilmiş olsun. Önerilen çözüm yaklaşımı için geliştirilen algoritma adımları kullanılarak gerçekleştirilen örnek uygulamada 10 adet dikdörtgen parçanın yerleşim işlem adımlarının gösterimi Şekil 4'teki gibidir.



Şekil 4. Önerilen çözüm yaklaşımı için geliştirilen örnek uygulama (Sample application developed for proposed solution approach)

6. VERİ SETİ (DATASET)

Çalışmada, 11 farklı veri seti kullanılmıştır. Yerleştirilecek olan farklı sayıda dikdörtgen parça için problem numarası PNo , yerleştirme işlemi için kullanılan yüzeyin boyutları YB , dikdörtgen parçaların genişliği w_i , yüksekliği h_i ve $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ olmak üzere 11 farklı veri seti için kullanılan dikdörtgen parçaların genişlik ve yükseklikleri Çizelge 1-8'de verilmiştir. Çizelge 1-8, P1 – P11 çalışmalarında kullanılan dikdörtgen parçalara ait yükseklik (H), genişlik (W) ve adet (Adt) bilgilerini göstermektedir. Çizelge 1-8'de W, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçanın genişliğini, H, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçanın yüksekliğini ve Adt ise, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçadan kaç adet yerleştirileceğini ifade etmektedir.

Çizelge 1. P1 ve P2 [17] veri seti özellikleri (Specifications of P1 and P2 dataset)

	W	H	Adt		W	H	Adt
P1 YB (90x50)	40	20	1	P2 YB (40x40)	7	6	2
	20	20			4	4	1
	30	30			16	40	
	30	20			8	7	
	30	10			20	5	
	40	10			20	4	
	10	10			24	24	
	20	10			4	7	
	50	10			4	5	

Çizelge 2. P3 ve P4 [18] veri seti özellikleri (Specifications of P3 and P4 dataset)

P3 (YB=100x80)	W	H	Adt	P4 YB (20x22)	W	H	Adt
	20	40	1		4	1	2
	40	10			4	5	
	30	10			9	4	
	10	10			3	5	
	20	20			3	9	
	10	30			1	4	
	30	10			5	3	
	20	10			5	5	
	20	20			7	2	
	30	50			9	3	
	30	30			3	13	
	50	10			2	8	
	20	30			2	15	4
						5	4
					10	6	
			7	2			

Çizelge 3. P5[17] ve P6 [4] veri seti özellikleri (Specifications of P5 and P6 dataset)

P5 YB (30 X 54)	W	H	Adt	P6 YB (20 X 32)	W	H	Adt
	23	9	1		3	9	1
	14	6			3	12	
	19	4			6	3	
	6	6			11	3	
	12	21			9	3	
	5	4			6	2	
	6	4			5	2	
	4	6			8	3	
	7	13			11	5	
	9	4			11	12	
	7	6			5	12	
	14	11			8	5	
	23	6			3	6	
	4	7			5	4	
	16	6	11		6		
8	4	3	11				
4	14						

Çizelge 4. P7 veri seti özellikleri (Specifications of P7 dataset) [18]

P7 YB (40 X 18)	W	H	Adt	W	H	Adt
	11	3	1	11	3	1
	13	3		2	3	
	9	2		5	4	
	7	2		6	4	
	9	3		12	2	
	7	3		1	2	
	11	2		3	5	
	13	2		13	5	
	11	4		12	4	
	13	4		1	4	
	3	5		5	2	
	11	2		6	2	
	2	2				

Çizelge 5. P10 veri seti özellikleri (Specifications of P10 dataset)

P10 YB (18 X 26)	W	H	Adt
	2	2	14
	3	3	14
	4	4	6
	1	1	20
	5	5	2
	6	6	3
	2	6	1

Çizelge 6. P8 veri seti özellikleri (Specifications of P8 dataset) [18]

P8 YB (60 X 32)	W	H	Adt	W	H	Adt	
	18	6	1	5	8	1	
	12	2		5	7		
	7	10		5	3		
	23	4		12	7		
	1	4		13	7		
	7	7		6	3		
	4	11		10	6		
	5	6		16	9		
	7	2		4	1		
	11	6		10	4		
	19	10		24	6		
	5	11		25	7		1
	9	9		21	5		
	1	2		2	4		2

Çizelge 7. P9 veri seti özellikleri [17] (Specifications of P9 dataset)

P9 YB (80 X 84)	W	H	Adt	W	H	Adt
	61	38	1	32	4	1
	5	72		9	33	
	7	4		9	15	
	10	7		4	8	
	5	52		11	7	
	9	5		9	34	
	8	10		5	8	
	4	7		8	21	
	20	7		32	31	
	9	7		4	4	
	7	24	5	4	6	
	9	4	5	7	2	
	29	4	7	7		
	5	5	5	12		

Çizelge 8. P11 veri seti özellikleri (Specifications of P11 dataset) [18]

P11 YB (60 X 32)	W	H	Adt	W	H	Adt
	7	5	1	5	4	1
	14	5		6	7	
	14	8		18	5	
	4	8		3	5	
	21	13		7	3	
	7	11		5	3	
	14	11		18	4	
	14	5		3	4	
	4	5		12	2	
	18	3		6	2	
	21	3	18	5		
	17	11	21	5	1	
	4	11	17	3		
	7	4	4	3		

7. GELİŞTİRİLEN UYGULAMALAR (DEVELOPED APPLICATIONS)

Önerilen çözüm yöntemiyle gerçekleştirilen uygulamalarda hazır olarak alınan 11 adet veri seti üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Veri setinde yerleştirilecek olan dikdörtgen parçaların sayısı, yerleştirme yapılacak yüzeyin boyutları ve yerleştirme işlemi için kullanılacak olan parçaların genişlik ve yükseklikleri bulunmaktadır. Geliştirilen uygulamalarda, Çizelge 1-8'de verilen veri setleri için yerleştirme işlemleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen yerleşim düzeninin optimal çözüme yakınlıkları incelenmiştir. Yerleştirme işlemi için kullanılacak büyük yüzeyin genişliği W , yüksekliği H olsun. Yerleştirme işlemi için kullanılacak olan n tane dikdörtgen parçanın yükseklikleri h_i ve genişlikleri w_i olsun. Yerleştirme yapılacak büyük yüzeyin alanı BYA ve yerleştirilecek olan dikdörtgen parçaların alanları toplamı DP şeklinde

gösterilmekte ve denklem 4 ve denklem 5'teki gibi belirlenmektedir. Burada denklem 6 ve 7'deki eşitlikler sağlanarak yerleştirme işlemleri gerçekleştirilmektedir.

$$BYA = W * H \quad (4)$$

$$DP = \sum_{i=1}^N w_i * h_i \quad (5)$$

$$h_i * w_i \leq H \text{ veya } W, \quad \forall_i \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N w_i * h_i \leq W * H \quad (7)$$

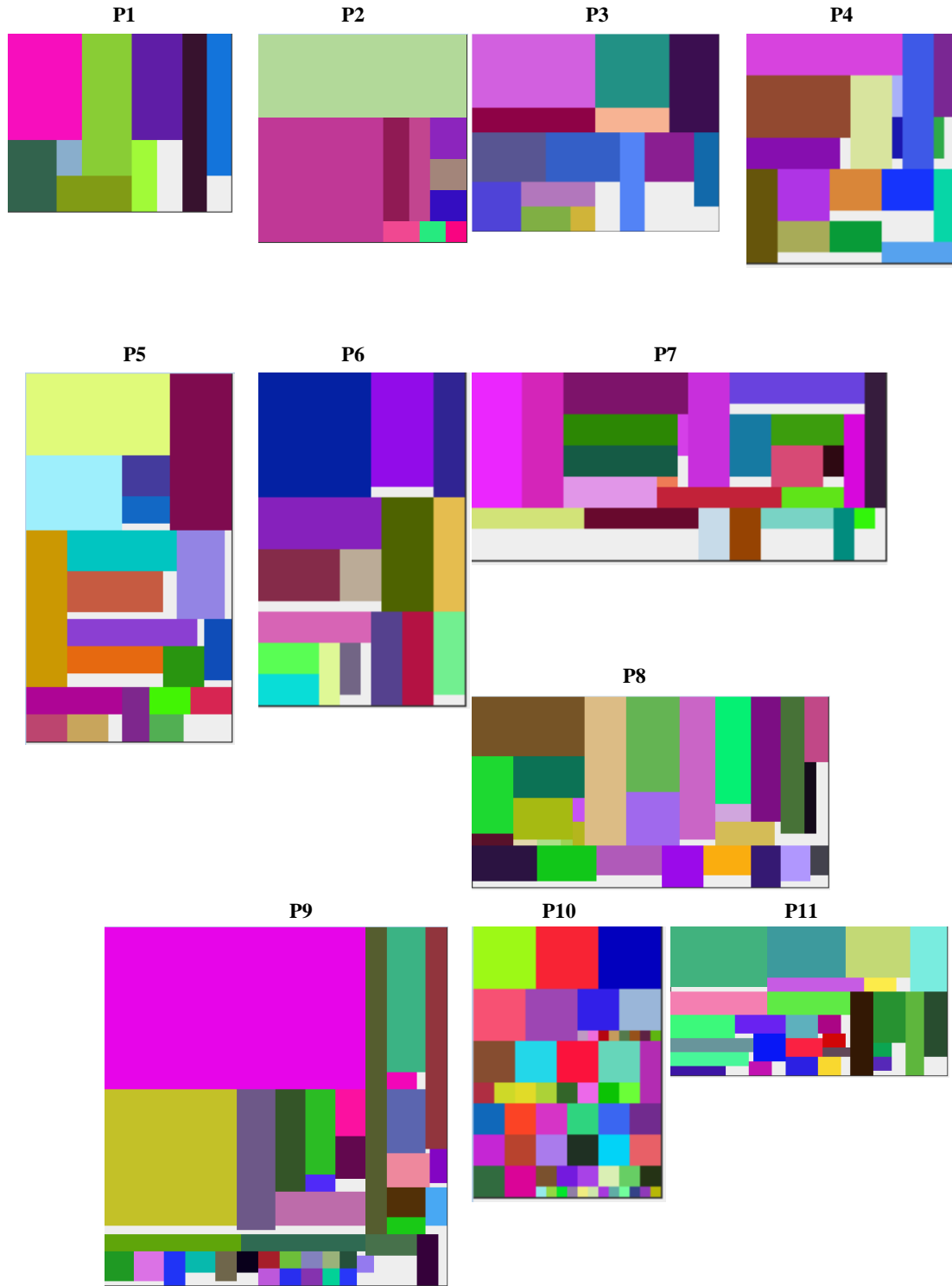
Geliştirilen uygulamalarda, $BYA - DP$ değerinin minimum olması istenmektedir. Bu değer 0 olursa, optimal çözüm elde edilmiş olur. Yani, yerleştirilecek olan dikdörtgen parçaların tümü, yerleştirme işlemi için kullanılan yüzeye yerleştirilmiştir. Verimlilik değeri %100 ve firesiz bir yerleşim olmuştur. Ancak, optimal çözümü elde etmek her zaman mümkün olmayabilir. Bu durumda, elde edilen yerleşim düzenlerinin verimi (performansı) denklem 8'de gösterilen eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\text{verimlilik} = \left(\frac{DP}{BYA} \right) * 100 \quad (8)$$

Önerilen çözüm yaklaşımıyla geliştirilen yazılımda gerçekleştirilen uygulamalar sonucu elde edilen çözümlerden bazıları Şekil 5'te gösterilmiştir.

Uygulamalar java programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Java tabanlı uygulamalar geliştirmek için uygun olan NetBeans IDE 8.2 programı ile intel i7 2.6GHz işlemci özelliklerine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Geliştirilen uygulamalarda açık gri renkli alanlar fire olarak nitelendirilmektedir. Yerleştirme işlemi için kullanılan yüzeyin boyutları YB , yerleştirilen dikdörtgen parça sayısı DS , verimlilik değeri V ve yerleştirme işleminin gerçekleşmesi için geçen süre (sn) T olmak üzere elde edilen sonuçlar çizelge 9'da gösterilmiştir.

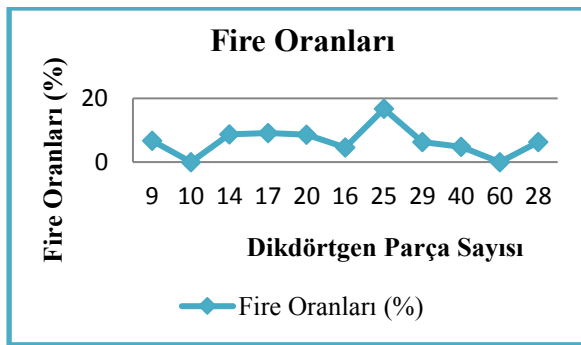
Birleştirilmiş sezgisel yöntemler kullanılarak geliştirilen uygulamalarda parça sayısı ile elde edilen fire oranlarının karşılaştırılması Şekil 6'daki gibidir.



Şekil 5. Yerleştirilen dikdörtgen parçaların renkli alanlarla ve oluşan fire alanının gri alanlarla ifade edildiği örnek uygulamalar (Exemplary applications where the placed rectangular parts are represented with colored areas and trim loss areas are represented by gray areas)

Çizelge 9. Yerleştirme işlemi sonucu verimlilik değerleri (Efficiency values as a result of placement process)

<i>Çalışma</i>	<i>DS</i>	<i>YB</i>	<i>V</i>	<i>T</i>
P1	9	90x50	%93,33	1
P2	10	40x40	%100	2
P3	14	100x80	%91,25	1
P4	17	20x22	%90,9	1
P5	20	30x54	%91,35	2
P6	16	20x32	%95,46	1
P7	25	40x18	%83,3	2
P8	29	60x32	%93,75	1
P9	40	80x84	%95,23	3
P10	60	18x26	%100	2
P11	28	60x32	%93,75	2



Şekil 6. Parça sayısının ve fire oranlarının karşılaştırılması (Comparison of the number of parts and trim loss rates)

Gerçekleştirilen uygulamalardaki amaç, optimal çözümü elde etmektir. Çizelge 9 ve Şekil 6'da elde edilen verimlilik ve fire değerleri göz önüne alındığında P2 ve P10 örnek uygulamalarında optimal çözüme ulaşılmıştır. Diğer uygulamalarda ise, optimal çözüme ulaşılamamış ve belirli fire değerleri elde edilmiştir. Bu fire değerleri % 4,54 ile % 16,7 arasında değişkenlik göstermektedir. Bu uygulamalarda optimal çözüme ulaşılamamasına rağmen, elde edilen fire değerlerinden pek çoğu endüstriler için oldukça iyi ve kabul edilebilir değerler olarak görülmektedir. Örnek uygulamaların çözümü 1-3 saniye arasında gerçekleşmiştir. Bu değerler oldukça iyi ve hızlı çözümler elde edildiğini göstermektedir. Ayrıca, yerleştirilen parçalar arasındaki benzerlik fire değerini etkilemektedir. Parçalar arasındaki benzerlik arttıkça fire değeri azalmaktadır. Örnek olarak P10 uygulamasında yerleştirilen parçalar kare şeklindedir ve firesiz bir yerleşim gerçekleşmiştir. P4 ve P7 uygulamalarında ise, yerleştirilen parçalar farklı boyutlarda dikdörtgen parçalardan oluşmaktadır ve parçalar arasındaki benzerlik diğer uygulamalarda yerleştirilen parçalara göre az olduğundan dolayı en fazla fire değerine sahip çözümler elde edilmiştir.

Çizelge 10-11'de aynı veri seti kullanılarak dikdörtgen parçalar ile kesme ve paketleme probleminin çözümü için [4] ve [5] nolu çalışmalar ile karşılaştırma yapılmış ve önerilen birleştirilmiş sezgisel yöntemin başarımları

kıyaslaması yapılmıştır. [4] nolu çalışmada metasezgisel yöntemlerden GA ve sezgisel yöntemlerden geliştirilmiş alt-sol ve alt-sol dolgu yerleşim yöntemleri kullanılmıştır. [5] nolu çalışmada metasezgisel yöntemlerden GA ve sezgisel yöntemlerden geliştirilmiş alt-sol yerleşim yöntemi kullanılarak çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 10. [4] nolu çalışma ile önerilen yöntemin başarımlarını karşılaştırılması (Performance comparison of the proposed method with study [4])

<i>Yöntem</i>	<i>Veri Seti</i>	<i>Verimlilik</i>
[4]	P4	%87
	P6	%91
	P7	%79
	P8	%88
Önerilen Yöntem	P4	%90,9
	P6	%95,46
	P7	%83,3
	P8	%93,75

Çizelge 10'da [4] nolu çalışma ile önerilen yöntemin 4 farklı veri seti için verimlilik değerleri hesaplanmış ve P4, P6, P7 ve P8 veri setleri için [4] nolu çalışmada sırasıyla %87, %91, %79 ve %88 oranında verimlilik değerleri elde edilmiştir. Aynı veri setleri için önerilen yöntemde ise sırasıyla %90,9, %95,46, %83,3 ve %93,75 verimlilik değerleri elde edilmiş ve [4] nolu çalışmadaki değerlere göre daha yüksek çıkmıştır. Bu verimlilik değerleri göz önüne alındığında, önerilen yöntemin, karşılaştırma yapılan [4] nolu çalışmadaki yöntemden daha başarılı olduğu görülmektedir.

Çizelge 11. [5] nolu çalışma ile önerilen yöntemin başarımlarını karşılaştırılması (Performance comparison of the proposed method with study [5])

<i>Yöntem</i>	<i>Veri Seti</i>	<i>Verimlilik</i>
[5]	P2	%100
	P9	%96,38
	P11	%93,75
Önerilen Yöntem	P2	%100
	P9	%95,23
	P11	%93,75

Çizelge 11'de [5] nolu çalışma ile önerilen yöntemin 3 farklı veri seti için verimlilik değerleri hesaplanmış ve P2, P9 ve P11 veri setleri için [5] nolu çalışmada sırasıyla %100, %96,38 ve %93,75 oranında verimlilik değerleri elde edilmiştir. Aynı veri setleri için önerilen yöntemde ise sırasıyla %100, %95,23 ve %93,75 oranında verimlilik değerleri elde edilmiş ve [5] nolu çalışmadaki değerler ile karşılaştırıldığında P2 ve P11 veri setleri için aynı verimlilik değerleri elde edilmiştir. P9 veri seti için ise, önerilen yöntem ile [5] nolu çalışmada elde edilen verimlilik değerleri arasında %1,15'lik bir fark oluşmuştur. Ancak her iki çalışmada da elde edilen verimlilik değerleri endüstriler için oldukça iyi değerler

olarak kabul edilmektedir. Bu yüzden önerilen yöntem başarılı olarak kabul edilebilir bir yöntemdir.

8. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, geliştirilmiş alt-sol ve alt-sol dolgu yerleşim yöntemleri, uygun olmayan çokgen ve ilk uygun azalan sezgisel yöntemleri birleştirilerek dikdörtgen parçalar ile düzenli iki boyutlu kesme ve paketleme problemlerine çözüm aranmıştır. Amaç, yerleşim işleminde optimal çözümü (firesiz yerleşim) elde etmektir. Geliştirilen sezgisel yazılım ile hazır olarak alınan 11 farklı veri kümesi ile 11 farklı çalışma yapılmıştır. Veri kümelerinde yer alan ve yerleştirme işlemi için kullanılacak olan 9, 10, 14, 16, 17, 20, 25, 28, 29, 40 ve 60 farklı parça sayıları için birleştirilmiş sezgisel yazılım çalıştırılmış ve performans incelemesi gerçekleştirilmiştir. P2 ve P10 çalışmalarında firesiz bir yerleşim gerçekleştirilmiştir ve bu çalışmalar ile optimal çözüm elde edilmiştir. Diğer çalışmalarda ise, % 4,54 - % 16,7 arasında fire değeri elde edilmiştir. Önerilen yöntem, [4] ve [5] nolu çalışmadaki yöntemler ile sırasıyla 4 (P4, P6, P7, P8) ve 3 (P2, P9, P11) farklı veri setleri için karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin başarılı olduğu görülmüştür. Elde edilen verimlilik değerleri göz önüne alındığında, önerilen çalışma yönteminin kesme ve paketleme probleminin çözümü için uygun bir yöntem olduğu sonucu çıkarılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Söke A. and Bingül Z., "İki Boyutlu Giyotinsiz Kesme Problemlerinin Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile Çözümlerinin İncelenmesi A Study of Simulated Annealing Algorithm for Solutions of Two Dimensional Non-Guillotine Cutting Problems", *Journal of Polytechnic*, 8: 25–35, (2005)
- [2] Burke E. K., Hellier R. S. R., Kendall G. and Whitwell G., "Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem", *European Journal of Operational Research*, 179: 27–49, (2007)
- [3] Dyckhoff H., "A typology of cutting and packing problems", *European Journal of Operational Research*, 44: 145–159, (1990)
- [4] Mancapa V., Van Niekerk T. I. and Hua T., "A Genetic algorithm for two dimensional strip packing problems", *South African Journal of Industrial Engineering*, 20(2): 145–162, (2009)
- [5] Vijay Anand K. and Ramesh Babu A., "Heuristic and genetic approach for nesting of two-dimensional rectangular shaped parts with common cutting edge concept for laser cutting and profile blanking processes", *Computers & Industrial Engineering*, 80: 111–124, (2015)
- [6] Dowsland K. A., Vaid S. and Dowsland W. B., "An algorithm for polygon placement using a bottom-left strategy", *European Journal of Operational Research*, 141: 371–381, (2002)
- [7] Lo Valvo E., "Meta-heuristic Algorithms for Nesting Problem of Rectangular Pieces", *Procedia Engineering*, 183: 291–296, (2017)
- [8] Gomes A. M. and Oliveira J. F., "Solving Irregular Strip Packing problems by hybridising simulated annealing and linear programming", *European Journal of Operational Research*, 171: 811–829, (2006)
- [9] Albayrak E., "İki Boyutlu Dikdörtgen Şekilli Stok Kesme Problemleri için Sezgisel-Metasezgisel Algoritma ve Yazılım Geliştirme", *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2013)
- [10] Jakobs S., "On genetic algorithms for the packing of polygons", *European Journal of Operational Research*, 88: 165–181, (1996)
- [11] Liu D. and Teng H., "An improved BL-algorithm for genetic algorithm of the orthogonal packing of rectangles", *European Journal of Operational Research*, 112: 413–420, (1999)
- [12] Soke A. and Bingul Z., "Hybrid genetic algorithm and simulated annealing for two-dimensional non-guillotine rectangular packing problems", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19: 557–567, (2006)
- [13] Soke A., "Genetik Algoritma ve Benzetilmiş Tavlama ile İki Boyutlu Giyotinsiz Kesme Problemlerine Olasılıksal Yaklaşım", *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2003)
- [14] Junior B. A., Pinheiro P. R. and Saraiva R. D., "A hybrid methodology for nesting irregular shapes: Case study on a textile industry?", *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 6: 15–20, (2013)
- [15] Fırat H., "İmalat Sektöründe Parça Yerleştirme ve Kesme Probleminin Optimizasyonu", *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2018)
- [16] Ergün K., "Kesme ve Paketleme Problemleri ve Araştırmaya Yönelik Bir Metot Geliştirilmesi ve Bu Metodun Etkinliğinin Sınanması", *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2004)
- [17] Burke E. K., Kendal G., Whitwell G. "A new placement heuristic for the orthogonal stock-cutting problem", *Operations Research*, 52(4): 655–671, (2004)
- [18] Euro Special Interest Group on Cutting and Packing, *Listing Gallery: Data Sets 2D-Rectangular*. Available from https://paginas.fe.up.pt/~esicup/datasets?category_id=3 (Erişim Tarihi: 01 Ocak 2019)