

İki Boyutlu Giyotinsiz Kesme Problemlerinin Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile Çözümlerinin İncelenmesi

Alev SÖKE*, Zafer BİNGÜL**

*Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik-Bilgisayar
Eğitimi Bölümü, Umutepe Kampüsü, 41380 İzmit KOCAELİ

**Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
Veziroğlu Kampüsü, 41300 İzmit KOCAELİ

ÖZET

Bu çalışmada, benzetilmiş tavlama (BT) algoritması ve geliştirilmiş aşağı sol (AS) algoritmasının ortak kullanımıyla iki boyutlu giyotinsiz kesme problemlerinin çözümü için melez bir yaklaşım geliştirilmiştir. 17 adet birbirinden farklı dikdörtgen parçadan oluşan beş ayrı test problemi ve 29 adet birbirinden farklı dikdörtgen parçadan oluşan bir test problemi üzerinde çalışılmıştır. Bu test problemlerinde, 200x200 birimlik alan ile sınırlandırılmış bir büyük parça üzerinde sıfır fire değerini verecek şekilde parçaların yerleştirilmesi istenmektedir. Bu çalışmada BT algoritmasında kullanılan farklı parametrelerin, kesme problemlerinin çözümleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen en iyi sonuca ait parametre grubu: Lundy ve Mees soğutma çizelgesi, yer değiştirme komşuluk hareketi ve iç döngü sayısı:3 olarak bulunmuştur. Ayrıca 17 ve 29 parçalı test problemleri için elde edilen çözümlerin fire değerlerinin sırasıyla %4 - %21 ve %10 - %17 arasında değiştiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Benzetilmiş tavlama algoritması, Geliştirilmiş aşağı sol algoritması, Kesme problemleri.

A Study of Simulated Annealing Algorithm for Solutions of Two Dimensional Non-Guillotine Cutting Problems

ABSTRACT

In this study, a hybrid approach using both simulated annealing (SA) algorithm and improved bottom left (BL) algorithm for solution of the two dimensional non-guillotine cutting problems were developed. Five different test problems consisting of 17 individual rectangular pieces and a test problem consisting of 29 individual rectangular pieces were studied. In test problems, it is desired to place the pieces on a main piece limited with 200x200 unit field which has zero trim loss value. In this work, the influences of different parameters using in SA algorithm on solutions of cutting problems were investigated. Parameter group obtained from best result (Lundy and Mees cooling schedule, swap neighborhood move and number of inner loop:3) was found. Also trim loss values obtained from results of 17 and 29 pieces test problems were seen to change between 4% - 21% and 10% - 17% respectively.

Keywords: Simulated annealing algorithm, Improved bottom left algorithm, Cutting problems.

1. GİRİŞ

Pek çok değişik endüstride farklı koşullar ve amaçlarla karşımıza çıkan kesme problemlerinin her biri birer eniyileme problemidir. Bu problemlerin çözümü için belirli bir matematiksel model gösterilemediğinden, çözümü bulmak için çok boyutlu uzayda kombinasyonel eniyileme yapılır. Kesme problemlerinin zorluğu, büyük parça üzerine yerleştirilecek parçaların geometrisine ve problemin doğasından gelen kısıtlamalarına (çok farklı çözümlerin varlığına) bağlıdır. Problemlerin çözüm yaklaşımları çeşitli sayıdaki bu kısıtlamalara bağlı olarak geliştirilir (1).

Kesme problemlerinin çözümü, büyük parça üzerinde düzgün biçimli veya düzgün biçimli olmayan çok

sayıda küçük parçanın en elverişli yerleşim planının bulunmasını gerektirir. Ağaç, cam, kağıt ve metal endüstrilerinde düzgün biçimli parçaların kesilmesiyle ilgilenilirken, gemi, tekstil, deri ve metal endüstrilerinde düzgün biçimli olmayan başka bir deyişle bilinen geometrik şekiller içermeyen parçaların kesilmesi veya paketlenmesiyle ilgilenilir. Kesme problemlerinde eniyilemenin amacı, yerleştirmenin yapılacağı büyük parçanın kullanılabilirliğini arttırmak ve böylelikle kullanılmayan alanı başka bir deyişle fire miktarı en az olan yerleşim planını bulmaktır (2). *Yerleşim planı*, küçük parçaların büyük parça içindeki yerleşimini gösterir ve küçük parçaların yerleşim sırasını temsil eden permütasyonlar ile temsil edilir. Yerleşim planında kullanılmayan alan veya yerleşim sırasında olup da

yerleşim planı içinde yer alamayan parçalar *fire* olarak isimlendirilir. Büyük parçanın alanı, yerleştirilecek parçaların toplam alanına eşit olabileceği gibi sınırsız da kabul edilebilir. Kesme problemlerinde kesme işlemi büyük parça üzerinde bir uçtan diğer uca kadar yapılmadığında *giyotinsiz kesme* adını alır (3). Giyotinsiz kesme problemleri, parçaların yerleşimi için bir takım kısıtlamalarla sınırlandırılmazlar. Herhangi bir parça, yerleşim planında çakışmaya imkan vermeyen, mümkün olan her konuma yerleştirilebilir.

Kesme problemleri, -küçük bir çalışma uzayı içinde olması durumu hariç- bu problemlere en iyi çözümün üretilmesinin imkansız olduğu NP-tam problemler olarak bilinir. Arama uzayının büyüklüğü nedeniyle kesme problemlerinin çözümü için yönlendirilmemiş bir arama yapmak oldukça verimsiz olduğundan, probleme ait en iyi çözümün bulunabilmesi için büyük arama uzayı içinde düzenli bir arama yapılması gerekir (4). Bu sebeple araştırmalar, en iyi çözüme yakın iyi çözümleri verimli bir şekilde bulan olasılıksal yaklaşım teknikleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Kesme problemleri için uygulanabilir bu tekniklerden bazıları benzetilmiş tavlama (BT) algoritması, genetik algoritmalar (GA), saf evrim (SE), tabu arama (TA) ve karınca algoritmalarıdır (KA). Bu çalışmada ele alınan kesme problemlerinin çözümü için BT algoritması kullanılmıştır.

BT algoritması, fiziksel tavlama kavramının ilk olarak kombinasyonel eniyileme problemlerinde kullanıldığı 1980'li yıllarda, bir eniyileme aracı olarak sunulmuştur. Pek çok yerel en küçük değere sahip doğrusal olmayan fonksiyonların en iyi değerlerinin bulunması için tasarlanmıştır. Bu algoritma, elektronik devre tasarımı, görüntü işleme, yol bulma problemleri, seyahat problemleri, kesme ve paketleme problemleri, akış ve iş çizelgeleme problemleri için başarılı sonuçlar vermiştir (5, 6, 7).

BT algoritması, dikdörtgen parçalar içeren iki boyutlu kesme ve paketleme problemlerinin çözümü için çok az sayıda araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Kämpke, BT algoritmasını kullanarak paketleme problemleri üzerine çalışan ilk araştırmacılardan biridir (8). BT algoritmasını farklı soğutma çizelgelerinin kullanımıyla bir boyutlu kutu paketleme problemlerine uygulamıştır. Dowsland, BT algoritmasını kullanarak eş ve eş olmayan kutuları içeren yükleme problemleri üzerinde çalışmıştır (9). Dowsland çalışmasında herhangi bir yerleştirme algoritması kullanmamıştır. Faina, giyotinli ve giyotinsiz kesme problemleri için iki ayrı yerleştirme algoritması kullanarak melez bir BT algoritması geliştirmiştir (10). Giyotinsiz kesme problemleri için kullandığı yerleştirme algoritması, giyotinli kesme problemleri için kullandığı algoritmadan daha iyi sonuçlar vermiştir. Leung permütasyona dayalı bir BT algoritmasıyla iki boyutlu dikdörtgen biçimindeki parçaların giyotinsiz kesim gerektiren yerleşimleri üzerine çalışmıştır (3). Çalışmasında kendisinin geliştirdiği fark yöntemi (FY) algoritmasıyla birlikte

geliştirilmiş aşağı sol (AS) algoritmasını da kullanmıştır. FY algoritması, her parçanın yerleştirilmesinden önce büyük parça üzerindeki boş alanları saptayan ve yerleştirme yaparken öncelikle bu alanları kullanan bir aşağı sol algoritmasıdır. FY algoritması diğer yerleştirme algoritmalarına göre daha yoğun yerleşim planları üretmektedir. Ancak büyük parça üzerindeki boş alanların hesaplanması, güncellenmesi ve kontrolü diğerlerine göre daha fazla zaman gerektirmektedir. Leung çalışmasında sekiz farklı test problemi kullanmıştır. Parça sayıları 10 ile 30 arasında değişen bu test problemleri birbirleriyle eş ve eş olmayan parçalar içermektedir. Bu test problemlerinin en iyi çözümü sıfır *fire* değeri vermektedir. Leung, benzer ikinci bir çalışmada da iki boyutlu kesme problemlerinin çözümü üzerinde GA ve BT algoritması yaklaşımlarını karşılaştırmıştır (11). Yerleştirme algoritması olarak FY algoritmasını kullanmıştır. Bu çalışmada BT algoritması yeni nesil için GA işlemcileri tarafından üretilen çocukların mı yoksa ailelerinin mi seçileceğine karar vermektedir.

Bu çalışmada, Bölüm 2'de BT algoritması ve parametrelerinden, Bölüm 3'te yerleşim planlarının oluşturulması için kullanılan geliştirilmiş AS algoritmasından söz edilmektedir. Bölüm 4'te bu çalışmadaki kesme problemlerinin çözümü için nasıl bir çözüm yaklaşımı uygulandığı anlatılmaktadır. Çalışmada kullanılan 17 ve 29 parçalı test problemlerinin BT algoritmasının farklı parametreleri için elde edilen sonuçları ve yapılan değerlendirmeler Bölüm 5'te verilmiştir. Son olarak Bölüm 6'da da çalışmaya dair sonuçlar tartışılmıştır.

2. BENZETİLMİŞ TAVLAMA ALGORİTMASI

BT algoritması, Kirkpatrick tarafından eniyileme problemlerinin çözümü için geliştirilmiş bir yerel arama algoritmasıdır. Katı bir maddenin enerji durumunu en aza indiren fiziksel sistemlerdeki tavlama süreci ile kombinasyonel eniyileme problemlerindeki çözüm süreci arasındaki benzerlik üzerine kurulmuştur (6).

2.1. Metallerde Tavlama

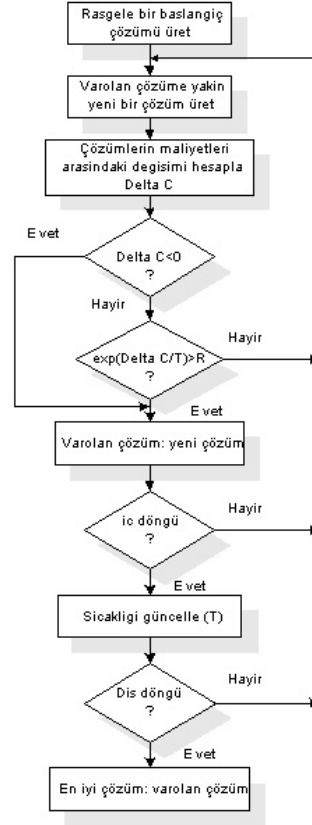
Tavlama terimi, bir metalin belirli bir süre için sıcaklığının artırılıp, kristalleşinceye kadar yavaş yavaş soğutulduğu ısıl bir işlemi anlatır. Tavlama sonucunda meydana gelen kristalleşme, metalin mekanik özelliklerini iyileştiren moleküler yapı değişiklikleriyle meydana gelir. Bu değişiklikler metale ait metal parçacıklarının azalan yeni enerji durumuna göre kendilerini yeniden düzenlemeleridir. Metallerde tavlamanın amacı; stresi azaltmak, yumuşaklığı, dayanıklılığı ve esnekliği arttırmak ve belirli bir mikro yapıyı oluşturmaktır.

Tavlama işlemi iki aşamada gerçekleşmektedir; birinci aşama istenen sıcaklığa kadar ısıtma, ikinci aşama belirli bir sıcaklıkta tutma ve soğutmadır (12). Tavlama işleminin ilk aşaması olan ısıtma işleminde

metal istenen sıcaklığa kadar ısıtılır. Metal parçacıkları yüksek sıcaklıklarda oldukça yüksek enerjiye ve serbestliğe sahiptir. Sıcaklığın yavaş yavaş düşürülmesiyle gerçekleştirilen soğutma işlemi sırasında parçacıkların enerjileri azalır. Her yeni enerji duruma uygun olarak yeni bir dengeye girmek üzere kendilerini tekrar düzenlerler. Soğutma işlemi genellikle oda sıcaklığına kadar olur. Bu işlemlerde zaman önemli bir parametredir. Soğutma çok hızlı olursa kristal yapı içerisinde düzensizlikler ve bozulmalar görülür. Metal parçacıkları, enerjinin en düşük olduğu duruma ulaşamaz ve enerjinin en yüksek olduğu kristalimsi durumda soğutma işlemi sona erer (6). Bu da metalde şekil bozukluğuna hatta çatlamalara neden olur. Gerçek tavlama süresi, gerekli değişim hareketleri için yeteri derecede uzun olmalıdır. Mükemmel bir kristal yapının elde edilmesi ancak bu süre içinde metalin yavaş soğutulması ile gerçekleştirilir. Ayrıca tavlama sıcaklığı da bu süreçte önemli bir konudur. Sıcaklık artırılarak tavlama işlemi hızlandırılabilir.

2.2. Benzetilmiş Tavlama Algoritması

BT algoritması eniyileme problemlerinin çözümü için son zamanlarda oldukça sık başvurulan bir yerel arama algoritmasıdır. Fiziksel sistemlerde gerçekleştirilen tavlama işleminin, kombinasyonel eniyileme problemleri için model olarak kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. BT algoritması, pek çok değişkene sahip fonksiyonların en büyük veya en küçük değerlerinin bulunması ve özellikle pek çok yerel en küçük değere sahip doğrusal olmayan fonksiyonların en küçük değerlerinin bulunması için tasarlanmıştır (5). BT algoritması ile bir eniyileme probleminin çözümünü gösteren akış diyagramı (13) Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. BT algoritmasının akış diyagramı.

Arama süreci ilk olarak, fiziksel sistemlerde herhangi bir duruma karşılık gelen, rasgele seçilmiş bir başlangıç çözümüyle başlar. Daha sonra, önceden belirlenmiş bir komşuluk hareketi kullanılarak varolan çözüme yakın olası yeni bir çözüm üretilir. İki çözümün maliyetleri arasındaki değişim miktarı (ΔC) Denklem 1’de ifade edilen eşitlik yardımıyla hesaplanır. Eşitlikteki C_i i.ötelemdeki çözümü (yeni elde edilen çözümü), C_{i-1} i-1. ötelemdeki çözümü (varolan çözümü) temsil etmektedir.

$$\Delta C = C_i - C_{i-1} \quad (1)$$

Genel bir yerel arama süreci için maliyette bir azalma gerçekleşmişse, yani hesaplanan ΔC değeri sıfırdan küçükse yeni çözüm varolan çözümle değiştirilir. Aksi durumda, yeni çözüm Denklem 2’de ifade edilen eşitsizliğe göre belirli bir olasılıkla kabul edilir. Denklem 2’de ifade edilen eşitsizliğin sağlanmadığı durumda yeni bir çözüm üretmek üzere ikinci adıma dönülür.

$$\exp(-\Delta C/T) > R \quad (2)$$

Denklem 2’de gösterilen R (0,1) arasında üretilmiş düzgün dağılımlı rasgele bir sayı ve T sıcaklık olarak bilinen kontrol parametresidir. Yeni çözümün varolan çözüm olarak kabul edildiği bu adımdan sonra algoritmanın iç döngü koşulu için verilen sayıya ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilir. İç döngü koşulu her sıcaklıkta kaç kez olası yeni çözüm üretileceğine karar verir. Eğer iç döngü koşulu sağlanıyorsa, sıcaklık önceden

belirlenmiş soğutma çizelgesine göre belirli bir güncelleme kuralı ile güncellenerek azaltılır. Aksi halde ikinci adıma gidilerek yeni bir çözüm üretilir ve bu adıma kadar olan işlemler tekrarlanır. Bu adımdan sonra dış döngü koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Dış döngü koşulu, algoritmanın sonlandırma kriteridir. Eğer dış döngü koşulu sağlanıyorsa, en iyi çözüm yerel en küçük maliyet miktarına sahip varolan çözümdür ve algoritma bu çözümle sonlandırılır. Aksi halde, algoritma ikinci adıma dönerek bu adıma kadar olan işlemleri tekrarlar.

Başlangıçta T yüksek bir sıcaklıktır. Sıcaklığın yüksek olmasından dolayı yeni çözümlerin kabul edilme olasılığı oldukça yüksektir. Ayrıca başlangıçta sıcaklığın yüksek olması arama uzayında büyük adımlar atılmasına ve arama uzayının keşfedilmesine imkan verir (14). ΔC değerinin artan değerleri de arama uzayında farklı bölgelerde arama yapıldığını göstermektedir. T ve ΔC azalmaya başladıkça yeni çözümlerin kabul edilme olasılığı azalmakta ve böylece sistem daha kararlı hale gelmektedir.

2.3. Benzetilmiş Tavlama Algoritması Parametreleri

BT algoritması bir probleme uygulanmadan önce aşağıda sıralanan parametrelerden hangilerinin kullanılacağına belirlenmesi gerekmektedir (15, 16):

- Çözüm gösterimi,
- Maliyet fonksiyonunun belirlenmesi,
- Yakın çözümleri üreten mekanizmanın tanımlanması (komşuluk hareketi),
- Soğutma çizelgesinin seçimi,
- Dış döngü ve iç döngü koşulunun belirlenmesi.

Çözüm gösterimi, problemde problemde değişiklik göstermektedir. Gösterim yöntemi BT algoritmasının performansını etkileyen önemli etkenlerden biridir. Çözümlerin gösterimine ait iki genel gösterim şekli vardır (15). Birincisi ikili sayıların kullanıldığı ikili dizilerden oluşan gösterimdir. İkinci gösterim şekli ise tamsayı veya gerçel sayıların oluşturduğu dizilerdir.

Maliyet fonksiyonu, BT algoritması ve çözümü aranan eniyileme problemi arasındaki tek bağıdır ve bir ara yüz gibi işlem yapar (15). Olası çözümü bir giriş olarak alır ve çözüme ne kadar uygun olduğunun ölçüsünü gösteren bir sayı üretir. Uygunluğu gösteren bu sayının aralığı problemde problemde değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan maliyet fonksiyonu Denklem 3'de ifade edildiği gibidir.

$$\text{Fire} = (\text{Büyük parçanın alanı} - \text{Kullanılan alan}) / \text{Büyük parçanın alanı} \quad (3)$$

Büyük parçanın alanı toplam alandır. Kullanılan alan ise büyük parça üzerinde yerleştirilen küçük parçaların alanlarının toplamıdır. Elde edilen fire değeri bü-

yük parçanın kaçta kaçının kullanıldığını göstermektedir.

Komşuluk hareketi, BT algoritması içinde kullanılan önemli bir parametredir ve o anki çözüme en yakın olası yeni çözümün üretilmesi için kullanılır. Önceden kararlaştırılmış iç döngü koşulu sağlanıncaya kadar komşuluk hareketi yapılır ve yeni çözümler üretilir. Yapılan her komşuluk hareketi sonunda arama uzayında olası yeni bir çözüm elde edilir. Bu çalışmada iki farklı komşuluk hareketi üzerinde durulmuştur (3):

Yer değiştirme komşuluk hareketi; dizide yer değiştirmesi istenen rasgele iki elemanın seçilip bunların yer değiştirmeleriyle yapılır. Böylece yeni dizi elde edilmiş olur. Örneğin, (1, 2, 3, 4) elemanlarına sahip dizide rasgele olarak seçilmiş 1. ve 4. elemanın yer değiştirmesi yapıldığında (4, 2, 3, 1) elemanlarına sahip yeni bir dizi elde edilir. Kaydırma komşuluk hareketi; diziden rasgele bir elemanın seçilip bu elemanın yine rasgele seçilmiş bir elemanın önüne koyulmasıyla yapılır. Böylelikle yeni dizi elde edilir. Örneğin, (1, 2, 3, 4) elemanlarına sahip dizide rasgele seçilmiş 4. eleman rasgele seçilmiş 2. elemanın önüne koyularak (1, 4, 2, 3) elemanlarına sahip yeni dizi elde edilir.

Soğutma çizelgesi, BT algoritmasının performansını önemli derecede etkileyen parametrelerden biridir. Bu parametre algoritmanın her iterasyonunda sıcaklık değerini günceller. Soğutma işleminde kullanılan başlangıç sıcaklığı, son sıcaklık ve iterasyon sayısının doğru seçimi çözüme yakınsama açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada, iki farklı soğutma çizelgesi üzerinde durulmuştur (3, 7):

Orantısız azalımlı soğutma çizelgesinde, k . ve $k+1$. iterasyonlardaki T_k ve T_{k+1} sıcaklıkları, aralarında belirli bir α katsayısıyla ilişkilendirilmiştir. Her bir k iterasyonunda T_{k+1} sıcaklığı, Denklem 4'de ifade edilen eşitlikle yeniden hesaplanarak güncellenmektedir.

$$T_{k+1} = \alpha \cdot T_k \quad (4)$$

α katsayısı, iterasyon sayısı ile başlangıç sıcaklığı ve son sıcaklığa bağlı olarak Denklem 5'te ifade edilen eşitlikte hesaplanan değerlerle her adımda azaltılmaktadır.

$$\alpha = M \sqrt{\frac{T_s}{T_b}} \quad (5)$$

Denklem 5'de T_s son sıcaklığı, T_b başlangıç sıcaklığını ve M iterasyon sayısını göstermektedir. α katsayısı (0, 1) arasında değişmektedir.

Lundy ve Mees soğutma çizelgesinde; k . ve $k+1$. iterasyonlarda T_k ve T_{k+1} sıcaklıkları bir β katsayısıyla ilişkilendirilmiştir. Her iterasyonda sıcaklık, o iterasyon için hesaplanan β 'nin kullanımıyla bir önceki sıcaklığa göre azaltılır. Sıcaklığı güncellemek için Denklem 6'da ifade edilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$T_{k+1} = \frac{T_k}{(1 + \beta \cdot T_k)} \quad (6)$$

β katsayısı, iterasyon sayısı ile başlangıç sıcaklığı ve son sıcaklığa bağlı olarak Denklem 7'de ifade edilen eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$\beta = \frac{T_b - T_s}{M \cdot T_b \cdot T_s} \quad (7)$$

Bu eşitlikte, T_s son sıcaklığı, T_b başlangıç sıcaklığını ve M iterasyon sayısını göstermektedir. β katsayısı, 0'dan büyük bir değerdir.

BT algoritması arama süreci boyunca iki ana döngü kullanır (3, 16): Birincisi her sıcaklık değerinde kaç kez yeni olası çözüm üretileceğini belirleyen iç döngüdür. İkinci döngü ise algoritmanın ne zaman sonlandırılacağını belirleyen dış döngüdür. İç döngü koşulu sağlandığında sıcaklık güncellenir ve dış döngü koşulu yeniden kontrol edilir.

Benzetilmiş tavlama algoritması uygulanırken iç döngü koşulunun sağlanıp sağlanmadığını kontrol edebilmek için aşağıda sıralanan kriterlerden biri kullanılabilir:

- Olası yeni çözüm üretme sayısı.
- Olası yeni çözümler üretirken maliyet fonksiyonunda iyileşme olmaması hali.
- Yeteri kadar yeni çözüm üretiminin gerçekleştirilmesi.

Bütün bir arama sürecini sonlandırmak için üç tür sonlandırma kriteri kullanılabilir. Bunlar; iterasyon sayısı, maliyet miktarları arasındaki değişim miktarı ve sistemin son sıcaklığıdır. Bu kriterlerin, hesaplama sürelerine ve çözüm kalitelerine bakılarak içlerinden çalışma için en uygun olanı seçilebilir.

3. GELİŞTİRİLMİŞ AŞAĞI SOL ALGORİTMASI

Geliştirilmiş AS algoritması, yerleştirme problemlerinde küçük parçaları büyük parça içerisine yerleştirmek için kullanılan ve kaydırma tekniği üzerine kurulmuş bir algoritmadır (17). Geliştirilmiş AS sol algoritmasının işleyişi aşağıdaki adımları izler:

Adım 1: $r_{\pi(1)}$ parçası büyük parçanın en sol alt köşesine yerleştirilir.

Adım i: Verilen permütasyon sırasıyla yerleştirilecek küçük parça büyük parçanın sağ üst köşesine yerleştirilir. Parça öncelikle mümkün olduğunca aşağıya doğru, sonra da altında kalan parçanın üst kenarları boyunca sola doğru bir köşeyle karşılaşmaya kadar hareket ettirilir. Bir köşeyle karşılaşıldığında parça yine aşağıya doğru hareket ettirilir. Daha sonra mümkünse parça yine sola doğru hareket ettirilir. Bu işlemler yerleştirilecek parça için aşağıya hareket öncelikli olmak üzere

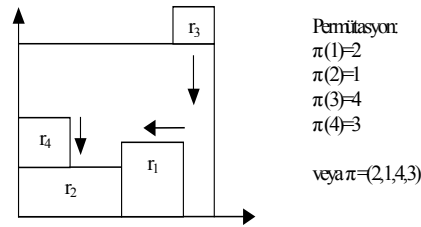
aşağıya ve sola doğru bir parça yada kenarla karşılaşmaya kadar devam ettirilir.

Parça sabit konumuna, çakışma olmaksızın aşağıya ve sola doğru hareketi artık gerçekleştiremez konuma geldiğinde ulaşır. Parçanın tamamının büyük parça içine yerleştirilemediği durumlarda, parça çıkartılır başka bir deyişle yerleştirilemez (3). Şekil 2'de geliştirilmiş AS algoritmasının parça yerleştirilirken nasıl çalıştığı bir örnek üzerinde gösterilmiştir. Oklar en iyi yerleşim için r_3 parçasının hareket yönünü göstermektedir.

Yerleşim planı aşağıdaki gibi bir π permütasyonu ile gösterilebilir.

$$\pi = (i_1, \dots, i_n) - \text{Permütasyon}$$

i: dikdörtgen parça sırası (r_i)



Şekil 2. Geliştirilmiş AS algoritmasının gösterimi

Çalışması anlatılan geliştirilmiş AS algoritmasının ve AS algoritmasının çalışma karakteristikleri birbirinden farklıdır. AS algoritmasında herhangi bir koşul olmadan parçalar büyük parça üzerinde aşağı ve sol hareketleriyle kaydırılır. Ancak geliştirilmiş AS algoritmasında parçalar için aşağı hareket her zaman önceliklidir (17).

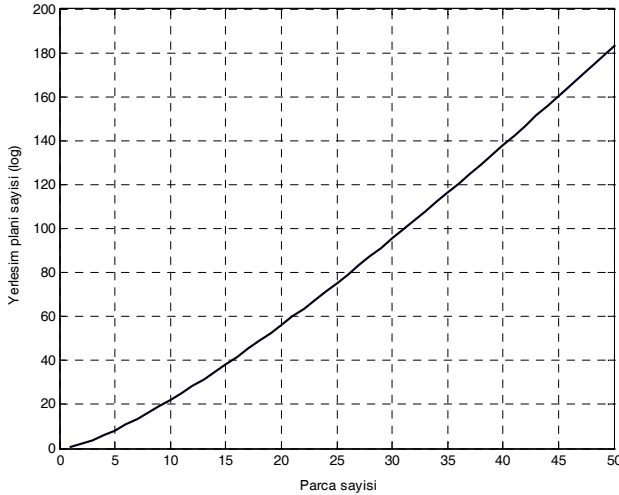
4. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Kesme problemlerinin çözümü için yerleşim planları oluşturulurken iki farklı yaklaşım söz konusudur (18). Birincisi parçaların yerleştirme koordinatları üzerine kurulmuş olan doğal gösterim, ikincisi parçaların yerleşim sırasına karşılık gelen permütasyona dayalı gösterimdir. Yerleşim planının doğal gösterimi, büyük parça üzerinde her bir parçanın yerleştirme koordinatları üzerine kurulmuştur. Eğer yerleştirilecek bütün küçük parçaların sol alt ve sağ üst köşesi biliniyorsa, yerleşim planı kolaylıkla yeniden oluşturulabilir. Bu, doğal gösterim için bir avantajdır. Ancak koordinatlarda oluşabilecek küçük değişimler, yeni oluşturulmuş yerleşim planında çakışmalara sebep olacaktır. Bu sebeple daha kullanışlı bir veri yapısına sahip olan permütasyona dayalı gösterim kullanılır. Bu gösterimde yerleşim planı, büyük parça üzerine yerleştirilecek küçük parçaların yerleşim sırasına karşılık gelen permütasyonlarla gösterilmektedir. En büyük avantajı, her yeni permütasyonun oluşturulmasıyla yeni bir yerleşim planının kolaylıkla

elde edilebilmesidir. Bu çalışmada permütasyona dayalı gösterim kullanılmıştır.

Kesme problemlerinde yerleşim planları permütasyonlarla gösterildiğinde, yerleştirilecek n adet parça için AS algoritması kullanılarak hesaplanan olası yerleşim planı sayısı en çok $2^n \cdot n!$ 'dir. Bu da yerleştirme problemlerinin birer permütasyon problemi olduğunun açık bir göstergesidir. Şekil 3'de yerleştirilecek parça sayısına göre oluşturulan olası yerleşim planı sayısını gösteren eğilim görülmektedir. Parça sayısı arttıkça, olası yerleşim planı sayısı da üssel olarak artış göstermektedir. Bu da kesme problemlerinin çözümü için arama uzayının ne kadar büyük olduğunu gösterir. Ancak pratikte, iki ayrı permütasyonun aynı yerleşim planını gösterebilmesi sebebiyle AS algoritması tarafından oluşturulan $2^n \cdot n!$ yerleşim planından daha az yerleşim planı vardır (17, 18).

Kesme problemlerinin çözümünde arama uzayının oldukça büyük olması sebebiyle bu uzayda yönlendirilmemiş bir arama oldukça verimsizdir. Çözümün bulunması için arama uzayında olasılıksal bir arama yapılması zorunludur. Kesme problemlerinin birer permütasyon problemi olması ve arama uzayının büyük olması nedeniyle araştırmalar, en iyi çözüme yakın iyi çözümleri verimli bir şekilde bulan olasılıksal yaklaşım teknikleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Kesme problemleri için uygulanabilir bu tekniklerden bazıları benzetilmiş tavlama (BT) algoritması, genetik algoritmalar (GA), saf evrim (SE), tabu arama (TA) ve karınca algoritmalarıdır (KA). Bu çalışmadaki kesme problemlerine ait yerleşim planları BT algoritması kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 3. Artan parça sayısına göre elde edilen yerleşim planı sayısı.

Çalışma boyunca gerçekleştirilen işlemler aşağıdaki iki adımla kısaca özetlenebilir:

1. Parça yerleşim sırasını gösteren bir permütasyonu elde etmek için BT algoritması, kullanılır. Bu işleme kodlama denir.

2. Bir yerleşim planının oluşturulması elde edilen bu permütasyonun geliştirilmiş AS algoritmasında kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bu işleme kod çözme denir. Daha sonra oluşturulan bu yerleşim planına ait fire değeri hesaplanarak birinci adıma geri dönülür. Bu işlemler BT algoritmasının dış döngü koşulu sağlandığı sürece devam eder.

Bu çalışmada ele alınan test problemleri, sınırları önceden belirlenmiş iki boyutlu bir alanda giyotinsiz kesim yapacak şekilde yerleşim gerektiren kesme problemleridir. Bu problemler (19) sıfır fire değeri verecek şekilde özel olarak bir problem üretici algoritma ile üretilmiş test problemleridir. Bu problemler için en iyi çözüm sıfır fire değerine ulaşıldığında elde edilmektedir. Çalışmada kullanılan problemler 17 adet dikdörtgen parçadan oluşan beş ayrı test problemini ve 29 adet dikdörtgen parçadan oluşan bir test problemini içermektedir. Parçalar, 200x200 birimlik bir alan ile sınırlandırılmış büyük bir parça üzerine yerleştirilecektir. Her test problemindeki parçalar birbirinden farklıdır. Bu şekilde birbirinin eşi parçalar içermeyen problemler zor problemler olarak bilinir.

5. BULGULAR

Yerleştirme simülasyonları, BT algoritmasının performansını etkileyen farklı sıcaklık değerleri, farklı soğutma çizelgeleri, farklı komşuluk hareketleri ve farklı döngü koşullarının kesme problemlerinin çözümleri üzerindeki etkilerini incelemek ve en iyi çözümü veren parametre grubunu bulmak için gerçekleştirilmiştir. 320 farklı durum için yerleştirme simülasyonu yapılmıştır.

Yerleştirme simülasyonları yapılırken iç döngü sayısı başlangıçta 5 olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte çalışmanın ilk aşamasında 17 parçadan oluşan beş ayrı test problemi için sekiz değişik başlangıç sıcaklığı, iki farklı soğutma çizelgesi ve iki farklı komşuluk hareketi kullanılmış ve komşuluk hareketlerinin etkileri incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise yine aynı problemler için sekiz değişik başlangıç sıcaklığı, iki farklı soğutma çizelgesi ve ilk çalışmada en iyi sonuçların elde edildiği komşuluk hareketi kullanılmış ve üç değişik iç döngü sayısının (3,5,10) ve soğutma çizelgelerinin etkileri incelenmiştir. Son olarak da bu iki çalışmadan elde edilen en iyi parametre grubu (Lundy ve Mees soğutma çizelgesi, yer değiştirme komşuluk hareketi ve iç döngü sayısı: 3) sekiz değişik başlangıç sıcaklığı için 29 parçadan oluşan bir test problemi üzerinde uygulanmıştır. Leung çalışmasında iç döngü sayısını 5 olarak sabitlemiş ve diğer parametrelerin etkilerini bu iç döngü sayısını kullanarak incelemiştir (3). Ayrıca çalışmada kullandığı test problemlerinde parça sayısı 10 ile 30 arasında değişmekte ve birbirleriyle eş ve eş olmayan parçalar içermektedir. FY algoritması ve geliştirilmiş AS algoritması olmak üzere iki farklı yerleştirme algoritması kullanmıştır.

Çalışmasının sonuçlarından görülmektedir ki; kesme problemleri üzerinde BT algoritmasının parametrelerinin incelenmesi, sabit tutulan iç döngü sayısı ve problemlerdeki parça sayısının çeşitliliği yüzünden zayıf kalmaktadır. Leung'un kullandığı çalışma yöntemiyle, problemlerin çözümü üzerinde parça sayısının mı, kullanılan yerleştirme algoritmalarının mı yoksa BT algoritmasındaki parametre değişiminin mi daha etken olduğu saptanamamıştır. Bu çalışmada BT algoritmasının parametrelerini incelemek için üç değişik iç döngü sayısı (3,5,10) kullanılmıştır. BT algoritması parametrelerinin etkilerini incelemek ilk önce parça sayısı sabit tutularak 17 parça içeren beş ayrı test problemi kullanıldı. Daha sonra da 29 parça içeren bir test problemi kullanılarak parça sayısının problemin çözümü üzerindeki etkileri incelendi. FY algoritması göreceli olarak, geliştirilmiş AS algoritmasından biraz daha iyi sonuçlar vermesine rağmen çok yavaş çalışmaktadır (3). Bu sebeple yerleştirme algoritması olarak geliştirilmiş AS algoritması kullanılmıştır.

BT algoritmasında kullanılan parametreler:

Başlangıç sıcaklıkları : 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8

Son sıcaklık : 0.01

Komşuluk hareketi : Yer değiştirme (SW) /
Kaydırma (SH)

Soğutma çizelgesi : Orantısız azalmı soğutma (a)
/ Lundy ve Mees soğutma (b)

Dış döngü sayısı

(sonlandırma kriteri) : İterasyon sayısı (1000)

İç döngü sayısı : 3, 5, 10

Yerleştirme simülasyonlarının sonuçları:

Çalışmanın ilk aşaması için beş ayrı test problemi kullanılarak elde edilen en büyük ve en küçük fire değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Bu çalışma için yapılan normalizasyon işleminin amacı, elde edilen yerleştirme simülasyonu sonuçlarının birbirleriyle daha sağlıklı karşılaştırılabilmesidir. Yapılan tüm çalışmalar içinde elde edilen en küçük ve en büyük fire değeri kullanılmış ve normalizasyon işlemi bu değerler arasında yapılmıştır. Bu değerler Tablo 2'de gösterilmektedir. En büyük fire değeri (0.2159) *sıfır*, en küçük fire değeri (0.0454) *bir* kabul edilmiştir. Bu çalışmada hesaplanan normalize uygunluk değerleriyle elde

edilen fire değerleri arasında ters bir orantı vardır. Başka bir deyişle normalize edilmiş uygunluk değeri arttıkça fire değeri azalmakta, azaldıkça fire değeri artmaktadır.

BT Algoritmasında Komşuluk Hareketinin Etkileri:

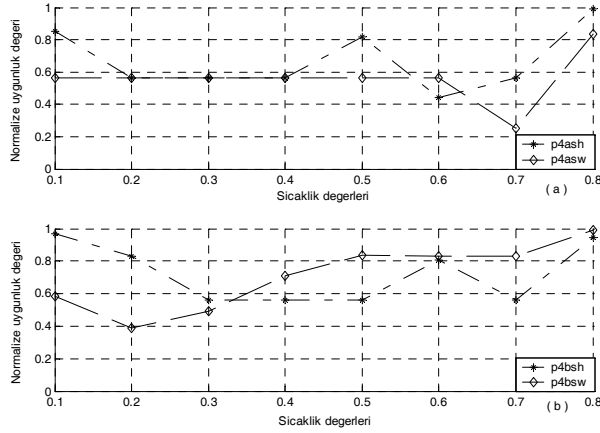
Aynı döngü koşulları ancak farklı parametreler kullanılarak yapılan çalışmalar içinde, elde edilen fire değerleri Tablo 1'de görüldüğü gibi birbirinden farklıdır. Yapılan tüm çalışmalar içinde en küçük fire değeri çoğunlukla P4 probleminde elde edilmiştir. Fire değerinin küçük olması yerleşim planının en iyi şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Buna göre P4 problemi için yapılan çalışmalara ait normalize uygunluk değerleri Şekil 4'de gösterilmektedir. Grafiklerin yanlarında bulunan etiketler çalışmanın hangi probleme ait olduğunu, hangi soğutma çizelgesi (a, b) ve hangi komşuluk hareketi kullanılarak (SH, SW) gerçekleştirildiğini temsil etmektedir. Orantısız azalmı soğutma çizelgesi kullanılarak yapılan çalışmada (Şekil 4a), iki farklı komşuluk hareketi ile 0.4 başlangıç sıcaklığı değerine kadar elde edilen normalize uygunluk değerleri değişim göstermemiştir. Kaydırma komşuluk hareketi kullanılarak yapılan aynı çalışmada 0.6 başlangıç sıcaklığı değerinden sonra en iyi normalize uygunluk değerleri elde edilmiştir. Lundy ve Mees soğutma çizelgesi ve iki farklı komşuluk hareketi kullanılarak yapılan çalışmada da (Şekil 4b), 0.3 başlangıç sıcaklığı değerinden sonra bir yükselme eğilimi görülmüştür. Komşuluk hareketlerinin etkilerini incelemek için yapılan bu çalışmalar içinde, en iyi uygunluk değerleri yer değiştirme komşuluk hareketi ve Lundy ve Mees soğutma çizelgesi kullanılarak elde edilmiştir.

Beş ayrı test problemi için, iç döngü sayısı 5, sezik değişik başlangıç sıcaklığı, iki farklı soğutma çizelgesi ve iki farklı komşuluk hareketi kullanılarak yapılan tüm çalışmalara ait ortalama normalize uygunluk değerleri Şekil 5'de gösterilmektedir. Orantısız azalmı soğutma çizelgesi kullanılarak yapılan çalışmada (Şekil 5a), 0.3-0.6 başlangıç sıcaklığı değerleri arasında yer değiştirme komşuluk hareketi, kaydırma komşuluk hareketine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Lundy ve Mees soğutma çizelgesi kullanılarak yapılan çalışmada da (Şekil 5b), 0.4-0.8 başlangıç sıcaklığı değerleri arasında yer değiştirme komşuluk hareketi,

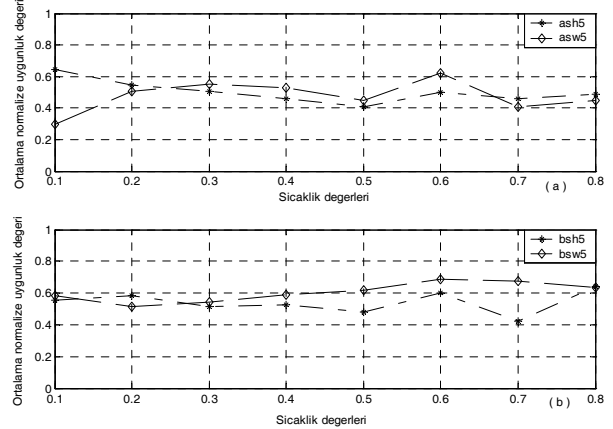
Tablo 1. Beş ayrı test problemi için iç döngü sayısı 5 olan, iki farklı soğutma çizelgesi ve iki farklı komşuluk hareketinin kullanılmasıyla yapılan yerleştirme simülasyonlarına ait en büyük ve en küçük fire değerleri.

	Orantısız azalmı soğutma çizelgesi				Lundy ve Mees soğutma çizelgesi			
	SH		SW		SH		SW	
Problem	EB fire	EK fire	EB fire	EK fire	EB fire	EK fire	EB fire	EK fire
P1	0.1973	0.0892	0.1756	0.0824	0.2090	0.1187	0.1393	0.0649
P2	0.2079	0.0836	0.2159	0.0813	0.1593	0.0838	0.1651	0.0833
P3	0.1687	0.0826	0.1771	0.1085	0.1781	0.1122	0.1736	0.1030
P4	0.1408	0.0479	0.1726	0.0739	0.1199	0.0506	0.1496	0.0469
P5	0.1613	0.1073	0.1780	0.1184	0.1940	0.0744	0.1447	0.0896

kaydırma komşuluk hareketine göre nispeten daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlara göre devam eden çalışmalarda yer değiştirme komşuluk hareketi kullanılacaktır



Şekil 4. İç döngü sayısı 5, sekiz değişik başlangıç sıcaklığı, iki farklı soğutma çizelgesi ve iki farklı komşuluk hareketi kullanılarak yapılmış P4 problemine ait normalize uygunluk değerleri.



Şekil 5. İç döngü sayısı 5, sekiz değişik başlangıç sıcaklığı, iki farklı soğutma çizelgesi ve iki farklı komşuluk hareketi kullanılarak beş ayrı test problemi için yapılmış çalışmaların ortalama normalize uygunluk değerleri.

BT algoritmasında iç döngü sayısı ve soğutma çizelgelerinin etkileri:

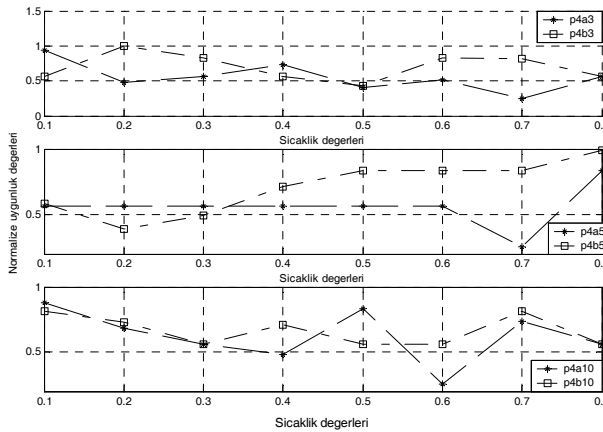
İç döngü sayısı için üç değişik değer (3, 5, 10), sekiz değişik başlangıç sıcaklığı, iki farklı soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketi kullanılarak

yapılan çalışmalara ait fire değerleri Tablo 2’de gösterilmektedir. Tablodan görüldüğü gibi yapılan tüm çalışmalar için en küçük fire değeri çoğunlukla P4 probleminde elde edilmiştir. Buna göre sekiz değişik başlangıç sıcaklığı, üç değişik iç döngü sayısı (3, 5, 10), iki farklı soğutma çizelgesi (a, b) ve yer değiştirme komşuluk ha-

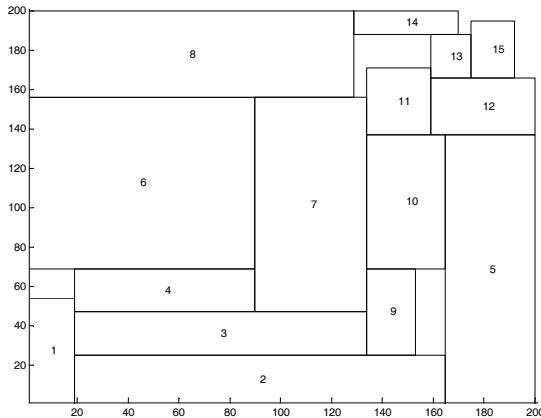
Tablo 2. Üç değişik iç döngü sayısı (3, 5, 10), iki farklı soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketinin kullanılmasıyla beş ayrı test problemi için yapılan yerleştirme simülasyonlarına ait en büyük ve en küçük fire değerleri.

Problem	Orantısız azalmı soğutma çizelgesi					
	Yer değiştirme komşuluk hareketi (SW)					
	3		5		10	
	EB fire	EK fire	EB fire	EK fire	EB fire	EK fire
P1	0.1651	0.0656	0.1756	0.0824	0.1913	0.1001
P2	0.1593	0.0911	0.2159	0.0813	0.1582	0.1082
P3	0.2006	0.1139	0.1771	0.1085	0.1771	0.1137
P4	0.1730	0.0556	0.1726	0.0739	0.1726	0.0662
P5	0.1519	0.0871	0.1780	0.1184	0.1682	0.0887
Problem	Lundy ve Mees soğutma çizelgesi					
	Yer değiştirme komşuluk hareketi (SW)					
	3		5		10	
	EB fire	EK fire	EB fire	EK fire	EB fire	EK fire
P1	0.1663	0.0579	0.1393	0.0649	0.1751	0.1089
P2	0.1354	0.0930	0.1651	0.0833	0.1681	0.0658
P3	0.1674	0.0884	0.1736	0.1030	0.1523	0.1029
P4	0.1419	0.0454	0.1496	0.0469	0.1199	0.0765
P5	0.1401	0.1001	0.1447	0.0896	0.1442	0.0954
En kötü/en iyi yerleşim planlarına ait fire değerleri	EB fire			EK fire		
	0.2159			0.0454		

reketi (SW) kullanılarak P4 problemi için yapılan çalışmalara ait normalize uygunluk değerleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Farklı parametreler kullanılarak yapılan bu çalışmalarda iç döngü sayısı için 5 seçildiğinde ve Lundy ve Mees soğutma çizelgesi kullanıldığında (Şekil 6b) diğer parametre gruplarına göre nispeten daha iyi normalize uygunluk değerleri bulunmuştur. Sonuç olarak farklı parametre gruplarına ait çalışmaların birlikte gösterildiği Şekil 6'daki bu grafikler genel yapısı itibariyle incelendiğinde, Lundy ve Mees soğutma çizelgesi ile yapılan çalışmalarında elde edilen normalize uygunluk değerlerinin orantısız azalımı soğutma çizelgesi ile yapılan çalışmalarda elde edilen uygunluk değerlerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 7'de bu çalışmalar için elde edilen en küçük fire değerine sahip P4 problemine ait yerleşim planı gösterilmektedir.



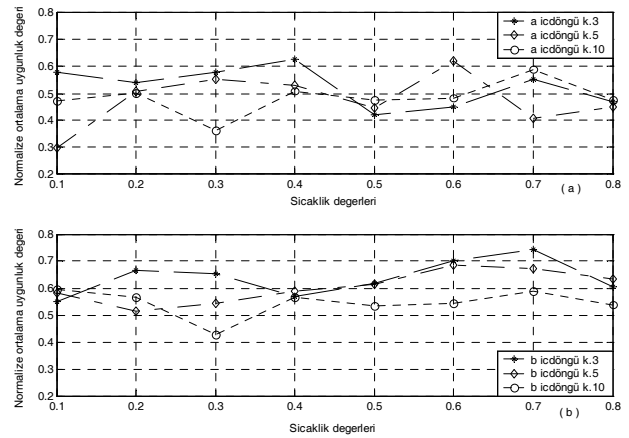
Şekil 6. Üç değişik iç döngü sayısı (3, 5, 10), sekiz değişik başlangıç sıcaklığı, iki farklı soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketi kullanılarak yapılmış P4 problemine ait normalize uygunluk değerleri.



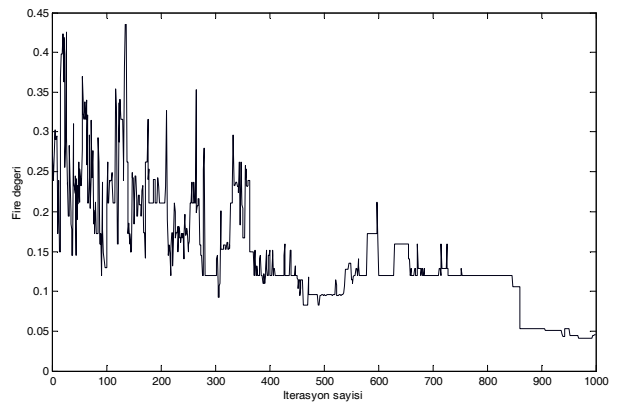
Şekil 7. İç döngü sayısı 3, Lundy ve Mees soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketi kullanılarak P4 problemi için yapılan çalışmaya ait yerleşim planı.

İç döngü sayısı için üç değişik değer (3, 5, 10) seçilerek sekiz değişik başlangıç sıcaklığı, iki farklı soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketi kullanılarak beş ayrı test problemiyle yapılan çalışmalara ait ortalama normalize uygunluk değerleri Şekil

8'de gösterilmektedir. Şekil 8a orantısız azalımı soğutma çizelgesiyle yapılan çalışmaya, Şekil 8b Lundy ve Mees soğutma çizelgesi ile yapılan çalışmaya aittir. Her iki şekil de incelendiğinde Lundy ve Mees soğutma çizelgesinin orantısız azalımı soğutma çizelgesine göre artan bir eğilimle daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu çalışmadaki şekiller en iyi sonuçların iç döngü sayısı 3 seçildiğinde ve Lundy ve Mees soğutma çizelgesi kullanıldığında elde edildiğini göstermektedir. BT algoritması kullanılarak gerçekleştirilen Leung'a ait benzer çalışmada ise en iyi sonuçlar; orantısız azalımı soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketinden oluşan parametre grubu kullanıldığında elde edilmiştir [3]. En iyi sonuçların elde edildiği bu parametre grubu kullanılarak P4 problemiyle yapılan çalışmaya ait fire değerleri Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 8. Üç değişik iç döngü sayısı (3, 5, 10) seçilerek sekiz değişik başlangıç sıcaklığı, iki farklı soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketi kullanılarak beş ayrı test problemiyle yapılan çalışmalara ait ortalama normalize uygunluk değerleri.



Şekil 9. İç döngü sayısı 3, Lundy ve Mees soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketi kullanılarak P4 problemi için yapılan çalışmaya ait fire değerleri.

Elde edilen en iyi parametre grubu için 29 parçadan oluşan bir test probleminin çözümü:

Çalışmada son olarak 29 parçadan oluşan bir test problemi için sekiz değişik başlangıç sıcaklığı ve önceki çalışmalarda en iyi sonucun elde edildiği parametreler kullanılmıştır.

BT algoritmasında kullanılan en iyi parametre grubu:

Başlangıç sıcaklıkları : 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8

Son sıcaklık : 0.01

Komşuluk hareketi : Yer değiştirme (SW)

Soğutma çizelgesi : Lundy ve Mees soğutma

Dış döngü sayısı

(sonlandırma kriteri) : İterasyon sayısı
(1000)

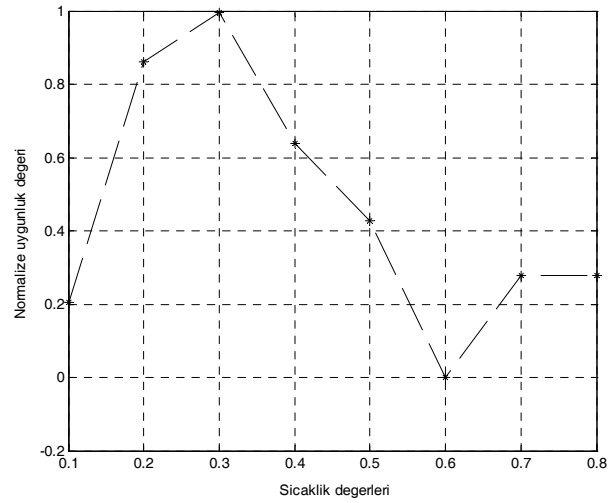
İç döngü sayısı : 3

Tablo 3'de 29 parçadan oluşan test problemine ait yerleştirme simülasyonları sonucunda sekiz değişik başlangıç sıcaklığı için elde edilen fire değerleri gösterilmektedir. En küçük fire değeri 0.3 başlangıç sıcaklığı kullanıldığında elde edilmiştir.

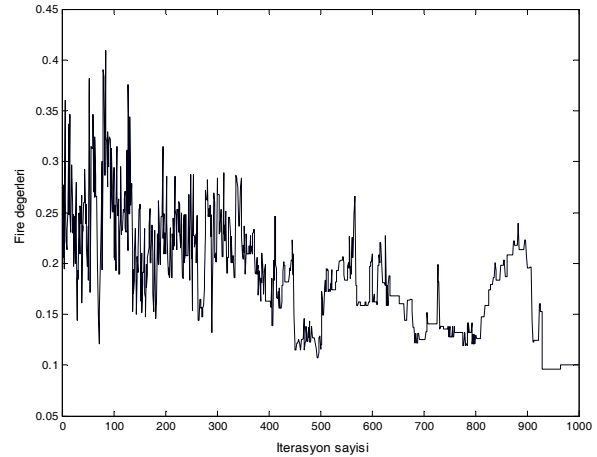
Tablo 3. 29 adet parçadan oluşan bir test problemi için iç döngü sayısı 3, Lundy ve Mees soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketi kullanılmasıyla yapılan yerleştirme simülasyonlarına ait fire değerleri.

Çalışma no	Başlangıç sıcaklıkları	Fire
1	0.1	0.1627
2	0.2	0.1110
3	0.3	0.1003
4	0.4	0.1284
5	0.5	0.1450
6	0.6	0.1787
7	0.7	0.1568
8	0.8	0.1568

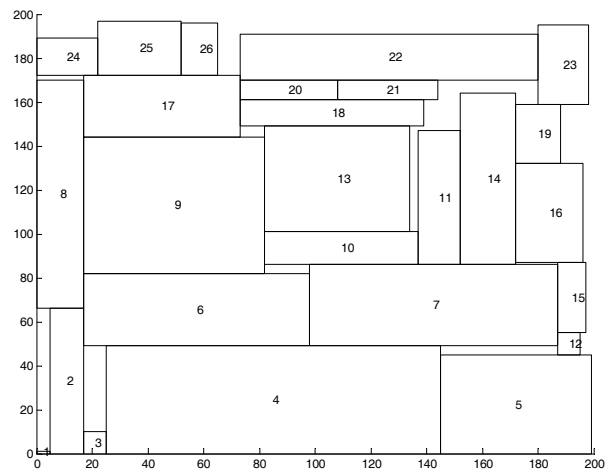
Sekiz değişik başlangıç sıcaklığı için yapılan bu çalışmada fire değerleri, en büyük fire değeri 0.1787 ve en küçük fire değeri 0.1003 alınarak normalize edilmiştir. Buna göre 29 parçadan oluşan test problemine ait normalize uygunluk değerleri Şekil 10'da gösterilmektedir. 0.1-0.3 başlangıç sıcaklıkları arasında uygunluk değerlerinde bir yükseliş görülmekte, ancak sıcaklık değeri arttıkça uygunluk değerlerindeki bu yükseliş yerini bir düşüşe bırakmaktadır. Bu çalışma için elde edilen fire değerleri %10 ve %17 arasında değişmektedir. Şekil 11'de bu çalışma için 0.3 başlangıç sıcaklığı kullanılarak 1000 iterasyon boyunca elde edilen fire değerleri gösterilmektedir. Öteleme sayısı arttıkça fire değerlerinde düşüşler görülmektedir. Şekil 12'de de iç döngü sayısı 3, Lundy ve Mees soğutma çizelgesi, yer değiştirme komşuluk hareketi ve 0.3 başlangıç sıcaklığı kullanılarak elde edilen en küçük fire değerine sahip çalışmanın yerleşim planı görülmektedir.



Şekil 10. En iyi parametre grubu kullanılarak 29 parçadan oluşan test problemi için elde edilen normalize uygunluk değerleri



Şekil 11. İç döngü sayısı 3, Lundy ve Mees soğutma çizelgesi, yer değiştirme komşuluk hareketi ve 0.3 başlangıç sıcaklığı ile 1000 öteleme boyunca 29 parçadan oluşan test problemi için yapılan çalışmaya ait fire değerleri.



Şekil 12. İç döngü sayısı 3, Lundy ve Mees soğutma çizelgesi ve yer değiştirme komşuluk hareketi kullanılarak 0.3

başlangıç sıcaklığı ile elde edilen en küçük fire değerine sahip çalışmanın yerleşim planı.

17 ve 29 parçadan oluşan test problemleri kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen en iyi ve en kötü sonuçlara ait fire değerleri Tablo 4'te gösterilmektedir. Tabloyu incelediğimiz zaman parça sayısına göre elde edilen fire değerleri arasında bir çelişki varmış gibi görünebilir. Ancak 17 parça için elde edilen bu sonuçlar beş ayrı test probleminde elde edilen en iyi ve en kötü fire değerlerini içermektedir. Buna karşın 29 parça için elde edilen sonuçlar ise tek bir test probleminden elde edilmiştir. Bundan dolayı 29 parça için yapılan çalışmaya göre, 17 parça için yapılan çalışmalar beş ayrı problemi içerdiğinden en büyük fire değerinin daha büyük çıkması normal karşılanabilir.

Tablo 4. 17 ve 29 parçadan oluşan test problemleri için elde edilen en iyi ve en kötü sonuçlara ait fire değerleri.

Problemler	BT algoritması	
	En küçük fire	En büyük fire
17 parça (5 ayrı problem)	%4	%21
29 parça (1 problem)	%10	%17

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada BT algoritması ile 17 ve 29 adet birbirinden farklı dikdörtgen parçalar içeren iki boyutlu giyotinsiz kesme problemlerine çözüm aranmıştır. Ayrıca BT algoritmasına ait temel parametrelerin (soğutma çizelgesi, komşuluk hareketi, iç döngü sayısı) ve problemlerdeki parça sayısının bu problemlerin çözümleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. 320 farklı parametre grubu için yapılan yerleştirme simülasyonlarındaki en iyi sonuçlar: iç döngü sayısının 3 alınması, Lundy ve Mees soğutma çizelgesinin ve yer değiştirme komşuluk hareketinin kullanılmasıyla elde edilmiştir. 17 parçadan oluşan beş ayrı test problemi için yapılan yerleştirme simülasyonlarından elde edilen sonuçlara ait fire değerleri %4 ve %21 arasındadır. 29 parçadan oluşan bir test problemi için elde edilen sonuçlara ait fire değerleri ise %10 ve %17 arasında değişmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Hopper, E. and Turton, B., 1997. Application of Genetic Algorithms to Packing Problems - A Review. Proceedings of the 2nd On-line World Conference on Soft Computing in Engineering Design and Manufacturing, Springer Verlag, London, pp. 279-288.
- Hopper, E. and Turton, B., 2001. A Review of The Application of Meta-Heuristic Algorithms to 2D Strip Packing Problems. Artificial Intelligence Review, Vol.16, pp. 257-300.
- Leung, T.W., Yung, C.H. and Troutt, M.D., 2001. Applications of Genetic Search and Simulated Annealing

- to The Two-Dimensional Non-Guillotine Cutting Stock Problem. Computers and Industrial Engineering, Vol.40, pp. 201-214.
- Callaghan, A. R., Nair, A. R. and Lewis, K. E., 1999, An extension of the orthogonal packing problem through dimensional flexibility, Proceedings of DETC'99: 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, 12-15.
- Lutfiyya, H., Mcmillin, B., Poshyanonda, P. and Daglı, C., 1992. Composite Stock Cutting Through Simulated Annealing. Mathematical Computing Modelling, Vol. 16(1), pp. 57-74, Great Britain.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. and Vecchi, M.P., 1983. Optimization by Simulated Annealing. Science, New Series, Vol. 220, pp. 671-680.
- Lai, K.K. and Chan, J.W.M., 1997. Developing A Simulated Annealing Algorithm for The Cutting Stock Problem. Computers and Industrial Engineering, Vol. 32, pp. 115-127, Great Britain.
- Kämpke, T., 1988. Simulated Annealing: Use of A New Tool in Bin-packing. Annals of Operations Research, Vol. 16, pp. 327-332.
- Dowland, K.A., 1993. Some Experiments with Simulated Annealing Techniques For Packing Problems. European Journal of Operational Research, Vol. 68, pp. 389-399.
- Fama, L., 1999. Application of Simulated Annealing to The Cutting Stock Problem. European Journal of Research, Vol. 114, pp. 542-556.
- Leung, T.W., Chan, C.K. and Troutt, M.D., 2003. Application of a Mixed Simulated Annealing-Genetic Algorithm Heuristic for the Two-Dimensional Orthogonal Packing Problem, European Journal of Operational Research 145 (2003), 530-542.
- Masri, S.F., Smith, A.W., Chassiakkos, A.G., NAKAMURA, M. and CAUGHEY, T.K., 1999. Training Neural Networks by Adaptive Random Search Techniques. Journal of Engineering Mechanics, Vol 125(2), pp.123-132.
- Shahookar K. and Mazumder P., 1991. Vlsi Cell Placement Techniques, ACM computing Surveys, Vol. 23(2), pp.144-172.
- Antonioletti, M., 1996. Internet sayfası: http://www.epcc.ed.ac.uk/computing/training/document_archive/GAs-course/node9.html.
- Pham, D.T. and Karaboga, D., 2000. Intelligent Optimisation Techniques. Springer - Verlag London, ISBN:1852330287.
- Ma, J., 2003. Incremental Design Techniques with Non-Preemptive Refinement for Million-Gate FPGAs, PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Liu, D. and Teng, H., 1999. An Improved BL-Algorithm for Genetic Algorithm of The Orthogonal Packing of Rectangles, European Journal of Operational Research, Vol.112, pp.413-420.
- Jakobs, S., 1996. On Genetic Algorithms for The Packing of Polygons. European Journal of Operational Research, Vol. 88, pp. 165-181.

19. Hopper, E., 2000, Two-Dimensional Packing Utilising Evolutionary Algorithms and Other Meta-Heuristic Methods, PhD Thesis, Cardiff University, UK.