

TEK BOYUTLU KESME PROBLEMİ: BİR İŞLETME UYGULAMASI

Fatma DEMİRCAN KESKİN*

Öz:

Bu çalışmada, kağıt, cam, çelik, metal, tekstil, deri vb. birçok endüstride faaliyet gösteren işletmenin karşı karşıya kaldığı, Wascher vd. (2007) tarafından “Çoklu Stok Büyüklüklerinin Tek Boyutlu Kesim Problemi (one-dimensional Multiple Stock Size Cutting Stock Problem- MSSCSP {1}-boyutlu)” şeklinde sınıflandırılan problem ele alınmıştır. Problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. İlk aşamada oluşturulan bir sezgisel algoritma aracılığı ile alternatif kesim şekilleri elde edilmiştir. İkinci aşamada bu algoritma ile elde edilen kesim şekilleri, oluşturulan tam sayılı doğrusal programlama modeline aktarılmıştır. Uygulama, paslanmaz çelik soğuk şekillendirme sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin gerçek verileri kullanılarak yapılmıştır. Geliştirilen model ile tüm ürünlerin dönemsel taleplerinin minimum kesim kaybı ile karşılanması için hangi hammadde tipinin hangi boyundan kaç adet tedarik edilmesi gerektiği ve bu hammaddelerin hangi kesim şekilleri ile kaç kez kesilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler— tek boyutlu kesme problemi, tam sayılı doğrusal programlama, sezgisel algoritma

* Arş. Gör., Ege Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, fatma.demircan.keskin@ege.edu.tr

ONE DIMENSIONAL CUTTING STOCK PROBLEM: AN APPLICATION ON A COMPANY

Abstract:

In this paper, the problem which arises in many industries such as paper, glass, steel, metal, textile etc. and classified as a one-dimensional Multiple Stock Size Cutting Stock Problem by Wascher et al. (2007) is addressed. To solve this problem, a two stage approach is represented. In the first stage, alternative cutting patterns for each item and each stock size are generated through a heuristic procedure. These patterns are fed into the developed integer linear programming model in the second stage. The real life application of this problem is realized in a company operating in the stainless steel cold forming industry. The model determines cutting planes to fulfill periodic demands of all items with minimum trim loss.

Keywords— one dimensional cutting stock problem, integer linear programming, a heuristic approach

GİRİŞ

Kağıt, cam, çelik, metal, tekstil, deri vb. birçok endüstride faaliyet gösteren işletme, maliyetlerini ve süreçlerinin etkinliğini önemli ölçüde etkileyen kesme problemleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Kesme problemleri, birçok endüstride karşılaşılan önemli bir problem olması nedeniyle literatürde kendine geniş bir yer bulmuştur. Kesme problemleri endüstriden endüstriye hatta işletmeden işletmeye farklılık gösteren bir problem tipidir. Bu problemlerin çoğu, belirli büyüklükteki parçalardan, üretim maliyetlerini ve fire miktarını minimize etmek ya da karı maksimize etmek gibi amaç fonksiyonlarını optimize ederek, belirli büyüklük ve miktarlarda daha kısa parçaların kesilmesini içerir (Yanasse ve Lamosa, 2006).

Literatürde stok kesme problemleri ile ilgili farklı sınıflandırmalar kullanılmıştır. Wascher vd. (2007) yaptığı detaylı sınıflandırmada, problem tiplerini belirlemek için şu kriterleri kullanmışlardır: Boyut (tek, iki, üç), atama tipi (çıktı maksimizasyonu, girdi minimizasyonu), küçük birimlerin çeşitliliği (benzer küçük birimler, düşük seviyede farklılaşan küçük birimler, büyük ölçüde farklılaşan küçük birimler), büyük birimlerin çeşitliliği (bir büyük nesne, birkaç büyük nesne), küçük birimlerin şekli (düzenli ve düzensiz). Problem tipi olarak ise temel, ara ve üst seviye olmak üzere üç genel tip belirlemişlerdir. Temel problemler, atama tipi ve küçük birimlerin çeşitliliği, ara seviye problemler büyük birimlerin çeşitliliği, üst seviye problemler ise problemin boyutu ve küçük birimlerin şekline kriterlerinin kullanılması ile oluşturulmuştur. Bu çalışmada, Wascher vd. (2007)'in ara seviye stok kesme problemleri tipi altında yer alan "Tek Boyutlu Çoklu Stok Büyüklüklerinin Kesim Problemi (one-dimensional Multiple Stock Size Cutting Stock Problem-MSSCSP {1}-boyutlu)" ele alınacaktır.

Tek boyutlu kesme problemleri genel olarak kesim şekli (pattern) ve nesne yönelimli olmak üzere iki temel yaklaşım ile ele alınmaktadır (Dyckhoff,1990). Kesim şekli yönelimli olan yaklaşımda, kesilecek birimler kesim şekillerine göre bir araya getirilmekte ve birimlerin taleplerini karşılayacak şekilde kesim şekillerinin sıklıkları belirlenmektedir (Cui ve Lui,2011:156). Nesne yönelimli yaklaşım ise "Sıralı Sezgisel Prosedürü" (sequential heuristic procedure - SHP) temel almaktadır. Kesim planında yer alacak olan kesim şekilleri sıralı bir şekilde üretilmektedir. Üretilen her kesim şekli, geriye kalan birimlerin bir kısmını karşılamak için kullanılmaktadır. Kesim şekli üretme süreci, tüm birimler karşılandığında sona ermektedir (Cui ve Tang, 2014:1353). Tek boyutlu kesme problemleri ile ilgili standart problemlerin büyük bir kısmının NP-tam olduğu bilinmektedir (Gradisar vd., 2002:1208).

Literatürde aynı uzunluktaki stok büyüklüklerinden farklı uzunluktaki parçaların elde edildiği “tekli stok büyüklüklerinin kesim problemi” ni farklı sezgisel yöntemlerle ele alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yang vd. (2006) çalışmalarında karma amaç fonksiyonlu bir tabu arama algoritması kullanmışlardır. Eshgi ve Javanshir (2008) karınca kolonisi optimizasyonuna dayalı, büyük ölçekli tek boyutlu kesme problemlerine uygulanabilecek bir meta-sezgisel yöntem önermişlerdir. Cui ve Liu (2011), SHP temelli bir yaklaşım kullanmışlardır. Kesim planlarını, kesim şekilleri ve kesilecek birimler ile ilgili iki aday set kullanan algoritmaları ve geliştirdikleri ileriye yönelik strateji ile elde etmişlerdir. Umetani vd. (2003), kesim şekli değiştirmenin maliyetini göz önünde bulundurarak, tek boyutlu kesme problemini kesim şekli sayısını sınırlayarak ele almışlardır. Problemi önerdikleri meta-sezgisel tabanlı bir yaklaşımla çözmüşlerdir. Jahromi vd. (2012), standart tek boyutlu kesme problemini, geliştirdikleri, tavlama benzetimi ve tabu arama meta-sezgisel yöntemlerini temel alan iki ayrı yaklaşımla ele almış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Bunun yanında son dönemlerde yapılan çalışmalarda kesin çözüm veren modeller ile sezgisel yöntemlerin bir arada kullanımı da ön plana çıkmaktadır. Aktin ve Özdemir (2009) tek boyutlu kesme problemleri için iki aşamalı bir yaklaşım sunmuşlardır. İlk aşamada geliştirdiği sezgisel algoritma aracılığıyla kesim şekli alternatifleri oluşturup, ikinci aşamada kesim planı kararları vermişlerdir. İki aşamada da tam sayılı doğrusal programlamayı kullanmışlardır. Wongprakornkul ve Charnsethikul (2010) tek boyutlu kesme problemi için kesikli talep durumunda stoklama maliyetlerini de göz önünde bulunduran iki algoritma önermişlerdir. Bunlardan ilki sütun oluşturma tekniğine dayalı bir matematiksel model, ikincisi yapıcı bir sezgisel algoritmadır. Reinertsen ve Vossen (2010), siparişlerin terminden önce tamamlanması kısıtının olduğu kesme problemlerinin çözümü için en iyileme modelleri geliştirmişlerdir. Bu modellerde, siparişlerin zamanında karşılanmasına, hammadde firelerinin minimizasyonundan daha çok önem verilmiştir. Geliştirdikleri modellerin çözümünde sütun oluşturma prosedürlerini ve en kısa yol algoritmasını kullanmışlardır. Cui vd. (2015), tek boyutlu kesme problemlerini malzeme ve ayar/hazırlık maliyetlerini göz önünde bulundurarak ele almışlardır. Çözüm yöntemi olarak iki aşamalı bir sezgisel önermişlerdir. İlk aşamada, bir sıralı gruplama prosedürünü kullanarak bir dizi kesim şekli elde edilmekte, ikinci aşamada ise geliştirmiş oldukları malzeme ve ayar/hazırlık maliyetinin toplamını minimize etmeyi amaçlayan tam sayılı doğrusal programlama modeli çözülmektedir.

Bu çalışmada incelenecek olan, stoklarda sınırlı sayıda bulunan farklı uzunluktaki, çok sayıda hammaddenin, tek boyutlu olarak küçük parçalar halinde kesildiği, MSSCSP {1}-boyutlu problem tipi ile ilgili literatürde az

sayıda çalışma bulunmaktadır (Araujo vd.,2010). Belov ve Scheithauer (2002) ve Alves ve Carvalho (2008) bu problem için kesin çözüm algoritmaları kullanırken, Lu vd. (2008), Poldi ve Arenales (2009), Araujo vd. (2010) ve Cui ve Tang (2014) sezgisel algoritmalarından yararlanmışlardır. Belov ve Scheithauer (2002), problemi toplam malzeme maliyetini minimize etmeyi amaçlayan bir tam sayılı doğrusal programlama modeli şeklinde ifade etmişlerdir. Modelin çözümüne yönelik olarak Chvatal–Gomory'nin kesme düzlemi algoritması ile sütun oluşturmayı bir arada kullanan bir yaklaşım sunmuşlardır. Alves ve Carvalho (2008), problemi tam sayılı programlama yaklaşımı ile modellemiş ve çözüm için yeni bir dal-fiyat-kesme algoritması sunmuşlardır. Lu vd. (2008), çoklu stok uzunluğunun bulunduğu kesme problemini karınca kolonisi optimizasyonuna dayalı bir yaklaşımla çözmüşlerdir. Poldi ve Arenales (2009), problemi düşük talep durumu için ele almış ve çözümü için çeşitli sezgisel yöntemleri kullanarak performanslarını karşılaştırmışlardır. Araujo vd. (2010), çoklu stok uzunluğunun kısıtlı miktarda bulunduğu tek boyutlu kesme problemini ele almışlardır. Problemin çözümü için bir evrimsel algoritma önermişlerdir. Cui ve Tang (2014), SHP'yi temel alan bir sezgisel algoritma kullanmışlardır. Çalışmada aynı zamanda geliştirdikleri algoritmanın paralel versiyonu da sunulmuştur.

Çalışmanın uygulama bölümünde paslanmaz çelik soğuk şekillendirme sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin kesme problemi incelenecektir. Bu işletme 9 tipte hammadde tedarik etmektedir. Tüm hammadde tipleri için 3000, 4000 ve 6000 mm olmak üzere üç alternatif hammadde boyu bulunmaktadır. İşletme bir hammadde tipinden birden fazla ürün için kesim yapılabilmekte; ancak bir ürün yalnızca bir tip hammaddeden kesilebilmektedir. Çalışmada, bu problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. İlk aşamada, oluşturulan sezgisel algoritma aracılığı ile her parça ve alternatif hammadde boyu için göz önünde bulundurulan durumlar altında en az kesim kaybını veren kesim şekilleri elde edilecektir. İkinci aşamada, bu algoritma ile elde edilen kesim şekilleri, alternatif kesim şekilleri olarak, oluşturulan tam sayılı doğrusal programlama modeline aktarılacaktır. Bu model ile tüm ürünlerin dönemsel taleplerinin minimum kesim kaybı ile karşılanması için hangi hammadde tipinin hangi boyundan kaç adet tedarik edilmesi gerektiği ve bu hammaddelerin hangi kesim şekilleri ile kaç kez kesilmesi gerektiği bulunacaktır. Bir sonraki bölümde, ele alınan problem ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır. Sonraki bölümlerde sezgisel algoritma ve doğrusal programlama modelinden bahsedilecek ve elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

I. PROBLEM TANIMI

Bu çalışmada çelik soğuk şekillendirme sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin MSSCSP {1}-boyutlu problemi, işletmenin gerçek verileri

kullanılarak ele alınmıştır. Bu işletme, çeşitli uzunluklarda çubuk, profil ve boru tedarik etmektedir. Şekil 1’ de hammadde tip ve boyları gösterilmiştir.

Şekil 1: Hammadde Tip ve Boyları

Hammadde Tipi	Alternatif Hammadde Boyları
10 x 1,20 mm boru	3000 mm
10 x 20 x 1,20 mm profil	4000 mm
12 x 1,20 mm boru	6000 mm
14 x 1,20 mm boru	
22 x 1,20 mm boru	
34 x 1,00 mm boru	
ÇAP 12 mm çubuk	
ÇAP 7 mm çubuk	
ÇAP 8 mm çubuk	

Tedarik edilen bu hammaddeler, 50’den fazla üründe kullanılmaktadır. Ürünler sistemin gereksinimlerine göre indirildiğinde toplamda 46 ürün elde edilmektedir. Ürünlerin talepleri yıllık olarak alınmaktadır. İşletme, belirli uzunluklarda tedarik ettiği hammaddeleri pres ve testerelede kesmektedir. Bir boy çubuk veya borudan birden fazla ürün için kesim yapılabilir, ancak bir ürün sadece bir tip hammaddeden kesilebilmektedir.

Kesim sürecindeki önemli maliyet unsurlarından biri, hammaddelerden birden fazla ürün için kesim yapıldığında ortaya çıkmaktadır. Ürünler için kesim yapılırken, ürünlerin özelliklerine bağlı olarak farklı kalıplar kullanılmaktadır. Bir boy hammaddeden birden çok ürün için kesim yapılmak istendiğinde, ürün tipine bağlı olarak kalıp değişimi ve çeşitli ayarlar yapılması gerekmektedir. Bu, işletme için ciddi bir maliyet unsurudur. Bunun yanı sıra bir boy hammaddeden ikiden fazla ürün kesildiğinde bu kalan parçaların stoklanması ve hangi ürün kesileceğini belirtecek şekilde stoklamak da sistemde sorunlara yol açacaktır. Bu nedenle işletme, bir boy hammaddeden mümkün olduğu kadar tek tip ürün için parça kesimi yapmaktadır. Bu kesim sonrası hammaddeden kalan parça başka bir ya da birkaç ürün için kullanılabilir boyda ise kullanılmakta, kullanılamayacak boyda ise hurdaya ayrılmaktadır. Bu da işletme için ciddi bir maliyet unsurudur.

Bu çalışmada işletmenin hammadde kesim sürecinde en ciddi maliyet payını oluşturan bu iki unsur göz önünde bulundurularak, bu sürecin minimum maliyetle gerçekleşmesini sağlayacak, işletmenin amacına uygun kesim planlarının çok kısa sürede oluşturulması hedeflenmektedir.

Bu amaçla, kesim sırasındaki parça tiplerindeki geçişlerde yaşanan sıkıntıları ve ortaya çıkan maliyetleri en aza indirmek amacıyla öncelikle bir boy hammaddeden en fazla iki tip parça kesimine izin veren bir sezgisel algoritma oluşturulmuştur. Bu sezgisel algoritma ile elde edilen kesim şekilleri, ikinci aşamadaki doğrusal programlama modeline aktarılmıştır. Geliştirilen sezgisel algoritma bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

II. SEZGİSEL ALGORİTMA

Kombinatoriyal problemlerden biri olan kesme problemlerinde, problemin boyutu arttıkça makul sürelerde en iyi çözümlerin elde edilmesi oldukça zorlaşmaktadır. Bu çalışmada ele alınan problemde, 9 tip ve 3 farklı boyda hammaddeden 46 farklı ürün için parça kesimi yapılmaktadır. Problemin boyutu düşünüldüğünde, tüm alternatif kesim şekillerinin belirlenmesi ve en düşük fire miktarı ve ayar süresini veren optimum kesim planlarının oluşturulmasının makul sürelerde gerçekleştirilemeyeceği görülmektedir. Bu nedenle, tüm olurlu kesim şekillerini bulmak yerine, işletmenin amaçlarına uygun alternatif kesim şekillerini elde etmek istenmiştir. Bu amaçla oluşturulan sezgisel algoritmanın işleyiş yapısı ve adımları aşağıda açıklanmıştır:

İndisler:

i	parça indisi;	$i=1, \dots, I$
m	parça seti elemanları indisi	$m=1, \dots, M$
j	kesim şekli indisi;	$j=1, \dots, J$
k	hammadde indisi;	$k=1, \dots, K$

Parametreler:

L_k	k hammaddesinin boyu
l_i	i parçasının boyu
$nmax_i$	k hammaddesinden i parçasının kesilebileceği maksimum sayı ($L_k - nmax_i * l_i < l_i$)
$kalan_{ki1}$	k hammaddesinden i parçasının $nmax_i$ kere kesimi sonucu kalan miktar
$kalan_{ki2}$	k hammaddesinden i parçasının $nmax_i - 1$ kere kesimi sonucu kalan miktar

kalan_{kim1} k hammaddesinden i parçasının **nmax_i** kere kesimi sonrası m parçasının **nmax_m** defa kesimi sonucu kalan miktar

kalan_{kim2} k hammaddesinden i parçasının **nmax_i - 1** kere kesimi sonrası m parçasının **nmax_m** defa kesimi sonucu kalan miktar

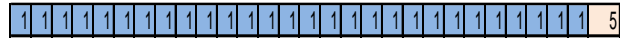
Algoritma:

- I. k hammaddesinin ilk alternatif boyundan başlayarak tüm alternatif boyları için aşağıdaki adımları uygula (İlk olarak 3000, daha sonra 4000 ve son olarak 6000 mm)
- II. k hammaddesinden kesilebilen parça setini, parça numarasına göre küçükten büyüğe sırala ($\forall k$ için)
- III. parça setinin ilk elemanından son elemanına kadar sırası ile aşağıdaki adımları uygula
- IV. kalan_{ki1} ve kalan_{ki2} değerlerini hesapla
- V. parça listesindeki diğer parçalar için ($m \neq i$) sırası ile
- VI. kalan_{ki1} > l_m ise
- kalan_{kim1} değerini hesapla
- VII. kalan_{ki2} > l_m ise
- kalan_{kim2} değerini hesapla
- VIII. kalan_{ki1} < l_m ise kalan_{ki1} değerini kaydet
- IX. kalan_{ki2} < l_m ise kalan_{ki2} değerini kaydet
- X. kalan_{ki1}, kalan_{ki2}, kalan_{kim1} ve kalan_{kim2}' den en küçük değer/lere sahip olan kesim şekillerini ve bu kesim şekillerindeki parça kesim sayılarını kaydet

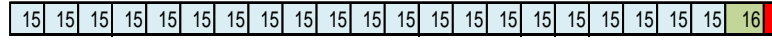
Yukarıda açıklanan algoritma C# dilinde kodlanmıştır. Bu algoritma ile her parça ve o parçanın kesiminin yapılacağı hammaddenin 3 boyu için, kesime o parça ile başlanan en az birer tane kesim şekli elde edilmiştir. Her kesim şeklinde en fazla iki tip parça yer almaktadır. Bu, kesim sırasındaki parça tiplerindeki geçişlerde yaşanan sıkıntıları azaltacaktır. Algoritma 1 saniyenin

altında bir sürede çözüm vermektedir. 9 hammaddenin 3000 mm' lik boyu için 47, 4000 mm için 49 ve 6000 mm için 48 kesim şekli elde edilmiştir. Aşağıda, algoritmanın çözümü sonucu elde edilen kesim şekillerinden örnekler verilmiştir.

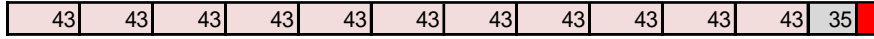
Şekil 2: Örnek Kesim Şekilleri



8. hammadde 3000 mm 1. parça kesim sayısı: 28, 5. parça kesim sayısı: 1, fire miktarı: 3.8 mm



9. hammadde 4000 mm 15. parça kesim sayısı: 21, 16. parça: 1, fire miktarı: 2.4 mm



6. hammadde 6000 mm 43. parça kesim sayısı: 11, 35. parça kesim sayısı: 1, fire miktarı: 18 mm

Şekil 2' de, sezgisel algoritmanın çözümü ile elde edilen kesim şekillerinden üç tanesi verilmiştir. Kırmızı ile boyanmış bölüm, hammadde fire miktarını göstermektedir. Verilen ilk örnekte 8. hammaddenin 3000 mm' lik boyundan 1. parça 28 kez, 5. parça 1 kez kesilmiştir. Hammaddenin sonunda kalan 3.8 mm' lik bölüm fire miktarıdır.

Bu algoritma ile elde edilen kesim şekilleri, tüm olurlu kesim şekilleri içinde en az fireyi veren optimum kesim şekilleri değildir. Burada amaç, kesim işlemi sırasındaki parça tipi değişimlerinden ve hammadde fire miktarlarından doğan maliyetleri aynı anda en aza indirmeye çalışan, amaca uygun kesim şekillerine kısa sürede ulaşabilmektir. Bu aşamada elde edilen alternatif kesim şekilleri, bir sonraki bölümde açıklanacak olan tam sayılı doğrusal programlama modeline girdi olarak sunulmuştur.

III. MATEMATİKSEL MODEL

Sezgisel algoritma ile kesim planına alınabilecek alternatif kesim şekillerinin oluşturulmasından sonra, tüm ürünlerin dönemsel taleplerinin minimum fire miktarı ile karşılanması için bu alternatiflerden hangilerinin kaç kez kullanılacağı ve hangi hammadde tipinin hangi boyundan kaç adet tedarik edilmesi gerektiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaç ile aşağıda belirtilen tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur.

Matematiksel modelde, sezgisel algoritmada kullanılan parça ve hammadde indisleri kullanılmıştır. Bunlar dışında kullanılan parametre ve karar değişkenleri aşağıda belirtilmiştir.

Parametreler

talep_i	i. parçanın talebi
ks_{ji}	j. kesim şeklinde i parçasının kesim sayısı
fire_{kj} fire miktarı	k. hammaddenin j kesim şekli ile kesilmesi sonucu ortaya çıkan fire miktarı
M_{kj}	k. hammadde j. kesim şekliyle kesilebiliyorsa 1, diğer türlü 0
C_k	k hammaddesinden mevcut olan miktar
α	Kesim miktarı ile ilgili tolerans değeri

Karar Değişkeni

X_j j. kesim şeklinin kesim planındaki kullanım sayısı

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1, j=1}^{K, J} \text{fire}_{kj} \cdot X_j \quad (1)$$

s.t.

$$\text{ks}_{ji} \cdot X_j \cdot M_{kj} \geq \text{talep}_i \quad \forall i \text{ için} \quad (2)$$

$$\text{ks}_{ji} \cdot X_j \cdot M_{kj} \leq (1+\alpha) \cdot \text{talep}_i \quad \forall i \text{ için} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J X_j \cdot M_{kj} \leq C_k \quad \forall k \text{ için} \quad (4)$$

$$X_j \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad \forall j \text{ için} \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu (1) tüm hammadde tip ve boyları için, toplam fire miktarını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Modeldeki ilk kısıt (2), tüm parçaların talep miktarlarının karşılanmasını garanti eder. Burada her parçanın talebi, parçanın kesilebileceği hammaddenin tüm boyları için, sezgisel yöntem ile elde edilen kesim şekillerinden seçilenlerin X adet kullanılması ile karşılanmaktadır. (3) numaralı kısıt ise her parçanın yıllık olarak kesilecek miktarının parçanın yıllık

talebini, talebinin belli bir yüzdesinden daha fazla aşmaması için yazılmış olan kısıttır. İşletme, müşterileri ile yapmış olduğu anlaşmalara göre her ürün için yıllık talep miktarının %10 alt ya da üstündeki talep değişimlerini karşılayabilmelidir. Bu nedenle matematiksel modelde böyle bir kısıta yer verilmiş ve α değeri olarak 0,10 kullanılmıştır. Bir sonraki kısıt (4), her hammadde tipi için kesim planına alınacak olan miktarın, stokta bulunan hammadde miktarını aşamayacağını ifade etmektedir. Bu çalışmada ele alınan problemde tüm hammadde tip ve boyları için stoklarda sınırlı fakat tüm ürünler için gerekli olan parçaları kesmeye yetecek düzeyde stok bulunmaktadır. (5) numaralı kısıt ise her kesim şeklinin kesim planına kaç kez alındığını gösteren X karar değişkeninin 0 ya da pozitif bir tamsayı olması gerektiğini ifade etmektedir.

Bu matematiksel modelin çözümüyle işletme, tüm parçaların yıllık taleplerini en az toplam kesim kaybıyla karşılamak için 9 tip hammaddenin üç farklı boyundan kaç adet kullanması gerektiğini bulacaktır.

IV. UYGULAMA VE BULGULAR

Model Lingo 9 programı ile 9 saniyede global optimum sonuç vermiştir. Modelin sonuçlarına göre her hammadde tipi ve boyu için yıllık gerekli miktarlar, her parça tipinin yıllık kesim miktarı ve yıllık talep ile kesim miktarı arasındaki farklar Tablo 1' de verilmiştir. Gerçekleştirilen tüm kesimler sonucunda yıllık fire miktarı 467002.8 mm olarak bulunmuştur. İşletme tüm ürünlerin yıllık talebini karşılamak için toplam olarak 39120 adet hammadde tedarik etmelidir. Mevcut durumda işletme, kesim işlemini bütünsel bir süreç olarak ele almamaktadır. Bir hammadde boyundan kesim yaparken mümkün olduğunca tek tip parça kesmekte, kesim sonrası kalan parça kullanılabilir uzunlukta ise bu parçadan bir ya da birkaç ürün için kesim yapmaktadır. Kesilecek tüm hammaddeler için bu işlemi ayrı ayrı gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada önerilen iki aşamalı yöntem ile türetilen kesim şekillerine göre kesim sürecini en az fire ile gerçekleştirilmektedir. Önerilen yöntem tüm süreci göz önünde bulundurduğu ve bir hammaddeden en fazla iki tip parça kesimine izin verdiği için işletme ayar sürelerinde ciddi azalma yaşayacaktır. Aynı zamanda önerilen yöntem ile işletme, müşterileri ile yapmış olduğu anlaşmalarda belirtilmiş olan maksimum talep değişikliği oranını göz önünde bulundurarak kesim yapmış olacaktır. Bu yöntemin alternatif algoritmalarından çözüm süresi dışındaki farkı olarak, işletmenin kesim sürecini uzun dönemli olarak ele alması ve talep değişkenliği üst limitini göz önünde bulundurması söylenebilir.

Tablo 1: Parça Tiplerinin Yıllık Kesim Miktarları ve Yıllık Talepleri

Parça Tipi	Kesilecek Parça Miktarı	Talep	Fark	Parça Tipi	Kesilecek Parça Miktarı	Talep	Fark
1	6506	6500	6	24	6594	6000	594
2	11509	11500	9	25	4501	4500	1
3	135267	135200	67	26	48006	48000	6
4	3205	3200	5	27	22601	22600	1
5	7507	7500	7	28	35738	32500	3238
6	76330	76330	0	29	44262	44250	12
7	2109	2100	9	30	92253	92250	3
8	2112	2100	12	31	175000	175000	0
9	2184	2180	4	32	15946	14500	1446
10	17878	17877	1	33	1655	1650	5
11	8633	8422	211	34	3609	3600	9
12	4500	4500	0	35	549	500	49
13	40018	40000	18	36	513	500	13
14	6528	6500	28	37	550	500	50
15	4016	4000	16	38	1113	1100	13
16	16010	16000	10	39	507	500	7
17	12504	12500	4	40	500	500	0
18	47270	43000	4270	41	12502	12500	2
19	4200	4200	0	42	550	500	50
20	3952	3600	352	43	502	500	2
21	19006	19000	6	44	15050	15048	2
22	1001	1000	1	45	36567	36564	3
23	1602	1600	2	46	142678	14256	12

Tablo 2: Hammadde Tip ve Boyları İçin Yıllık Gerekli Miktarlar

Hammadde Tipi	3000 mm	4000 mm	6000 mm
1	1	177	2884
2	2151	602	329
3	1541	2459	0
4	0	4393	7000
5	1139	265	0
6	242	858	119
7	295	2150	870
8	626	837	5854
9	240	2962	1126

En az ihtiyaç duyulan hammadde tipi 6 numaralı hammadde tipi (34 x 1,00 mm boru) olurken, en fazla ihtiyaç duyulan hammadde tipi 4. hammadde tipi (14 x 1,20 mm boru) olmuştur.

Tablo 3: Parçaların Kesildiği Hammadde Tipleri ve Kesim Adetleri

Hammadde Boyları	3000 mm	4000 mm	6000 mm
Parça	Hammadde tipi - Kesilen Adet	Hammadde tipi - Kesilen Adet	Hammadde tipi - Kesilen Adet
1	8 (84)	8 (6422)	-
2	8 (6475)	-	8 (5034)
3	8 (1456)	8 (331)	8 (133480)
4	-	8 (3205)	-
5	8 (262)	8 (7245)	-
6	-	-	8 (76330)
7	-	8 (2109)	-
8	-	8 (2112)	-
9	8 (2184)	-	-
10	9 (480)	9 (18)	9 (17380)
11	-	9 (1819)	9 (6814)
12	9 (3840)	-	9 (660)
13	-	9 (40018)	-
14	-	-	9 (6528)
15	-	9 (4016)	-
16	-	9 (263)	9 (15747)
17	-	9 (12504)	-
18	7 (300)	7 (45534)	7 (1436)
19	7 (1924)	7 (1972)	7 (304)
20	-	-	7 (3952)
21	7 (338)	-	7 (18668)
22	7 (1001)	-	-
23	-	7 (1602)	-

Tablo 4: Parçaların Kesildiği Hammadde Tipleri ve Kesim Adetleri

Hammadde Boyları	3000 mm	4000 mm	6000 mm
Parça	Hammadde tipi - Kesilen Adet	Hammadde tipi - Kesilen Adet	Hammadde tipi - Kesilen Adet
24	1 (1)	1 (4381)	1 (2212)
25	1 (15)	-	1 (4486)
26	-	-	1 (48006)
27	-	1 (26)	1 (22575)
28	3 (30820)	3 (4918)	-
29	-	3 (44262)	-
30	-	4 (92253)	-
31	-	-	4 (175000)
32	5 (15946)	-	-
33	-	5 (1655)	-
34	5 (1139)	5 (2470)	-
35	6 (320)	-	6 (229)
36	-	6 (117)	6 (396)
37	-	6 (70)	6 (480)
38	-	6 (1101)	6 (12)
39	-	6 (507)	-
40	6 (500)	-	-
41	6 (1040)	6 (10542)	6 (920)
42	6 (550)	-	-
43	-	6 (7)	6 (495)
44	-	2 (15050)	-
45	2 (36567)	-	-
46	2 (2151)	2 (602)	2 (11515)

Parçaların hangi hammadde tiplerinin hangi boylarından kaç adet kesildiği Tablo 3 ve 4'te ifade edilmiştir. Tablo 3'te ilk 23, Tablo 4'te ise son 23 parçaya ilişkin sonuçlar sunulmuştur. Tablonun içindeki hücrelerde öncelikle parçanın kesildiği hammadde tipi yazılmış, ardından parantez içinde ilgili parçadan kaç adet kesildiği ifade edilmiştir. Örneğin 1. parça 8. hammaddenin 3000 mm'lik boyundan 84, 4000 mm'lik boyundan 6422 adet kesilmektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada çelik soğuk şekillendirme sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin MSSCSP {1}-boyutlu problemi, işletmenin gerçek verileri kullanılarak ele alınmıştır. İşletme 9 tipte ve 3 farklı boyda hammadde tedarik etmekte ve bu hammaddelerden 46 tipte parça kesilmektedir. Kombinatoriyal problemlerden biri olan kesme problemlerinde, bu boyuttaki bir problem için makul bir sürede optimal çözüm elde etmek oldukça zordur. Bu amaçla, kesim sırasındaki parça tiplerindeki geçişlerde yaşanan sıkıntıları ve ortaya çıkan maliyetleri en aza indirmek amacıyla öncelikle bir boy hammaddeden en fazla iki tip parça kesimine izin veren bir sezgisel algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma ile 1 saniyenin altında bir sürede her parça ve hammadde boyu için alternatif kesim şekilleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kesim şekilleri, tam sayılı doğrusal programlama modeline aktarılmıştır. Bu modelde, tüm ürünlerin dönemsel taleplerinin minimum kesim kaybı ile karşılanması için hangi hammadde tipinin hangi boyundan kaç adet tedarik edilmesi gerektiği ve bu hammaddelerin hangi kesim şekilleri ile kaç kez kesilmesi gerektiği belirlenmiştir. Modelde aynı zamanda, işletmenin her parça için yıllık parça kesiminin, talebin %10' undan daha fazla yapılmaması sağlanmıştır. Çalışmada önerilen iki aşamalı yöntem, kesim sürecini bütünsel olarak ele almakta ve çok kısa sürede işletmenin problemine çözüm bulabilmektedir.

KAYNAKÇA

AKTIN, T., OZDEMIR, R.G. (2009), "An integrated approach to the one-dimensional cutting stock problem in coronary stent manufacturing", *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, pp.737-743

ALVES, C., CARVALHO, J. M. V. (2008), "A stabilized branch-and-price-and-cut algorithm for the multiple length cutting stock problem", *Computers and Operations Research*, Vol. 35, pp. 1315- 1328.

ARAUJO, S.A., CONSTATNTINO, A.A. and POLDI, K.C. (2010), "An evolutionary algorithm for the onedimensional cutting stock problem", *International Transactions in Operational Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 115-127.

BELOV, G., SCHEITHAUER, G. (2002), "A cutting plane algorithm for the one-dimensional cutting stock problem with multiple stock lengths", *European Journal of Operational Research*, Vol. 141, pp. 274-294.

CUI, Y., LUI, Z. (2011), "C-Sets-based sequential heuristic procedure for the one-dimensional cutting stock problem with pattern reduction", *Optimization Methods & Software*, Vol. 26, No. 1, pp. 155–167.

CUI, Y-P.,TANG, T-B. (2014), "Parallelized sequential value correction procedure for the one-dimensional cutting stock problem with multiple stock lengths", *Engineering Optimization*, Vol. 46, No. 10, pp. 1352-1368.

CUI, Y., ZHONG, C. and YAO, Y. (2015), "Pattern-set generation algorithm for the one-dimensional cutting stock problem with setup cost", *European Journal of Operational Research*, Vol. 243, pp. 540–546.

DYCKHOFF, Harald (1990), "A Typology of cutting and packing problems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 44, pp. 145-159.

ESHGHI, K., JAVANSHIR, H. (2008). "A Revised Version of Ant Colony Algorithm for One-Dimensional Cutting Stock Problem", *International Journal of Industrial Engineering*, Vol. 15, pp. 341–348.

GRADISAR, M., RESINOVIC, G. and KLJAJIC, M. (2002), "Evaluation of algorithms for one-dimensional cutting", *Computers & Operations Research*, Vol. 29, pp. 1207-1220.

JAHROMI, M.H.M.A, TAVAKKOLI-MOGHADDAM R., MAKUI, A. and SHAMSI, A. (2012), "Solving an one-dimensional cutting stock problem by simulated annealing and tabu search", *Journal of Industrial Engineering International*, 8:24, doi:10.1186/2251-712X-8-24.

LU, Q., WANG, Z. and CHEN, M. (2008), "An Ant Colony Optimization Algorithm for the One-Dimensional Cutting Stock Problem with Multiple Stock Lengths", *Natural Computation, ICNC'08*, 7, pp. 475-479.

POLDI, K. C., ARENALES, M. N. (2009), "Heuristics for the one dimensional cutting stock problem with limited multiple stock lengths", *Computers and Operations Research*, Vol. 36, pp. 2074-2081.

REINERTSEN, H. and VOSSEN, T.W.M. (2010), "The one-dimensional cutting stock problem with due dates", *European Journal of Operational Research*, Vol. 201, pp. 701-711.

UMETANI, S., YAGIURA, M. and IBARAKI, T. (2003), "One-dimensional cutting stock problem to minimize the number of different patterns", *European Journal of Operational Research*, Vol. 146, pp. 388–402.

WASCHER, G., HAUBNER, H. and SCHUMANN, H. (2007), "An improved typology of cutting and packing problems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 183, pp. 1109-1130.

WONGPRAKORNKUL, S., CHARNSETHIKUL, P. (2010), "Solving One-Dimensional Cutting Stock Problem with Discrete Demands and Capacitated Planning Objective", *Journal of Mathematics and Statistics*, Vol. 6, No. 2, pp. 79-83.

YANASSE, H. H., LAMOSA, M.J.P. (2006), "An integrated cutting stock and sequencing problem", *European Journal of Operational Research*, Vol.183, No.3, pp. 1353-1370.

YANG, C-T., SUNG, T-S. and WENG, W-C. (2006). "An improved tabu search approach with mixed objective function for one-dimensional cutting stock problems", *Advances in Engineering Software*, Vol.37, pp. 502–513.