

## BİR OLUKLU MUKAVVA KUTU FABRİKASINDA STANDART BOBİN ENLERİNİN BELİRLENMESİ

Tuğba SARAÇ<sup>1\*</sup>, Müjgan SAĞIR<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-8115-3206>

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2781-658X>

DOI : <http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.519900>

### Anahtar Kelimeler

1,5 boyutlu ana malzeme seçimi problemi, Tamsayı programlama, Oluklu mukavva kutu üretimi,  $\epsilon$  kısıt yöntemi.

### Öz

Kağıt sektöründe kesme problemleri pek çok çalışmaya konu olmuştur. Kutu üretiminde farklı boyutlara sahip kutular farklı ebatta bobinlerin kesilmesi ile elde edilebilirler. Bu tip problemlerde amaçlanan, genellikle kesme sonrası fireyi enküçükmektir. Kesme problemlerini konu alan çalışmaların çoğunda standart bobin enlerinin bulunduğu varsayılmaktadır ve eniyi kesme planı kombinasyonunun belirlenmesi problemi çözülmektedir. Ancak çözümün etkinliği büyük ölçüde ana malzeme boyutlarına dayanmaktadır. Farklı boyutlarda bobin bulundurmaya fireyi azaltırken, stok maliyetlerini de artırmaktadır. Bu tür problemlerin karakteristikleri, kesme probleminin boyutuna göre de farklılaşabilmektedir. Bu çalışmada, oluklu mukavva üreten bir fabrikada toplam fireyi ve standart bobin eni çeşitliliğini azaltmak amacıyla, 1.5 boyutlu kesme problemlerinde standart bobin eni seçimi problemi ele alınmış, problem iki aşamalı bir yöntem kullanılarak çözülmüştür. İlk aşamada sayımlama yöntemiyle, kısıtları sağlayan kesme planları türetilmiş, ikinci aşamada ise geliştirilen bir matematiksel model yardımıyla stokta bulunması gereken bobin enlerine karar verilmiştir. Geliştirilen matematiksel model,  $\epsilon$  kısıt yöntemi kullanılarak tek amaçlı hale dönüştürülmüş ve eniyi çözümü elde edilmiştir. Ayrıca problem, elde bulundurulacak stok enlerine farklı  $\epsilon$  değerleri verilerek çözdürüldüğünde daha düşük fire oranlarına ulaşılabilmektedir.

## DETERMINATION OF STANDARD SIZES OF ROLL STOCKS IN A CORRUGATED BOX FACTORY

### Keywords

1.5 dimensional assortment problems, Integer programming, Production of corrugated box,  $\epsilon$  constraint method.

### Abstract

There are many studies about cutting stock problems in paper industries. Boxes with different sizes are produced by using different size of roll stocks. The objective of this kind of problems is usually to minimize the total trim loss. In most of the studies about cutting stock problem, it is assumed that the size of the stock materials is known and the problem is solved to find the best cutting pattern combination. However, the solution efficiency of the problem strongly depends on the size of the roll stocks. Having many different sizes of materials in stock reduces the trim loss. On the other hand, stock cost increases in this case. In this study, to minimize the total trim loss and the number of the different roll stocks, determination of the standard sizes of the roll stocks problem for 1.5-dimensional cutting stock environment in a corrugated box factory has been considered. The problem is solved by using a two phased solution approach. Cutting patterns are derived in the first step, then the optimum sizes of the roll stocks are determined by using the mathematical model. The developed mathematical model is converted to a single objective form using the  $\epsilon$  constraint method and the optimum solution is obtained. Additionally, problem is solved by using different  $\epsilon$  values for the number of the stock rolls to be hold which also improves the trim loss.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 30.01.2019

Submission Date : 30.01.2019

Kabul Tarihi : 08.04.2019

Accepted Date : 08.04.2019

\* Sorumlu yazar; e-posta : [tsarac@ogu.edu.tr](mailto:tsarac@ogu.edu.tr)

## 1. Giriş

Cam, kağıt, tekstil, metal ve mobilya benzeri endüstri alanlarında, boyutları bilinen bir malzemeden, çeşitli biçim, miktar ve boyutlara sahip daha küçük parçaların kesilerek kullanılması gerekmektedir. Bu tür problemler, genel olarak, malzeme kesme problemleri (*cutting stock problems*) olarak adlandırılmaktadır. Kesilecek malzemeye ana malzeme, ana malzemeden kesilen küçük parçalara ise sipariş parçası denmektedir.

Bir kesme probleminin en önemli karakteristiği; ana malzemenin ve sipariş parçalarının, kesme planlarının oluşturulması aşamasında göz önünde bulundurulması gereken boyut sayısıdır. Kağıt ruloları, metal çubuklar gibi parçaların kesimi genellikle bir boyutlu, palet yerleştirme, büyük dikdörtgen ana malzemelerden küçük dikdörtgen sipariş parçalarının kesilmesi iki boyutlu, konteynır yerleştirme, ambalaj kutularına yerleştirme yapılması gibi problemler ise üç boyutludur. Göz önünde bulundurulması gereken boyut sayısı üçten fazla olduğunda problem, çok boyutlu olarak adlandırılır. Dört boyutlu problemler, üç boyutlu bir paketleme probleminin zaman boyutunun da katılması ile dört boyutlu bir uzayda gerçekleştirmesi ile ortaya çıkabilir (Dyckhoff, 1990). Bir buçuk boyutlu problemler, iki boyutlu problemlerin özel bir durumudur. Dikdörtgen malzemeler çok uzun rulolar üzerine yerleştirileceği zaman bu tip problemler ortaya çıkar (Chauny, Loulou, Sadones ve Soumis, 1991). Dikdörtgen parçalar kesiliyor olmasına rağmen, problem iki boyutlu değildir çünkü ana malzeme boyunca uzanan yan fire, bir boyutu ile tanımlanabilmektedir. Ancak bu problem, kesilecek parçaların yerleştirilmesi sırasında hem boy hem de enlerinin göz önünde bulundurulma zorunluluğu nedeniyle bir boyutlu problemden daha karmaşıktır (Haessler ve Sweeney, 1991).

1.5 boyutlu problemler için literatürde farklı tanımlamalara rastlanmıştır. Kesme problemleri konusunda literatüre çok önemli katkılarda bulunan Dyckhoff (1990) tek boyutlu kesme probleminin sürekli formda olanını, 1 artı yarım boyutlu, 1.5 boyutlu olarak adlandırmıştır.

Bir lisansüstü tez çalışmasında 1.5 boyutlu kesme problemi "açık boyut problemi" olarak yer almış ve problem, bir boyutu sabit diğer boyutu açık olan dikdörtgen şeklindeki bir ana malzemeye, kesilecek parça kümesindeki tüm parçaları, fireyi enküçükleyecek şekilde atamak olarak tanımlanmıştır (Bayır, 2012).

Yukarıdaki üç tanımda da 1.5 boyutlu problem, bir boyutu sabit, uzunluğu sürekli formda kabul edilebilecek ana malzemeye (bobine) dikdörtgen parçaların yerleştirilmesi şeklindedir.

Song (2006), 1.5 boyutlu problemi biraz farklı

tanımlamıştır. Çalışmaya esas olan bir plastik işletmesinde 1.5 boyutlu kesme problemi, ana malzemelerden sipariş parçalarını aşağıda açıklanan özelliklerde kesilmesi problemidir: Bu problemde müşterilerin istediği sipariş parçasının boyu, bazen, ana malzemenin uzunluğundan daha uzun olabilmektedir. Bu durumda birkaç tane her biri eldeki sipariş parçasının uzunluğundan daha kısa ve toplam uzunlukları sipariş parçasının uzunluğunu karşılayacak şekilde ana malzemeler birleştirilerek müşteriye sunulur. Bu problemde, ana malzemeler birleştirilebildiğinden problemin tipik bir iki boyutlu kesme problemi tanımına uymadığı, 1 boyutlu stok kesme probleminin daha karmaşık bir hali olduğu belirtilerek bu problem 1.5 boyutlu kesme problemi olarak tanımlanmıştır.

Kesme işlemini karakterize eden önemli diğer kavramlar, kısıtlı/kısıtsız, giyotin kesme, kademeli/kademesiz kesme ve ortogonal/ortogonal olmayan kesme olarak sayılabilir. Giyotin kesmede, ana malzeme bir kenarından diğer kenarına kadar kesilir. Her adımda kesilen parça ikiye ayrılır (Morabito, Arenales ve Arcaro, 1992). Bir kesme planında bir parçanın tekrar sayısı sınırlı değilse kısıtsız giyotin kesme, sınırlı ise kısıtlı giyotin kesme denir (Hifi ve Zissimopoulos, 1997). Dikdörtgen parçaların ana malzeme kenarlarına paralel (ortogonal) ya da herhangi bir açı ile (ortogonal olmayan bir şekilde) kesilmesi mümkündür (Dyckhoff, Kruse, Abel ve Gal, 1985). Kesme sayısında bir sınır varsa kademeli, aksi halde kademesiz giyotin kesme söz konusudur (Morabito ve diğerleri, 1992). İki kademeli kesme, giyotinle kesmenin özel bir durumudur. Bu türde tüm kesmeler ilk aşamada tüm enine (boyuna), ikinci aşamada ise tüm boyuna (enine) kesmeler olmak üzere iki aşamada tamamlanır.

Klasik kesme problemlerinde genellikle, en iyi kesme planları türetilirken ve bu kesme planlarından hangi sayıda kesme yapılması gerektiği belirlenirken, kesilecek ana malzeme boyutlarının bilindiği kabul edilmektedir. Bu koşullar altında elde edilen kesme planları, yalnızca başlangıçta öngörülen ebattaki ana malzemeden elde edilebilecek planlar olup çözümlerin etkinliği de doğrudan bu ana malzeme boyutlarına bağlıdır. Bu nedenle kesme problemleri ele alınırken, farklı boyutlarda hammadde temininin mümkün olduğu durumlarda, ana malzeme seçiminin de irdelenmesi çok önemlidir.

Bu çalışmanın konusu olan, ana malzeme boyutlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar literatürde, bir buçuk boyutlu ana malzeme seçimi (assortment) olarak adlandırılmaktadır. Ele alınan problemde, giyotin kesme sözkonusu değildir, parçalar ana malzemeye ortogonal yerleştirilmelidirler ve oluk yönü nedeniyle tek bir

yönde yerleştirme yapmak mümkündür. Wascher, Haußner ve Schumann, 2005 yılında kesme problemleri için bir sınıflandırılma önermiştir. Bu çalışmada kesme problemleri; “boyut”, “atama tipi”, “ana malzeme çeşitliliği”, “kesilecek parçası çeşitliliği” ve “kesilecek parçaların şekli” olarak beş ölçüte göre sınıflandırılmıştır. Wascher ve diğ. (2005) sınıflamasına göre, bu çalışmada ele alınan problem açık boyutlu (open dimension) veya yukarıda verilen boyut tanımına göre 1.5 boyutlu, birden fazla çeşitte ana malzemenin olduğu ayrıca kesilecek parçaların çok çeşitli ebatta olduğu ve girdinin enküçüklendiği sınıfa girmektedir.

Beasley (1985), çalışmasında iki boyutlu ana malzeme seçimi problemi üzerinde çalışmıştır. Amaç, kesme maliyetinin en küçüklenmesidir. Algoritma, büyük miktardaki olabilir kesme planlarının içinden bir başlangıç kümesi oluşturarak başlar. Kesme planları kısıtsız, iki boyutlu giyotin kesme problemleri için dinamik programlama yaklaşımı ile türetilmiştir. Daha sonra doğrusal programlama yaklaşımı kullanılarak kesme planlarının kullanım adetlerine karar verilmiş ve iki yuvarlama metodu kullanılarak tamsayı çözüm elde edilmiştir. Son olarak, ana malzeme seçimi sezgisel bir yaklaşımla yapılmıştır.

Pentico (1988), çalışmasında iki boyutlu ana malzeme seçimi problemini ele almıştır. Stok ve ikame maliyetlerinin azaltılmasının amaçlandığı problemin çözümü için iki sezgisel algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmaların sonuçları dinamik programlama sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Gochet ve Vandebroek (1989), iki boyutlu ana malzeme seçimi probleminin çözümü için, dinamik programlama tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

Gemmill ve Sanders (1990), portföy problemi için, kayıpları enküçükleyecek şekilde yatırım büyüklüklerinin belirlenmesi problemini ele alarak, ortalama fire ve ana malzeme oranının, ortalama sipariş malzemesinin büyüklüğü ile ilişkisini bir regresyon modeli yardımıyla analiz etmişlerdir. Bu çalışmada fire maliyetlerini enküçükleme amaçlı sezgisel bir yaklaşım kullanarak ana malzeme seçimi yapılmıştır.

Farley (1990), iki boyutlu kesme problemlerinde, fire oranının ana malzeme karakteristiğine dayandığını göstermiştir. Bu karakteristik genellikle ana malzeme alanı, kareselliği (boyunun enine oranı) ve ana malzeme çeşididir.

Yanasse, Zinober ve Harris (1991), farklı ebattaki tahta levhalardan, dikdörtgen sipariş parçalarının kesilmesi üzerinde çalışmışlardır. Geliştirilen sezgisel algoritma, kesme planını türetme ve uygun ana malzeme seçimi işlemlerini birlikte yapmaktadır.

Yukarıdakilere ek olarak bazı çalışmalar, problemi, sadece ekonomik boyutunu göz önünde bulundurarak

ele almışlardır. Holthaus (2003), stokta iki veya daha çok malzeme bulundurma ile tek malzeme bulundurma durumlarında elde edilebilecek tasarruf miktarlarını incelemiş, 2, 3 veya 4 ana malzeme için tek malzemeye göre daha ekonomik bir sonuç elde edildiğini belirlemiştir. Öte yandan 5 veya daha fazla çeşit ana malzeme bulundurulduğunda fire oranının oldukça düştüğünü belirtmişlerdir.

Chauhan, Martel ve D'Arnour (2008) çalışmasında ana malzeme seçimi yanısıra kesme problemini çözmek için bir model geliştirilmiştir. Amaç kesme kaybı ve stok maliyetini enazlamaktır. Geliştirilen model 0-1 tamsayılı doğrusal olmayan bir modeldir. Sütun türetme tekniğinden ve bir sezgisel algoritmadan yararlanarak problem çözülmüştür.

Raffensperger (2010), hem bir boyutlu kesme hem de ana malzeme seçimi problemini ele almıştır. Modellerde amaç, kesme kaybını enazlamaktır. Bu modelde belirli sayıda ana malzeme seçilebilse de bu sayının olabildiğince az sayıda olması istenmektedir.

Kasimbeyli, Saraç ve Kasimbeyli, (2011), çalışmasında 1 boyutlu kesme ve ana malzeme seçimi problemi ele alınmıştır. Bu tür problemlerde en büyük güçlüğün matematiksel modelde kesme planlarının bir parametre seti olarak yer alması olduğu, yanısıra bu setin bazen çok büyük olup hem kesme planlarının türetilmesinin hem de kesme planı setinin kullanımının çözüm süreçlerini çok karmaşıktırdığı belirtilmiştir. Çalışmada kesme planlarını türeterek kesme problemini çözen çok amaçlı bir matematiksel model ve sezgisel bir yaklaşım önerilmiştir.

Son yıllarda konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, Han ve Chang, (2015), 1.5 boyutlu kesme problemini dinamik programlama temelli bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir.

Garraffa ve diğ. (2016), çalışmalarında bir boyutlu kesme probleminin kesme kayıplarının kesme sırasına bağlı olduğu versiyonunu ele almışlardır.

Benjaoran, Sooksil ve Metham (2019), bir boyutlu kesme ve ana malzeme seçimi problemi için sipariş parçalarının çeşitliliği ile fire miktarı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Bir buçuk boyutlu ana malzeme seçimini konu alan az sayıda çalışma vardır. Saraç ve Özdemir (2003), bir buçuk boyutlu ana malzeme seçimi problemi için iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Birinci aşamada kesme planları türetilmiş, ikinci aşamada ise hem kesme problemini hem de ana malzeme seçimi problemini çözebilen bir genetik algoritma kullanılmıştır. Gasimov, Sipahioğlu ve Saraç (2007), bir buçuk boyutlu ana malzeme seçimi problemi için yeni bir matematiksel model önermişler ve çok amaçlı problemin çözümünde ilk defa konik skalerleştirme

yaklaşımını kullanmışlardır. Ancak, Gasimov ve diğ. (2007) en çok 80 sipariş parçasının olduğu problemleri çözmüşlerdir. Oysa gerçek hayatta çok daha büyük boyutlu problemlerin çözümüne gereksinim duyulmaktadır.

Bu çalışmada iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. İlk aşamada sayımlama ile kesme planları türetilmekte, ikinci aşamada ise büyük boyutlu problemlerin çözümünün de elde edilebildiği bir doğrusal tamsayılı matematiksel model kullanılmaktadır. İlgili modelin çözümü GAMS/Cplex çözücüsü ile elde edilmektedir.

Çalışmanın izleyen bölümünde, ele alınan problemin tanımı yapılmıştır. Üçüncü bölümde, önerilen çözüm yaklaşımı tanıtılmış, dördüncü bölümde çözümle ilgili elde edilen deneysel sonuçlar tartışılmıştır. Son bölümde ise sonuç ve öneriler sunulmuştur.

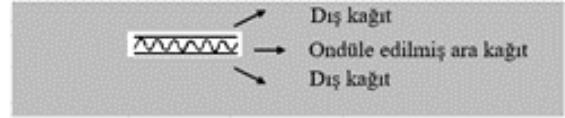
## 2. Ele Alınan İşletmedeki Üretim Süreci ve Standart Kağıt Enlerinin Belirlenmesi Problemi

Birçok endüstri dalında, metal, kağıt, tahta vb. malzemeler, daha küçük ebattaki parçalar halinde kesilmektedir. Bu işlem sırasında oluşacak fireler, işletmeler için küçümsenemeyecek maliyet bileşenleridir. Bu nedenle bu tip problemler için geliştirilecek etkin çözümlerin işletmelere önemli tasarruflar sağlayabileceği açıktır.

Malzeme kesme problemlerinde genellikle ana malzeme boyutlarının bilindiği kabul edilmekte ve bu malzemenin etkin bir şekilde nasıl kesilebileceği üzerinde durulmaktadır. Oysa çözüm, doğrudan kesilecek malzemenin boyutlarına bağımlı olduğundan, farklı ebatta ana malzeme temininin mümkün

olabileceği durumlarda öncelikli olarak kullanılacak ana malzemeleri belirlemek önem taşımaktadır.

Çalışmanın yapıldığı işletmede, oluklu mukavva kutu üretilmektedir. Oluklu mukavva, ondüle edilmiş kağıdın, iki düz tabaka arasına yapıştırılması ile oluşmakta olup, oluklu yapısı sayesinde yüksek bir dayanıma sahip olmaktadır. Ayrıca her yönde kolayca kesilip katlanabilme üstünlüğü bulunmaktadır. Şekil 1'de oluklu mukavvanın yapısı gösterilmiştir.

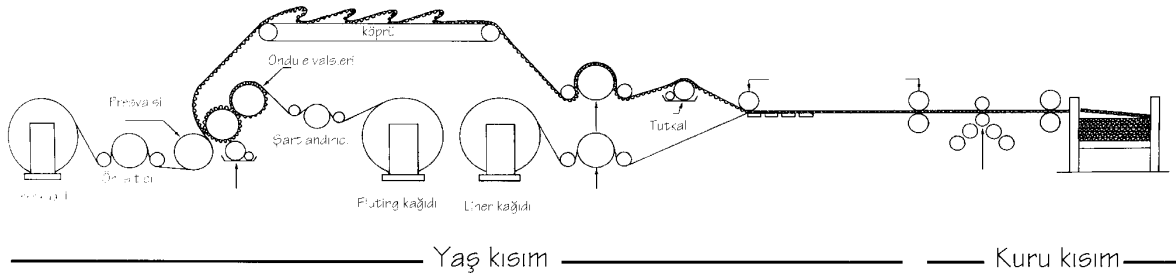


Şekil 1. Oluklu Mukavva

Kutu üretim süreci ana hatları ile, oluklu mukavvanın üretilerek çeşitli ebatta safihalara kesilmesi, oluklu mukavva safihalarına flekso baskı yapılması, safihalardan kutu açınımlarının kesilmesi, katlama ve yapıştırma adımlarından oluşmaktadır. Ele alınan problem oluklu mukavva üretimi ve safihalara kesilmesi aşamasında ortaya çıkmaktadır. Burada ana malzemeler bobinler, sipariş parçaları ise safihalardır.

Aşağıda; süreci ve yaşanan problemi daha iyi anlayabilmek için, kısaca oluklu makinası ve kullanılan kağıt özelliklerine yer verilmektedir.

Yaklaşık 100 m. boyunda olan oluklu makinası, Şekil 2'de ana hatları ile gösterilmiş olup çeşitli işlemlerin yapıldığı ünitelerden ve yaş kısım - kuru kısım diye adlandırılan iki bölümden oluşmaktadır.



Şekil 2. Oluklu Mukavva Makinası

Oluklu mukavva üretim işlemi, üretimi yapılacak mukavvaya uygun cins ve miktarda dış ve ara kağıdın, kağıt ambarından alınarak oluklu makinasına takılması ile başlar. Üretilen oluklu mukavvanın cinsine göre, örneğin tek dalga oluklu mukavva (bkz. Şekil 3) üretimi için iki adet dış, bir adet ara kağıt bobini gereklidir. Tek dalga oluklu mukavva dışında, tek yüzlü (bkz. Şekil 4), çift dalga (bkz. Şekil 5) ve üç dalga (bkz. Şekil 6) oluklu mukavva cinsleri de mevcuttur. Oluklu

makinasının yaş kısmındaki en önemli birim olan ondüle makinası grubu, birçok ünitelerden oluşmaktadır. Isı ve buharla ön şartlandırıcılarda yumuşatılan ara kağıdı ondüle makinasında, ondüle valslerinden geçerek ondüle (dalga) şeklini alır. Bu şekillendirmenin hemen ardından oluk tepelerine genellikle nişasta bazlı olan tutkal sürülür ve ön ısıtıcılarda ısıtılıp hazırlanmış dış kağıda preslenerek, yapışması sağlanır. Elde edilen tek yüzlü, köprü üzerinde birikir. Çift dalga oluklu mukavva

üreten makinalarda iki tane, üç dalga üretenlerde ise üç tane ondüle makine grubu bulunur.

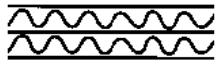
Şekil 3. Tek Dalga Oluklu Mukavva



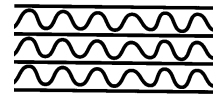
Şekil 4. Tek Yüzlü



Şekil 5. Çift Dalga Oluklu Mukavva



Şekil 6. Üç Dalga Oluklu Mukavva



Oluklu mukavva makinasının yaş kısmında ikinci önemli birimi olan kurutma grubunda, ısıtılmış ve bu kez diğer yüzündeki oluk tepeleri tutkallanmış olan tek yüzlü tabakasına, ön ısıtıcılarda ısıtılan dış kağıt yapıştırılarak tek dalga oluklu mukavva elde edilir. Çift dalga istenmesi halinde, ikinci tek yüzlü de eklenerek, beş kat kağıt ile çift dalga oluklu mukavva üretilir. Oluklu makinasında kullanılan tutkal hızlı kurumaya rağmen, oluklu mukavva, önce ısıtma tavaları üzerinde kurutulur, sonra keçelerin arasından geçerek nemini atar ve soğur. Bu noktadan sonra oluklu makinasının kuru kısmında, oluklu mukavvanın kenar ıskartası kesilir ve planlandığı şekildeki hat sayısında boyuna kesimi yapılır ve istenirse oluklara dik gelen katlama yeri ezmeleri yapılır. Bu işlemin ardından enine kesim yapılarak, bazen aynı bazen farklı boyutlarda oluklu mukavva levhalar (*safihalar*) elde edilir, istiflenerek paletle alınır ve ara stok alanına götürülür (Uysal, 1997).

Farklı dalga cinslerine sahip oluklu mukavva üretmek mümkündür. Dalga cinsleri, yüksekliğine göre sınıflandırılmaktadır ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Dalga Cinsleri		
Dalga Cinsleri	Dalga Yüksekliği (mm.)	Dalga Boyu (mm.)
A - İri	4,0-4,8	8,0-9,5
B - İnce	2,2-3,0	5,5-8,5
C - Orta	3,2-4,0	6,8-8,0
E - Mikro	1,0-1,8	3,0-3,5

Çalışmanın yapıldığı fabrikada; E, B ve C tek dalga, EB ve BC çift dalga tipinde oluklu mukavva üretimi yapılmaktadır.

Oluklu mukavvaların özellikleri; dalga cinsine, üretimde kullanılan kağıtlara ve yardımcı malzemeye bağlı olarak değişmektedir. Oluklu mukavva kağıtları; iç yüzde, dış yüzde ve ara katlarda kullanılan dış (*liner*), ondülede kullanılan ara (*fluting*) kağıtlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Kraftliner ve testliner dış, NSSC, saman, fluting ise ara kağıtlarıdır. Schrenz veya recycled olarak adlandırılan ve geri dönüşümle üretilen kağıtlar ise cinslerine göre dış veya ara kağıt olarak kullanılabilirler.

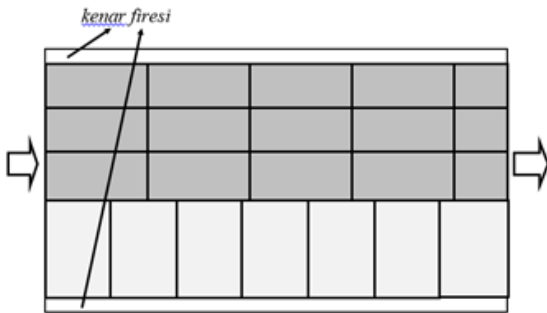
Üretimde kullanılacak kağıtlar yurt içi ve dışı tedarikçilerden temin edilmektedir. Yurt içinde termin süresi ortalama bir hafta iken yurt dışı siparişleri için bu süre bir-iki aya kadar çıkmaktadır. Sektörün özelliği gereği, üretim sipariş tipidir ve müşteri talepleri oldukça çeşitlilik göstermektedir. Bir yılda ortalama 10.000 parti üretim yapılmakta ve bu üretim yaklaşık olarak 3.000 farklı cins üründen oluşmaktadır. Yalnızca bir parti üretilmiş kutu çeşitleri mevcuttur ve her geçen gün farklı özellikler taşıyan yeni siparişler alınmaya devam edilmektedir. Öte yandan, müşteriler, siparişlerini, genellikle bir haftadan daha önce verememektedirler. Bu nedenle, hammadde siparişlerini de erken verebilmek çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Bu durum, talepleri zamanında karşılayabilmek için yeterli miktarda hammadde stoğu bulundurmaya zorunlu hale getirmektedir. Kutu maliyetinin %40'ını (Rohde, 1995) oluşturan kağıdın büyük miktarlarda stoklanması bir fabrika için oldukça büyük bir maliyettir. En az miktar kadar önemli olan bir diğer konu da, elde bulundurulacak kağıt stoklarının enlerinin belirlenmesidir. Stok malzemesi eninde ve sonsuz varsayılacak boya sahip oluklu mukavvadan, müşteri taleplerini karşılamak için dikdörtgen şeklindeki sayfaların kesilmesi sırasında oluşacak yan fire, işletmenin göz ardı edemeyeceği çok önemli bir maliyet kalemidir. Örnek vermek gerekirse, yılda 40000 ton kağıt kullanan bir işletme için %2,5'lük bir yan fire, 1000 ton kağıdın çöpe atılması anlamına gelir ve bu yılda en az 325000 \$'lık bir kayıp demektir (Cloud, 1994).

Bu nedenle işletme yönetimi, doğal olarak, yan fireleri olabildiğince düşük düzeyde tutabilecek ve olabildiğince az çeşitliliğe sahip kağıt bobinini stokta tutarak, gelecekteki müşteri taleplerine cevap verebilmek istemektedir.

İşletmede, 125gr., 150gr., 200gr. kraftliner, 140gr., 175gr. beyaz kraftliner, 130gr. testliner, 140gr. beyaz testliner olmak üzere 4 farklı dış kağıdın 7 farklı gramajı ve 120gr., 127gr., 150gr. saman, 127gr., 175gr. NSSC olmak üzere 2 farklı ara kağıdın 5 farklı gramajı kullanılmaktadır. Tüm kağıt çeşitlerinin 210cm., 220cm., 230cm., 240cm., 250cm. olmak üzere beş

standart eni stokta bulundurulmaktadır. Standart kağıt enleri geçmiş tecrübelerden yararlanarak belirlenmiştir.

İşletmede kullanılan oluklu mukavva makinasının yapısı gereği, problemin çözümü sırasında göz önünde bulundurulması gereken bazı kısıtlar vardır. Makine, en fazla iki farklı ürünü aynı anda üretebilmektedir. İster tek, ister iki ürünün bir arada üretilmesi durumunda olsun kesme bıçaklarının sayısı nedeni ile en fazla 8 sıra kesim yapılabilir. Örnek bir kesim Şekil 7'de gösterilmiştir. Oluk yönünün önemli olması nedeniyle döndürmeye izin verilemez. Kesmenin yapılabilmesi için 3 cm. yan fire vermek zorunludur. Makinanın çalışabileceği en büyük kâğıt eni 250 cm.'dir. İyi performansta çalışabilmesi için 210 cm.'den küçük bobinle çalışılmamalıdır. Oluklu mukavva makinasının üretebileceği oluklu mukavva tipleri; E, B ve C tek dalga, EB ve BC çift dalgadır. Kesilebileceği en küçük safihanın eni 12,5 cm. ve boyu 50 cm.'dir. Üretim hızı 300m/dakikadır. Kâğıt ve iş değişiklikleri, üretim hızını ihmal edilebilir düzeyde etkilemektedir. Ancak farklı dalga yapısına sahip üretim yapılacağı zaman üretim miktarı önem kazanmaktadır. 3000 m.'nin altında yapılacak üretimler hızı ortalama %10-20 düşürürken, miktarın 1000m.'nin altına düşmesi kâğıt bobinlerinin makinarya takılıp yetiştirilememesi nedeni ile 15-20 dakikalık duruşlara neden olmaktadır.



Şekil 7. Oluklu Mukavvanın Oluklu Makinasında Kesilmesi

Ele alınan problem, özet olarak, ana malzemeden dikdörtgen sipariş parçalarının elde edildiği bir kesme probleminde ana malzeme boyutlarının belirlenmesidir. Üretim sırasında, aksamaya yol açmadan bobin beslemesi yapılabildiği için ana malzeme boyu sonsuz varsayılabilir. Bu nedenle problem 1,5 boyutludur ve iki boyutlu bir kesme işlemi yapıyor olmasına rağmen ana malzemenin belirlenmesi gereken tek bir boyutu vardır. Problemin amacı; bobin eni çeşidinin ve oluşacak fire miktarının en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir.

### 3. Standart Enlerin Belirlenmesi Problemi İçin Önerilen Çözüm Yöntemi

Bu çalışmada iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Çözümün ilk aşamasında tam sayımlama

yöntemiyle kesme planları üretilmiş, ikinci aşamada ise standart bobin enlerinin belirlenmesine yönelik olarak matematiksel model önerilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımı aşağıda ayrıntıları ile açıklanmıştır.

#### 3.1. Kesme Planlarının Türetilmesi

Kesme probleminin çözümü araştırılırken genellikle ilk aşama olarak kesme planları türetilmektedir. Ana malzeme üzerinde yapılabilir yerleştirmelerin her birine kesme planı (*pattern*) denilmektedir. Kesme işlemi sonucunda kalan ve sipariş parçalarının karşılanmasında kullanılmayan ana malzeme parçalarına ise kesme kayıpları (fire) denmektedir (Sevük, 1992). Kesme planları oluşturulurken göz önünde bulundurulması gereken teknik kısıtlar aşağıda sıralanmıştır.

- Aynı kağıt kombinasyonu ve ondüle cinsine sahip olmak şartıyla, en fazla iki farklı sipariş parçası aynı anda üretilebilir,
- En fazla sekiz sıra kesim yapılabilir,
- Oluk yönü önemli olduğundan, döndürme yapılamaz,
- Kesmenin yapılabilmesi için yan fire en az 3cm. olmalıdır.

Teknik kısıtlar dışında kesme planları türetilirken dikkate alınması gereken bir diğer konu da aynı anda üretilecek ve kesilecek sipariş parçalarının aynı kağıt kombinasyonuna sahip olma zorunluluğudur. Bilindiği gibi, oluklu mukavva yapımında kullanılan birçok farklı kâğıt tipi ve her kâğıt tipinin de farklı gramajları mevcuttur. Bir kesme planında iki sipariş parçasının birlikte yer alabilmesi için bu iki parçanın aynı kâğıt kombinasyonuna ve ondüle cinsine sahip olmaları gereklidir. Kesme planlarının oluşturulması sırasında bu kontrolün daha kolay yapılabilmesi amacıyla kâğıt kombinasyonları ve ondüle cinsi bilgileri kodlanmıştır. Dört haneli olan bu kodun harf olan ilk iki hanesi ondüle cinsini, rakamdan oluşan son iki hanesi ise kağıt kombinasyonunu göstermektedir. Sözelimi EB66; EB ondüle cinsine ve 125gr. Kraft / 130gr. Saman / 130gr. Saman / 130gr. Saman / 130gr. Saman kağıt kombinasyonuna sahip safihanın kodudur. Ayrıca, bobin boyu sonsuz olduğundan, bir kesme planında sipariş parçalarından kaçar adet yer aldığını belirleyebilmek için, tüm kesme planlarının boyu 100cm. varsayılmıştır.

Kesme planlarının oluşturulmasında bir yıllık veriler kullanılmıştır. Farklı zamanlarda üretilmiş olan aynı ürünün talepleri toplanarak, toplam 1887 ürün çeşidine ait yıllık talepler elde edilmiştir. Safiha boyutları ve oluklu mukavva tipleri aynı olmasına rağmen üzerine yapılan baskının farklı olması nedeniyle farklı stok numarası ile görülen safihaların talepleri toplanarak

aynı ürün olarak kabul edilmişlerdir. Böylelikle ürün adedi 1694'e düşmüştür. 1694 safiha için, sayımlama yöntemi kullanılarak ve tüm safihaların ikili planlarda yer almasına izin verilerek yaklaşık 10 sn.'de, 1000000'nun üzerinde ve kısıtları sağlayan kesme planı türetilmiştir. Kesme planı sayısının fazlalığı problemin çözümünü güçleştireceğinden talepler  $m^2$  cinsinden büyükten küçüğe sıralanmış ve üretimin %70'ini oluşturan 289 safiha, kesme planlarının türetilmesinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Yalnızca bir kez üretilmiş olan ve büyük olasılıkla bir daha üretilmeyecek kutuların ayıklanması, hem işlem kolaylığı sağlamış hem de daha sağlıklı bir seçimin yapılmasına katkıda bulunmuştur.

Tüm sipariş parçalarının ikili planlarda yer almasına izin verilmesi durumunda, çok sayıda alternatif kesme planı türetililecektir. Bu sayede çok düşük fire oranlarına erişilebilecek ancak çözümde, uygulamada iki sipariş parçasının üretimlerinin aynı döneme denk gelmemesi olasılığı nedeniyle kullanılamayacak çok sayıda ikili planın yer alması gerçeği yansıtamayacağı için yanıltıcı olacaktır. Bu nedenle kesme planlarının türetilmesinde tüm ürünlerin diğerleriyle kombine olabilmemesine izin verilmemiştir. Yalnızca toplamda talebin %35'ini oluşturan 45 safihanın ikili planlarda yer alması anlamlı bulunmuştur. Çünkü bu ürünlerin talep sıklığı, toplamı ve dolayısıyla da diğer ürünlerle aynı anda üretilebilme olasılıkları yüksektir. Ancak bu elemenin gerçekçi yapılamaması durumunda, pratikte ortaya çıkabilecek ikili planların türetilmesini önleyerek gerçek firenin çok daha üzerinde fire oranları elde edebilme riski doğacaktır. Söz konusu kısıtların tamamı göz önünde bulundurulacak şekilde kesme planları oluşturulmuştur. Excel paket programı ve Visual Basic Application programlama dili kullanılarak 1001 adet plan tam sayımlama yöntemiyle türetilmiştir.

### 3.2. Standart bobin enlerinin belirlenmesi

Bobinlerin standart enlerini belirlemek üzere doğrusal tamsayı bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Ele alınan problemde üretilmesi gereken  $n$  tane sipariş parçası ve kesme işleminde kullanılacak  $m$  adet farklı ana malzeme ebadı mevcuttur. Her bir  $j$ . parçaya olan talep,  $d_j$ , belirlidir. Problemin, toplam fireyi ve ana malzeme çeşidini enküçükmek olmak üzere birbiriyle çelişen iki amacı vardır. Kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenlerinin tanımı ile birlikte önerilen matematiksel model (M1) aşağıda verilmiştir.

*İndisler ve kümeler:*

$I = \{1, \dots, m\}$  bobin (ana malzeme) çeşidi kümesi

$J = \{1, \dots, n\}$  safiha (sipariş parçası) çeşidi kümesi

$K = \{1, \dots, p\}$  kesme planı kümesi

*Parametreler:*

$m$  : bobin çeşidi sayısı

$n$  : safiha çeşidi sayısı

$p$  : kesme planı çeşidi sayısı

$\varepsilon$  : stokta bulundurulmasına izin verilebilecek en fazla bobin çeşidi sayısı

$d_j$  :  $j$ . safihanın talebi [adet]

$a_{jk}$  :  $k$ . kesme planında yer alan  $j$ . safihanın miktarı [ adet/metre ]

$f_{ik}$  :  $i$ . bobin,  $k$ . kesme planı ile kesildiğinde oluşacak yan fire [cm<sup>2</sup>/metre]

$M$  : büyük pozitif bir sayı

*Karar değişkenleri:*

$x_{i,k}$  :  $i$ . bobinde  $k$ . kesme planından kullanılacak miktar [metre]

$y_i$  :  $i$ . bobin kullanılıyor ise 1, kullanılmıyor ise 0.

(M1)

$$\sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m a_{jk} x_{ik} = d_j \quad \forall j \in J \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq M y_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \geq y_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$x_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in I, k \in K \quad (4)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

*kısıtları altında,*

$$\text{enk } f_1 = \text{enk} \left( \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m f_{ik} x_{ik} \right) \quad (6)$$

$$\text{enk } f_2 = \text{enk} \left( \sum_{i=1}^m y_i \right) \quad (7)$$

(1) nolu kısıt, talep karşılama kısıtıdır. (2) ve (3) numaralı kısıtlar karar değişkenleri arasındaki ilişki kısıtlarıdır. (2) nolu kısıt, eğer  $i$ . bobin seçilmediyse  $k$ . kesme planının  $i$ . bobine yerleştirilmesini önlemektedir. (3) nolu kısıt ise, eğer  $i$ . bobin seçildiyse bu bobine en az bir kesme planının yerleştirilmesini sağlamaktadır. Problemin birinci amacı (6), toplam fireyi; ikinci amacı (7) ise bobin eni çeşitliliğini enküçükmektir.

Yukarıda verilen iki amaç birbiriyle çelişmektedir. Karar verici, kullanılabilir ana malzemeler içerisinde en fazla  $\varepsilon$  tanesinin kullanılmasını istemektedir. Bu nedenle çok amaçlı problemlerin çözüm yöntemleri arasında yer alan  $\varepsilon$ -kısıt yöntemi kullanılarak  $f_2$  amaç fonksiyonu (8) numaralı kısıt ile ifade edilmiştir. (M1) modelinde yer alan (1)-(5) kısıtlarına, ana malzeme sayısını sınırlayan (8) nolu kısıtın eklenmesiyle, tek amaçlı, aşağıdaki (M2) modeli elde edilmektedir.

(M2)

(1)-(5)

$$\sum_{i=1}^m y_i \leq \varepsilon \quad (8)$$

kısıtları altında,

enk  $f_1$ 

Öte yandan stokta bulundurulacak standart bobin enlerinin bilinmesi durumunda ise aşağıda verilen (M3) modeli yardımıyla en iyi kesme planlarını ve bu planlardan kullanılması gereken miktarları belirlemek mümkündür.

(M3)

(1), (4)

kısıtları altında,

enk  $f_1$ 

#### 4. Deneysel Sonuçlar

İşletmede karşılaşılan problem, türetilen kesme planları kullanılarak hem (M2), hem de fabrikanın hali hazırda kullanmakta olduğu bobinlerin enleri mevcut standart kabul edilerek, (M3) modelleriyle, GAMS paket programının CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüştür.

İşletme, mevcut durumda 210, 220, 230, 240 ve 250 cm.'lik enlerdeki bobinleri kullanmaktadır. Bu enler standart kabul edildiğinde (M3) modeli ile mevcut durum için elde edilen çözüm Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2

(M3) Modeli ile Mevcut Seçimin Değerlendirilmesi

çözüm yöntemi	seçilen enler					fire miktarı (m <sup>2</sup> )
GAMS/CPLEX	210	220	230	240	250	5437

İşletme en fazla 5 farklı ende bobin stokta bulundurabilecektir. Bu nedenle problem (M2) modeli ve  $\varepsilon=5, 4, 3, 2$  ve 1 için ayrı ayrı çözümler elde edilen çözümler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3.

(M2) Modeli ve ( $\varepsilon=5, 4, 3, 2, 1$ ) için GAMS/CPLEX ile Elde Edilen Çözümler

$\varepsilon$	seçilen enler					fire miktarı (m <sup>2</sup> )
5	210	216	223	237	247	4380
4	210	223	237	247		5229
3	210	223	247			6886
2	223	247				9323
1	247					19980

Tablo 3'ten de görülebileceği gibi tüm seçenekler için ortaya çıkacak fire miktarları belirlenmiş ve karar vericinin değerlendirmesine sunulmuştur. Mevcut standart enler ile elde edilecek fire miktarının 5437 m<sup>2</sup> olduğu göz önünde bulundurulduğunda, önerilen model ile 5 farklı ende bobin kullanılmasına izin verildiğinde ( $\varepsilon=5$ ) elde edilen çözümde firenin %24 oranında azaldığı görülmektedir. Ayrıca 4 farklı ende ana malzeme kullanımına izin verildiğinde bile ( $\varepsilon=4$ ) toplam firenin mevcut duruma kıyasla yaklaşık %4 oranında düşük olması dikkat çekicidir.

Tablo 3'ten de görülebileceği gibi 5 farklı ende bobin kullanılmasına izin verildiğinde ( $\varepsilon=5$ ) elde edilen çözümde standart enler 210, 216, 223, 237 ve 247 olarak belirlenmiştir. 210 eni için kullanılacak ikili kesme planları Tablo 4'te tekli kesme planları ise Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4

210 Eni İçin Kullanılacak İkili Kesme Planları

no	$i_1$	ad.	$i_2$	ad.	en	toplam	mikt.	fire
217	14	3	52	25	1	53,8	209,8	1501,7
								3,0

Tablo 4'ün ilk sütunu ( $no$ ), kesme planının numarasını, ikinci sütunu ( $i_1$ ), kesme planında yer alacak ilk sipariş parçasının indisini, üçüncü sütunu ( $ad.$ ), ilk sipariş parçasının ana malzeme eninde kaç adet yer aldığı ve dördüncü sütun da ilk sipariş parçasının cm. cinsinden enini göstermektedir. Beş, altı ve yedinci sütunlar ise ikinci sipariş parçası ( $i_2$ ) için sırasıyla indis numarası, adet ve en bilgilerini içermektedir. Sekizinci sütun ( $toplam$ ) kesme planının cm. cinsinden enini, Dokuzuncu sütun ( $mikt.$ ) kesme planının  $m$ . cinsinden kullanım miktarını ve son sütun ise kesme planının m<sup>2</sup> cinsinden toplam firesini göstermektedir. Tablonun en alt satırında ise fire toplamı yer almaktadır. Tablo 4'ten de görülebileceği gibi 210 standart eni için sadece bir adet ikili kesme planı seçilmiştir. Ve ikili planların toplam firesi 3 m<sup>2</sup>'dir.



Tablo 5.  
210 Eni İçin Kullanılacak Tekli Kesme Planları

no	p1	ad.	en	toplam	mikt.	fire
540	12	4	49,8	199,2	1622,7	175,3
559	24	5	42	210	800,4	0,0
561	26	2	83,7	167,4	925,1	394,1
579	36	4	52,3	209,2	398,5	3,2
608	52	3	67,8	203,4	466,2	30,8
621	59	3	62,6	187,8	460,7	102,3
622	60	4	51,9	207,6	415,9	10,0
623	61	4	52,2	208,8	408,2	4,9
624	62	4	51,2	204,8	414,2	21,5
625	63	3	65,6	196,8	427,0	56,4
628	65	3	63	189	438,0	92,0
639	72	3	64,3	192,9	421,3	72,0
642	74	3	62,9	188,7	427,2	91,0
647	77	4	51,2	204,8	386,4	20,1
663	86	3	64,7	194,1	369,9	58,8
672	91	4	49,6	198,4	351,7	40,8
674	92	7	29,8	208,6	334,3	4,7
678	94	3	63,3	189,9	363,4	73,0
684	97	3	68,5	205,5	324,0	14,6
692	102	2	90,8	181,6	354,8	100,8
700	106	7	29,8	208,6	289,0	4,0
726	120	3	64,8	194,4	281,0	43,8
732	124	4	50,7	202,8	264,1	19,0
733	125	4	51,6	206,4	259,2	9,3
747	132	3	65,1	195,3	252,1	37,1
759	139	2	90	180	253,6	76,1
776	148	3	65,2	195,6	222,6	32,1
783	152	4	51,7	206,8	204,8	6,6
785	154	4	50,8	203,2	203,9	13,9
787	155	5	41,8	209	197,7	2,0
794	159	3	63,2	189,6	212,3	43,3
801	163	3	64,7	194,1	204,6	32,5
819	172	5	41,7	208,5	183,6	2,8
822	174	3	69,7	209,1	182,9	1,6
825	176	3	63,7	191,1	200,1	37,8
841	184	4	50,4	201,6	183,0	15,4
850	189	4	52,2	208,8	173,2	2,1
855	192	6	34,6	207,6	173,5	4,2
862	195	3	65,8	197,4	180,6	22,8
863	196	4	52,1	208,4	169,8	2,7
864	197	3	69,9	209,7	168,7	0,5
866	199	4	49,7	198,8	177,2	19,8
871	202	3	69,6	208,8	165,5	2,0
878	207	4	49,8	199,2	168,4	18,2
885	212	3	65,7	197,1	165,5	21,3
886	213	4	51,2	204,8	158,8	8,3
891	216	6	34	204	156,4	9,4
893	217	3	66,6	199,8	159,6	16,3
894	218	3	62,7	188,1	169,3	37,1
897	220	3	62,7	188,1	167,0	36,6
898	221	4	50,6	202,4	154,3	11,7
899	222	4	51,2	204,8	151,3	7,9
900	223	4	50	200	154,4	15,4
903	225	3	65,7	197,1	153,2	19,8
910	230	4	51,1	204,4	146,1	8,2
918	235	4	50,1	200,4	146,7	14,1
919	236	3	63,1	189,3	155,0	32,1
924	239	4	51,1	204,4	142,8	8,0
925	240	2	89,2	178,4	163,5	51,7
927	241	6	34,3	205,8	140,9	5,9
931	243	3	63	189	152,4	32,0
938	247	4	49,5	198	143,4	17,2
939	248	4	51,6	206,4	137,1	4,9
947	253	4	50,7	202,8	136,8	9,8
959	261	2	95,6	191,2	143,0	26,9
962	263	2	88,8	177,6	152,8	49,5
973	271	4	51,7	206,8	128,8	4,1
984	278	4	52,1	208,4	121,4	1,9
987	280	4	49,9	199,6	126,2	13,1
989	281	5	41,9	209,5	120,0	0,6
991	283	5	41,4	207	120,4	3,6
992	284	3	64,8	194,4	127,9	19,9
999	288	2	103,6	207,2	117,8	3,3

2306,3

Tablo 5'ten de görülebileceği gibi 210 eni için 73 adet tekli kesme planı seçilmiştir. Ve tekli planların toplam fireleri 2306,3 m<sup>2</sup>'dir.

216 eni için kullanılacak ikili kesme planları Tablo 6'da tekli kesme planları ise Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6  
216 Eni İçin Kullanılacak İkili Kesme Planları

no	p1	ad.	en	p2	ad.	en	toplam	mikt.	fire
64	6	3	36,8	30	3	34,9	215,1	236,9	2,1
243	16	3	48,7	30	2	34,9	215,9	1652,5	1,7
296	19	1	93,2	33	3	40,7	215,3	307,1	2,1

5,9

Tablo 6'dan da görülebileceği gibi 216 standart eni için üç adet ikili kesme planı seçilmiştir. Ve ikili planların toplam fireleri 5,9 m<sup>2</sup>'dir.

Tablo 7  
216 Eni İçin Kullanılacak Tekli Kesme Planları

no	p1	ad.	en	toplam	mikt.	fire
525	3	5	43,2	216	3096,3	0,0
533	7	6	36	216	2023,9	0,0
537	10	3	71,1	213,3	1679,6	45,3
550	18	6	36	216	847,3	0,0
604	48	5	43,2	216	452,2	0,0
605	49	4	53,2	212,8	448,5	14,4
606	50	4	53,4	213,6	446,6	10,7
610	53	5	43,1	215,5	426,7	2,1
631	67	4	53,6	214,4	381,3	6,1
644	75	5	43	215	374,0	3,7
661	84	5	42,7	213,5	348,5	8,7
667	88	6	35,8	214,8	332,4	4,0
669	89	6	35,8	214,8	330,7	4,0
689	100	4	53,5	214	302,7	6,1
711	111	5	42,9	214,5	275,5	4,1
716	114	4	53	212	270,9	10,8
725	119	3	70,7	212,1	258,8	10,1
729	122	4	53,7	214,8	251,0	3,0
750	134	4	53,5	214	227,3	4,5
761	140	5	43,1	215,5	211,6	1,1
782	151	6	35,6	213,6	198,3	4,8
784	153	4	53,2	212,8	197,5	6,3
845	186	5	42,6	213	170,3	5,1
861	194	5	42,3	211,5	169,1	7,6
872	203	4	53,8	215,2	158,9	1,3
889	215	5	43	215	150,2	1,5
904	226	4	53,6	214,4	140,3	2,2
917	234	4	53,8	215,2	136,9	1,1
940	249	4	53,6	214,4	131,7	2,1
946	252	6	35,9	215,4	129,4	0,8
955	258	4	52,7	210,8	130,9	6,8
957	259	5	42,8	214	128,5	2,6
977	273	6	35,7	214,2	123,8	2,2
982	276	4	54	216	118,6	0,0
990	282	4	53,3	213,2	117,8	3,3

186,5

Tablo 7'den de görülebileceği gibi 216 eni için 35 adet tekli kesme planı seçilmiştir. Ve tekli planların toplam fireleri 186,5 m<sup>2</sup>'dir.

223 eni için kullanılacak ikili kesme planları Tablo 8'de tekli kesme planları ise Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 8

## 223 Eni İçin Kullanılacak İkili Kesme Planları

no	p1	ad.	en	p2	ad.	en	toplam	mikt.	fire
147	11	4	42,3	25	1	53,8	223	728,2	0,0
199	13	3	55	43	1	57,8	222,8	1682,6	3,4
206	14	1	52	34	3	57	223	736,2	0,0
284	18	3	36	31	3	38,2	222,6	245,5	1,0
386	25	3	53,8	27	1	61	222,4	4,2	0,0
490	36	1	52,3	38	3	56,7	222,4	684,2	4,1
498	37	1	49,2	43	3	57,8	222,6	49,6	0,2

8,7

Tablo 8'den de görülebileceği gibi 223 standart eni için yedi adet ikili kesme planı seçilmiştir. Ve ikili planların toplam firesi 8,7 m<sup>2</sup>'dir.

Tablo 9

## 223 Eni İçin Kullanılacak Tekli Kesme Planları

no	p1	ad.	en	toplam	mikt.	fire
523	2	7	31,8	222,6	4104,5	16,4
531	6	6	36,8	220,8	2089,8	46,0
573	32	8	27,4	219,2	597,4	22,7
607	51	4	54,2	216,8	439,7	27,3
614	55	5	43,8	219	402,9	16,1
633	68	6	36,2	217,2	376,2	21,8
635	69	5	44,1	220,5	369,7	9,2
638	71	4	55,5	222	366,6	3,7
662	85	4	55	220	336,0	10,1
705	108	6	36,2	217,2	274,7	15,9
718	115	6	37	222	257,0	2,6
754	136	4	55,6	222,4	215,7	1,3
758	138	4	55,7	222,8	207,2	0,4
771	145	6	37	222	198,4	2,0
775	147	8	27,4	219,2	198,8	7,6
816	170	5	43,5	217,5	177,9	9,8
829	178	6	36,1	216,6	176,0	11,3
851	190	4	55,2	220,8	163,6	3,6
853	191	8	27,5	220	163,7	4,9
865	198	4	54,6	218,4	161,8	7,4
873	204	4	54,4	217,6	155,3	8,4
879	208	3	72,2	216,6	154,4	9,9
887	214	4	55,1	220,4	147,4	3,8
896	219	4	55,7	222,8	142,6	0,3
905	227	4	55,5	222	135,3	1,4
923	238	8	27,4	219,2	133,2	5,1
935	245	5	44,2	221	129,9	2,6
952	256	4	55,2	220,8	125,5	2,8
958	260	4	55,1	220,4	124,7	3,2
965	265	3	73	219	123,1	4,9
969	267	6	37,1	222,6	120,3	0,5
970	268	4	54,1	216,4	123,4	8,1
972	270	4	54,8	219,2	121,7	4,6
983	277	4	55,6	222,4	115,0	0,7
998	287	5	44,1	220,5	111,3	2,8

299,1

Tablo 9'dan da görülebileceği gibi 223 eni için 35 adet tekli kesme planı seçilmiştir. Ve tekli planların toplam firesi 299,1 m<sup>2</sup>'dir. 237 eni için kullanılacak tekli kesme planları Tablo 10'da ikili kesme planları ise Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10'dan da görülebileceği gibi 237 eni için 74 adet tekli kesme planı seçilmiştir. Ve tekli planların toplam firesi 798,2 m<sup>2</sup>'dir.

Tablo 10

## 237 Eni İçin Kullanılacak Tekli Kesme Planları

no	p1	ad.	en	toplam	mikt.	fire
527	4	6	39,4	236,4	1543,51	9,26
565	28	5	47,3	236,5	603,36	3,02
597	45	4	58,7	234,8	424,53	9,34
599	46	5	47,1	235,5	420,47	6,31
602	47	7	33,8	236,6	418,03	1,67
612	54	5	46,6	233	384,09	15,36
616	56	5	45,8	229	383,64	30,69
627	64	4	56,6	226,4	366,42	38,84
630	66	4	57,6	230,4	355,52	23,46
637	70	4	59,1	236,4	344,34	2,07
646	76	5	45,1	225,5	355,65	40,90
649	78	5	46,1	230,5	342,84	22,28
651	79	4	58,8	235,2	329,83	5,94
659	83	4	57,7	230,8	328,34	20,36
665	87	6	38,4	230,4	310,82	20,51
671	90	4	58,6	234,4	303,06	7,88
681	95	8	28,9	231,2	298,36	17,30
686	98	7	32,6	228,2	289,13	25,44
688	99	6	39,4	236,4	278,68	1,67
691	101	5	47,2	236	274,47	2,74
694	103	5	46,8	234	273,74	8,21
696	104	5	47,2	236	267,08	2,67
698	105	6	38,3	229,8	262,45	18,90
715	113	4	57,8	231,2	251,16	14,57
720	116	6	38,8	232,8	244,46	10,27
722	117	6	38,9	233,4	241,62	8,70
731	123	6	38,3	229,8	233,40	16,80
741	129	5	46,7	233,5	219,47	7,68
743	130	5	46,1	230,5	217,61	14,14
746	131	7	33,6	235,2	212,33	3,82
753	135	8	28,7	229,6	209,97	15,54
756	137	5	44,7	223,5	208,17	28,10
763	141	5	46,8	234	194,85	5,85
778	149	6	39,4	236,4	183,75	1,10
780	150	4	56,1	224,4	189,92	23,93
791	157	5	46,7	233,5	174,68	6,11
793	158	5	46,8	234	173,25	5,20
798	161	4	58,1	232,4	172,11	7,92
808	166	8	29,5	236	165,80	1,66
810	167	4	57,2	228,8	170,15	13,95
812	168	5	46,2	231	168,08	10,09
814	169	5	47,1	235,5	164,62	2,47
818	171	6	37,5	225	170,52	20,46
821	173	4	58,5	234	163,56	4,91
824	175	5	47,2	236	162,00	1,62
827	177	4	57	228	167,56	15,08
832	179	7	33,7	235,9	160,67	1,77
834	180	5	46	230	164,47	11,51
838	182	4	57,7	230,8	160,93	9,98
840	183	4	58,7	234,8	157,71	3,47
843	185	4	56,7	226,8	160,01	16,32
849	188	7	32,8	229,6	157,54	11,66
859	193	7	33,4	233,8	153,60	4,92
868	200	6	38	228	154,03	13,86
870	201	4	58,3	233,2	149,23	5,67
875	205	4	59,2	236,8	142,46	0,28
902	224	6	37,2	223,2	136,15	18,79
907	228	4	57,8	231,2	129,35	7,50
912	231	6	37,2	223,2	133,21	18,38
914	232	5	47,3	236,5	125,56	0,63
930	242	6	39,2	235,2	122,92	2,21
933	244	6	39,4	236,4	121,60	0,73
937	246	4	56,9	227,6	125,92	11,84
942	250	6	38,2	229,2	123,07	9,60
944	251	4	57,4	229,6	122,50	9,06
949	254	4	58,6	234,4	118,35	3,08
954	257	5	45,5	227,5	121,41	11,53
961	262	4	58,9	235,6	115,99	1,62
964	264	6	39,2	235,2	114,62	2,06
975	272	5	44,8	224	118,91	15,46
979	274	5	46,2	231	114,57	6,87
981	275	6	38,8	232,8	110,26	4,63
986	279	6	37,8	226,8	111,07	11,33
994	285	5	45,8	229	108,04	8,64

798,2

Tablo 11

## 237 Eni İçin Kullanılacak İkili Kesme Planları

no	p1	ad.	en	p2	ad.	en	toplam	mikt.	fire
101	9	5	37,5	15	1	49	236,5	1931,73	9,66
119	11	2	42,3	20	3	50,8	237	1229,20	0,00
120	11	2	42,3	22	3	50,8	237	1176,87	0,00
262	17	3	47,7	19	1	93,2	236,3	1588,21	11,12
308	19	2	93,2	37	1	49,2	235,6	82,55	1,16
371	25	1	53,8	27	3	61	236,8	791,88	1,58
426	29	2	77,7	33	2	40,7	236,8	908,91	1,82
435	31	3	38,2	41	3	40,3	235,5	902,71	13,54
512	39	4	39	44	2	40,5	237	724,56	0,00
									38,8

Tablo 11'den görülebileceği gibi 237 standart eni için 9 adet ikili kesme planı seçilmiştir. Toplam fire 38,8 m<sup>2</sup>'dir. 247 eni için kullanılacak tekli kesme planları Tablo 12'de ikili kesme planları ise Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 12

## 247 Eni İçin Kullanılacak Tekli Kesme Planları

no	p1	ad.	en	toplam	mikt.	fire
521	1	3	80,1	240,3	4277,7	286,6
529	5	5	49,4	247	2084,9	0,0
554	21	6	40,9	245,4	737,7	11,8
581	37	5	49,2	246	450,7	4,5
591	42	6	41,1	246,6	437,8	1,8
595	44	6	40,5	243	172,6	6,9
618	57	5	49,4	247	350,8	0,0
620	58	5	49	245	353,4	7,1
641	73	5	49,1	245,5	331,0	5,0
653	80	6	39,6	237,6	321,8	30,2
655	81	6	40,6	243,6	312,8	10,6
657	82	6	40,8	244,8	309,9	6,8
677	93	4	60,2	240,8	286,9	17,8
683	96	5	47,5	237,5	283,3	26,9
703	107	5	47,8	239	250,0	20,0
707	109	5	49,4	247	240,6	0,0
709	110	6	41	246	240,6	2,4
713	112	6	39,7	238,2	247,3	21,8
724	118	5	47,9	239,5	232,8	17,5
728	121	4	60,4	241,6	225,7	12,2
735	126	4	60,1	240,4	220,0	14,5
737	127	4	60,8	243,2	217,1	8,2
739	128	4	60,6	242,4	217,5	10,0
749	133	5	48,3	241,5	203,1	11,2
765	142	5	47,5	237,5	188,2	17,9
767	143	6	41	246	180,1	1,8
769	144	5	49,2	246	179,5	1,8
773	146	6	40,8	244,8	178,9	3,9
789	156	4	60,6	242,4	170,1	7,8
796	160	5	47,5	237,5	169,1	16,1
800	162	5	48,5	242,5	164,5	7,4
803	164	5	48,6	243	162,6	6,5
805	165	5	49,4	247	159,5	0,0
836	181	4	60,6	242,4	155,4	7,1
847	187	4	61,7	246,8	146,7	0,3
877	206	6	40,4	242,4	139,0	6,4
881	209	6	40,4	242,4	136,5	6,3
883	210	4	59,6	238,4	138,2	11,9
884	211	3	82,1	246,3	132,6	0,9
909	229	6	39,8	238,8	125,0	10,3
916	233	5	48,7	243,5	121,7	4,3
921	237	5	48,2	241	121,6	7,3
951	255	5	47,5	237,5	116,6	11,1
967	266	5	47,6	238	112,9	10,2
971	269	3	79,2	237,6	112,4	10,6
996	286	6	39,7	238,2	103,3	9,1
1001	289	4	60,1	240,4	100,7	6,6
						699,2

Tablo 12'den de görülebileceği gibi 247 eni için 47 adet tekli kesme planı seçilmiştir. Ve tekli planların toplam fire 699,2 m<sup>2</sup>'dir.

Tablo 13

## 247 Eni İçin Kullanılacak İkili Kesme Planları

no	p1	ad.	en	p2	ad.	en	toplam	mikt.	fire
48	4	4	39,4	23	2	44,2	246	1145,7	11,5
72	8	1	50,5	15	4	49	246,5	860,5	4,3
85	8	4	50,5	23	1	44,2	246,2	1706,8	13,7
442	33	1	40,7	35	4	51,4	246,3	458,9	3,2
483	35	1	51,4	40	4	48,8	246,6	568,6	2,3
									34,9

Tablo 13'den de görülebileceği gibi 247 standart eni için 5 adet ikili kesme planı seçilmiştir. Toplam fire 34,9 m<sup>2</sup>'dir.

## 5.Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, oluklu mukavva kutu üreten bir işletmede, üretimde kullanılacak bobin enlerinin belirlenmesi probleminin önemine dikkat çekilmiş, tanımlanan problem iki aşamalı bir yöntem kullanılarak çözülmüştür. İlk aşamada sayımlama yöntemiyle, kısıtları sağlayan kesme planları türetilmiş, ikinci aşamada ise matematiksel model yardımıyla stokta bulunması gereken bobin enlerine karar verilmiştir.

Problem, toplam firenin ve standart bobin eni çeşidinin enküçüklenmesi olmak üzere birbiriyle çelişen iki amaca sahiptir. Ancak standart bobin çeşidinin enküçüklenmesine dönük amaç fonksiyonu kısıt olarak ifade edilerek, problem, tek amaçlı bir yapıya dönüştürülmüştür.

Problem çözümü sonucunda, stokta 210cm., 216cm., 223cm., 237cm. ve 247cm. enlerinde bobinlerin bulundurulması önerilmiş ve mevcut fire oranı bu sayede % 24 azaltılmıştır. Bu iyileştirmenin işletmeye küçümsenemeyecek bir parasal kazanç sağlayacağı açıktır.

Çalışmadan elde edilecek sonuçların gerçeği yansıtabilmesi için, kullanılacak verilerin güncel olması gereklidir. Bu nedenle her yıl talep tahmini çalışmasının yinelenerek, belirlenen standart enlerin gözden geçirilmesi önemlidir.

Yanı sıra çalışmanın yapıldığı sektörde, müşteri taleplerinde mevsimsel dalgalanmalar görülmektedir. Standart enlerin uzun dönemler için belirlenip yıllık temelde kontrol edilmesi, farklı karakteristiğe sahip taleplerin aynı ana malzemelerle karşılanıyor olması sebepleriyle fire oranlarının yüksek olması sonucunu yaratabilecektir. Bu nedenle mevsimsel etki göz önünde bulundurularak, stokta bulundurulacak bobin enleri iki yine yıllık temelde kontrol edilmek koşuluyla uzun

döneme, diğeri ise talep karakteristiğinin farklılık gösterdiği zaman dilimlerine karşılık olarak düşünülebilir. Bu sayede, stokta bulundurulmuş bobin çeşidi toplamı yine beşi aşmayacak, ancak bir kısmı uzun dönem, bir kısmı da kısa döneme karşı gelecektir. Böyle bir yaklaşımın fire oranlarını önemli ölçüde düşürebileceği düşünülmektedir.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

- Bayır, F. (2012). *Kesme problemine sezgisel bir yaklaşım* (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul. Erişim Adresi: <http://acikerisim.istanbul.edu.tr/bitstream/handle/123456789/31483/50641.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Beasley, J.E. (1985). An algorithm for the two dimensional assortment problem. *European Journal of Operational Research*, 19, 253-261. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(85\)90179-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(85)90179-1)
- Benjaoran, V., Sooksil, N. & Metham, M. (2019). Effect of demand variations on steel bars cutting loss. *International Journal of Construction Management*, 19(2), 137-148. Doi: <https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1401258>
- Chauhan, S. S., Martel, A. & D'Arnour, S. (2008). Roll assortment optimization in a paper mill: An integer programming approach. *Computers and Operations Research*, 35(2), 614-627. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.03.026>
- Chauny F., Loulou, R., Sadones S. & Soumis F. (1991). A Two-phase heuristic for the two-dimensional cutting-stock problem. *Journal of the Operational Research Society*, 42(1), 39-47. Doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1991.5>
- Cloud, F.H. (1994). Analysis of corrugator side trim. *Tappi Journal*, 77(4), 199-205. Doi: <https://imrise.tappi.org/TAPPI/Products/94/APR/94APR199.aspx>
- Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44, 145-159. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90350-K](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90350-K)
- Dyckhoff, H., Kruse, H.J., Abel, D. & Gal, T. (1985). Trim Loss and Related Problems. *OMEGA The International Journal of Management Science*, 13(1), 59-72. Doi: [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(85\)90083-0](https://doi.org/10.1016/0305-0483(85)90083-0)
- Farley, A.A. (1990). Selection of stockplate characteristics and cutting style for two dimensional cutting stock situations. *European Journal of Operational Research*, 44, 239-246. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90359-J](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90359-J)
- Garraffa, M., Salassa, F., Vancroonenburg, W., Vanden, Berghe, G. & Wauters T. (2016). The one-dimensional cutting stock problem with sequence-dependent cut losses. *International Transactions in Operational Research*, 23(1-2), 5-24. Doi: <https://doi.org/10.1111/itor.12095>
- Gasimov, R.N., Sipahioğlu, A. & Saraç, T. (2007). A multi-objective programming approach to 1.5-dimensional assortment problem. *European Journal of Operational Research*, 179, 64-79. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.03.016>
- Gemmill, D.D. & Sanders, J.L. (1990). Approximate solutions for the cutting stock 'portfolio' problem. *European Journal of Operational Research*, 44, 167-174. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90352-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90352-C)
- Gochet, W. & Vandebroek, M. (1989). A dynamic programming-based heuristic for industrial buying of cardboard. *European Journal of Operational Research*, 38, 104-112. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90475-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90475-X)
- Haessler, R.W. & Sweeney. P.E. (1991). Cutting stock problems and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 54(2), 141-150. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90293-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90293-5)
- Han, Y.T. & Chang, S.Y. (2015). A subset sum approach to coil selection for slitting. *International Journal of Industrial Engineering- Theory, Applications and Practice*, 22(3), 343-353. Erişim Adresi: <http://journals.sfu.ca/ijietap/index.php/ijie/article/view/1573>
- Hifi, M. & Zissimopoulos, V. (1997). Constrained two-dimensional cutting: An improvement of Christofides and Whitlock's exact algorithm. *Journal of the Operational Research Society*, 48(3), 324-331. Doi: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600364>
- Holthaus, O. (2003). On the best number of different standard lengths to stock for one-dimensional assortment problems. *International Journal of Production Economics*, 83(3), 233-246. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00375-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00375-4)
- Kasimbeyli, N., Sarac, T. & Kasimbeyli, R. (2011). A two-objective mathematical model without cutting patterns for one-dimensional assortment problems.

*Journal of Computational and Applied Mathematics*,  
235(16), 4663-4674. Doi:  
<https://doi.org/10.1016/j.cam.2010.07.019>

Morabito, R.N., Arenales. M.N. & Arcaro. V.F. (1992). An and-or graph approach for two-dimensional cutting problems. *European Journal of Operational Research*, 58(2), 263-271. Doi:  
[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90212-R](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90212-R)

Pentico, D.W. (1988). The discrete two-dimensional assortment problem. *Operations Research*, 36(2), 324-332. Doi:  
<https://doi.org/10.1287/opre.36.2.324>

Raffensperger, J.F. (2010). The generalized assortment and best cutting stock length problems. *International Transactions in Operational Research*, 17(1), 35-49. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2009.00724.x>

Rohde, E.S. (1995). *Producing corrugated packing profitably*, Jelmar Publishing, New York. ISBN: 0961630272

Saraç, T. & Özdemir, M.S, (2003). A genetic algorithm for 1,5 dimensional assortment problems with multiple objectives. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 2718, 41-51. Doi: [https://doi.org/10.1007/3-540-45034-3\\_5](https://doi.org/10.1007/3-540-45034-3_5)

Sevük, N. (1996). *Bir boyutlu malzeme kesme problemi için kesme planlarının kombinasyonunda genetik algoritma kullanılması* (Yüksek Lisans Tezi). Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Song, X., Chu, C.B., Nie, Y.Y. & Bennel, J.A. (2006). An iterative sequential heuristic procedure to a real-life 1.5-dimensional cutting stock problem. *European Journal of Operational Research*, 175, 1870-1889. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.10.034>

Uysal, C. (1997). *Oluklu Mukavva El Kitabı*. OMÜD Oluklu Mukavva Sanayicileri Derneği, İzmir.

Wascher, G., Haußner, H. & Schumann, H. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1109-1130. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.12.047>

Yanasse, H.H., Zinober, A.S.I. & Harris, R.G. (1991). Two-dimensional cutting stock with multiple stock size. *Journal of The Operational Research Society*, 42(8), 673-683. Doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1991.133>