

Birleşik Stok Kesme ve Patern Sıralama Problemi için Bir Sezgisel Algoritma

Deniz TANIR^{*1}, Onur UĞURLU¹, Mehmet KAPAR², Urfat NURİYEY¹

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 35100, İzmir

²MKA Yazılım ve Mühendislik, İzmir Teknoloji Geliştirme Bölgesi, 35430, İzmir

(Alınış / Received: 15.03.2017, Kabul / Accepted: 08.06.2017, Online Yayınlanma / Published Online: 03.07.2017)

Anahtar Kelimeler

Stok kesme problemi,
Süreksizliğin minimizasyonu
problemi,
Sezgisel algoritmalar,
Çelik kesim,
Bilgisayar yazılımı

Özet: Stok kesme problemleri üretim ve planlamada en çok karşılaşılan problemlerden biridir. Bu çalışmada, çelik endüstrisindeki şirketlerde karşılaşılan Bir-Boyutlu Stok Kesme Problemi ele alınmıştır. Şirketler, müşterilerinin siparişleri hazırlarken hem kesim paternlerindeki fire miktarının hem de kesim sürecindeki kesicinin değişiminin en küçüklenmesini istemektedir. Bu çalışmada, karşılaşılan bu birleşik problem için yeni bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Son olarak, önerilen algoritmanın etkinliği gerçek hayat problemleri üzerinde gösterilmiştir.

A Heuristic Algorithm for an Integrated Cutting Stock and Pattern Sequencing Problem

Keywords

Cutting stock problem,
Minimization of
discontinuities problem,
Heuristic algorithms,
Steel cutting,
Computer software

Abstract: Cutting stock problems is one of the most encountered problems in production and planning. In this work, an One-Dimensional Cutting Stock Problem which is encountered in companies which are in steel industry is discussed. The companies desires both minimization of the trim loss in cutting patterns and changes of the cutters in cutting process when preparing customer orders. In this work, a new heuristic algorithm for the encountered integrated problem. Finally, the efficiency of the proposed algorithm on real-life problems is showed.

1. Giriş

Günümüz yoğun rekabet koşulları altında ayakta kalmak isteyen işletmeler, maliyetlerini minimize etmek ve etkinliklerini arttırmak zorundadır. Kâğıt, cam, çelik, metal, tekstil ve deri benzeri birçok endüstri alanlarında, boyutları bilinen bir malzemeden, çeşitli biçim, miktar ve boyutlara sahip daha küçük parçaların kesilerek kullanılması gerekmektedir. Bu kesim planlarını düzenlenirken amaç; üretim maliyetinin veya fire miktarı gibi bazı amaç fonksiyonlarının minimize edilmesidir. Bu tür problemler, genel olarak, stok kesme problemleri (Cutting Stock Problems) olarak adlandırılmaktadır. Pratikte, küçük parçalar sipariş edilen ürünler, büyük objeler ise stok malzemeleridir. Stok kesme problemi, NP-zor olarak nitelendirilen kombinatoriyal problemler ailesine ait bir problemdir [1].

Stok kesme problemleri endüstriden endüstriye hatta işletmeden işletmeye farklılık gösteren bir problem tipidir. Teorik olarak problemin tanımı oldukça sade görünse de işletmenin gereklilikleri ve istekleri doğrultusunda probleme birçok kısıt eklenebilir. Bu değişkenlik gösteren kısıtlar dışında; stok kesme

problemleri temel olarak iki ana başlık altında incelenebilir;

- (1) Fireyi ya da çöp miktarını minimize edecek şekilde kesim paternlerinin bulunması.
- (2) Elde edilen bu kesim patenlerini için zaman, iş gücü gibi bir maliyeti minimize edecek şekilde kesim planının bulunması [2].

İkinci problem literatürde patern (desen) sıralama (Pattern Sequencing) problemi olarak bilinmektedir. Patern sıralama problemleri özellikle üretim planlama alanında önemli uygulama alanına sahiptir. Bu problemlerin genel olarak amacı bazı amaç fonksiyonlarına göre kesim planında ki paternlerin işlem sırasının optimize edilmesidir. Bu amaç fonksiyonları genellikle siparişler hazırlanırken kesim düzeneğinin değişimi ya da kullanım süresi ile ilgilidir. Bu kapsamda özellikle kâğıt ve çelik endüstrilerinde karşılaşılan problemlerden biri olan Süreksizliğin Minimizasyonu Problemi (Minimization of Discontinuities Problem - MDP), kesim bıçağındaki değişimlerin; arka arkaya gelen farklı sipariş tipi sayısının minimize edilmesidir [3]. Eğer bir kesim planı içerisinde aynı tip siparişler genel olarak arka

*İlgili yazar: tanirdeniz35@gmail.com

arkaya geliyorsa, kesim bıçağı sabit kalacak ve herhangi bir işlem maliyeti getirmeyecektir. Süreksizliğin Minimizasyonu Problemi özellikle küçük ölçekli işletmelerinin kesim planlaması yaparken sıklıkla karşılaştıkları bir problemidir.

Stok kesme problemleri ve çözümleri uzun yıllardır araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Tek boyutlu kesim problemi ilk olarak Kantorovich [4] tarafından formüle edilmiştir. Bu alanda yapılan en önemli çalışmalardan biri Gilmore ve Gomory [5] tarafından önerilen doğrusal programlama yöntemidir. Problemin tarihi oldukça eski olsa da, stok kesme problemi günümüzde hala birçok araştırmacının dikkatini çekmekte ve literatürde problem için birçok kesin ve sezgisel çözüm veren yöntemler bulunmaktadır [7-13].

Stok kesme problemleri patern sıralama açısından birçok farklı araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Bazı araştırmacılar patern üretimi ve sıralamayı tek bir birleşik problem olarak ele almış, ancak birçok farklı araştırmacı sadece sıralama problemine odaklanarak, fire miktarını sabit değer olarak ele almışlardır [14]. Yuen [15] ve Fink [16], patern sıralama problemini tek bir problem olarak ele alan diğer çalışmalara örnek olarak gösterilebilir. Patern üretimi ve sıralamayı tek bir birleşik problem olarak çalışan son dönemdeki çalışmalar örnek olarak Yanasse ve Lamosa [3], Aktin ve Özdemir [2], Arbib vd. [17] verilebilir. Johnston [18] kâğıt sanayisinde kesim bıçağının değişiminin minimizasyonunu ele almıştır. Johnston [18] çalışmasında patern üretimi ve sıralama problemlerini ayrı ayrı ele alsa dahi, bu problemlerin beraber ele alınması gerektiğini düşündüğünü belirtmiştir. Daha önce belirtildiği gibi stok kesme problemi NP-zor olan bir problemidir. Stok kesme probleminin, bazı sıralama kısıtları altında ele alınışı, çözümü daha da zorlaştırmaktadır. Bu sebeple, bu alanda geliştirilecek olan sezgiseller büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, MKA Yazılım [19] tarafından tarafımıza iletilen çelik sektöründeki bazı işletmelerin karşılaştığı bir boyutlu stok kesme problemi ele alınacaktır. İşletmeler; kesim planı oluşturulurken hem fire miktarının hem de kesim sırasında kesim bıçağındaki değişiminin en küçüklenmesini talep etmektedir. Dolayısıyla patern üretimi ve patern sıralama problemlerinin tek bir bileşik problem olarak düşünülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada sözü edilen birleşik problem ele alınmış ve bu problem için bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın verimliliği gerçek hayat örnekleri üzerinde test edilmiştir.

Çalışmanın kalan bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde ele alınan problem detaylı bir şekilde incelenmiştir. Önerilen sezgisel algoritma üçüncü bölümde sunulmuştur. Dördüncü bölümde gerçek hayat örnekleri üzerindeki sayısal sonuçlar

verilmiştir ve son olarak beşinci bölümde çalışma sonlandırılmıştır.

2. Problemin Tanımı

Çelik yapı sektöründe rekabet her geçen gün artmaktadır. Rekabet edebilmenin yolu, maliyetleri azaltacak ekonomik çözümler bulmaktan geçmektedir. Kesilecek yapı elemanlarının boyları çok farklı boylarda olabilirken çelik profillerin 6 veya 12 metre gibi standart boylarda üretilmesi, kesimin planlanmasını ve malzemenin en doğru şekilde kullanımını gerektirir. Bu noktada oluşturulan kesim paterlerinin fire miktarlarının olabildiğince az olması şirketler için oldukça önemlidir. Klasik bir boyutlu stok kesme probleminin matematiksel modeli aşağıdaki gibi verilebilir [20]:

L - Stok uzunluğu

N - Nesne (sipariş) sayısı

m - Kullanılan stok sayısı

w_i - i . nesnenin uzunluğu

v_i - i . nesnenin istek sayısı

x_{ij} - j nolu stokta i nolu siparişin sayısı

y_j - j nolu stoğun kesim planında kullanılıp kullanılmadığı

t_j - j nolu stoktan kalan atık miktarı

Amaç fonksiyonu:

$$Enk \sum_{j=1}^m t_j \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} w_i + t_j = L y_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (2)$$

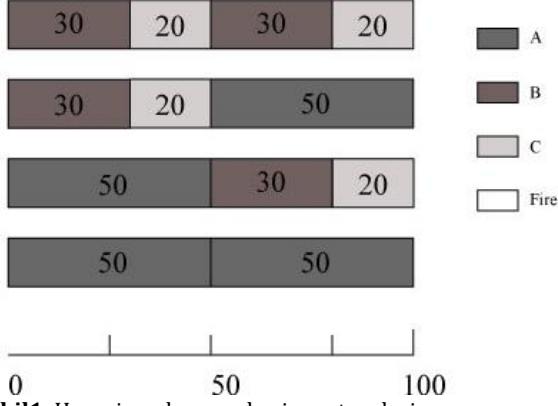
$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = v_i, \quad j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$x_{ij} \text{ pozitif tamsayı, } i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$y_j \in \{0,1\}$$

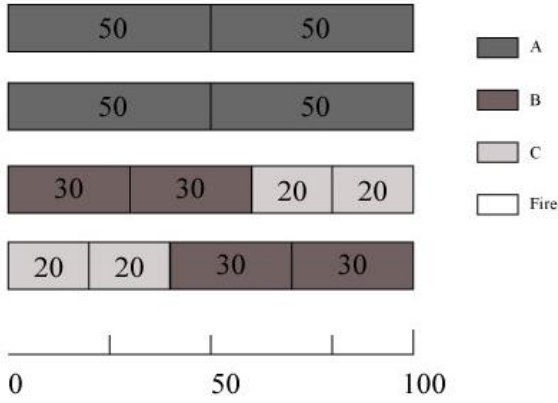
Klasik bir boyutlu kesim işlemi için kurulumun manuel olduğu uygulamalarda ise paternlerin sıralanması da oldukça önem kazanmaktadır. Çelik endüstrisindeki özellikle orta çaplı şirketler, müşterilerinin siparişlerini elindeki stoklardan bir kesim aleti ile manuel olarak kesmektedir. Kesim bıçağının kurulumunun her bir kesme işlemi için sürekli değiştirilmesi ustalar için ağır bir iş yükü getirmektedir. Bu noktada aynı tipteki siparişlerin kesim sürecinde birbirine takip etmeleri başka bir değişle homojen kesim paternlerinin oluşturulması, kesim işlemini yapan ustalara büyük kolaylık

sağlayacaktır. Fakat bu yöndeki bir kısıtlama, fire miktarında artışa sebep olacaktır. Dolayısıyla, fire miktarı ve kesicideki değişim miktarı arasında bir denge kurulması gerekmektedir. Problem için geliştirilecek yöntem ile olabildiğince minimum fire ve minimum kesici değişimi ile kesim planı hazırlanmalıdır.



Şekil1. Homojen olmayan kesim paternleri

Şekil 1’de verilen kesim planında herhangi bir fire bulunmamaktadır. Ancak kesim işlemi yapılırken özellikle birinci ve ikinci paternlerde kesim aleti sıkça yeniden ayarlanmalıdır.



Şekil2. Homojen kesim paternleri

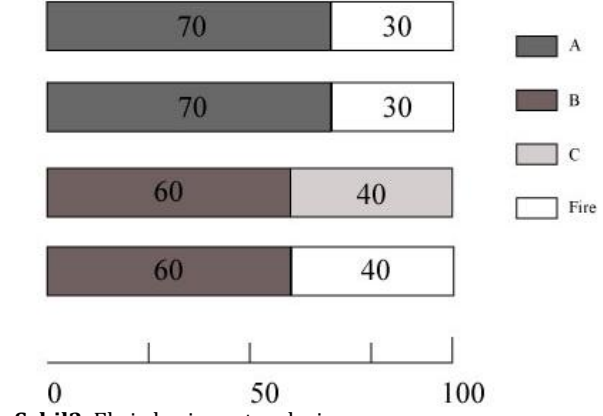
Şekil 2’de verilen kesim planı da aynı şekil 1’deki gibi fire içermemektedir. Fakat aynı parçaların birbirlerini takip etmeleri, Şekil 2’deki kesim planını daha tercih edilir kılmaktadır.

Tek boyutlu kesim probleminde siparişlerin büyük bir kısmının stok boyunun %40’dan uzun olduğu durumlar, çok miktarda fireye sebep olabilir. Şekil 3’te verilen örnekte bu durum açıkça görülmektedir.

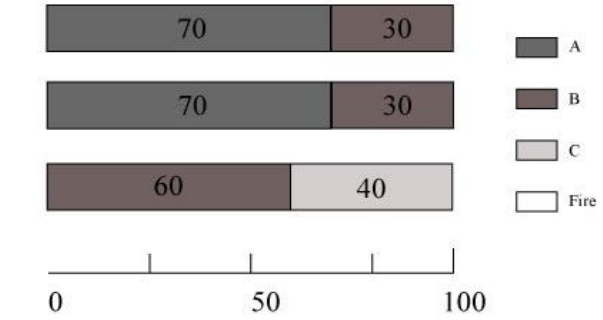
Bu artan malzemelerin kayıtlarının tutulması ve ürüne dönüşmemesi dolayısıyla işletmeye olan maliyetini azaltmak için birçok şirket küçük parçaları ek (kaynak işlemi) ile birleştirerek bazı siparişleri elde etmeyi amaçlamaktadır [21, 22].

Şekil 4’te ve şekil 3’te verilen aynı örnek için ekli bir çözüm verilmiştir. 60 birim uzunluğundaki bir siparişin ikiye bölünerek elde edilmesi, 90 birim olan

fire miktarını 0 birime indirmişdir. Ancak kaynak işleminin uygulanabilmesi için küçük parçaların uzunluğunun şirketlerin belirlediği belli bir parametreden daha uzun olması gerekmektedir. Kaynak işlemi ile ilgili bir başka kısıt ise, en fazla iki parçanın birleştirilebileceğidir.



Şekil3. Eksiz kesim paternleri



Şekil4. Ekli kesim paternleri

Bu çalışmada ele alınan problem, tarafımıza MKA Yazılım tarafından iletilmiştir. MKA Yazılım 2005 yılında kurulmuş, özellikle çelik endüstrisindeki şirketlerin problemlerine çözüm arayan yazılımlar geliştiren bir yazılım şirkettir. Bu problem ile karşılaşan şirketler kesim planlarının, az miktarda kaynak ve kesim bıçağı değişimi sayısı ile ve ayrıca olabildiğince az miktarda fire ile hazırlanmasını talep etmektedir. Bir sonraki bölümde tüm kısıtları dikkate alarak geliştirilen sezgisel algoritma detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

3. Önerilen Sezgisel Algoritma

Bu çalışmanın ana motivasyonu; çelik sektöründeki orta çaplı şirketlerde, ustaların manuel olarak oluşturdukları kesim planlarını sistematik bir hale getirmek ve geliştirmektir. Bu doğrultuda bir boyutlu stok kesme probleminin ana kısıtı olan fire miktarının ve çelik kesmede kullanılan kesim bıçağının değişim sayısının minimize edilmesi gerekmektedir. Stok kesme problemi NP-zor problemler sınıfında yer alan bir problemidir. Dolayısıyla, bu problem için matematiksel modeller ya da kesin yöntemler ile makul zamanlarda tam çözüme ulaşmak olanaksızdır. Çalışmada ele alınan stok kesme probleminde, fire miktarı yanında kesim

bıçağının değişiminin en küçüklenmesinin istenmesi probleminin çözümünü sayısal olarak daha da zorlaştırmaktadır. Uygulanabilirlik açısından şirketlerin beklentileri, istenilen siparişlerin miktarı ne kadar fazla olursa olsun, kısa sürelerde şirketin istekleri doğrultusunda iyi çözümler verecek yöntemlerdir. Bu sebeple karşılaşılan problem için sezgisel bir algoritma geliştirilmiş ve şirketlerin beklentileri karşılanmaya çalışılmıştır. Önerilen sezgisel algoritma, kesim paternlerinin bulunması ve sıralaması işlemini aynı anda ele alarak kesim planlarını bulurken kesim bıçağının değişimini minimize etmeye çalışmaktadır. Algoritmanın ana amacı homojen kesim paternleri oluşturmaktır. Bu doğrultuda önerilen algoritma, her adımda içinde yan yana aynı nesneler olan kesim paternleri bulmaya çalışır. Bu paternlerden kalan parçalar ise, sonraki adımlarda siparişlerin tamamlanmasında kullanılması için S dizisinde saklanır. Önerilen sezgisel algoritmada kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

L - Stok uzunluğu

C - Min. Tekrar kullanılabilir uzunluk

N - Nesne (sipariş) sayısı

n_i - i . istek (sipariş)

w_i - i . nesnenin uzunluğu

v_i - i . nesnenin istek sayısı

p_k - k . kesim paterni

Çalışmada ele alınan bileşik bir boyutlu kesme problemi için önerilen sezgisel algoritmanın temel adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1. Nesneler $w_i * v_i$ değerlerine göre A dizisinde büyükten küçüğe sıralanır.

Adım 2. A dizisinden sıradaki nesne n_i alınır.

Adım 3. Eğer n_i S dizisindeki bir parçadan ya da bu dizideki iki parçanın birleşiminden elde edilebiliyorsa bu parçalar kullanılır.

Adım 4. Eğer n_i nesnesinin tüm istekleri elde edildiyse Adım 2'ye dön.

Adım 5. n_i nesnesinin tüm istekleri sıradaki patern p_k 'dan kesilir. Eğer stok boyu L aşılsa bir sonraki patern p_{k+1} 'e geçilir. Herhangi bir p_k kesim paterninden kalan miktar C 'den büyükse kalan parça S dizisine eklenir.

Adım 6. Tüm istekler elde edilmediyse Adım 2' ye dön.

Önerilen algoritmanın avantajı hem fire miktarını hem de kesim bıçağının değişim miktarını aynı anda dikkate alarak tek bir aşamada kullanıcıların istekleri doğrultusunda kaliteli kesim planları oluşturmaktır.

Önerilen algoritma, MKA Yazılım Şirketinde kullanılmak üzere C# dilinde kodlanmıştır. Algoritmanın verimliliği bir sonraki bölümde gerçek hayat problemleri üzerinde test edilecektir.

4. Hesaplama Denemeleri

Ele alınan birleşik problem için önerilen algoritma MKA Yazılım'dan alınan gerçek hayat örnekleri ve Liang ve ark. [23] araştırmasından elde edilmiş örnekler üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar EP algoritması ve ticari paket program ile karşılaştırılmıştır. Hesaplama denemeleri Intel Core i7 4700 HQ 2.4 GHz işlemci ve 32 GB RAM e sahip işletim sistemi 64-bit Windows olan bir bilgisayar üzerinde yapılmıştır.

4.1. Önerilen sezgisel algoritmanın gerçek hayat örnekleri üzerindeki sonuçları

Gerçek hayattan alınan 10 farklı problemin sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Geliştirilen sezgisel algoritma ile tüm kesim planları 405,21 kilo fire, 121 kaynak işlemi ve 327 kesim bıçağı değişimi ile elde edilmiştir. Tüm problemler için programın çalışma süresi 1 saniyenin altındadır. Tüm kesim planlarındaki fire miktarı oranı %1, kaynak işlemi ile elde edilen istek sayısı oranı %10'dur. Ayrıca toplam 302 farklı istek olduğu göze alınırsa, 328 kesim bıçağı değişiminin en iyi çözüme yakın, kaliteli bir çözüm olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin hem fire miktarı, hem kaynak sayısı hem de kesim bıçağındaki değişim miktarı için verimli ve etkin sonuçlar bulunduğunu göstermektedir.

4.2. Veri kümesi

Veri kümesi Liang ve ark. [23] araştırmasından elde edilmiş 10 örnekten oluşan yalnız bir stok uzunluğuna bağlı 1-boyutlu stok kesme verilerinden oluşmaktadır. Geliştirilen sezgisel algoritma ile Liang ve ark. [23] tarafından önerilen evrimsel algoritmanın (EP) ve ticari bir yazılımın deneme versiyonunun [24] sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.3. Önerilen sezgisel algoritma ve ep karşılaştırması

Önerilen sezgisel algoritma Liang ve ark. [23] önerdiği yalnız bir stok uzunluğuna bağlı veri seti üzerinde EP algoritması ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 3.'de verilmiştir.

4.4. Önerilen sezgisel algoritma ve ticari yazılım karşılaştırması

Geliştirilen yazılımın ticari kullanım niteliği olduğundan bu alandaki diğer ticari yazılımlar incelenmiştir. Genel olarak 1-boyutlu stok kesme yazılımları işletmelerin ortak olarak talep ettiği fireyi en küçükleme ve ana malzeme kullanımı üzerinden sonuç üretmektedir. Kesim bıçağının değişim

sayısının minimum düzeyde tutulmasını amaçlayan yazılımlara rastlanmamıştır. Fakat bazı yazılımlarda müşterilerin siparişlerini oluştururken aynı

müşteriye ait siparişlerin aynı desende veya ardışık gelen desenlerde yer almasını amaçlayan özellik mevcuttur.

Tablo 1. Hesaplama denemeleri sonuçları

N	Tüm isteklerin toplam sayısı	Tüm isteklerin toplam ağırlığı (kg)	Fire miktarı (kg)	Fire miktarı (yüzde)	Kaynak sayısı	Kesim bıçağı değişim sayısı	Süre (sn)
19	316	11991,53	140,83	1,17	18	21	0,65
41	154	6752,22	51,46	0,76	32	46	0,23
146	237	6047,23	27,71	0,46	10	157	0,22
11	64	4332,50	24,38	0,56	16	11	0,19
18	62	2753,83	36,49	1,33	9	18	0,16
23	82	3737,60	47,19	1,26	9	25	0,15
21	60	3425,38	39,41	1,15	18	23	0,14
6	41	1829,26	19,3	1,06	9	6	0,1
9	27	604,62	7,66	1,27	0	10	0,07
8	25	589,22	10,78	1,83	0	10	0,05

Tablo 2. Önerilen algoritma ve ticari yazılımın karşılaştırması

Örnekler	İsteklerin toplam sayısı	Önerilen Algoritma				Real Cut 1D			
		Stok sayısı	Fire (yüzde)	Kesim bıçağı değişim sayısı	Süre (saniye)	Stok sayısı	Fire (yüzde)	Kesim bıçağı değişim sayısı	Süre
1a	20	9	2,44	6	0.024	9	2.44	8	0.016
2a	50	23	3,92	8	0.027	23	3.92	13	0.14
3a	60	16	6,67	9	0.025	15	0.00	15	0.344
4a	60	19	2,37	10	0.053	19	2.37	21	0.297
5a	126	53	5,29	21	0.064	53	5.29	32	0.485
6a	200	79	1,54	18	0.174	80	2.82	37	0.813
7a	200	69	2,53	31	0.105	68	1.04	60	1.029
8a	400	144	1,24	25	0.645	143	0.54	54	1.047
9a	400	151	1,47	42	0.432	150	0.80	94	0.141
10a	600	217	0,97	39	1.271	216	0.50	99	0.172

Tablo 3. Önerilen algoritma ve EP'nin karşılaştırması

Örnekler	İsteklerin sayısı	Önerilen Algoritma				EP Algoritması	
		Stok sayısı	Fire (yüzde)	Stok Sayısı	Fire (yüzde)	Stok Sayısı	Fire (yüzde)
1a	20	9	2,44	9	2,44	9	2,44
2a	50	23	3,92	23	3,92	23	3,92
3a	60	16	6,67	15	0	15	0
4a	60	19	2,37	19	2,37	19	2,37
5a	126	53	5,29	54	7,28	54	7,28
6a	200	79	1,54	82	5,40	82	5,40
7a	200	69	2,53	69	2,53	69	2,53
8a	400	144	1,24	149	4,76	149	4,76
9a	400	151	1,47	155	4,16	155	4,16
10a	600	217	0,97	224	4,23	224	4,23

Farklı uzunluktaki siparişleri farklı bir müşteri gibi belirtilerek programın aynı uzunluktaki verileri aynı desen içerisinde veya ardışık desende kullanması sağlanmıştır. Örnek olarak bu özelliğe sahip ticari yazılımlardan biri olan Real Cut 1D'de [24] 1a örneği için kesim planı Şekil 5.'de gösterilmiştir. Programın deneme sürümünün grafiksel ve istatistiksel çıktılarından yararlanarak önerilen sezgisel algoritma ile karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 2.'de verilmiştir. Karşılaştırma sonuçları önerilen algoritmanın fire oranında ticari yazılım ile nerdeyse aynı oranda sonuç ürettiği bıçak değişim sayısında ise daha iyi sonuç ürettiği görülmüştür.

Length	Quantity	Waste	Graphic
14	2 0		
14	2 0		
14	1 0		
14	2 0		
14	1 1		
14	1 2		

Şekil5. Real Cut 1D yazılımının 1a örneği için kesim planı

5. Sonuç

Bu çalışmada çelik endüstrisinde karşılaşılan birleşik bir 1-boyutlu stok kesme problemi ele alınmıştır. Problemin kesin çözüm yöntemleri ile çözümünü mümkün olmadığı için sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma hem fire hem de kesim bıçağının değişim miktarının azaltılması problemini aynı anda ele alarak bir kesim planı oluşturmaktadır. Gerçek hayat örnekleri üzerinde test edilen algoritmanın, makul sürelerde efektif sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca önerilen algoritma ile evrimsel bir algoritma ve problemin ele alınan versiyonunu çözebilecek yakın bir ticari yazılımın sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları

önerilen algoritmanın fire miktarının en küçüklenmesinde makul sonuçlar ürettiği ve ticari program ile karşılaştırıldığında ise bıçak değişim sayısında oldukça iyi sonuç ürettiği görülmüştür. Ayrıca geliştirilen algoritma MKA Yazılım şirketinin optimizasyon yazılım paketlerinde kullanılmaktadır.

Gelecek çalışmalarda hammadde cinsi ve sipariş önceliği gibi kısıtları da dahil ederek algoritmanın geliştirilmesine devam edilecektir. Ayrıca İki-Boyutlu Stok Kesme Problemleri üzerinde de algoritmanın uygulanabilirliği üzerinde çalışılacaktır.

Teşekkür

Birinci ve ikinci yazarlar olarak TÜBİTAK'a 2211 burs programı ile desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Garey, M. R., Johnson, D. S. 1979. Computers and intractability. A Guide to the Theory of NP-Completeness.
- [2] Aktin, T., Özdemir, R. G. 2009. An integrated approach to the one-dimensional cutting stock problem in coronary stent manufacturing. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 737-743.
- [3] Yanasse, H. H., Lamosa, M. J. P. 2007. An integrated cutting stock and sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1353-1370.
- [4] Kantorovich, L. V. 1960. Mathematical methods of organizing and planning production. *Management Science*, 6(4), 366-422.
- [5] Gilmore, P., Gomory, R. 1963. A linear programming approach to the cutting stock problem, part II. *Operations Research*, 11, 863-888.
- [6] Gilmore, P., Gomory, R. 1961. A linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations Research*, 9 (6), 848-859.
- [7] Dikili, A. C., Sarz, E., Pek, N. A. 2007. A successive elimination method for one-dimensional stock cutting problems in ship production. *Ocean engineering*, 34(13): 1841-1849.
- [8] Reinertsen, H., Vossen, T. W. 2010. The one-dimensional cutting stock problem with due dates. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 701-711.
- [9] Cherri, A. C., Arenales, M. N., Yanasse, H. H. 2013. The usable leftover one-dimensional cutting stock problem-a priority-in-use heuristic. *International Transactions in Operational Research*, 20(2), 189-199.
- [10] Mobasher, A., Ekici, A. 2013. Solution approaches for the cutting stock problem with setup cost. *Computers & operations research*, 40(1), 225-235.
- [11] Poldi, K. C., De Araujo, S. A. 2016. Mathematical models and a heuristic method for the multiperiod one-dimensional cutting stock problem. *Annals of Operations Research*, 238(1-2), 497-520.
- [12] Berberler, M. E., Nuriyev, U. G. 2010. A new heuristic algorithm for the one-dimensional cutting stock problem. *Appl. Comput. Math*, 9(1), 19-30.
- [13] Berberler, M. E., Nuriyev, U., Yıldırım, A. 2011. A software for the one-dimensional cutting stock problem. *Journal of King Saud University-Science*, 23(1), 69-76.
- [14] Yuen, B. J., Richardson, K. V. 1995. Establishing the optimality of sequencing heuristics for cutting stock problems. *European Journal of Operational Research*, 84(3), 590-598.
- [15] Yuen, B. J. 1991. Heuristics for sequencing cutting patterns. *European Journal of Operational Research*, 55(2), 183-190.
- [16] Fink, A., Voß, S. 1999. Applications of modern heuristic search methods to pattern sequencing problems. *Computers & Operations Research*, 26(1), 17-34.
- [17] Arbib, C., Marinelli, F., Ventura, P. 2016. One-dimensional cutting stock with a limited number of open stacks: bounds and solutions from a new integer linear programming model. *International Transactions in Operational Research*, 23(1-2), 47-63.
- [18] Johnston, R. E. 1984. Cutting patterns and cutter schedules. *ASOR Bulletin* 4, 3-13.
- [19] MKA Yazılım. <https://www.mkasteel.com> (Erişim Tarihi: 01 Mart, 2017).
- [20] Jahromi, M. H., Tavakkoli-Moghaddam, R., Makui, A., Shamsi, A. 2012. Solving an one-dimensional cutting stock problem by simulated annealing and tabu search. *Journal of Industrial Engineering International*, 8(1), 24.
- [21] Tanır, D., Ugurlu, O., Nuriyev, U., Guler, A. 2016. One-dimensional Cutting Stock Problem with Divisible Items. *arXiv preprint*, arXiv:1606.01419.
- [22] Tanır, D., Ugurlu, O., Nuriyev, U., Guler, A. 2016. Çelik Endüstrisinde Kaşlaşılın İki Amaçlı Bir Boyutlu Stok Kesme Problemi Üzerine. *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği (YAEM-2016) 36. Ulusal Kongresi*, 13-15 Temmuz, İzmir.
- [23] Liang, K.H., Yao, X., Newton, Y., Hoffman, D. 2002. A new evolutionary approach to cutting stock problems with and without contiguity. *Comput. Oper. Res.*, 29(12):1641-59.
- [24] Real Cut Yazılım <http://www.optimalprograms.com/realcut1d.htm> (Erişim Tarihi: 19 Nisan, 2017).