

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ÜÇ BOYUTLU STOK KESME PROBLEMİNİN
MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA TEKNİKLERİ İLE
ÇÖZÜMÜ VE MERMER ENDÜSTRİSİNDE BİR
UYGULAMA**

**Tezi Hazırlayan
Yasemin YAVUZ**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Cemal ÖZGÜVEN**

**İşletme Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2005
KAYSERİ**

Prof. Dr. Cemal ÖZGÜVEN danışmanlığında Yasemin YAVUZ tarafından hazırlanan “**Üç Boyutlu Stok Kesme Probleminin Matematiksel Programlama Teknikleri ile Çözümü ve Mermer Endüstrisinde Bir Uygulama**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

27 / 07 / 2005

JÜRİ:

Danışman :Prof. Dr. Cemal ÖZGÜVEN İmza

Üye :Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN İmza

Üye :Yrd. Doç. Dr. Levent ÇITAK İmza

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve
..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Prof.Dr. Mustafa KESKİN
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

İlgisi ve desteği, yönlendirici yaklaşımı, büyük bir titizlik ve sabırla çalışmamı incelerken bana ayırdığı zamanı ve emeği için danışmanım Prof. Dr. Cemal Özgüven'e,

Eleştirel bakış açısıyla çalışmamı irdelediği ve yönlendirdiği için Prof. Dr. Filiz Çalışkan'a,

Modelleri çözmek üzere kullandığım program ile ilgili yardımları için Yrd. Doç. Dr. M. Sıtkı İlkay'a,

Uygulama çalışmasını yaptığım mermer fabrikasındaki üretim sürecini yakından tanımamı sağladıkları için Ebubekir Besler'e ve fabrikanın tüm çalışanlarına,

Her yardıma ihtiyacım olduğunda yanımda oldukları için çalışma arkadaşlarım Neşe Yalçın Seçme, Gökçe Çınar, Ahmet Aysu, M. Fatih İlgün'e ve tüm İİBF çalışanlarına,

Bir sene boyunca destek ve anlayışlarını benden esirgemedikleri ve rahat bir çalışma ortamı sağladıkları için aileme, ayrıca tezin yazılması sırasında yardımları için kardeşlerim Onur ve Esra Yavuz'a,

Çalışmamı yürütürken verdiği desteği ve her zaman hissettirdiği sevgisi için, ayrıca mermer endüstrisindeki iş tecrübesinden faydalanmamı sağladığı için Göksel Cingöz'e

teşekkürlerimi sunarım.

ÜÇ BOYUTLU STOK KESME PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA TEKNİKLERİ İLE ÇÖZÜMÜ VE MERMER ENDÜSTRİSİNDE BİR UYGULAMA

ÖZET

Birçok endüstride, müşteri siparişlerinin ya da üretim sürecinde kullanılan girdilerin daha büyük boyutlarda tedarik edilebilen stok malzemelerinden karşılanması gerekmektedir. Bu tür endüstrilerde stok malzemelerinin verimli bir şekilde kullanılması ve dolayısıyla kesme kayıplarının en aza indirilmesi önde gelen amaçlardan biridir. Bu amaç doğrultusunda siparişleri karşılamak üzere kesilecek stok malzemelerinin seçilmesi ve bu malzemeler için en uygun kesim planlarının belirlenmesi problemi ortaya çıkmaktadır. Literatürde bu problem “stok kesme problemi” olarak adlandırılmaktadır.

Stok kesme problemi çeşitli disiplinlerde yıllardır üzerinde çalışılan konulardan biri olmuştur. Ancak konuyla ilgili çalışmalar çoğunlukla bir ve iki boyutlu problemler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Endüstriye yönelik uygulamalarda, ağaç, metal, cam, tekstil, kağıt vb. çeşitli endüstrilerde karşılaşılan kesme problemleri üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Üç boyutlu kesme problemlerine yönelik çalışmaların tamamına yakını ise ulaşım sektöründe yükleme problemi ile ilgilidir.

Üretim sürecinin doğasına bağlı olarak mermer endüstrilerinde yüksek miktarlarda fire ile karşılaşmaktadır. Bu durumda, uygun kesim planlarının belirlenmesi yoluyla kontrol edilebilir fire miktarının en aza indirilmesi önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada mermer endüstrilerinde karşılaşılan üç boyutlu stok kesme probleminin tanıtılmasına ve problemi çözmek üzere matematiksel modellerin geliştirilmesine çalışılmaktadır.

Çalışma üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde genel bir çerçevede kesme ve yerleştirme problemlerine değinilmiştir. İkinci bölümde stok kesme problemlerine ve bu konuyla ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Son bölümde mermer endüstrilerinde karşılaşılan stok kesme problemi ayrıntılı olarak tanıtılmıştır. Problem için iki farklı

III

özüm yaklaşımı sunulmuş ve bu yaklaşımlara dayanarak ana model ile ardışık modeller seti olarak adlandırılan tamsayılı doğrusal programlama modelleri geliştirilmiştir. Bir mermer fabrikasında karşılaşılan kesme probleminin çözümü için ardışık modeller seti kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kesme Problemi, Üç Boyutlu Stok Kesme Problemi, Matematiksel Modeller, Tamsayılı Doğrusal Programlama, Mermer Endüstrisi

**SOLUTION OF THE THREE DIMENSIONAL CUTTING STOCK PROBLEMS
USING MATHEMATICAL PROGRAMMING TECHNIQUES AND AN
APPLICATION IN THE MARBLE INDUSTRY**

ABSTRACT

In many industries, final or intermediate products have to be produced from the stock of materials that are acquired in larger sizes. In such kinds of industrial applications primary objective is to use the stock materials efficiently and thus to minimize the trim loss. This objective gives rise to the problem of choosing the proper stock materials and determining the best cutting plan that would yield the ordered items in required amounts. In the literature, such a problem is referred to as the CSP-cutting stock problem.

The cutting stock problems are one of the most intensively studied problems in scientific literatures of various disciplines. Most of the contributions are made on one and two dimensional cutting stock problems that generally arise in industries such as wood, metal, glass, textile, paper industries. On the other hand, almost all of the three dimensional cutting stock problems studied in the literature are related to the loading problem in the transportation industry.

Due to the nature of the production process, a large amount of wastage is inevitable in the marble industry. Yet it is perfectly possible to achieve a considerable reduction in this wastage by implementing the right cutting plan. The purpose of this study is to define the three dimensional cutting problem that arises in the marble industry and to develop mathematical models for solving it.

This study consists of three main parts. The first part of the study provides an overview of the cutting and packing problems. The second part presents an in-depth review of cutting stock problems and the related literature. In the last part of the study, the cutting stock problem in the marble industry is described in detail. Two solution approaches are suggested for solving the problem, and then two integer linear programming models based on these approaches, namely the main model and a set of sequentially solved

models are developed. For solving a real-world problem in a marble cutting factory the set of sequentially solved models is used.

Key Words: Cutting Problem, Three Dimensional Cutting Stock Problem, Mathematical Models, Integer Linear Programming, Marble Industry

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
ÖZET.....	II
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	VI
KISALTMALAR VE SİMGELER	IX
TABLolar LİSTESİ	X
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XII
GİRİŞ	1

BÖLÜM I

KESME VE YERLEŞTİRME PROBLEMLERİ

1.1 C&P Probleminin Tanımlanması	3
1.2 C&P Probleminin Karakteristikleri	5
1.2.1 Boyut	5
1.2.2 Atama Türü	6
1.2.3 Girdi ve Çıktılara İlişkin Karakteristikler	7
1.2.4 Kesim Planlarına İlişkin Karakteristikler	9
1.3 C&P Problemlerinin Sınıflandırılması	12
1.4 C&P Problemlerinin Genel Türleri	13

BÖLÜM II

STOK KESME PROBLEMLERİ

2.1 Klasik CS Problemleri ve Matematiksel Formülasyonu	16
2.1.1 (1/V/I/R) Stok Kesme Problemi	17
2.1.2 (1/V/D/R) Stok Kesme Problemi	18
2.1.3 Stok Malzemesi Maliyetinin Minimizasyonu	19
2.1.4 Uygun Kesim Planlarının Oluşturulması	20
2.2 CS Probleminin Karmaşıklığı ve Çözüm Yaklaşımları	21
2.3 Literatür Taraması	23

BÖLÜM III

**MERMER ENDÜSTRİSİNDE ÜÇ BOYUTLU CS PROBLEMİNİN
MODELLENMESİ, ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI
VE ÇÖZÜMLERİN ANALİZİ**

3.1	Mermer Endüstrilerinde Karşılaşılan Kesme Probleminin Karakteristikleri	27
3.1.1	Kesim Sürecinin Girdi ve Çıktıları	27
3.1.2	Kesim Süreci	28
3.2	Problemin Tanımlanması	31
3.3	Problemin Modellenmesi	34
3.3.1	Varsayımlar	34
3.3.2	Ana Model	35
3.3.2.1	Parametre ve Değişkenler	35
3.3.2.2	Sınırlar	37
3.3.2.3	Amaç Fonksiyonu	40
3.4	Geliştirilen Modelin Örnek Bir Probleme Uygulanması	43
3.4.1	Örnek Problemle İlgili Bilgiler	43
3.4.2	Modelin Yazılması	48
3.4.3	Modelin Çözümü	54
3.5	Uygulama Problemi, Çözüm Yaklaşımları ve Çözümlerin Analizi	57
3.5.1	Mermer Fabrikası İle İlgili Bilgiler	57
3.5.2	Uygulama Problemi Verileri	57
3.5.3	Problemin Formülasyonu İle İlgili Bilgiler	59
3.5.4	Çözüm Yaklaşımları	66
3.5.4.1	Ardışık Modeller Seti	66
3.5.4.2	Önerilen Yaklaşımların Uygulama Probleminden Türetilmiş Küçük Bir Problem Üzerinde Uygulanması	70
3.5.5	Uygulama Probleminin Çözümü ve Değerlendirilmesi	75
SONUÇ		79
KAYNAKÇA		81
EKLER		86
EK 1.	Örnek Problem ($i=1, \dots, 5; j=1, \dots, 3$) Çözüm Çıktıları	86
EK 2.	Uygulama Problemi İçin X-Kesim Alternatifleri	87
EK 3.	Örnek Uygulama Problemi ($i=1, \dots, 17; j=1, \dots, 5$) Modelleri	103

VIII

EK 4. Örnek Uygulama Problemi ($i=1, \dots, 17; j=1, \dots, 5$) Çözüm Çıktıları.....	118
EK 5. Uygulama Problemi ($i=1, \dots, 17; j=1, \dots, 20$) Modelleri.....	124
EK 6. Uygulama Problemi ($i=1, \dots, 17; j=1, \dots, 20$) Çözüm Çıktıları.....	151
EK 7. Uygulama Problemi ($i=1, \dots, 17; j=1, \dots, 20$) Kesim Planları.....	163
ÖZGEÇMİŞ.....	168

KISALTMALAR VE SİMGELER

$\alpha/\beta/\gamma/\delta$	boyut/atama türü/malzeme çeşitliliği/parça çeşitliliği
C&P	kesme ve yerleştirme (cutting&packing) problemi
CS	stok kesme (cutting stock) problemi
BP	kutu yükleme (bin packing) problemi
KS	sırt çantası (knapsack) problemi
PL	palet yükleme (palet loading) problemi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 C&P Problemlerinin Sınıflandırılması.....	13
Tablo 1.2 Parça Çeşitliliği ve Atama Türü Açısından C&P Problemi Türleri.....	14
Tablo 1.3 C&P Probleminin Genel Türleri	15
Tablo 3.1 Karar Değişkenleri Arasındaki İlişkiler	37
Tablo 3.2 Sipariş Verileri (Örnek Problem).....	43
Tablo 3.3 Blok Verileri (Örnek Problem)	44
Tablo 3.4 Kesim Makinalarına Ait Teknik Bilgiler	44
Tablo 3.5 X- Kesimde Ebatlanacak Plaka Çeşitlerine Ait Alternatifler (Örnek Problem).....	45
Tablo 3.6 Bloklardan Üretilen Plakaların X- Kesim Alternatifleri (Örnek Problem).....	46
Tablo 3.7 Blok 1 Kesim Planı (Örnek Problem).....	55
Tablo 3.8 Blok 2 Kesim Planı (Örnek Problem).....	56
Tablo 3.9 Parça Üretim Programı (Örnek Problem)	56
Tablo 3.10 Girdi, Çıktı ve Fire Hacimleri (Örnek Problem).....	57
Tablo 3.11 Sipariş Verileri (Uygulama Problemi)	58
Tablo 3.12 Blok Verileri (Uygulama Problemi)	59
Tablo 3.13 Kesim Pozisyonu Alternatifleri (Uygulama Problemi)	60
Tablo 3.14 Bloklardan Elde Edilebilecek Plaka Çeşitleri (Uygulama Problemi).....	61
Tablo 3.15 Sipariş Parçalarının Elde Edilebileceği Plaka Çeşitleri (Uygulama Problemi)	62
Tablo 3.16 Plaka Çeşitleri İçin X-Kesim Alternatifleri Sayısı (Uygulama Problemi).....	63
Tablo 3.17 Plaka Çeşitlerine Göre Ürün Çeşitleri (Uygulama Problemi)	63
Tablo 3.18 Blok Seçimi Açısından Önerilen Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırılması	71
Tablo 3.19 Blokları Bir Arada Ele Alma ve Kesim Pozisyonu Seçimi Açısından Önerilen Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırılması	72
Tablo 3.20 Oluşturulan Kesim Planları Açısından Önerilen Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırılması	73

Tablo 3.21 Modellerin Büyüklüğü ve Çözüm Süreleri Açısından Önerilen Çözüm	
Yaklaşımlarının Karşılaştırılması	73
Tablo 3.22 Parça Üretim Programı (Uygulama Problemi)	75
Tablo 3.23 Kesilen Blok, Çıktı ve Fire Hacimleri	76
Tablo 3.24 Kesilen Blok, Çıktı ve Fire Hacimleri (Net).....	77
Tablo 3.25 Uygulama Problemi Modellerinin Büyüklüğü ve Çözüm Süreleri	78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Ortogonal ve Ortogonal Olmayan Kesim Planları.....	11
Şekil 1.2 Giyotin ve Yuvalanmış Kesim Planları	11
Şekil 1.3 Bir, İki ve Üç Aşamalı Giyotin Kesim Planları	12
Şekil 3.1 Mermer Blokları Kesim Süreci.....	29
Şekil 3.2 Su Yönüne Göre Paralel ve Dik Kesim	30
Şekil 3.3 Su Yönüne Paralel ve Dik Kesilmiş Ürünler	30
Şekil 3.4 Bloğu Su Yönüne Göre Kesme (Makinaya Yerleştirme)Alternatifleri	33
Şekil 3.5 Örnek Problemin Karar Aşamaları	47
Şekil 3.6 Uygulama Probleminin Karar Aşamaları.....	65

GİRİŞ

Birçok endüstride kullanılan hammaddeler büyük boyutlarda tedarik edilebilen malzemelerden oluşmaktadır. Üretim alanına getirilen bu malzemelerin siparişlerde istenen boyutlara getirilebilmesi için yapılan kesim işlemlerinde zorunlu olarak fire ile karşılaşmaktadır. Ana maliyet unsuru olduğu için bu tür endüstrilerde stok malzemelerinin verimli bir şekilde kullanılması önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda, alınan siparişlerin en az kesim kaybı ile karşılanması önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Ürünlerin dağıtımı sürecinde de benzer nitelikte bir problem ile karşılaşmaktadır. Özellikle ihracat ve taşımacılıkla uğraşan firmalar taşıma maliyetlerini azaltmak üzere bir seferde daha çok ürünü nakletmeye ve böylece kullanılan araç sayısını azaltmaya çalışmaktadırlar. Bu amaçla, aynı veya farklı boyutlardaki birçok parçanın, kapasitesi sınırlı bir alan içerisine kullanımı maksimize edecek şekilde yerleştirilmesi problemi ortaya çıkmaktadır. Literatürde bu problemler kesme ve yerleştirme (C&P-cutting and packing) problemleri olarak adlandırılmaktadır.

C&P problemleri çerçevesinde incelenen stok kesme (CS-cutting stock) problemlerinde, siparişlerin mümkün olduğunca az malzeme kullanarak karşılanması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, hangi malzemelerin nasıl kesileceğini gösteren kesim planlarının oluşturulmasına çalışılmaktadır.

Literatüre girdiği 1940'lı yıllardan bu yana, çözümü zor (NP-hard) problemler olarak bilinen CS problemlerinin etkin bir şekilde nasıl çözülebileceğine dair çeşitli disiplinlerde çok fazla sayıda çalışma yapılmıştır. CS problemleri zengin bir literatüre sahip olmakla birlikte söz konusu çalışmalar bir ve iki boyutlu problemler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Uygulama çalışmalarının ağaç, metal, cam, tekstil, kağıt gibi endüstrilerde karşılaşılan CS problemi ile ilgili olduğu görülmektedir. Üç boyutlu CS problemleri çerçevesinde ise yükleme ve yerleştirme problemleri incelenmektedir. Bu çalışmada ele alınan mermer endüstrisindeki üç boyutlu CS problemi, üretim ortamının karakteristiklerine bağlı olarak literatürde incelenen problemlerden büyük ölçüde ayrılmaktadır.

Maden ocaklarındaki mermerin büyük bloklar halinde çıkarıldığı ilk aşamadan piyasada talep edilen ürünler haline getirildiği son aşamaya kadar yüksek miktarlarda fireyle karşılaşmaktadır. Malzemenin elde ediliş biçimi, yapısı, kesim teknolojisi gibi nedenlerden dolayı mermer endüstrilerinde yüksek fire miktarları kaçınılmazdır. Bu durumda, uygun kesim planlarının belirlenmesi yoluyla kontrol edilebilir fire miktarının en aza indirilmesi önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Çalışmada, bu problemin etkin bir şekilde çözülmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde genel bir çerçevede kesme ve yerleştirme problemlerine değinilmiştir. İkinci bölümde stok kesme problemlerine ve konuyla ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Son bölümde mermer endüstrilerinde karşılaşılan kesme problemi ayrıntılı olarak tanıtılmıştır. Problemin çözümü için iki farklı yaklaşımı sunulmuş ve bu yaklaşımlara dayanarak bir ana model ile ardışık modeller seti geliştirilmiştir. Bir mermer fabrikasında karşılaşılan kesme probleminin çözümü için ardışık modeller seti kullanılmıştır.

BÖLÜM I

KESME VE YERLEŞTİRME PROBLEMLERİ

1.1 C&P Probleminin Tanımlanması

Müşteri siparişlerini ya da üretim sürecinde kullanılan girdileri, daha büyük boyutlardaki malzemelerden karşılamak durumunda olan çeşitli endüstrilerde (kağıt, metal, cam, ağaç, plastik, tekstil, maden vb.) üretim sürecinin büyük bir kısmını kesme işlemleri oluşturur. Bu tür endüstrilerde, stok malzemelerinin verimli bir şekilde kullanılması ve kesme kayıplarının minimize edilmesi önde gelen amaçlardan biridir. Bu amaç doğrultusunda, alınan siparişleri karşılayacak şekilde, uygun boyutlardaki stok malzemelerinin seçimi ve seçilen stok malzemeleri için uygun kesim planlarının oluşturulması problemi ortaya çıkar.

Benzer nitelikte bir problem dağıtım sürecinde de ortaya çıkabilir. Daha düşük enerji ve maliyetle, bir seferde daha çok ürünü nakletmek için ürünlerin palet, konteynır, kutu, araç vb. içerisinde en iyi şekilde yerleştirilmesi gerekir. Özellikle ihracat ve taşımacılıkla uğraşan firmalar için bir aracın kapasitesinden en iyi şekilde faydalanmak ve kullanılan araç sayısını azaltmak çok önemlidir. Bu tür endüstrilerde, aynı veya farklı boyutlardaki birçok parçanın büyük bir alan içerisinde kullanımı maksimize edecek şekilde yerleştirilmesi problemi ortaya çıkar.

Literatürde bu tür problemler, kesme ve yerleştirme (C&P-cutting and packing) problemleri olarak adlandırılmaktadır. Benzer niteliklerde olmalarından dolayı, literatürde kesme ve yerleştirme problemleri bir arada incelenmektedir. Kesme işleminde büyük boyutlardaki malzemelerin daha küçük parçalara bölünmesi söz konusu iken, yerleştirme işleminde büyük malzemelerin kapladığı boş alana daha küçük parçaların yerleştirilmesi (bir anlamda, büyük malzemelerin kapladığı alanın daha

küçük alanlara bölünmesi) söz konusudur. Kesme ve yerleştirme problemlerinin kendilerine özgü karakteristikleri bir yana bırakılırsa, bir kesme problemi yerleştirme ve bir yerleştirme problemi kesme problemi olarak ele alınabilir.

C&P problemlerinde, stok malzemelerine atanacak parçaların “geometrik kombinasyonu” söz konusudur (Dyckhoff; Finke 1992, 10):

- Küçük parçalar, çeşitli kesim/yerleşim planları oluşturmak üzere bir araya getirilerek stok malzemelerine atanmaktadır. Her bir stok malzemesinin belirli bir parçalar kümesine, parçaların da en fazla bir objeye atanması C&P problemlerinin kombinatorial esasını oluşturur.
- C&P problemlerinde, stok malzemeleri ve parçaların geometrik şekil ve boyutları ön plandadır. Stok malzemelerine atanacak parçalar kümesi belirlenirken kesim planlarının malzemenin geometrik sınırlarını aşmayacak şekilde oluşturulması C&P problemlerinin geometrik esasını belirtir.

C&P probleminin üç bileşeni (karar aşaması) bulunmaktadır:

Seçim: Belirli bir talebi karşılamak üzere mevcut stok malzemelerinin tümünün kullanılması gerekmebilir. Bazı uygulamalarda ise çok kısıtlı miktarda malzeme bulunduğu için talebin tümünün karşılanması mümkün olmayabilir. Söz konusu durumlarda stok malzemelerinin veya kesim süreci sonunda elde edilmesi gereken parçaların seçilmesi problemi ortaya çıkar.

Atama: Her bir parçanın hangi stok malzemelerinden elde edileceğinin belirlenmesi problemidir.

Yerleştirme: Her bir stok malzemesine atanmış parçaların bu malzemelerden nasıl elde edileceğini gösteren kesim planlarının oluşturulması problemidir.

C&P probleminin tümü, bu karar aşamalarını ihtiva etmeyebilir ya da probleme bağlı olarak daha farklı karar aşamaları söz konusu olabilir. C&P problemi genel olarak, istenen boyutlardaki parçaların daha büyük boyutlardaki malzemelerden nasıl elde

edileceğini belirleme problemi olarak tanımlanabilir. Uygulama alanına ve problemin türüne bağlı olarak öncelikli bazı amaçlar söz konusu olmakla birlikte, C&P problemlerinde genellikle şu amaçlara ulaşılmaya çalışılır:

- Girdi minimizasyonu: Kullanılan stok malzemesi miktarını minimize etmek
- Fire minimizasyonu: Fire miktarını veya firenin girdi miktarına oranını minimize etmek
- Maliyet minimizasyonu: Kullanılan stok malzemesi, fire, kesme düzeneklerini değiştirme (hazırlık), stoklama gibi maliyet unsurlarını minimize etmek
- Kâr maksimizasyonu: Parçaların değerine (getirisine) göre kârı maksimize edecek kesim veya yerleşim planlarını oluşturmak

1.2 C&P Probleminin Karakteristikleri

Genel bir çerçevede C&P problemi olarak adlandırılan çeşitli problemleri birbirinden ayıran bazı özellikler söz konusudur. Ele alınan problem tanımlanırken ve probleme yönelik çözüm yaklaşımları geliştirilirken bu özelliklerin incelenmesi gerekir.

1.2.1 Boyut

Belirli bir kesme/yerleştirme planını geometrik olarak tanımlayabilmek için gerekli olan minimum boyut sayısı C&P probleminin en önemli karakteristiğini oluşturur.

C&P problemleri boyutları açısından bir, iki yada üç boyutlu olarak sınıflandırılır. Stok malzemeleri ile parçalar, tek boyutlu problemlerde uzunlukları (boru, kablo, tel, demir vb. kesimi); iki boyutlu problemlerde uzunluk ve genişlikle belirtilen yüzeyleri (metal levha, cam plaka, sunta, halıfleks vb. kesimi); üç boyutlu problemlerde uzunluk, genişlik ve yüksekliklerinin belirttiği hacimleri (konteynır yükleme vb.) ile tanımlanır. Stok malzemelerinin düzensiz geometrik şekillerde olduğu durumlarda çok boyutlu C&P problemi söz konusudur.

C&P problemlerini, stok malzemeleri ile parçaların boyutları açısından karakterize etmek her ne kadar basit gibi görünse de problemin boyutu çoğu zaman o kadar açık

değildir. Örneğin, palet yükleme problemi genellikle iki boyutlu C&P problemi olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, eğer palete yüklenen parçaların oluşturacağı yükseklik sınırlandırılmışsa 2+1 boyutlu palet yükleme problemi söz konusu olur. Bu durumda yüksekliğin, ilişkili bir boyut olarak probleme dahil edilmesi gerekir. Benzer bir durum konteynır yükleme problemlerinde de görülmektedir. Konteynır yükleme planları oluşturulurken genellikle blok oluşturma (dikey yerleşim) olarak adlandırılan bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemde öncelikle (l_i, w_i) boyutlarında H yüksekliğinde dikey bloklar oluşturulmakta; daha sonra konteynır tabanı (L, W) boyunca bu bloklar yerleştirilmektedir. Bu durumda üç boyutlu konteynır yükleme problemi yerine 2+1 boyutlu bir problemden bahsedilebilir (Dyckhoff 1990, 150).

1.2.2 Atama Türü

Stok malzemelerinin veya parçaların tümünün kesim planlarında yer alıp almayacağına göre dört farklı atama türü söz konusu olabilir (Dyckhoff; Finke 1992, 27):

1. tür atama (Temel yerleşim problemi): Tüm stok malzemeleri ve parçalar, oluşturulan kesim planlarında yer almaktadır. Malzeme ve parçaların tümünün birbirine atanması gerektiği temel yerleşim (layout) problemlerinde görülen bir durumdur. Örneğin, makinaların boyutsal yerleşiminin önemli olduğu bir fabrika içi yerleşim düzenlemesi probleminde bu tür bir atamadan bahsedilebilir.

2. tür atama ('Beladeprobleme'): Stok malzemelerinin tümü, parçalar kümesinden seçilmiş bazı elemanlara atanmaktadır. Her bir objeye en az bir parçanın atanması söz konusudur. Bu durumda, oluşturulan kesim planlarında bazı parçalar yer almamaktadır.

3. tür atama ('Verladeprobleme'): 2. tür atamanın tersi bir durumdur. Parçaların tümü, stok malzemelerinin yer aldığı kümeden seçilmiş bazı elemanlara atanmaktadır. Seçilmeyen stok malzemeleri için kesim planlarının oluşturulması söz konusu değildir.

4. tür atama ('Ladeprobleme'): Birbirine atanacak stok malzemesi ve parçaların seçimi söz konusudur. Mevcut parçalar kümesinden seçilmiş elemanlar, stok malzemeleri

kümesinden seçilen elemanlara atanmaktadır. Elde edilen kesim planlarında bu elemanlar yer almaktadır.

İstenen parçaları elde etmek üzere stok malzemelerine atanacak kesim planlarının nasıl oluşturulduğuna bağlı olarak tek ya da çok aşamalı atama sürecinden bahsedilebilir. Tek aşamalı atama sürecinde, belirli bir stok malzemesi bir bütün olarak ele alınıp kesim planı tek adımda oluşturulmakta ve bu kesim planına göre parçaların stok malzemesinden aynı anda elde edildiği varsayılmaktadır. Çok aşamalı atama sürecinde ise, kesim planları birbirini izleyen birden fazla adımda oluşturulmaktadır. Bu durumda, stok malzemesinin bir önceki aşamadan kalan kısmı ile elde edilmiş yarı mamuller bir sonraki aşamanın mevcut stok malzemelerini oluşturmaktadır.

Bazı durumlarda belirli bir alt kümeye ait parçaların bir kısmı seçildiğinde bu kümeye ait diğer elemanların da aynı anda seçilmiş olması gerekir. Örneğin, bir makineye ait parçalar ayrı ayrı kutulara yerleştirilmişse, bu parçaların tümünün konteynıra yüklenmek üzere seçilmesi gerekir. Benzer şekilde bazı parçaların belirli parti büyüklükleri halinde seçilmesi gerekebilir. Mevcut parçalar kümesinden yapılacak seçimle ilgili bu tür kısıtların dikkate alınması gerekir.

1.2.3 Girdi ve Çıktılara İlişkin Karakteristikler

C&P problemlerinin tümü girdi ve çıktıların geometrik şekilleri ile tanımlanması açısından birbirine benzemekle birlikte girdi ve çıktılara ilişkin bazı özellikler bu problemleri birbirinden ayırmaktadır:

Sürekli/Kesikli Miktar Ölçümü

C&P problemlerinde girdi ve çıktıların miktarları genellikle kesikli olarak ifade edilir. Bununla birlikte bazı uygulamalarda, sürekli olarak ifade edilen miktarlardan bahsedilebilir. Örneğin, rulo şeklindeki malzemeler kesilirken girdi miktarı, rulo sayısı olarak değil, birden fazla rulonun belirli bir boyutunun toplam ölçüsüyle ifade edilmektedir. Bu problemlerde, elde edilmesi gereken tüm parçalar için bir boyutu sabit olmak üzere, gerçekte iki boyutlu olan stok malzemeleri söz konusudur. Problem, miktarların sürekli birimlerle ölçülmesiyle tek boyuta indirilmekte; diğer boyut,

oluşturulacak kesim planlarında göz önünde bulundurulması gereken bir boyut olmaktan çıkmaktadır.

Bir boyutu sürekli birimlerle ölçülen problemler genellikle 1.5 boyutlu problemler olarak adlandırılmaktadır (Dyckhoff 1990,150). 1.5 boyutlu problemler, iki boyutlu kesme problemlerinin özel bir halidir. Boy sınırlamasının olmadığı kabul edilen dikdörtgen biçimindeki malzemelerin sadece enleri dikkate alınarak kesim planları oluşturulmaktadır.

Malzeme ve Parçaların Şekli

C&P problemlerinde stok malzemeleri ve parçalar, geometrik şekil, ebat (büyüklük) ve pozisyonları ile tanımlanırlar. Belirli bir pozisyonda tüm boyutları çakışan iki obje aynı çeşit olarak kabul edilir.

Geometrik şekil açısından benzer malzeme ve parçalar, büyüklükleri açısından birbirinden farklı olabilir. Boyuta bağlı olarak bir şeklin büyüklüğü, şeklin uzunluğu, alanı veya hacmi ile ölçülebilir.

Pozisyon, malzeme ve parçaların bir yüzey üzerindeki yerleşimini (geometrik yönelimini) ifade eder. Malzeme ve parçaların belirli bir yüzey üzerinde döndürülmesinin mümkün olmadığı durumlarda sabit pozisyonlu C&P problemi söz konusudur. Bazı iki veya üç boyutlu problemlerde ise malzeme ve parçaların 90° çevrilmesi mümkündür. Bu durumda, şekil ve büyüklük açısından aynı olan malzeme veya parçalar pozisyonları açısından birbirinden farklı olabilir.

Çeşitlilik ve Tekrarlanabilirlik

C&P problemleri, geometrik şekil, büyüklük ve pozisyonları ile tanımlanan malzeme ve parçaların çeşitliliği açısından homojen ve heterojen problemler olarak sınıflandırılmaktadır. Homojen C&P problemlerinde, pozisyonları açısından farklılık gösterebilen, ancak şekil ve büyüklükleri açısından birbirine benzeyen malzeme ve parçalar bulunmaktadır. Tüm malzeme veya parçaların standart olduğu C&P problemleri de söz konusudur. Heterojen problemlerde malzeme veya parçalar, şekil, büyüklük ve pozisyonları açısından çeşitlilik göstermektedir. Bu malzeme veya

parçalar, kendi aralarında homojen gruplara ayrılabilir. Çeşit az, her bir çeşit başına parça sayısı çok ise düşük derecede heterojenlikten söz edilir. Çeşit çok, her bir çeşit başına parça sayısı az ise yüksek derecede çeşitlilik söz konusudur.

Tekrarlanabilirlik, aynı şekil ve ölçülerde elde edilebilen malzeme veya parça çeşidi miktarındaki alt ve üst sınırı tanımlamaktadır. Belirli bir çeşit malzemeden elde edilebilir miktar çok kısıtlı olabilir. Bu durum özellikle, malzemelerin daha önceki siparişlerden artan kısımlarının ileride kullanılmak üzere stoklandığı durumlarda ortaya çıkar. Malzemeden artan kısım fire olarak değerlendirilemeyecek boyutlarda ise bir sonraki sipariş döneminde girdi olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, malzemenin yapısına bağlı olarak, artan kısımları yeniden kullanmak üzere stok alanına taşımanın maliyeti ile stok alanı kapasitesinin göz önünde bulundurulması gerekebilir. Bazı malzeme veya parça çeşidi miktarı için ise üst sınır o kadar yüksek olabilir ki matematiksel olarak sınırsız kabul edilebilir.

1.2.4 Kesim Planlarına İlişkin Karakteristikler

Oluşturulan kesim planlarının geometrik kombinasyon esaslarına uyması gerekir. Belirli bir kesim planı oluşturmak üzere bir araya getirilen parçalar, atandıkları malzemelerin geometrik sınırlarını aşmamalıdır. Bunun yanında, kesim planları oluşturulurken göz önünde bulundurulması gereken bazı kısıtlar söz konusu olabilir:

Mesafe/Aralık Kısıtı

Bazı kesme ve yerleştirme problemlerinde, stok malzemeleri daha küçük parçalara bölünürken, parçalar veya kesimler arasında bırakılması gereken minimum yada maksimum mesafe kısıtlarına uyulması gerekir. Özellikle cam levhalar gibi malzemelerin kesilmesi sırasında kesici disklerin kayma riskine karşı parçalar arasında belirli bir mesafe bırakılmaktadır. Malzemelerin kenarlarındaki düzensizlikler için de kesim sırasında paylar bırakılması gerekebilir. Yükleme problemlerinde, parçalar arasında bırakılması gereken minimum ve maksimum mesafeler dengeyi sağlanabilmesi açısından önemlidir.

Pozisyon (Çevirme) Kısıtı

Kesim planında yer alan parçaların birbirine veya malzemeye göre yerleşimi ile ilgili kısıtlar bulunabilir. Bu kısıtlar genellikle tekstil, kağıt, maden ve ağaç endüstrilerinde yaygındır. Desenli kumaşların kesiminde veya kırılabilir parçaların yüklenmesinde parçaların pozisyonları önemli olabilmektedir. Kağıt endüstrisinde, kağıt rulolarından kesilecek parçaların yerleşiminin, kağıdın su yönü denilen lifleri doğrultusunda olması gerekmektedir.

Parça Çeşidi Kısıtı

Bir kesim planında yer alabilecek parça çeşidi kısıtlanmış olabilir. Bu kısıtlar özellikle yerleştirme problemlerinde, konteynır içerisine belirli siparişlerin yüklenmesi gerektiği durumlarda ya da kesimde kullanılan makinalarla ilgili olarak, kesim planında yer alan parça çeşidini sınırlandıran teknik kısıtların söz konusu olduğu şartlarda ortaya çıkmaktadır.

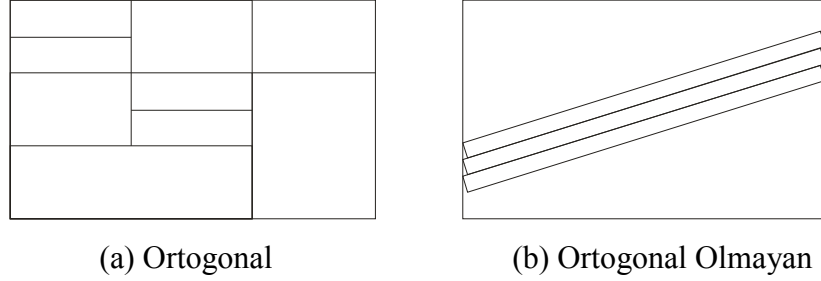
Kesim Planı Çeşidine İlişkin Kısıtlar

Stok malzemelerinden nihai parçaları elde etmek üzere hazırlanan kesim planları sayısına ilişkin kısıtlar söz konusu olabilmektedir. Kesim planlarını değiştirme sıklığını -kesim düzeneklerini değiştirmeye ilişkin hazırlık maliyetlerini- azaltmak amacıyla, aynı çeşit kesim planları için en az uygulanma sıklığı belirlenmekte ya da kesim süreci boyunca uygulanacak kesim planı çeşidi sınırlandırılmaktadır. Aynı amaçla, belirli bir kesim planında bulunan parça çeşidi için üst sınır belirlenebilmektedir.

Kesim Türü

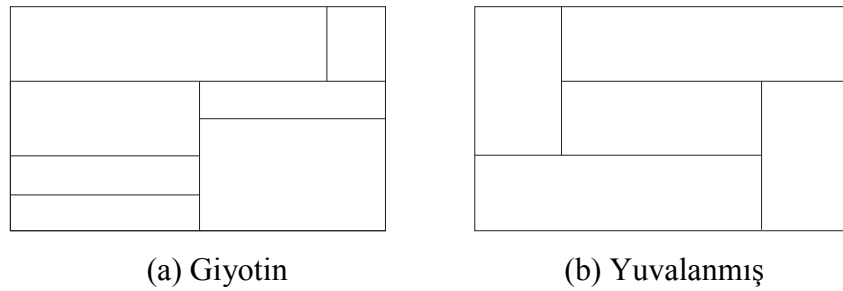
Parçaların stok malzemeleri üzerindeki yerleşim düzeni ile ilgilidir. Dikdörtgen şeklindeki malzemeler, dik (orthogonal) veya farklı açılarda kesilebilir. Ortogonal kesim planlarında parçalar, stok malzemelerinin kenarlarına paralel bir şekilde yerleştirilmektedir. Kesim açısının 90° den farklı olduğu durumlarda ortogonal olmayan

kesim planlarından söz edilir. Şekil 1.1’de ortogonal ve ortogonal olmayan kesim planları gösterilmektedir.



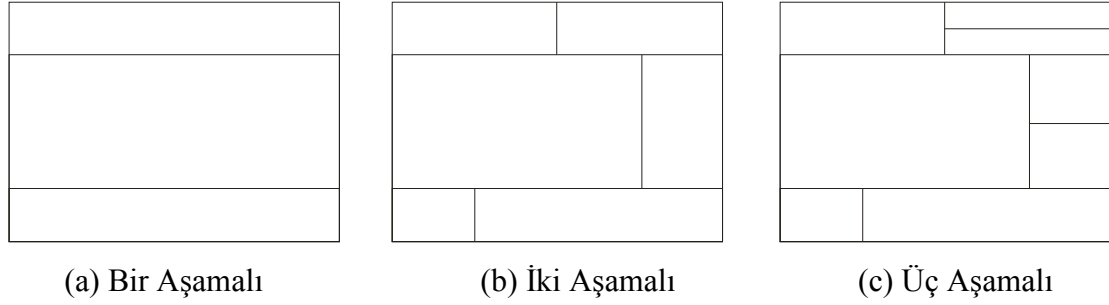
Şekil 1.1 Ortogonal ve Ortogonal Olmayan Kesim Planları

Ortogonal kesim planlarında giyotin veya yuvalanmış (iç içe geçmiş) kesim türleri söz konusu olabilir. Kesim makinalarına ilişkin teknik kısıtlardan dolayı kesme problemlerinde genellikle giyotin tarzı kesimle karşılaşilmektedir. Giyotin kesim yönteminde, her bir kesim işlemi başladığı doğrultuda devam etmekte; kesim işlemi boyunca kesim yönü değiştirilmemektedir. Yuvalanmış kesim planlarında ise, kesme işlemi herhangi bir noktada kesintiye uğratılarak kesim doğrultusu değiştirilebilmektedir. Bu tür kesim planları, kesme problemlerinden ziyade yerleştirme/yükleme problemlerinde söz konusudur; denge şartının sağlanabilmesi amacıyla, uygulamada özellikle tercih edilen bir yöntemdir. Şekil 1.2’de giyotin tarzı ve yuvalanmış kesim türlerine göre hazırlanan kesim planları gösterilmektedir.



Şekil 1.2 Giyotin ve Yuvalanmış Kesim Planları

Stok malzemesinden bir parçayı elde etmek üzere uygulanması gereken kesim sayısına bağlı olarak giyotin kesim planları bir ya da daha fazla aşamalı olabilmektedir. Şekil 1.3’de bir, iki ve üç aşamalı giyotin kesim planlarına örnek verilmektedir.



Şekil 1.3 Bir, İki ve Üç Aşamalı Giyotin Kesim Planları

Kesim Süreci

Tek aşamalı kesim süreçlerinde, gerçekte ardışık işlemlerden meydana gelen sürecin, tüm işlemlerin aynı anda kesintisiz bir şekilde yerine getirilmesiyle tek bir aşamada tamamlandığı düşünülmektedir. Çok aşamalı kesim süreçlerinde ise birbirinden bağımsız birden fazla kesim aşaması bulunmaktadır. Bir kesim aşamasını oluşturulan işlemler tamamlandıktan sonra, kesim sürecinin bir sonraki aşamasına geçilmektedir. Stok malzemelerinden nihai ürünleri elde etmek üzere birbirinden farklı birden fazla makinede kesim işleminin yapılması gerekiyorsa çok aşamalı kesim sürecinden bahsedilebilir.

1.3 C&P Problemlerinin Sınıflandırılması

Literatürdeki çalışmalarda ele alınan C&P problemlerinin tanımlanmasında çoğunlukla Dyckhoff (1990) tarafından geliştirilen sınıflandırma esas alınmaktadır. Tablo 1.1’de gösterilen bu sınıflandırmaya göre C&P problemleri dört esas karakteristik çerçevesinde tanımlanmaktadır.

Tablo 1.1 C&P Problemlerinin Sınıflandırılması

Karakteristik	Sembol	Tanım
(α) Boyut	1	Bir boyutlu
	2	İki boyutlu
	3	Üç boyutlu
	N	N boyutlu ($N>3$)
(β) Atama Türü	B	Tüm stok malzemeleri $\leftrightarrow$ Parça kümesinden seçilen elemanlar
	V	Stok malzemesi kümesinden seçilen elemanlar $\leftrightarrow$ Tüm parçalar
(γ) Stok Malzemelerinin Çeşitliliği	O	Tek stok malzemesi
	I	Aynı şekillerde stok malzemeleri
	D	Farklı şekillerde stok malzemeleri
(δ) Parçaların Çeşitliliği	F	Çeşitlilik fazla, parça sayısı az
	M	Çeşitlilik fazla, parça sayısı çok
	R	Çeşitlilik az, parça sayısı çok
	C	Benzer şekillerde parçalar

Bu sınıflandırma çerçevesinde, olası tüm durumlar bir araya getirildiğinde $4 \times 2 \times 3 \times 4 = 96$ farklı türde C&P problemi tanımlanabilir. Bu problemler kısaca dörtlü bir sembol ile $\alpha/\beta/\gamma/\delta$ şeklinde gösterilmektedir. Örneğin, 1/V/I/M şeklinde bir gösterim, aynı şekillerdeki stok malzemeleri arasından seçilen elemanlara, farklı şekillerdeki çok sayıda parçanın atandığı 1 boyutlu C&P problemini ifade etmektedir ¹.

1.4 C&P Probleminin Genel Türleri

Dyckoff ve Finke (1992), C&P problemleri çatısı altında toplanan çeşitli problemlerin genel türlerini, problemin boyutu, atamanın türü ve parçaların çeşitliliği çerçevesinde tanımlamışlardır. C&P probleminin genel türleri, esas olarak bu dört özellik çerçevesinde birbirlerinden ayrılmaktadır.

- Boyut

1, 2, 3 boyutlu

¹ 1/V/I/M, kuramsal olarak C&P problemleri çerçevesinde değerlendirilen hat dengeleme, çok makinalı çizelgeleme, bellek tahsisi gibi problemlerin genel ifadesini teşkil etmektedir.

- Atama Türü

2. Tür Atama:

Tüm stok malzemeleri ↔ Parça kümesinden seçilen elemanlar

3. Tür Atama:

Stok malzemesi kümesinden seçilen elemanlar ↔ Tüm parçalar

4. Tür Atama:

Stok malzemesi kümesinden seçilen elemanlar ↔ Parça kümesinden seçilen elemanlar

- Parçaların Çeşitliliği

Homojen: Tek çeşit parçalar

Heterojen: Farklı çeşitlerde parçalar

- Düşük derecede heterojen: Çeşit az, her bir çeşit başına parça sayısı çok

- Yüksek derecede heterojen: Çeşit çok, her bir çeşit başına parça sayısı az

Atama türü ve parçaların çeşitliliği açısından, C&P probleminin dört genel türü aşağıdaki temsili isimler ile tanımlanmaktadır:

- Kutu yükleme problemi (BP-bin packing)
- Stok kesme problemi (CS-cutting stock)
- Sırt çantası problemi (KS-knapsack)
- Palet yükleme problemi (PL-pallet loading)

Tablo 1.2’de atama türü ve parçaların çeşitliliği çerçevesinde bu türlere ait genel özellikler gösterilmektedir.

Tablo 1.2 Parça Çeşitliliği ve Atama Türü Açısından C&P Problemi Türleri

			Atama Türü	
			2. Tür Atama	3. veya 4. Tür Atama
Parçaların Çeşitliliği	homojen		PL	
	heterojen	çeşit başına az sayıda parça	KS	BP
		çeşit başına çok sayıda parça	KS	CS

BP problemlerinde, farklı şekillerde çeşitli parçaların tümünün veya bir kısmının, stok malzemeleri kümesinden seçilmiş elemanlara atanması söz konusudur. CS problemlerinde, BP problemlerine nispeten daha az parça çeşidi bulunmaktadır. Çok sayıda parçanın, çeşitlilik açısından daha az sayıda gruba ayrılması mümkündür. BP ve CS problemlerinin her ikisinde de stok malzemelerinin seçimi söz konusudur. KS ve PL problemlerinde ise mevcut stok malzemelerinin miktarı çok kısıtlı olduğu için, bu malzemelere atanacak parçaların seçimi problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerde genellikle tek stok malzemesi bulunmaktadır. PL problemlerinde şekil ve büyüklükleri açısından benzer parçaların atanması söz konusudur.

Problem boyutunun da eklenmesiyle 12 farklı C&P problemi türü ortaya çıkmaktadır. Tablo 1.3’de C&P problemlerinin genel türleri toplu olarak gösterilmektedir.

Tablo 1.3 C&P Probleminin Genel Türleri

	BP	CS	KS	PL
1 Boyutlu	BP1	CS1	KS1	PL1
2 Boyutlu	BP2	CS2	KS2	PL2
3 Boyutlu	BP3	CS3	KS3	PL3

Dyckhoff tarafından geliştirilen sınıflandırma esas alınarak C&P problemlerinin genel türleri aşağıdaki notasyonlarla ifade edilmektedir (Dyckhoff 1990, 155):

Klasik BP Problemi : 1/V/I/M

Klasik CS Problemi : 1/V/I/R

Genel CS Problemi : 1-2-3/ / /

Klasik KS Problemi : 1/B/O/ /

Klasik PL Problemi : 2/B/O/C

Ele alınan problemin diğer karakteristiklerine bağlı olarak, her bir problem türünün çok fazla sayıda özel durumu söz konusu olabilmektedir.

BÖLÜM II

STOK KESME PROBLEMLERİ

2.1 Klasik CS Problemleri ve Matematiksel Formülasyonu

CS problemi, siparişte istenen parçaların daha büyük boyutlardaki stok malzemelerinden nasıl edileceğini belirleme problemidir. Belirli bir sipariş üretimi için stokta yeterince malzeme bulunmakta ve siparişleri karşılamak üzere bu malzemelerin bir kısmının kesilmesi gerekmektedir. Bu durumda, kesilecek malzemelerin belirlenmesi problemi ortaya çıkmaktadır. Seçilen malzemeler için çeşitli kesim alternatifleri bulunmaktadır. Siparişlerin mümkün olduğunca az malzeme kaybı ile karşılanması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, seçilen malzemeler için en uygun kesim planlarının belirlenmesine çalışılmaktadır. Problemin çözümü sonucunda elde edilen kesim planları ile kesilecek malzemeler ve bu malzemelerden elde edilecek parça çeşit ve miktarları belirlenmiş olmaktadır.

$j = 1, \dots, J$ stok malzemesi çeşidi, $i = 1, \dots, I$ üretilmesi gereken parça çeşidi ve $r = 1, \dots, R_j$ her bir malzeme çeşidi için belirlenen tüm kesim planı alternatiflerine ait indisleri göstermek üzere CS problemlerinin temel formülasyonu aşağıdaki şekildedir:

$$(1) \quad \min Z = C \cdot X$$

sınırlar

$$(2) \quad A \cdot X = D$$

$$(3) \quad X \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

ve A matrisi için

$$(4) \quad L \cdot A_{rj} \leq L_j \quad (r = 1, \dots, R_j \quad j = 1, \dots, J)$$

$$(5) \quad a_{ij} \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

A : her bir stok malzemesi çeşidi ($j = 1, \dots, J$) için oluşturulan A_{rj} vektörlerini içeren ($I \times R$) matrisi

$$\sum_{j=1}^J R_j = R$$

A_{rj} : elemanları a_{irj} olan ($I \times 1$) sütun vektörü

a_{irj} : r kesim planına göre kesilen bir birim j stok malzemesinden elde edilen i parçası miktarı

X : elemanları X_{rj} olan ($R \times 1$) sütun vektörü

X_{rj} : r kesim planına göre kesilen j stok malzemesi miktarı

D : i parçasından üretilmesi gereken miktarları (D_i) belirten ($I \times 1$) sütun vektörü

L : üretilmesi gereken parça uzunluklarını (l_i) belirten ($1 \times I$) satır vektörü

L_j : j stok malzemesinin uzunluğu

C : amaç fonksiyonu katsayılarını (C_{rj}) belirten ($1 \times R$) satır vektörü

2.1.1 (1/V/I/R) Stok Kesme Problemi

L boyunda tek çeşit stok malzemelerinden, D_i adet l_i boyunda parçaların karşılanması gerektiğinde, fire minimizasyonuna yönelik tamsayılı doğrusal programlama modeli aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$(6) \quad \min \sum_{r=1}^R T_r \cdot X_r$$

sınırlar

$$(7) \quad \sum_{r=1}^R a_{ir} \cdot X_r \geq D_i \quad (\text{tüm } i\text{'ler için})$$

$$(8) \quad X_r \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (\text{tüm } r\text{'ler için})$$

ve uygun kesim planları

$$(9) \quad \sum_{i=1}^I a_{ir} \cdot l_i \leq L \quad (\text{tüm } r\text{'ler için})$$

$$(10) \quad a_{ir} \geq 0 \text{ ve tam sayı}$$

D_i : i parçasından üretilmesi gereken miktar ($i = 1, \dots, I$)

X_r : r kesim planına göre kesilecek stok malzemesi miktarı

a_{ir} : r kesim planında yer alan i parçası miktarı (r kesim planına göre kesilen bir birim stok malzemesinden elde edilen i parçası miktarı)

T_r : Stok malzemesinin r kesim planına göre kesilmesinden kaynaklanan fire

$$T_r = L - \sum_{i=1}^I a_{ir} \cdot l_i$$

2.1.2 (1/V/D/R) Stok Kesme Problemi

$L_1, \dots, L_j$ boylarında j çeşit stok malzemesinin mevcut olduğu durumda Model (6)–(10) aşağıdaki şekilde genişletilmektedir:

$$(11) \quad \min \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{j=1}^J T_{rj} \cdot X_{rj}$$

sınırlar

$$(12) \quad \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{j=1}^J a_{irj} \cdot X_{rj} \geq D_i \quad (\text{tüm } i\text{'ler için})$$

$$(13) \quad X_{rj} \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

ve uygun kesim planları

$$(14) \quad \sum_{i=1}^I a_{irj} \cdot l_i \leq L_j \quad (\text{tüm } r \text{ ve } j\text{'ler için})$$

$$(15) \quad a_{irj} \geq 0 \text{ ve tam sayı}$$

R_j : j stok malzemesi için kesim planı alternatiflerinin sayısı

X_{rj} : r kesim planına göre kesilecek j stok malzemesi miktarı

a_{irj} : r kesim planına göre kesilen bir birim j stok malzemesinden elde edilen i parçası miktarı

T_{rj} : j stok malzemesinin r kesim planına göre kesilmesinden kaynaklanan fire

$$T_{rj} = L_j - \sum_{i=1}^I a_{irj} \cdot l_i$$

Model (6)-(10) ile (11)-(15) de stok malzemesi miktarları sınırsız olarak kabul edilmektedir. Kesilecek malzeme miktarları sınırlıysa bu modellere aşağıdaki sınırın eklenmesi gerekmektedir:

(6) - (10) için

$$(16) \quad \sum_{r=1}^R X_r \leq M$$

M : mevcut stok malzemesi miktarı

(11) - (15) için

$$(17) \quad \sum_{r=1}^{R_j} X_{rj} \leq M_j \quad (\text{tüm } j\text{'ler için})$$

M_j : mevcut j stok malzemesi miktarı

2.1.3 Stok Malzemesi Maliyetinin Minimizasyonu

Maliyetleri sırasıyla C₁,...,C_j olan j çeşit stok malzemesinin bulunduğu bir boyutlu CS problemlerinde kullanılan malzeme maliyetini minimize eden amaç fonksiyonu

$$(18) \quad \min \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{j=1}^J C_j \cdot X_{rj}$$

şeklinde yazılmaktadır. Tek çeşit stok malzemesinin mevcut olduğu bir boyutlu CS problemlerinde stok malzemesi maliyetinin minimizasyonu, kullanılan malzeme miktarının minimizasyonuna denktir. Tek çeşit stok malzemesi için toplam maliyet fonksiyonu şu şekildedir:

$$(19) \quad \min \sum_{r=1}^R X_r$$

Tüm stok malzemelerinin birim maliyeti birbirine eşitse (C_j/L_j = C_j'/L_j' = c, j≠j') ve sipariştan fazla üretilen parça miktarları fire olarak değerlendiriliyorsa, kullanılan stok malzemesi maliyetinin minimizasyonu firenin minimizasyonuna denk olacaktır (Holthaus 2002, 297).

Toplam maliyet fonksiyonu:

$$(20) \quad \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{j=1}^J C_j \cdot X_{rj} = \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{j=1}^J L_j \cdot (C_j/L_j) \cdot X_{rj}$$

$$= c \cdot \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{j=1}^J L_j \cdot X_{rj} \quad (c = C_j/L_j)$$

Fire fonksiyonu:

$$(21) \quad \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{j=1}^J T_{rj} \cdot X_{rj} = \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{j=1}^J L_j \cdot X_{rj} - \sum_{i=1}^I l_i \cdot D_i$$

(20) ve (21) ifadeleri sadece iki sabit sayı açısından farklılık göstermektedir (c: stok malzemesinin birim maliyeti; $\sum l_i D_i$: kesilecek parçaların toplam boyu).

2.1.4 Uygun Kesim Planlarının Oluşturulması

(1) – (3) de verilen tamsayı doğrusal programlama modelinin çözülebilmesi için

$$(4) \quad L \cdot A_{rj} \leq L_j \quad (r = 1, \dots, R_j \quad j = 1, \dots, J)$$

$$(5) \quad a_{irj} \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

şartlarını sağlayan A matrisi elemanlarının (a_{irj}) belirlenmesi gerekmektedir.

(4)-(5) kısıtları, her bir stok malzemesinden kesilecek parçaların toplam boyunun malzemenin boyunu aşmamasını ve parçaların tamsayı olarak elde edilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla (4)-(5) sınırları oluşturulacak kesim planlarının uygunluk şartlarını tanımlamaktadır.

Malzemenin sonunda fire olarak bırakılan kısmın, üretilebilecek en küçük parçadan daha küçük olması bu malzeme için oluşturulan kesim planının etkinlik şartını tanımlar (Holthaus 2002, 298).

$$(22) \quad T_{rj} = L_j - \sum_{i=1}^I a_{irj} \cdot l_i < \min l_i$$

Kullanılan stok malzemesi miktarı ve fire minimizasyonuna yönelik bir problem için (22) ye göre oluşturulmuş bir kesim alternatifi

$$T_{rj} = L_j - \sum_{i=1}^I a_{irj} \cdot l_i \geq \min l_i$$

şeklinde belirlenmiş kesim alternatifine (en azından bir parçayı daha fazla üretmesi nedeniyle) tercih edilecektir (Pierce 1964, 18).

CS probleminin optimal çözümünün elde edilebilmesi için, uygunluk ve etkinlik şartlarını taşıyan tüm kesim planı alternatiflerinin (a_{irj} elemanlarının) belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde bu amaçla geliştirilen çeşitli sayım prosedürleri mevcuttur (Suliman 2001; Pierce 1964; Wagner 1999).

2.2 CS Probleminin Karmaşıklığı ve Çözüm Yaklaşımları

CS problemleri, makul sürelerde optimum çözüme ulaşmanın zor olduğu NP-hard problemler sınıfındadır. Problemin boyutu (bir, iki, üç ve çok boyutlu CS problemleri) ile malzeme ve parçaların çeşitliliği arttıkça CS probleminin karmaşıklığı artmaktadır (Dyckhoff 1990, 154-157). Malzeme ya da parçaların herhangi bir yönde çevrilmesine izin veriliyorsa malzeme veya parça çeşitliliği artacaktır. Örneğin, üç boyutlu n çeşit parçanın tüm pozisyon alternatifleri probleme dahil edildiğinde parça çeşidi sayısı $6n$ 'e kadar çıkabilecektir. Eley, tek bir konteynıra 20 farklı parçanın 6 farklı yönde çevrilerek yerleştirilebileceği bir problem için oluşturulan arama ağacındaki düğüm sayısının 3. iterasyonun sonunda yaklaşık olarak 1.7 milyona ulaştığını belirtmektedir (Eley 2002, 397). Çözüm karmaşıklığını etkileyen en önemli unsur, stok malzemeleri ile parça çeşidine bağlı olan kesim planı alternatifi sayısı ve bu değişkenlerin modelde tam sayılı olarak ifade edilme zorunluluğudur (Gilmore; Gomory 1961, 850). Oluşturulacak kesim planı sayısı, malzeme ve parça boyutları arasındaki orana da ($L_j/\min(l_i)$) bağlıdır. Çok küçük parçaların büyük bir stok malzemesinden kesilmesi durumunda, uygun kesim

planlarının sayısı çok yüksek olabilmektedir (Haessler; Sweeney 1991, 143). Giyotin tarzı kesim planlarındaki aşama sayısı arttıkça kesim planı alternatifi sayısı da artmaktadır. Bununla birlikte çok boyutlu problemler için sadece giyotin tarzı kesimin şart koşulmuş olması, mümkün kesim planı alternatiflerini sınırlandırmakta ve dolayısıyla problemin çözümünü kolaylaştırmaktadır (Gilmore; Gomory 1964, 95).

CS problemleri için üç farklı çözüm yaklaşımı sunulmaktadır. Sezgisel çözüm yaklaşımlarında parçalar stok malzemelerine belirli bir sıralama kuralı çerçevesinde atanmaktadır. Tek kesim planı oluşturma yaklaşımında stok malzemeleri tek tek ele alınarak kesim planları ardışık bir şekilde oluşturulmaktadır. Kesim planları bu şekilde iteratif olarak oluşturulurken, siparişin karşılanmayan kısmı için sonraki aşamalarda oluşturulacak kesim planları dikkate alınmamaktadır. Kesim planlarını bir arada oluşturma yaklaşımında ise tüm stok malzemeleri bir arada ele alınmakta ve kesim planları aynı anda oluşturulmaktadır. Ancak bu yaklaşımda problemin çok büyük olması nedeniyle genellikle tamsayılılık şartları kaldırılarak doğrusal programlama modeli ile çözüme gidilmekte; daha sonra değişkenlerin tamsayıya yuvarlanması gerekmektedir (Sweeney; Paternoster 1992, 692).

Optimal çözümü garanti eden çözüm yaklaşımları, olası tüm kesim alternatiflerinin belirli bir sayım prosedürleriyle önceden belirlenmesini gerektiren optimizasyon tekniklerine dayanmaktadır. Büyük ölçekli tamsayılı bir modelin çözümünün zor olması nedeniyle genellikle bu modele karşılık gelen doğrusal programlama modeli çözülmektedir. CS problemlerinin çözümü için kullanılan doğrusal programlama tabanlı prosedürlerin büyük bir çoğunluğu, Gilmore ve Gomory (1961,1963) tarafından geliştirilen sütun oluşturma tekniğine dayanmaktadır (Haessler; Sweeney 1991, 142). Bu teknikte, tüm kesim alternatiflerinin (A matrisi elemanlarının) belirlenmesi yerine, klasik CS modeline karşılık gelen doğrusal programlama modeli çözülmektedir. Başlangıç olarak, her bir kesim alternatifinde sadece bir parçanın yer aldığı kesim planları oluşturulmakta, daha sonraki kesim planları (2) de yer alan sınır kümesiyle ilgili gölge fiyatlara dayanılarak çözülen sırt çantası (KS) modelleri ile belirlenmektedir. Yaklaşımın en önemli avantajı olası tüm kesim planı alternatiflerinin oluşturulmasına gerek duyulmamasıdır. Bu yöntemde genellikle sütun sayısı (kesim planı alternatifleri sayısı) satır sayısına (üretilcek parça sayısına) eşit olan bir kesim planı matrisi elde

edilmektedir (Gilmore; Gomory 1961,1963). Gilmore ve Gomory'nin yaklaşımında doğrusal programlama modelinden elde edilen sonuçların (her bir stok malzemesinden kesilmesi gereken miktarları gösteren X_{ij} değişkenlerinin) tamsayıya yuvarlanması gerekmektedir. Dolayısıyla her bir çeşit başına çok sınırlı sayıda stok malzemesinin olduğu durumlarda bu yaklaşımın uygun olmadığı belirtilmektedir (Wagner 1999, 368).

Büyük ölçekli CS problemlerine makul sürelerde çözüm bulabilecek kesin çözüm yaklaşımları bulunmamaktadır. Kesin çözüm yöntemleri sadece küçük ölçekli problemleri çözebilmekte; bu nedenle uygulamaya yönelik büyük ölçekli problemler için sezgisel yaklaşımlar tercih edilmektedir (Lai; Chan 1997, 117). Probleme özgü sezgisel yöntemlerin yanı sıra CS problemlerinin çözümü için, benzetimli tavlama, tabu arama, genetik algoritma gibi modern sezgisel yöntemler de kullanılmaktadır.

2.3 Literatür Taraması

CS problemi, ilk olarak 1939'da Rus matematikçi Kantorovich tarafından ele alınmıştır. 1960'da Batı'da yayınlanan bu çalışmada, tek boyutlu stok kesme problemi, her biri n adet makinede işlenebilecek m adet işin çizelgelenmesi probleminin bir uzantısı olarak tanımlanmış ve bu doğrultuda fire minimizasyonuna yönelik tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.

Literatürde CS probleminin temeli, Gilmore ve Gomory'nin (1961,1963,1964,1966) çalışmalarına dayandırılmaktadır. Gilmore ve Gomory (1964), 1961 ve 1963'te yayınlanan çalışmalarında tek boyutlu CS problemleri için geliştirdikleri sütun oluşturma tekniğini iki ve üç boyutlu problemler için de kullanmışlardır. Bu yıllardan itibaren CS problemleri ile ilgili çok fazla sayıda çalışma yapılmıştır.

Dyckhoff ve Finke (1992), Sweeney ve Paternoster (1992) tarafından yapılan ayrıntılı literatür çalışmalarında CS problemleri ile ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğunun bir ve iki boyutlu problemler üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Sweeney ve Paternoster'ın (1992) incelediği 400'den fazla çalışmanın (makale, kitap, bildiri, tez) 71 tanesi üç boyutlu, diğerleri bir ve iki boyutlu CS problemleri ile ilgilidir.

Literatürde üç boyutlu çalışmalar çerçevesinde konteynır yükleme olarak adlandırılan yerleştirme problemleri incelenmektedir. Bu çalışmalarda iki tür konteynır yükleme problemi ele alınmaktadır (Eley 2003, 46):

KS türü konteynır yükleme problemleri (tek konteynır): Farklı veya aynı boyutlardaki parçalar tek bir konteynır içerisine yerleştirilmektedir. Mevcut konteynır hacmi tüm parçaları yüklemeye yeterli değerlidir. Amaç, sınırlı hacme sahip konteynırı en çok geliri sağlayacak yükle doldurmaktır. Her yükün gelir düzeyi hacimleri cinsinden ifade ediliyorsa bu amaç, konteynırın kullanılan hacminin maksimize edilmesi (ve dolayısıyla kullanılmayan -fire- hacmin minimize edilmesi) anlamına gelmektedir. Dyckhoff (1990) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre bu problem 3/B/O/ / ile temsil edilmektedir.

BP ve CS türü konteynır yükleme problemleri (birden fazla konteynır): Tüm parçaları yüklemek üzere yeterli sayıda konteynır mevcuttur. Bu durumda, parçaların mümkün olduğunca az sayıda konteynıra yüklenmesi amaçlanmaktadır. Konteynır çeşitleri farklıysa kullanılan konteynır maliyetinin minimize edilmesine çalışılmaktadır. Bu problemlerde genellikle aynı tür ya da standart birkaç çeşit konteynır söz konusudur. Dyckhoff (1990) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre bu problem 3/V/I/ / ile temsil edilmektedir.

Tek konteynır yükleme problemleri Han, Knott, Egbelu (1989), Gehring, Menschner, Meyer (1990), Morabito, Arenales (1994), Bischoff, Janetz, Ratcliff (1995), Lai, Xue, Xu (1998), Eley (2002) tarafından incelenmiştir. Çalışmaların çoğunda sezgisel çözüm yaklaşımları sunulmuştur.

Çok konteynır yükleme problemleri için geliştirilen çözüm yaklaşımları da çoğunlukla sezgisel yöntemlere dayanmaktadır. Bu yöntemlerde parçalar konteynıra belirli bir sıralama kuralı çerçevesinde yerleştirilmektedir. Parçalar, hacim, yüzey alanı, en küçük veya en büyük boyut, derinlik (en), yüklenmesi gereken miktar vb. kriterler çerçevesinde sıralanmakta ve ardışık olarak konteynıra atanmaktadır.

Sezgisel yöntemlerde yerleşim planları genel olarak konteynır içerisinde kat ya da blok oluşturma esaslarına göre belirlenmektedir. Kat oluşturma (yatay yerleşim) yönteminde,

h_i yüksekliğinde (L.W) boyutlarında yatay katlar oluşturulmakta; daha sonra bu katlar konteynır yüksekliği (H) boyunca yerleştirilmektedir. Blok oluşturma (dikey yerleşim) yönteminde ise $(l_i.w_i)$ boyutlarında H yüksekliğinde dikey bloklar oluşturulmakta; daha sonra konteynır tabanı (L.W) boyunca bu bloklar yerleştirilmektedir (Morabito; Arenales 1994, 60). Parçalar oluşturulan kat ya da bloklar içerisine yerleştirilmektedir. Her bir kat veya blokta kullanılmayan boş hacmi minimize etmek üzere, her bir kata h_i yüksekliği birbirine olabildiğince yakın, her bir bloğa ise $(l_i.w_i)$ boyutları birbirine yakın parçaların yerleştirilmesine çalışılmaktadır.

Çok konteynır yükleme problemi için Haessler, Talbot (1990), Xue, Lai (1997), Eley (2002) blok oluşturma tekniğe dayalı sezgisel yöntemler geliştirmişlerdir. Chien, Wu (1998), Terno, Scheithaurer, SommerweiB et Al (2000) kat oluşturma yöntemini kullanılmıştır.

Bischoff ve Marriott (1990), farklı sıralama kurallarına dayalı 14 sezgisel yöntemin karşılaştırmalı bir analizini yapmışlardır. Çalışmada, sezgisel yöntemlerin performansının belirlenen sıralama kuralları ve parça çeşidine büyük ölçüde bağlı olduğu ortaya konmuştur.

Son yıllarda 3 boyutlu konteynır yükleme problemlerinin çözümü için modern sezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Benzetimli tavlama (Lai; Chan 1997, Faina 2000, Jin; Ohno; Du 2004), tabu arama (Lodi; Martello; Vigo 2002), genetik algoritma (Gehring; Bortfeldt 1997, Bortfeldt; Gehring 2001, Gehring; Bortfeldt 2002) gibi yöntemler ile bunların bir arada kullanıldığı hibrid algoritmalara (Mack; Bortfeldt; Gehring 2004) dayanan çalışmalar yapılmıştır.

3 boyutlu problemler için geliştirilen kesin çözüm yöntemlerinin çok sınırlı olduğu görülmektedir. Hifi (2004), Gilmore ve Gomory (1966) tarafından geliştirilen yaklaşımı esas alarak birden fazla konteynırın bulunduğu problem için dinamik programlamaya dayanan bir algoritma sunmuştur.

Chen, Lee ve Shen (1995), çok konteynır yükleme problemi için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Amaç fonksiyonunda parçaları

yüklemek üzere seçilen konteynırların kullanılmayan toplam hacmi (toplam fire hacmi) minimize edilmektedir. Parçaların birbirlerine ve konteynıra göre konumları 0-1 değişkenlerle tanımlanmaktadır. Modelin çözümü, seçilen konteynırlara atanan parçalar için optimal yerleşim düzenini vermektedir. n yüklenmesi gereken parça sayısı, m mevcut kargo sayısı olmak üzere model, $1/2mn(n-1)+3n(n+m-1)+n+m$ sınır ve $(3n+m+4)n+m$ değişken içermektedir. Değişkenlerin $3n$ adedi sürekli, $(3n+m+1)n+m$ adedi 0-1 değişkendir. Örneğin 3 farklı konteynır ve 6 çeşit parçanın olması durumunda model 198 sınır ve 153 (18 adedi sürekli, 135 adedi 0-1) değişken içermektedir. Çalışmada büyük ölçekli konteynır yükleme probleminin çözümü için daha etkin çözüm prosedürlerine ihtiyaç olduğu belirtilmektedir.

Eley (2003) çok konteynır yükleme problemi için geliştirdiği tamsayılı doğrusal programlama modelini çözmek üzere, problemi konteynırlar bazında alt problemlere ayırmıştır. Bu yaklaşımda, konteynırlar tek tek ele alınmakta; her bir konteynır için yerleşim planı alternatifleri sezgisel bir yöntemle (Eley 2002) belirlenmektedir. Konteynırlar için belirlenen yerleşim planı alternatifleri (A matrisinin elemanları- a_{ij}), tamsayılı doğrusal programlama modelinde yerine yazılarak çözüm elde edilmektedir.

Bir ve iki boyutlu CS problemleri ilgili çalışmalara paralel olarak literatürde yer alan uygulamaya yönelik çalışmaların da belirli endüstrilerde yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle kağıt (Pierce 1964, Johnson; Rennick; Zak 1997, Menon; Schrage 2002; Correia; Oliveira; Ferreira 2004), metal (Tokuyama; Ueno 1985, Thorsen; Vidal 1991, Chu, Antonio 1999, Hung; Sumichrast, Brown 2003), ağaç ve mobilya (Carnieri; Mendoza; Gavinho 1994, Rönnqvist 1995, Wagner 1999), cam (Chambers; Dyson 1976, Farley 1983) ve tekstil (Farley 1988, Martens 2004) sektörüne yönelik çalışmalar yapılmıştır.

BÖLÜM III

MERMER ENDÜSTRİSİNDE ÜÇ BOYUTLU CS PROBLEMİNİN MODELLENMESİ, ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI VE ÇÖZÜMLERİN ANALİZİ

3.6 Mermer Endüstrilerinde Karşılaşılan Kesme Probleminin Karakteristikleri

Maden ocaklarından üç boyutlu büyük kütleler halinde çıkarılan mermer bloklarının, piyasada talep edilen boyutlara getirilebilmesi için kesme işleminin uygulanması gerekmektedir. Ocak işletmesinde üretilen mermer blokları, daha küçük boyuttaki parçalar halinde kesilmek üzere mermer kesme ve işleme fabrikalarına getirilmektedir.

Mermer blokları, bu fabrikalarda bulunan blok kesme makinalarında plaka (levha) olarak kesilmekte, elde edilen plakalar uygun ölçülerde ebatlanmakta, çeşitli yüzey işlemlerinden (silim, cilalama vb.) geçirildikten sonra piyasaya sunulmaktadır.

3.1.1 Kesim Sürecinin Girdi ve Çıktıları

Mermer ocaklarından blokların çıkarılması esnasında boyutlar açısından düzensizliklerin olmasına karşın, mermer endüstrisinde stok malzemeleri dikdörtgenler prizması şeklinde düzgün geometrik şekiller olarak kabul edilebilir. Söz konusu düzensizlikler kesim sürecinde bırakılan paylarla telafi edilmektedir.

Geometrik şekil açısından birbirine benzer bloklar, ebatları açısından birbirinden farklı olabilmektedir. Mermer endüstrilerinde karşılaşılan kesme problemi, üretim sürecinin girdisi olan mermer bloklarının elde edilme şekline bağlı olarak diğer üç boyutlu C&P problemlerinden büyük ölçüde ayrılmaktadır. Ocak işletmesinden üretilen blokların boyutları, mermer yatağının jeolojik yapısına (çatlak, fay, kıvrım, tabakalaşma, tabaka kalınlığı vb.) bağlı olduğu için bu endüstrilerde standart blok çeşitlerinden bahsetmek oldukça güçtür. Belirli bir siparişi karşılamak üzere stoktaki mevcut blokların boyutları

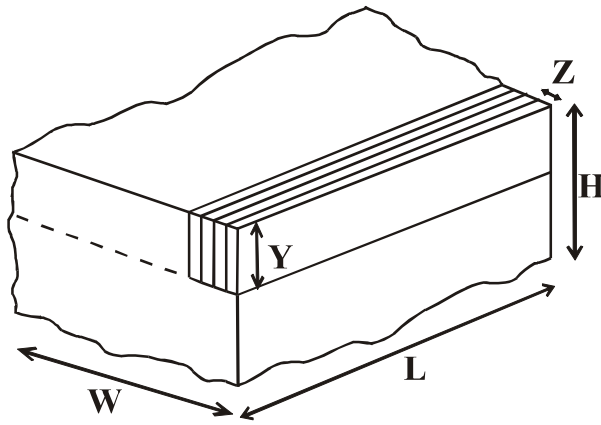
birbirinden önemli derecede farklı olabilir. Bu durum, C&P problemlerinde stok malzemesi çeşitliliği (çeşit başına girdi miktarı) açısından en uç durumu ifade etmektedir.

Üretilen ürünler açısından ise belirli standart ölçülerden bahsetmek mümkündür. Kaplama ve döşemelik olarak genelde 2 cm'lik plakalar kullanılmakta ve bu plakalar daha çok 30x60 cm, 30x30 cm, 20x60 cm ve 40x40 cm ebatlarında tercih edilmektedir. 30x60x2 cm, 30x30x2 cm, 40x40x2 cm, 20x40x2 cm'lik döşemelikler ve fayans, 1 cm'lik ve 2 cm'lik süpürgelikler, 3 cm'lik basamak, 2 cm'lik ve 3 cm'lik denizlikler, 30'a serbest boy olarak adlandırılan ve özellikle 2 cm ya da 3 cm kalınlığında olan plakalar yaygın olarak tüketilen standart ürünlerdir. Bunların yanı sıra, serbest boy olarak adlandırılan özel siparişler de üretilmektedir.

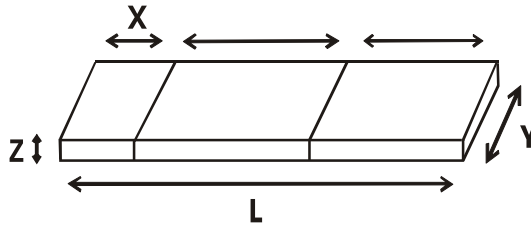
3.1.2 Kesim Süreci

Bloklar mermer fabrikalarında iki aşamalı kesim süreci ile siparişe uygun ölçülere getirilmektedir. Öncelikle blok kesme makinalarında mermer bloklarından çeşitli plakalar elde edilmekte; daha sonra bu plakalar ebatlama makinalarında siparişte istenen ölçülere göre ebatlanmaktadır. Bloklardan plaka üretimi aşamasında ST denilen diskli blok kesme makinaları kullanılmaktadır. ST makinalarında çevirici bir kuvvet tarafından dairesel hareket verilerek çalıştırılan yatay ve düşey kesici diskler bulunmaktadır. Makinaya programlanan kesim ölçüleri ve kesici diskler vasıtasıyla, Y ve Z eksenleri doğrultusunda yatay ve düşey kesim yapılmaktadır. Kesilecek parça ölçülerine bağlı olarak düşey disk, bloğun eni (W) boyunca Z cm kalınlığında, yüksekliği (H) boyunca Y derinliğinde ölçülere ayarlandıktan sonra X eksenini boyunca hareket ederek kesim yapmaktadır. Yatay disk Y cm aşağıya indikten sonra Z cm içeriye girerek X eksenini boyunca hareket etmekte ve böylece kesilen her bir plakanın bloktan ayrılmasını sağlamaktadır. Düşey disk blok yüksekliği boyunca Y cm'lik derinliğe girmek üzere ayarlandıktan sonra blok eni doğrultusunda tüm plakalar alınmadıkça Y cm'lik ölçü değiştirilmemektedir. Aksi takdirde, bloğun önemli bir bölümü fire olarak kaybedilebilir. Bir sonraki kata geçildiğinde derinlik değiştirilebilmektedir. Blok eni ve yüksekliği boyunca aynı işlemlerin tekrarlanmasıyla ST'de kesim süreci tamamlanmaktadır.

İlk kesim aşamasının sonunda, boyu L cm olan, en ve kalınlığı ST’de belirlenen Y ve Z değerlerine göre değişen plaka çeşitleri elde edilmektedir. İkinci kesim aşamasında ebatlama makinalarında, üretilecek parçaların boyutlarına bağlı olarak plakaların boyları ebatlanmaktadır. Şekil 3.1’de ST ve ebatlama makinalarındaki kesim süreci gösterilmektedir.



(a) ST’de Plaka Üretimi (1. Kesim Aşaması)

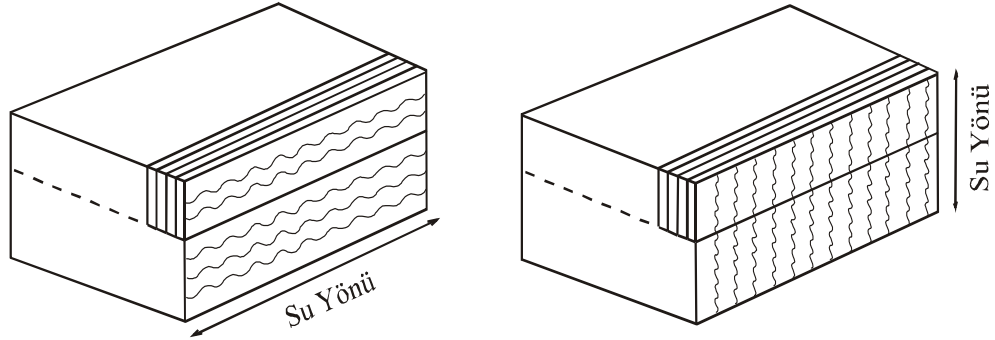


(b) Plaka Ebatlama (2. Kesim Aşaması)

Şekil 3.1 Mermer Blokları Kesim Süreci

ST makinalarında mermer bloklarının “su yönü” denilen tabakalanma yüzeyleri dikkate alınarak kesilmesi gerekmektedir. Uygulamada su yönüne paralel kesim “düz kesim”, su yönüne dik kesim “ters kesim” olarak adlandırılmaktadır. Su yönüne dik kesim sırasında plakaların kırılma riski daha yüksek olmaktadır. Bu nedenle ST de kesim yaparken, yatay ve düşey disklerin su yönü doğrultusunda hareket etmeleri

gerekmektedir. Şekil 3.2’de ST makinalarında su yönüne paralel ve dik kesim gösterilmektedir.



(a) Paralel (Düz) Kesim

(b) Dik (Ters) Kesim

Şekil 3.2 Su Yönüne Göre Paralel ve Dik Kesim

Desenlerin görüntüsü açısından da su yönünde kesilmiş mermerler piyasada daha çok talep edilmektedir. Şekil 3.3’de su yönüne paralel ve dik kesilmiş mermer parçaları gösterilmektedir.



(a) Düz Kesim



(b) Ters Kesim

Şekil 3.3 Su Yönüne Paralel ve Dik Kesilmiş Ürünler

3.2 Problemin Tanımlanması

Üretim ortamının karakteristiklerine bağlı olarak mermer endüstrilerde karşılaşılan kesim problemi, Dyckhoff (1990) tarafından yapılan sınıflandırma esas alınarak 3/V/D/R stok kesme problemi olarak tanımlanabilir:

3 » 3 Boyutlu CS Problemi

$L \times W \times H$ boyutlarıyla tanımlanan üç boyutlu mermer bloklarının kesilmesi söz konusudur ve kesim planları oluşturulurken blokların ve üretilecek parçaların her üç boyutunun da dikkate alınması gerekmektedir.

V » Atama türü: Stok malzemesi kümesinden seçilen elemanlar $\leftrightarrow$ Tüm Parçalar

Mermer endüstrilerinde, alınan siparişleri karşılamak üzere stoklarda yeterince blok bulunmakta ve bloklar mermer fabrikasına bağlı ocak işletmelerinden kısa sürede tedarik edilebilmektedir. Alınan siparişlerin tümünü karşılamak üzere mevcut blokların bir kısmı kesilmektedir. Dolayısıyla, problemin girdilerini mevcut bloklar kümesinden seçilmiş elemanlar oluşturmakta ve bu bloklar oluşturulan kesim planlarına göre siparişte istenen parçalara atanmaktadır.

D » Stok malzemelerinin çeşitliliği: Farklı şekillerde stok malzemeleri

Mermer endüstrilerinde stok malzemeleri benzer geometrik şekillerde olmakla birlikte, boyut ve/veya su yönü (kesim pozisyonu) açısından çeşitlilik arz etmektedir.

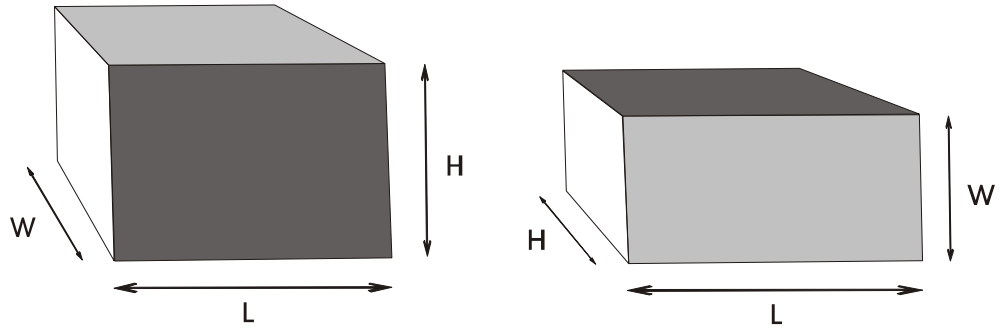
R » Üretilecek parçalarının çeşitliliği: Çeşitlilik az, üretilecek miktarlar çok

Özel siparişler dışında, mermer fabrikalarında genellikle yüksek miktarlarda standart ürünlerin üretilmesi söz konusudur.

Mermer endüstrilerinde kesme probleminin diğer karakteristikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kesim sürecinde kullanılan makinalar giyotin tarzı kesim yapmaktadır. Dolayısıyla, bloklar için giyotin tarzı kesim planlarının oluşturulması gerekmektedir.
- Oluşturulacak kesim planları en çok üç aşamalı olmalıdır. Her bir kesme işlemi ile bir veya birden fazla sipariş parçasının bir boyutu elde edilmektedir. Dolayısıyla, bir parçanın en çok üç aşamada elde edilmesi gerekmektedir.
- Kesim planları hazırlanırken tüm stok malzemeleri ve parçaların döndürülebildiği dikkate alınmalıdır. Üretilcek parçalar üç aşamada elde edilmekle birlikte, hangi kesim aşamasında hangi boyutunun elde edileceği önemli değildir. Bu duruma ilişkin tek kısıt kesim makinalarına ait parametrelerdir. Blok yüksekliği doğrultusunda Y-kesim alternatifleri dikey diskin inebileceği maksimum derinlik tarafından sınırlandırılacaktır. Blok eni boyunca Z-kesim alternatiflerine ait ölçüler ise yatay diskin girebileceği maksimum derinlikten daha küçük olmak zorundadır. Ebatlama makinalarına girecek plaka ölçüleri için de benzer kısıtların dikkate alınması gerekebilir.

Üç boyutlu mermer bloklarını geometrik olarak altı farklı yönde makinaya yerleştirmek mümkün olmakla birlikte, blokların su yönüne paralel kesim yapılacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Yatay ve düşey diskler makinanın X eksenini doğrultusunda hareket ederek kesim yaptıkları için su yönü doğrultusundaki boyutun makinanın X eksenine üzerine yerleştirilmesi gerekir. Bu durumda bloklar, su yönüne paralel boyutu üzerinde 90° çevrilerek de kesilebilir. Şekil 3.4'te su yönünün L doğrultusunda olması durumunda, bloğun su yönünde kesilmesini sağlayacak şekilde ST makinasına yerleşim pozisyonları (kesim pozisyonu alternatifleri) gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Bloğu Su Yönüne Göre Kesme (Makinaya Yerleştirme) Alternatifleri

Blokların kesim pozisyonlarına göre boyutları tanımlanırken, makinanın X ekseninde yer alan boyut bloğun boyu; Y ekseninde yer alan boyut bloğun yüksekliği; Z ekseninde yer alan boyut bloğun eni olarak adlandırılacaktır.

Kesim pozisyonu alternatifleri, ST makinasında işlenebilecek maksimum blok boyutları tarafından sınırlanabilir. Blokların her bir pozisyonuna ilişkin boyutlarının bu sınırları aşmaması gerekmektedir. Ayrıca, uygulamada mermer blokları üzerindeki çatlaklar nedeniyle blok kesim pozisyonu alternatifi sayısı bire inebilir.

Mermer endüstrisinde karşılaşılan üç boyutlu CS probleminde, alınan siparişlerin bloklardan nasıl karşılanacağını belirleyen kesim planlarının oluşturulmasına çalışılmaktadır. Amaç, blokların kesilmesinden kaynaklanan fireyi en az indiren kesim planlarının bulunmasıdır. Hangi blokların nasıl kesilmesi gerektiğine ilişkin birbiriyle irtibatlı bir dizi kararın alınmasını gerektiren çok aşamalı bir karar problemi söz konusudur. Her bir aşamada alınması gereken kararlar şu şekildedir:

- Kesilmek üzere hangi bloklar seçilecek? Bu bloklar hangi pozisyonda kesilecek? (1. Karar Aşaması)
- Belirlenen pozisyonda makinaya yerleştirilen bloğun yüksekliği boyunca hangi ölçülerden kaç adet Y-kesim yapılacaktır? (2. Karar Aşaması)
- Her bir Y-kesimlik kat için blok eni boyunca hangi ölçülerde Z-kesim yapılacaktır? (3. Karar Aşaması)

- Elde edilen Y.Z cm'lik plakalar için blok boyu doğrultusunda hangi ölçülerde ve kaç adet X-kesim yapılacaktır? (4.Karar Aşaması)

3.3 Problemin Modellenmesi

3.3.1 Varsayımlar

Modelde, blok yüksekliği boyunca alınan her bir Y-kesimlik kat için blok eni boyunca hep Z cm ölçülerde kesim yapıldığı varsayılmıştır. Z ölçüleri ancak bir sonraki kata inildiğinde değiştirilebilecektir. Blok yüksekliği doğrultusunda alınan bir kat boyunca farklı ölçülerde Z-kesim yapılması yönünde teknik bir kısıt bulunmamakla birlikte, istisnai durumlar dışında uygulamada bu yola pek başvurulmamaktadır.

Her bir kesim işleminde kesici disklerin hareketinden kaynaklanan kesim fireleri Y ve X kesimlerde ihmal edilmiştir. Blok yüksekliği ve boyu doğrultusunda yapılabilecek Y ve X-kesimlerin sayısının az ve söz konusu kesim firelerinin mm olarak ifade edilen çok düşük değerlerde olması nedeniyle, X ve Y kesim fireleri kenarlarda bırakılan payların içerisine dahil edilmiştir. Blok eni boyunca yapılabilecek Z kesim sayısının fazla olması nedeniyle hesaplamalarda Z- kesim fireleri dikkate alınmıştır.

Taşıma maliyeti ve stoklama alanı kısıtlarından dolayı ST'ye girmiş bir bloğun ihtiyaçtan fazla kısmının sonraki kullanımlar için stoklanması istenmemektedir. Bu nedenle ST'ye girmiş blokların bütünüyle kesilmesi gerekmektedir. Bloğun ihtiyaçtan fazla kısmı plaka olarak kesilip stoklanacaktır.

Kullanılan makinalarda kesim ayarlarını değiştirme maliyeti ihmal edilebilir düzeydedir.

Mermer bloklarının iç ve dış yüzeylerinin çatlaksız olduğu kabul edilmektedir. Model söz konusu çatlakların neden olduğu kayıpları dikkate almamaktadır.

3.3.2 Ana Model

3.3.2.1 Parametre ve Değişkenler

İndisler

j	blok çeşidi ($j = 1, \dots, J$)
i	sipariş parçası çeşidi ($i = 1, \dots, I$)
k	blok kesim pozisyonu alternatifleri ($k = 1, 2$)
m	blok yüksekliği boyunca kesilebilecek Y-kesim alternatifleri ($m = 1, \dots, M$)
n	blok eni boyunca kesilebilecek Z-kesim alternatifleri ($n = 1, \dots, N$)
t	bloklardan üretilebilecek plaka çeşidi ($t = 1, \dots, T$)
r	plakaları X-kesimde ebatlama alternatifleri ($r = 1, \dots, R_t$)

Parametreler

L_{jk}	j. bloğun k pozisyonuna göre boyu (cm)
W_{jk}	j. bloğun k pozisyonuna göre eni (cm)
H_{jk}	j. bloğun k pozisyonuna göre yüksekliği (cm)
x_i	i. sipariş parçasının boyu (cm)
y_i	i. sipariş parçasının eni (cm)
z_i	i. sipariş parçasının kalınlığı (cm)
H_j	j. bloğun hacmi (m^3)
h_i	i. sipariş parçasının hacmi (m^3)
$HSB_j P_t$	j. bloktan stoklanan t. plaka çeşidinin hacmi (m^3)
$Z_n B_{jk, \max}$	j. bloğun k pozisyonuna göre eninden elde edilebilecek Z_n cm'lik maksimum kesim adedi
x_{ijtr}	j. bloktan üretilen t. plaka çeşidinin r. X-kesim alternatifinde yer alan i. sipariş parçası adedi
DS_i	i. sipariş parçasından üretilmesi gereken miktar
p_{jz}	j. bloğun eni boyunca Z-kesimde ön ve arkadan bırakılacak pay
p_{jy}	j. bloğun yüksekliği boyunca Y-kesimde üstten bırakılacak pay

p_{jx} j. bloğun boyu doğrultusunda X-kesimde yanlardan bırakılacak pay

Kesim sürecinde kullanılan makinalara ilişkin parametreler

$(B.E.Y)_{\max}$	blok kesme makinasında (ST de) işlenebilecek maksimum blok boyutları
$(l.w.h)_{\max}$	ebatlama makinasında işlenebilecek maksimum plaka boyutları
$T_{\min}$	blok yüksekliği boyunca Y-kesimde tabanda bırakılması gereken minimum yükseklik (minimum taban taşı yüksekliği)
$Y_{\max}$	ST makinasında dikey diskin inebileceği maksimum derinlik
$Z_{\max}$	ST makinasında yatay diskin girebileceği maksimum derinlik
f_z	blok eni boyunca uygulanan her bir Z-kesimden kaynaklanan fire (diskin hareketinden kaynaklanan kesim firesi)
f_y	blok yüksekliği boyunca uygulanan her bir Y-kesimden kaynaklanan fire
f_x	blok boyu doğrultusunda uygulanan her bir X-kesimden kaynaklanan fire

Karar Değişkenleri

B_{jk}	1 j. blok k pozisyonuna göre kesilirse ; 0 aksi takdirde
$B_{jk}Y_m$	j. bloğun k pozisyonuna göre yüksekliği boyunca kesilecek Y_m cm'lik kesim adedi
$B_{jk}Y_mZ_n$	Y_m cm'lik $B_{jk}Y_m$ adet kesimlerden, blok eni boyunca Z_n cm'lik kesilecek kesimlerin adedi
B_jP_t	j. bloktan üretilen t. çeşit plaka adedi
KB_jP_t	j. bloktan üretilen t. çeşit plakalardan kesilecek miktar
SB_jP_t	j. bloktan üretilen t. çeşit plakalardan stoklanacak miktar
$B_jP_tX_r$	j. bloktan elde edilen t. çeşit plakalardan r. X-kesim alternatifine göre kesilecek miktar
B_jS_i	j. bloktan üretilen i. parça miktarı
S_i	üretilen i. parça miktarı
TB_{jk}	k pozisyonuna göre kesilen j. bloğun Y-kesimde tabanında kalan miktar
KBH	kesilen blok hacmi
UPH	üretilen parça hacmi

SPLH	stoklanan plaka hacmi
F	blokların kesilmesinden kaynaklanan toplam fire

3.3.2.2 Sınırlar

Model problemin karar aşamalarını ve tanımlamaları ifade eden sınırlardan oluşmaktadır. Sınırların tümü ilk karar aşaması olan blok seçimine bağlı olarak yazılmıştır. Seçilmeyen bloklar için ($B_{jk}=0$), izleyen karar aşamalarına ait tüm değişkenler sıfır değerini alacaktır. Kesilmek üzere seçilen bloklar için ($B_{jk}=1$) ise, Y-Z-X kesimle ilgili olarak birbiriyle irtibatlı bir dizi kararın alınması gerekecektir. Tablo 3.1’de karar değişkenleri arasındaki ilişkiler gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Karar Değişkenleri Arasındaki İlişkiler

1. Karar Aşaması SEÇİM	2. Karar Aşaması Y-KESİM	3. Karar Aşaması Z-KESİM	ST Çıktıları PLAKALAR	4. Karar Aşaması X-KESİM		ÜRETİM
B_{jk}	Y_m cm $B_{jk}Y_m$ adet	Z_n cm $B_{jk}Y_mZ_n$ adet	Pt: Lj.Ym.Zn B_{jPt} adet KB_{jPt} adet	B_{jPtXr} adet	S_i için x_{ijtr} adet	B_{jSi}
GİRDİLER	KESİM SÜRECİ					ÇIKTILAR

1. karar aşamasıyla ilgili olan I. sınırlar kümesi, siparişleri karşılamak üzere kesilebilecek mevcut blokları ve bu blokların kesim -ST makinasına yerleşim-pozisyonlarını tanımlamaktadır. 0-1 değişken olarak ifade edilen B_{jk} alternatifleri toplamının üst sınırının 1 olması, her bir blok için sadece bir kesim pozisyonunun belirlenmesini garantilemekte ve mevcut bloklar arasından siparişleri karşılamak üzere kesilecek blokların seçimini sağlamaktadır.

$$(I) \quad \sum_{k=1}^2 B_{jk} \leq 1$$

(tüm B_{jk} için; $j = 1, \dots, J$)

2. karar aşamasıyla ilgili olan II. sınırlar kümesi, Y-kesim alternatiflerini tanımlamaktadır. Kesilmek üzere seçilen ($B_{jk}=1$) her bir bloğun yüksekliği boyunca

kaçar adet Y_m cm'lik kat alınacağı ve sonuçta tabanda kalacak olan miktar II. sınırlar kümesiyle belirlenmektedir.

$$(II) \quad \sum_{m=1}^M Y_m \cdot B_{jk} Y_m + TB_{jk} = (H_{jk} - p_{jy}) \cdot B_{jk}$$

(tüm B_{jk} için; $j = 1, \dots, J$ $k = 1, 2$)

3. karar aşamasıyla ilgili olan III. sınırlar kümesi, Z-kesim alternatiflerini ve $Y_m Z_n$ kombinasyonlarını tanımlamaktadır. Bu sınırlar kümesiyle, blok yüksekliği boyunca kesilmiş $B_{jk} Y_m$ adet Y_m cm'lik katların kaç adedinin blok eni boyunca Z_n cm'lik kesileceği belirlenmektedir.

$$(III) \quad \sum_{n=1}^N B_{jk} Y_m Z_n = B_{jk} Y_m$$

(tüm $B_{jk} Y_m$ için; $j = 1, \dots, J$ $k = 1, 2$ $m = 1, \dots, M$)

IV. sınırlar kümesi, kesilen her bir bloktan elde edilebilecek plaka çeşitlerini ve bunların miktarlarını tanımlamaktadır. Her bir $Y_m Z_n$ kombinasyonu bir plaka çeşidini ifade etmekte; blok yüksekliği boyunca kesilecek $Y_m Z_n$ lik kat sayısı, her bir kattan alınabilecek Z_n cm'lik maksimum kesim adedi ile çarpıldığında ise elde edilecek plakaların miktarları bulunmaktadır.

$Z_n B_{jk, \max}$ parametresi, $(W_{jk} - p_{jz}) / (Z_n + f_z)$ sayısına eşit ya da bu sayıdan küçük olan en büyük tamsayıyı ifade etmektedir.

$$Z_n B_{jk, \max} = \left\lfloor \frac{W_{jk} - p_{jz}}{Z_n + f_z} \right\rfloor$$

$$(IV) \quad \sum_{k=1}^2 Z_n B_{jk, \max} \cdot B_{jk} Y_m Z_n = B_j P_t$$

(tüm $B_j P_t$ için; $j = 1, \dots, J$ $t = 1, \dots, T$)

V. sınırlar kümesi, B_j bloğundan üretilen plakalardan kesilecek ve stoklanacak miktarları tanımlamaktadır. Bu sınırlar kümesiyle, ebatlama makinalarında X-kesime girecek olan plaka çeşitleri ve miktarları belirlenmektedir.

$$(V) \quad KB_jP_t + SB_jP_t = B_jP_t$$

(tüm B_jP_t için; $j = 1, \dots, J \quad t = 1, \dots, T$)

4. karar aşamasıyla ilgili olan VI. sınırlar kümesi X-kesim alternatiflerini tanımlamaktadır. Bu sınırlar ile, KB_jP_t adet plakanın kaç adedinin r . X-kesim alternatifine göre kesileceği belirlenmektedir.

$$(VI) \quad \sum_{r=1}^{R_t} B_jP_tX_r = KB_jP_t$$

(tüm KB_jP_t için; $j = 1, \dots, J \quad t = 1, \dots, T$)

VII. sınırlar kümesi, her bir bloktan üretilen sipariş miktarlarını tanımlamaktadır. X_r kesim alternatifinde yer alan i . sipariş parçası adedi, bu alternatife göre kesilen plaka sayısı ile çarpıldığında her bir bloktan üretilen i . sipariş parçası miktarı bulunmaktadır.

$$(VII) \quad \sum_{r=1}^{R_t} x_{ijtr} \cdot B_jP_tX_r = B_jS_i$$

(tüm B_jS_i için; $j = 1, \dots, J \quad i = 1, \dots, I$)

VIII. sınırlar kümesi, kesim süreci sonunda her bir sipariş parçasından elde edilen toplam miktarı tanımlamaktadır.

$$(VIII) \quad \sum_{j=1}^J B_jS_i = S_i$$

(tüm S_i için; $i = 1, \dots, I$)

IX. sınırlar kümesi, parçalara ilişkin talebin karşılanmasını garanti etmektedir.

$$(IX) \quad S_i \geq DS_i$$

(tüm S_i için; $i = 1, \dots, I$)

X. sınırlar kümesi, minimum taban yüksekliği ile ilgili şartı tanımlamaktadır.

$$(X) \quad TB_{jk} \geq T_{\min} \cdot B_{jk}$$

(tüm B_{jk} için; $j = 1, \dots, J$ $k = 1, 2$)

Tüm değişkenler için negatif olmama şartının ve aşağıda belirtilen değişkenlerin tamsayılık şartlarının eklenmesiyle modelin formülasyonu tamamlanmaktadır.

$$B_{jk} \in \{0, 1\}$$

$$B_{jk}Y_m, B_{jk}Y_mZ_n, B_jP_tX_r \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

3.3.2.3 Amaç Fonksiyonu

Mermer endüstrisinde firenin minimizasyonu öncelikli amaçlardan birisidir. Siparişleri karşılamak üzere kesilecek blokların bütünü açısından firenin minimize edilmesi durumunda, kesilecek bloklar mümkün olduğunca verimli kullanılacak, ihtiyaçtan fazla blok sarf edilmeyecektir. Kesilen blok hacmi girdileri, üretilen parça ve stoklanan plaka hacimleri çıktıları oluşturmak üzere firenin minimizasyonuna yönelik amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılmaktadır:

$$\min \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^2 H_j \cdot B_{jk} - \left[\sum_{i=1}^I h_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T HSB_j P_t \cdot SB_j P_t \right]$$

Kesilen blok hacmi, kesim fireleri ve bırakılan paylar nedeniyle üretilen çıktıların toplam hacminden daha büyük olacaktır. Bu durumda, yazılan amaç fonksiyonu ihtiyaçtan fazla parça ve plaka üretimi için ilave bir bloğun kesilmesini önleyecektir. Siparişleri karşılamak için yetecek miktarda blok seçildikten sonra ise bu bloklardan en iyi şekilde yararlanılmaya çalışılacaktır.

Her bir Y_m cm'lik kat için blok eni boyunca $Z_n B_{jk, \max}$ adet Z_n cm'lik kesim zorunlu olarak yapılmakta ve sonuçta $Y_m \cdot Z_n$ boyutlarında plakalar üretilmektedir (IV. sınırlar

kümesi). Üretilen $Y_m.Z_n$ boyutlarındaki plakaların standart ölçülerde olmasından dolayı, ihtiyaçtan fazla kısmının sonraki siparişlerin üretiminde kullanılmak üzere stoklanması daha makul olacaktır. X-kesimde bırakılan paylar nedeniyle, bir plakadan üretilebilecek parçaların toplam hacmi söz konusu plakanın hacminden daha küçük olacaktır. Bu durumda amaç fonksiyonu, çıktıları maksimize etmek üzere, ihtiyaçtan fazla üretilen plakaları stoklama yoluna gidecektir.

KBH kesilen blok hacmi
 UPH üretilen parça hacmi
 SPLH stoklanan plaka hacmi
 F blokların kesilmesinden kaynaklanan toplam fire
 değişkenlerini ifade etmek üzere

$$(XI) \quad KBH = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^2 H_j \cdot B_{jk}$$

$$UPH = \sum_{i=1}^I h_i \cdot S_i$$

$$SPLH = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T HSB_j P_t \cdot SB_j P_t$$

$$F = KBH - (UPH + SPLH)$$

tanım sınırları eklendiğinde göre amaç fonksiyonu kısaca aşağıdaki biçimde ifade edilecektir:

$$\min \quad F$$

Amaç fonksiyonu ve (XI). sınırlar kümesinin de eklenmesiyle ana modelin genel formülasyonu aşağıda toplu olarak sunulmaktadır:

min F

sınırlar

$$(I) \quad \sum_{k=1}^2 B_{jk} \leq 1$$

(tüm B_{jk} için; $j = 1, \dots, J$)

$$(II) \quad \sum_{m=1}^M Y_m \cdot B_{jk} Y_m + T B_{jk} = (H_{jk} - p_{jy}) \cdot B_{jk}$$

(tüm B_{jk} için; $j = 1, \dots, J$ $k = 1, 2$)

$$(III) \quad \sum_{n=1}^N B_{jk} Y_m Z_n = B_{jk} Y_m$$

(tüm $B_{jk} Y_m$ için; $j = 1, \dots, J$ $k = 1, 2$ $m = 1, \dots, M$)

$$(IV) \quad \sum_{k=1}^2 Z_n B_{jk, \max} \cdot B_{jk} Y_m Z_n = B_j P_t$$

(tüm $B_j P_t$ için; $j = 1, \dots, J$ $t = 1, \dots, T$)

$$(V) \quad K B_j P_t + S B_j P_t = B_j P_t$$

(tüm $B_j P_t$ için; $j = 1, \dots, J$ $t = 1, \dots, T$)

$$(VI) \quad \sum_{r=1}^{R_t} B_j P_t X_r = K B_j P_t$$

(tüm $K B_j P_t$ için; $j = 1, \dots, J$ $t = 1, \dots, T$)

$$(VII) \quad \sum_{r=1}^{R_t} x_{ijtr} \cdot B_j P_t X_r = B_j S_i$$

(tüm $B_j S_i$ için; $j = 1, \dots, J$ $i = 1, \dots, I$)

$$(VIII) \quad \sum_{j=1}^J B_j S_i = S_i$$

(tüm S_i için; $i = 1, \dots, I$)

$$(IX) \quad S_i \geq DS_i$$

(tüm S_i için; $i = 1, \dots, I$)

$$(X) \quad TB_{jk} \geq T_{\min} \cdot B_{jk}$$

(tüm B_{jk} için; $j = 1, \dots, J$ $k = 1, 2$)

$$(XI) \quad KBH = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^2 H_j \cdot B_{jk}$$

$$UPH = \sum_{i=1}^I h_i \cdot S_i$$

$$SPLH = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T HSB_j P_t \cdot SB_j P_t$$

$$F = KBH - (UPH + SPLH)$$

ve

$$B_{jk} \in \{0, 1\}$$

$$B_{jk} Y_m, B_{jk} Y_m Z_n, B_j P_t X_r \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

3.4 Geliştirilen Modelin Örnek Bir Probleme Uygulanması

3.4.1 Örnek Problemle İlgili Bilgiler

Bir mermer fabrikasında, Tablo 3.2’de belirtilen boyut ve miktarlarda beş çeşit parçanın üretilmesi gerekmektedir.

Tablo 3.2 Sipariş Verileri (Örnek Problem)

Sipariş No	Sipariş Boyutları (cm)	Birim Hacim (m ³ /adet)	Miktar (adet)	Toplam Hacim (m ³)
S1	120.33.3	0,01188	200	2,376
S2	120.30.2	0,0072	100	0,72
S3	50.30.2	0,003	450	1,35
S4	60.30.3	0,0054	200	1,08
S5	40.40.2	0,0032	300	0,96
Toplam Sipariş Hacmi (m ³)				6,486

Stokta mevcut bloklar ve bu bloklarla ilgili bilgiler Tablo 3.3'teki gibidir.

Tablo 3.3 Blok Verileri (Örnek Problem)

Kesilebilecek Mermer Blokları (17,296 m ³)				Pozisyon	
				1. Alternatif	2. Alternatif
Blok No (B _j)	Blok Boyutları (cm)	Hacim (m ³)	Su Yönü	Boy.En.Yükseklik	Boy.En.Yükseklik
B1	270.165.160	7,128	270	270.165.160	270.160.165
B2	240.170.160	6,528	240	240.170.160	240.160.170
B3	200.140.130	3,64	200	200.140.130	200.130.140

Siparişleri karşılamak üzere bloklar, ST ve tek diskli ebatlama makinalarında kesilecektir. Fabrikada kullanılan makinalara ait teknik bilgiler Tablo 3.4'de gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Kesim Makinalarına Ait Teknik Bilgiler

ST	(BxExY) _{max}	Maksimum blok boyutları	320x300x300
	Y _{max}	Dikey diskin inebileceği maksimum derinlik	40 cm
	Z _{max}	Yatay diskin girebileceği maksimum derinlik	12 cm
	f _z	Dikey disk firesi	8 mm/kesim sayısı
	f _y	Yatay disk firesi	4 mm/kesim sayısı
	T _{min}	Minimum taban taşı	5 cm
EBATLAMA	l _{max}	Maksimum plaka boyu	-
	w _{max}	Maksimum plaka genişliği	60 cm
	h _{max}	Maksimum plaka kalınlığı	12 cm
	f _x	Disk firesi	4 mm/kesim sayısı

Disklerdeki titreşimleri ve bloktaki kaymaları önlemek, ayrıca şekil düzensizliklerini telafi etmek amacıyla Z-kesimde ön ve arkadan 5'şer cm, Y-kesimde üstten 5 cm; X-kesimde her iki yandan 10'ar cm'lik pay bırakılacaktır. Blok yüksekliği boyunca tabanda minimum 5 cm kalacak şekilde Y-kesim yapılabilecektir.

ST makinasına ilişkin Y_{max} ve Z_{max}, değerleri, blok yüksekliği ve eni boyunca kesilebilecek Y-kesim ve Z-kesim alternatiflerini sınırlandırmaktadır. Blok yüksekliği boyunca alınacak katların ölçüleri 40 cm'i aşmamalıdır; blok eni boyunca kesilecek

ölçüler ise 12 cm'den küçük olmalıdır. Bu durumda, Y-kesim alternatifleri 30, 33 ve 40 cm; Z-kesim alternatifleri 2 ve 3 cm olacaktır. 30 cm'lik Y-kesimler için, 2 ve 3 cm'lik olmak üzere iki farklı Z-kesim alternatifi bulunmaktadır. 33 cm'lik Y-kesimler, Z-kesimde sadece 3 cm'lik; 40 cm'lik Y-kesimler ise sadece 2 cm'lik kesilecektir.

ST makinasında, YZ-kesim alternatiflerine göre yapılan kesim sürecinin sonunda, 30x2 lik, 30x3 lük, 33x3'lük ve 40x2 lik olmak üzere, her bir blok için en fazla dört çeşit plaka elde edilecektir. Ebatlama aşamasında X-kesimleri yapılacak plaka çeşitlerine ait alternatifler, Tablo 3.5'deki gibidir.

Tablo 3.5 X- Kesimde Ebatlanacak Plaka Çeşitlerine Ait Alternatifler
(Örnek Problem)

Blokler (Bj)	Plaka Boyları (Lj)	Plaka Çeşitleri (Pt)			
		P1 (30.2)	P2 (30.3)	P3 (33.3)	P4 (40.2)
Blok 1	270	270.30.2	270.30.3	270.33.3	270.40.2
Blok 2	240	240.30.2	240.30.3	240.33.3	240.40.2
Blok 3	200	200.30.2	200.30.3	200.33.3	200.40.2

30x2'lik plakalar, 2. ve 3. siparişleri karşılamak üzere 120 ve 50 cm'lik; 30x3'lük plakalar, 4. siparişi karşılamak üzere 60 cm'lik; 33x3'lük plakalar, 1. siparişi karşılamak üzere 120 cm'lik; 40x2'lik plakalar, 5. siparişi karşılamak üzere 40 cm'lik ölçülerde ebatlanacaktır. Bloklardan üretilen her bir plaka çeşidi için X-kesim alternatifleri Tablo 3.6'da gösterilmektedir.

Tablo 3.6 Bloklardan Üretilen Plakaların X- Kesim Alternatifleri (Örnek Problem)

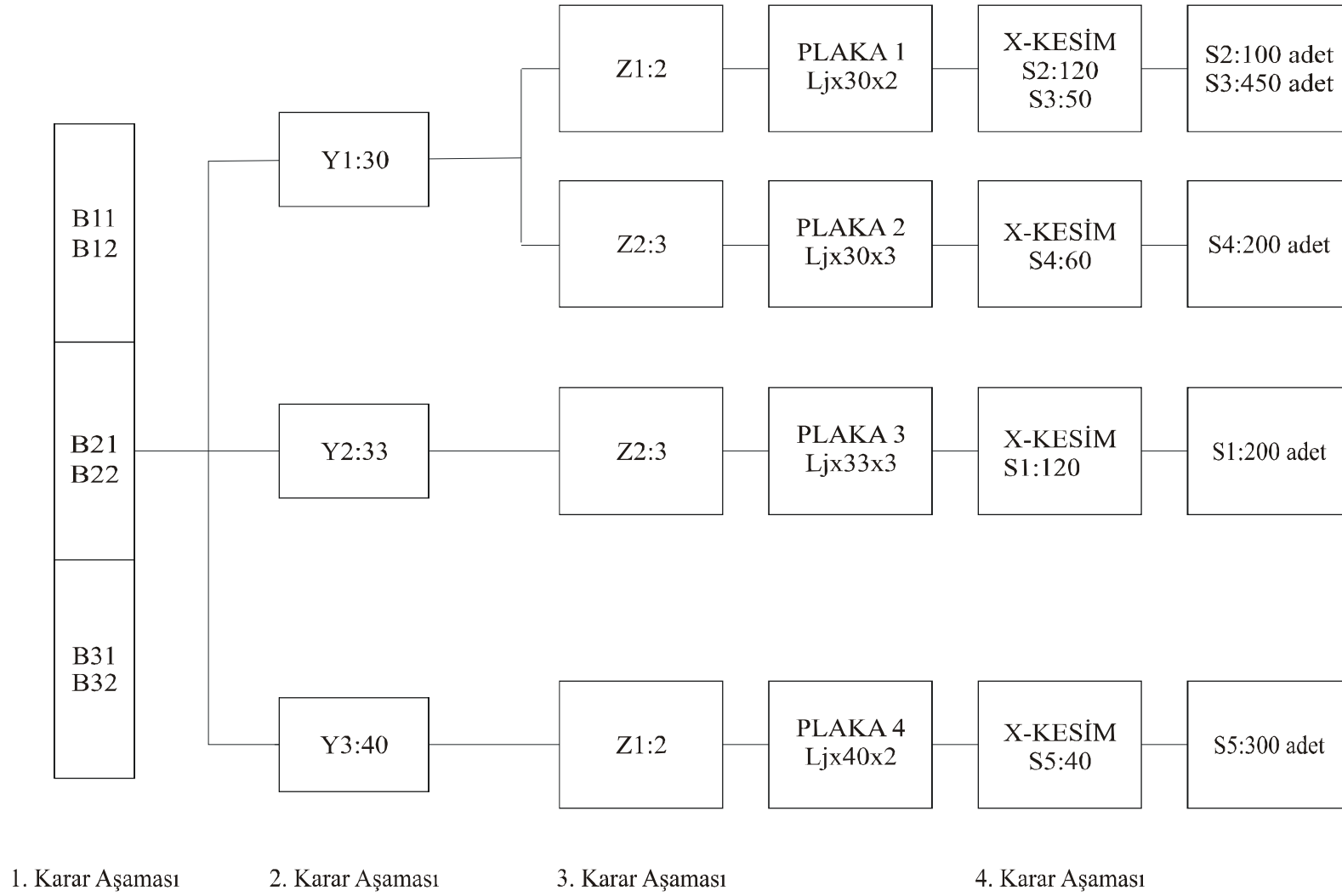
BLOK 1													
PLAKA 1 (270x30x2)					PLAKA 2 (270x30x3)			PLAKA 3 (270x33x3)			PLAKA 4 (270x40x2)		
X1 X2 X3					X1			X1			X1		
S2	120	2	1	0	S4	60	4	S1	120	2	S5	40	6
S3	50	0	2	5									
	Fire	10	30	0		Fire	10		Fire	10		Fire	10

BLOK 2													
PLAKA 1 (240x30x2)					PLAKA 2 (240x30x3)			PLAKA 3 (240x33x3)			PLAKA 4 (240x40x2)		
X1 X2					X1			X1			X1		
S2	120	1	0		S4	60	3	S1	120	1	S5	40	5
S3	50	2	4										
	Fire	0	20			Fire	40		Fire	100		Fire	20

BLOK 3													
PLAKA 1 (200x30x2)					PLAKA 2 (200x30x3)			PLAKA 3 (200x33x3)			PLAKA 4 (200x40x2)		
X1 X2					X1			X1			X1		
S2	120	1	0		S4	60	3	S1	120	1	S5	40	4
S3	50	1	3										
	Fire	10	30			Fire	0		Fire	60		Fire	20

Yanlardan bırakılan 10'ar cm'lik paylar kesim süreciyle ilgili zorunlu kayıplar olduğu için fire kapsamına alınmamıştır. Tabloda yer alan fireler, oluşturulan kesim planından kaynaklanan fireyi göstermektedir.

Bu bilgiler ışığı altında, problemin karar aşamaları ve X-Y-Z kesim alternatifleri Şekil 3.5'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.5 Örnek Problemin Karar Aşamaları

3.4.2 Modelin Yazılması

İndisler

j	blok çeşidi (j = 1,2,3)
i	sipariş parçası çeşidi (i = 1,2,3,4,5)
k	blok kesim pozisyonu alternatifleri (k=1,2)
m	blok yüksekliği boyunca kesilebilecek Y-kesim alternatifleri (m = 1,2,3)
n	blok eni boyunca kesilebilecek Z-kesim alternatifleri (n = 1,2)
t	bloklardan üretilebilecek plaka çeşidi (t = 1,2,3,4)
r	plakaları X-kesimde ebatlama alternatifleri (r = 1,.....,R _t)

olmak üzere modelin örnek probleme uygulanması sonucunda sınırların açılımı şu şekilde olacaktır:

min F
sınırlar

(I) Siparişleri karşılamak üzere kesilebilecek üç farklı blok bulunmaktadır. Her bir blok ST makinasına iki farklı şekilde yerleştirilebilir.

$$B_{11}+B_{12} \leq 1$$

$$B_{21}+B_{22} \leq 1$$

$$B_{31}+B_{32} \leq 1$$

(B_{jk} : 1 j. blok k pozisyonuna göre kesilirse ; 0 aksi takdirde)

(II) Blok yüksekliği boyunca 30, 33 ve 40 cm'lik katlar alınabilir. Alınacak katların toplam ölçüsü ile tabanda kalacak miktarın toplamı, üstten bırakılacak paylar düşüldükten sonra, bloğun k yerleşim pozisyonuna göre yüksekliğine eşit olmalıdır.

$$30B_{11}Y_1+33B_{11}Y_2+40B_{11}Y_3+TB_{11} = (160-5)B_{11}$$

$$30B_{12}Y_1+33B_{12}Y_2+40B_{12}Y_3+TB_{12} = (165-5)B_{12}$$

$$30B_{21}Y_1+33B_{21}Y_2+40B_{21}Y_3+TB_{21}=(160-5)B_{21}$$

$$30B_{22}Y_1+33B_{22}Y_2+40B_{22}Y_3+TB_{22}=(170-5)B_{22}$$

$$30B_{31}Y_1+33B_{31}Y_2+40B_{31}Y_3+TB_{31}=(130-5)B_{31}$$

$$30B_{32}Y_1+33B_{32}Y_2+40B_{32}Y_3+TB_{32}=(140-5)B_{32}$$

$B_{jk}Y_m$: j. bloğun k pozisyonuna göre yüksekliği boyunca kesilecek Y_m cm'lik kesim adedi

TB_{jk} : k pozisyonuna göre kesilen j. bloğun Y-kesimde tabanında kalan miktar

(III) Blok yüksekliği boyunca alınan her bir 30 cm'lik kat, blok eni boyunca 2 ya da 3 cm'lik ölçülerde kesilebilir. 30 cm'lik katlardan kaç adedinin 2 cm'lik, kaç adedinin 3 cm'lik kesileceğini belirlemek amacıyla aşağıdaki sınırlar yazılmaktadır.

$$B_{11}Y_1Z_1+B_{11}Y_1Z_2=B_{11}Y_1$$

$$B_{12}Y_1Z_1+B_{12}Y_1Z_2=B_{12}Y_1$$

$$B_{21}Y_1Z_1+B_{21}Y_1Z_2=B_{21}Y_1$$

$$B_{22}Y_1Z_1+B_{22}Y_1Z_2=B_{22}Y_1$$

$$B_{31}Y_1Z_1+B_{31}Y_1Z_2=B_{31}Y_1$$

$$B_{32}Y_1Z_1+B_{32}Y_1Z_2=B_{32}Y_1$$

$B_{jk}Y_mZ_n$: Y_m cm'lik $B_{jk}Y_m$ adet kesimlerden blok eni boyunca Z_n cm'lik kesilecek kesimlerin adedi

(IV) Blok yüksekliği boyunca kesilecek 30x2 lik, 30x3 lük, 33x3 lük ve 40x2 lik katların sayısı, her bir kattan alınabilecek Z_n cm'lik maksimum kesim adedi ile çarpılarak, elde edilecek plakaların miktarları bulunmaktadır. Blok eni boyunca ön ve arkadan bırakılan 5'er cm'lik paylar ve her bir kesimde 8 mm'lik fireler dikkate alınarak, blok eni boyunca kesilebilecek Z_n cm'lik maksimum kesim adedi hesaplanmaktadır.

Blok 1'in 1. kesim pozisyonuna göre eni boyunca kesilebilecek 2 cm'lik maksimum kesim adedi;

$$Z_1 B_{11, \max} = \left\lfloor \frac{165 - 10}{2 + 0,8} \right\rfloor = 55$$

adettir. Diğer bloklar için de aynı hesaplama yapılacaktır.

$$55B_{11}Y_1Z_1 + 53B_{12}Y_1Z_1 = B_1P_1$$

$$40B_{11}Y_1Z_2 + 39B_{12}Y_1Z_2 = B_1P_2$$

$$40B_{11}Y_2 + 39B_{12}Y_2 = B_1P_3$$

$$55B_{11}Y_3 + 53B_{12}Y_3 = B_1P_4$$

$$57B_{21}Y_1Z_1 + 53B_{22}Y_1Z_1 = B_2P_1$$

$$42B_{21}Y_1Z_2 + 39B_{22}Y_1Z_2 = B_2P_2$$

$$42B_{21}Y_2 + 39B_{22}Y_2 = B_2P_3$$

$$57B_{21}Y_3 + 53B_{22}Y_3 = B_2P_4$$

$$46B_{31}Y_1Z_1 + 42B_{32}Y_1Z_1 = B_3P_1$$

$$34B_{31}Y_1Z_2 + 31B_{32}Y_1Z_2 = B_3P_2$$

$$34B_{31}Y_2 + 31B_{32}Y_2 = B_3P_3$$

$$46B_{31}Y_3 + 42B_{32}Y_3 = B_3P_4$$

$B_j P_t$: j. bloktan üretilen t. çeşit plaka adedi

$$Z_n B_{jk, \max} = \left\lfloor \frac{W_{jk} - p_{jz}}{Z_n + f_z} \right\rfloor$$

(V) ST de kesim süreci sonucunda her bir bloktan elde edilen plakalardan, stoklanacak ve ebatlama makinelerinde X-kesime girecek olan plaka çeşitleri ve miktarları aşağıdaki sınır kümesiyle belirlenmektedir.

$$KB_1P_1 + SB_1P_1 = B_1P_1$$

$$KB_1P_2 + SB_1P_2 = B_1P_2$$

$$KB_1P_3+SB_1P_3 = B_1P_3$$

$$KB_1P_4+SB_1P_4 = B_1P_4$$

$$KB_2P_1+SB_2P_1 = B_2P_1$$

$$KB_2P_2+SB_2P_2 = B_2P_2$$

$$KB_2P_3+SB_2P_3 = B_2P_3$$

$$KB_2P_4+SB_2P_4 = B_2P_4$$

$$KB_3P_1+SB_3P_1 = B_3P_1$$

$$KB_3P_2+SB_3P_2 = B_3P_2$$

$$KB_3P_3+SB_3P_3 = B_3P_3$$

$$KB_3P_4+SB_3P_4 = B_3P_4$$

KB_jP_t : j. bloktan üretilen t. çeşit plakalardan kesilecek miktar

SB_jP_t : j. bloktan üretilen t. çeşit plakalardan stoklanacak miktar

(VI) Her bir plaka çeşidinin hangi X-kesim alternatifine göre kaç adet kesileceğini belirlemek üzere aşağıdaki sınırlar kümesi yazılmaktadır.

$$B_1P_1X_1+B_1P_1X_2+B_1P_1X_3 = KB_1P_1$$

$$B_1P_2X_1 = KB_1P_2$$

$$B_1P_3X_1 = KB_1P_3$$

$$B_1P_4X_1 = KB_1P_4$$

$$B_2P_1X_1+B_2P_1X_2 = KB_2P_1$$

$$B_2P_2X_1 = KB_2P_2$$

$$B_2P_3X_1 = KB_2P_3$$

$$B_2P_4X_1 = KB_2P_4$$

$$B_3P_1X_1+B_3P_1X_2 = KB_3P_1$$

$$B_3P_2X_1 = KB_3P_2$$

$$B_3P_3X_1 = KB_3P_3$$

$$B_3P_4X_1 = KB_3P_4$$

$B_j P_t X_r$: j. bloktan elde edilen t. çeşit plakalardan r. X-kesim alternatifine göre kesilecek miktar

(VII) Her bir X_r kesimde üretilecek i. parça adedi, bu alternatife göre kesilen plaka sayısı ile çarpılarak, bloklardan üretilen sipariş miktarları hesaplanmaktadır.

$$2B_1 P_3 X_1 = B_1 S_1$$

$$2B_1 P_1 X_1 + B_1 P_1 X_2 = B_1 S_2$$

$$2B_1 P_1 X_2 + 5B_1 P_1 X_3 = B_1 S_3$$

$$4B_1 P_2 X_1 = B_1 S_4$$

$$6B_1 P_4 X_1 = B_1 S_5$$

$$B_2 P_3 X_1 = B_2 S_1$$

$$B_2 P_1 X_1 = B_2 S_2$$

$$2B_2 P_1 X_1 + 4B_2 P_1 X_2 = B_2 S_3$$

$$3B_2 P_2 X_1 = B_2 S_4$$

$$5B_2 P_4 X_1 = B_2 S_5$$

$$B_3 P_3 X_1 = B_3 S_1$$

$$B_3 P_1 X_1 = B_3 S_2$$

$$B_3 P_1 X_1 + 3B_3 P_1 X_2 = B_3 S_3$$

$$3B_3 P_2 X_1 = B_3 S_4$$

$$4B_3 P_4 X_1 = B_3 S_5$$

x_{ijtr} : j. bloktan üretilen t. plaka çeşidinin r. X-kesim alternatifinde yer alan i. sipariş parçası adedi

(VIII) Kesim süreci sonunda her bir sipariş parçasından üretilen miktarlar tanımlanmaktadır.

$$B_1 S_1 + B_2 S_1 + B_3 S_1 = S_1$$

$$B_1 S_2 + B_2 S_2 + B_3 S_2 = S_2$$

$$B_1 S_3 + B_2 S_3 + B_3 S_3 = S_3$$

$$B_1S_4+B_2S_4+B_3S_4 = S_4$$

$$B_1S_5+B_2S_5+B_3S_5 = S_5$$

B_jS_i : j. bloktan üretilen i. parça miktarı

S_i : üretilen i. parça miktarı

(IX) Talebin karşılanması garanti edilmektedir.

$$S_1 \geq 200$$

$$S_2 \geq 100$$

$$S_3 \geq 450$$

$$S_4 \geq 200$$

$$S_5 \geq 300$$

(X) Tabanda minimum 5 cm kalacak şekilde Y-kesim yapılabilecektir.

$$TB_{11} \geq 5B_{11}$$

$$TB_{12} \geq 5B_{12}$$

$$TB_{21} \geq 5B_{21}$$

$$TB_{22} \geq 5B_{22}$$

$$TB_{31} \geq 5B_{31}$$

$$TB_{32} \geq 5B_{32}$$

TB_{jk} : k pozisyonuna göre kesilen j. bloğun Y-kesimde tabanında kalan miktar

XI. sınırlar kümesi, kesilen blok, üretilen parça ve stoklanan plaka hacmi ile fireyi tanımlamaktadır.

$$(XI) \quad 7.128B_{11}+7.128B_{12}+6.528B_{21}+6.528B_{22}+3.64B_{31}+3.64B_{32} = KBH$$

$$0.01188S_1+0.0072S_2+0.003S_3+0.0054S_4+0.0032S_5 = UPH$$

$$0.0162SB_1P_1+0.0243SB_1P_2+0.02673SB_1P_3+0.0216SB_1P_4+0.0144SB_2P_1+0.0216SB_2P_2+0.02376SB_2P_3+0.0192SB_2P_4+0.012SB_3P_1+0.018SB_3P_2+0.0198SB_3P_3+0.016SB_3P_4 = SPLH$$

$$KBH - (UPH+SPLH) = F$$

Negatif olmama ve değişkenlerin tamsayılık şartlarının eklenmesiyle modelin formülasyonu tamamlanmaktadır.

3.4.3 Modelin Çözümü

Örnek problem için yazılan modelin çözümü Ek 1’de verilmiştir. Elde edilen çözümlere göre, siparişleri karşılamak üzere, Blok 1 ve Blok 2’nin kesilmesine karar verilmiştir. Her iki blok, birinci pozisyona göre makinaya yerleştirilip kesilecektir ($B_{11}=B_{21}=0$). Bloklara ait kesim planları şu şekildedir:

Blok 1 İçin Kesim Planı

- Blok 1’in 160 cm’lik yüksekliği boyunca 3 adet 33 lük, 1 adet 40 lık kesilecek; tabanında 16 cm kalacaktır. 33 cm’lik katlar, blok eni boyunca 3 cm’ lik kesilerek 120 adet 270x33x3 lük plakalar elde edilecektir. Blok eni boyunca 2 cm’lik kesilecek 40 cm’lik kattan ise 55 adet 270x40x2 lik plakalar elde edilecektir.
- 270x33x3 lük plakalardan 100 adedi X_1 kesim alternatifine göre kesilecek; geriye kalan 20 adedi stoklanacaktır. Üretilen 55 adet 270x40x2 lik plakalardan 50 adedi X_1 alternatifine göre kesilecek; 5 adedi ise stoklanacaktır.
- 100 adet 270x33x3 lük plakaların her birinin 2 adet 120 lik kesilmesiyle 1. sipariş parçasından 200 adet üretilmiş olacaktır. 50 adet 270x40x2 lik plakaların her biri 6 adet 40 lık kesilerek 5. sipariş parçasından 300 adet üretilen olacaktır.

Blok 1’e ait kesim planı Tablo 3.7’de özetlenmektedir.

Tablo 3.7 Blok 1 Kesim Planı (Örnek Problem)

BLOK 1.1 270x165x160					
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S1 120	S5 40
Y2: 33 3 adet	Z2: 3 3 adet	P3: 270x33x3 Üretilen: 120 adet Kesilen: 100 adet	P3X1: 100	2	
Y3: 40 1 adet	Z1: 2 1 adet	P4: 270x40x2 Üretilen: 55 adet Kesilen: 50 adet	P4X1: 50		6
Taban: 16	Üretilen Parça Miktarı			200	300

Blok 2 İçin Kesim Planı

- Blok 2'nin 160 cm'lik yüksekliği boyunca 5 adet 30 luk kesilecek; tabanında 5 cm kalacaktır. 30 cm'lik katlardan 3 adedi, blok eni boyunca 2 cm'lik kesilerek 171 adet 240x30x2 lik plakalar elde edilecektir. Diğer 30 cm'lik katlar, blok eni boyunca 3 cm'lik kesilerek 84 adet 240x30x3 lük plakalar elde edilecektir.
- 240x30x2 lik plakaların 163 adedi kesilerek geriye kalan 8 adedi stoklanacaktır. Üretilen 84 adet 240x30x3 lük plakaların ise 67 adedi kesilip, 17 adedi stoklanacaktır.
- 163 adet 240x30x2 lik plakaların 101 adedi X_1 kesim alternatifine, 62 adedi ise X_2 kesim alternatifine göre kesilecektir. X_1 kesim alternatifine göre kesilen plakaların her birinden bir adet 120 lik, iki adet 50 lik parçaların elde edilmesiyle, 2. sipariş parçasından 101 adet, 3. sipariş parçasından 202 adet üretilmiş olacaktır. Her biri dört adet 50 lik parçalar halinde kesilecek olan 62 adet plakadan ise 248 adet 3. sipariş parçası elde edilecektir. Böylece, Blok 2'den üretilen 3. sipariş parçası miktarı 450 adet olacaktır. 67 adet 240x30x3 lük plakaların her biri, üç adet 40 lık parçalar halinde kesilerek, 4. sipariş parçasından 201 adet üretililecektir.

Blok 2'ye ait kesim planı Tablo 3.8'de özetlenmektedir.

Tablo 3.8 Blok 2 Kesim Planı (Örnek Problem)

BLOK 2.1 240x170x160						
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S2 120	S3 50	S4 60
Y1: 30 5 adet	Z1: 2 3 adet	P1: 240x30x2 Üretilen: 171 adet Kesilen: 163 adet	P1X1: 101	1	2	
			P1X2: 62		4	
	Z2: 3 2 adet	P2: 240x30x3 Üretilen: 84 adet Kesilen: 67 adet	P2X1: 67			3
Taban: 5	Üretilen Parça Miktarı			101	450	201

Alınan sipariş için üretim programı Tablo 3.9'da özetlenmektedir.

Tablo 3.9 Parça Üretim Programı (Örnek Problem)

Siparişler	Blok 1.1 Üretim	Blok 2.1 Üretim	Sipariş Miktarı	Toplam Üretim Miktarı
S1: 120.33.3	200		200	200
S2: 120.30.2		101	100	101
S3: 50.30.2		450	450	450
S4: 60.30.3		201	200	201
S5: 40.40.2	300		300	300
Toplam Hacim (m³)	3,336	3,1626	6,486	6,4986

Modelin çözümünden elde edilen sonuçlara göre 6,486 m³ lük siparişi karşılamak üzere toplam hacmi 13,656 m³ olan iki adet bloğun kesilmesi gerekmekte ve bu bloklardan 6,4986 m³ lük parça üretilmektedir. Blok 1'den elde edilen 3. çeşit plakalardan 20 adet ve 4. çeşit plakalardan 5 adet; Blok 2'den elde edilen 1. çeşit plakalardan 8 adet ve 2. çeşit plakalardan 17 adet olmak üzere toplam 1,125 m³ lük plaka stoklanmaktadır. 7,6236 m³ lük çıktı üretimi ile, blokların kesilmesinden kaynaklanan toplam fire 6,0324 m³ olmaktadır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.10'da özetlenmektedir.

Tablo 3.10 Girdi, Çıktı ve Fire Hacimleri (Örnek Problem)

	Blok 1.1	Blok 2.1	Toplam Hacim
Blok Hacmi	7,128	6,528	13,656
Üretilen Parça Hacmi	3,336	3,1626	6,4986
Stoklanan Plaka Hacmi	0,6426	0,4824	1,125
Fire Hacmi	3,1494	2,883	6,0324

Model, öncelikle siparişleri karşılamak üzere mümkün olduğunca az blok sarf etmeye çalışmakta, daha sonra bu bloklardan alınabilecek çıktıyı maksimize etmektedir. Siparişler karşılandıktan sonra, ihtiyaçtan fazla üretilen plakalar stoklanmaktadır.

3.5 Uygulama Problemi, Çözüm Yaklaşımları ve Çözümlerin Analizi

3.5.1 Mermer Fabrikası İle İlgili Bilgiler

Mermer endüstrisinde karşılaşılan üç boyutlu stok kesme problemi için geliştirilen model, 1990 yılında Sivas Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulmuş olan Emmioğlu Mermer Madencilik A.Ş'nin mermer kesme ve işleme fabrikasında uygulanmıştır. Fabrika, 7.000 m² kapalı, 15.000 m² açık alan olmak üzere toplam 22.000 m² alanda üretim yapmaktadır. Sivas'ta bulunan mermer ocağı, fabrikaya 225 km uzaklıktadır. Fabrikanın yıllık üretim kapasitesi 24.000 m³ civarındadır. Amasya ve Sivas illeri içinde bulunan ocaklarında, 2004 yılı içinde toplam 30.000 m³ blok üretimi yapılmış olup, bunun %90'ı ham blok ve mamul ürün olarak ihraç edilmiş, geriye kalan kısmı iç piyasada değerlendirilmiştir.

3.5.2 Uygulama Problemi Verileri

Tablo 3.11'de verilen ebat ve miktarlarda aynı cins (bej mermer) 17 çeşit parçanın kesilmesi gerekmektedir. İlk 6 parça, merdiven basamaklarını ifade etmektedir. Bunlarla birlikte, iki merdiven basamağı arasında yer alan ve rıht olarak adlandırılan parçaların da üretilmesi gerekmektedir. 7-12 nolu parçalar, her bir basamak çeşidine karşılık gelen rıhtları göstermektedir. Her bir basamak çeşidi için üretilmesi gereken rıht miktarı, basamak miktarının yarısı kadar olmalıdır. 13-17 nolu parçalar, üretilmesi gereken diğer ebatlı ürünleri göstermektedir.

Tablo 3.11 Sipariş Verileri (Uygulama Problemi)

Sipariş No	Sipariş Boyutları (cm)	Birim Hacim (m ³ /adet)	Miktar (adet)	Toplam Hacim (m ³)
S1	150.33.3	0,01485	60	0,891
S2	140.33.3	0,01386	60	0,8316
S3	130.33.3	0,01287	180	2,3166
S4	120.33.3	0,01188	180	2,1384
S5	110.33.3	0,01089	180	1,9602
S6	100.33.3	0,0099	60	0,594
S7	150.30.2	0,009	30	0,27
S8	140.30.2	0,0084	30	0,252
S9	130.30.2	0,0078	90	0,702
S10	120.30.2	0,0072	90	0,648
S11	110.30.2	0,0066	90	0,594
S12	100.30.2	0,006	30	0,18
S13	60.30.2	0,0036	1500	5,4
S14	50.30.2	0,003	1800	5,4
S15	60.30.3	0,0054	1000	5,4
S16	50.30.3	0,0045	1200	5,4
S17	40.40.2	0,0032	1700	5,44
Toplam Parça Hacmi (m³)				38,4178

Fabrikanın stok alanında, siparişi karşılamak üzere kesilebileceği 20 adet bej mermer bloğu bulunmaktadır. Blok stok numaraları, boyutları, hacimleri ve su yönü doğrultusu ile ilgili bilgiler Tablo 3.12’ de verilmektedir.

Tablo 3.12 Blok Verileri (Uygulama Problemi)

Blok Stok No	Blok No (B _j)	Blok Boyutları (cm)	Hacim (m ³)	Su Yönü
504	B1	270.165.160	7,128	270
455	B2	240.170.160	6,528	240
393	B3	290.170.130	6,409	290
776	B4	240.175.150	6,3	240
126	B5	290.150.140	6,09	290
291	B6	230.160.160	5,888	230
325	B7	190.190.160	5,776	160
1104	B8	180.160.200	5,76	200
453	B9	280.115.170	5,474	280
636	B10	220.160.150	5,28	220
1323	B11	190.160.170	5,168	170
1267	B12	220.155.145	4,9445	220
639	B13	180.170.160	4,896	160
713	B14	200.150.150	4,5	200
699	B15	210.150.130	4,095	210
204	B16	170.160.150	4,08	160
718	B17	210.150.125	3,9375	210
698	B18	200.140.130	3,64	200
1067	B19	160.140.70	1,568	140
704	B20	210.120.60	1,512	210
Toplam Blok Hacmi (m³)			98,974	

Örnek problemde yer alan makinalarla ilgili teknik bilgiler, uygulamanın yapıldığı firmadan alınmıştır. Dolayısıyla, uygulama probleminin makinalarla ilgili verileri Tablo 3.4'te olduğu gibidir.

3.5.3 Problemin Formülasyonu İle İlgili Bilgiler

Blok çeşidi

(j = 1,.....,20)

Sipariş parçası çeşidi

(i = 1,.....,17)

Blok kesim pozisyonu alternatifleri

(k = 1,2)

Blokların su yönüne göre kesilmesini sağlayacak kesim pozisyonu (makina yerleşim) alternatifleri Tablo 3.13'teki gibidir.

Tablo 3.13 Kesim Pozisyonu Alternatifleri (Uygulama Problemi)

BLOKLAR		POZİSYON					
		1. Alternatif (k=1)			2. Alternatif (k=2)		
Blok Stok No	Blok No (Bj)	Boy	En	Yükseklik	Boy	En	Yükseklik
504	B1	270	165	160	270	160	165
455	B2	240	170	160	240	160	170
393	B3	290	170	130	290	130	170
776	B4	240	175	150	240	150	175
126	B5	290	150	140	290	140	150
291	B6	230	160	160			
325	B7	160	190	190			
1104	B8	200	180	160	200	160	180
453	B9	280	115	170	280	170	115
636	B10	220	160	150	220	150	160
1323	B11	170	190	160	170	160	190
1267	B12	220	155	145	220	145	155
639	B13	160	180	170	160	170	180
713	B14	200	150	150			
699	B15	210	150	130	210	130	150
204	B16	160	170	150	160	150	170
718	B17	210	150	125	210	125	150
698	B18	200	140	130	200	130	140
1067	B19	140	160	70	140	70	160
704	B20	210	120	60	210	60	120

Blok yüksekliği boyunca kesilebilecek Y-kesim alternatifleri

(m = 1,2,3; Y₁ = 30; Y₂ = 33; Y₃ = 40)

Blok eni boyunca kesilebilecek Z-kesim alternatifleri

(n = 1,2; Z₁ = 2; Z₂ = 3)

Bloklardan üretilebilecek plaka çeşidi

($t = 1,2,3,4$; $P_1 = L_j \times 30 \times 2$; $P_2 = L_j \times 30 \times 3$; $P_3 = L_j \times 33 \times 3$; $P_4 = L_j \times 40 \times 2$)

Her bir bloktan L_j boyunda 30x2 lik, 30x3 lük, 33x3 lük ve 40x2 lik olmak üzere elde edilebilecek dört çeşit plaka bulunmaktadır. Bu durumda, ebatlama makinalarında X-kesime girecek olan plaka çeşitleri Tablo 3.14'teki gibi olacaktır.

Tablo 3.14 Bloklardan Elde Edilebilecek Plaka Çeşitleri (Uygulama Problemi)

Bloklar (B_j)	Plaka Boyları (L_j)	Plaka Çeşitleri (P_t)			
		P1 (30.2)	P2 (30.3)	P3 (33.3)	P4 (40.2)
B3-B5	290	290.30.2	290.30.3	290.33.3	290.40.2
B9	280	280.30.2	280.30.3	280.33.3	280.40.2
B1	270	270.30.2	270.30.3	270.33.3	270.40.2
B2-B4	240	240.30.2	240.30.3	240.33.3	240.40.2
B6	230	230.30.2	230.30.3	230.33.3	230.40.2
B10-B12	220	220.30.2	220.30.3	220.33.3	220.40.2
B15-B17-B20	210	210.30.2	210.30.3	210.33.3	210.40.2
B8-B14-B18	200	200.30.2	200.30.3	200.33.3	200.40.2
B11	170	170.30.2	170.30.3	170.33.3	170.40.2
B7-B13-B16	160	160.30.2	160.30.3	160.33.3	160.40.2
B19	140	140.30.2	140.30.3	140.33.3	140.40.2

Plakaları X-kesimde ebatlama alternatifleri

($r = 1, \dots, R_t$)

30x2 lik plakalar, iki boyutu 30x2 olan siparişlerin üçüncü boyutunu elde etmek üzere, 150 lik, 140 lık, 130 luk, 120 lik, 110 luk, 100 lük, 60 lık ve 50 lik ölçülerde kesilecek; böylece ebatlama sürecinin sonunda 7., 8. 9., 10., 11., 12., 13. ve 14. sipariş parçaları elde edilmiş olacaktır. Benzer şekilde, 30x3 lük plakalar, 15. ve 16. siparişi elde etmek üzere 60 lık ve 50 lik ölçülerde kesilecektir. 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. sipariş parçaları, 33x3 lük plakaların 150 lik, 140 lık, 130 luk, 120 lik, 110 luk, 100 lük ölçülerde kesilmesiyle elde edilecektir. 17. sipariş parçasını karşılamak üzere, 40x2 lik plakalar 40 cm lik ölçülerde kesilecektir. Her bir sipariş parçasının elde edileceği plakalar, Tablo 3.15'te gösterilmektedir.

Tablo 3.15 Sipariş Parçalarının Elde Edilebileceği Plaka Çeşitleri
(Uygulama Problemi)

Sipariş No	Siparişler	Plaka Çeşitleri (Pt)			
		P1 (30.2)	P2 (30.3)	P3 (33.3)	P4 (40.2)
S1	150.33.3			√	
S2	140.33.3			√	
S3	130.33.3			√	
S4	120.33.3			√	
S5	110.33.3			√	
S6	100.33.3			√	
S7	150.30.2	√			
S8	140.30.2	√			
S9	130.30.2	√			
S10	120.30.2	√			
S11	110.30.2	√			
S12	100.30.2	√			
S13	60.30.2	√			
S14	50.30.2	√			
S15	60.30.3		√		
S16	50.30.3		√		
S17	40.40.2				√

11 farklı L_j boyunda toplam 44 adet farklı plaka çeşidi için, sipariş parçalarının bir boyutuna denk gelen ölçülerden kaçar adet kesilebileceğini gösteren X-kesim alternatiflerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla, Suliman (2001) tarafından tek boyutlu kesme problemi için, kesim planı alternatiflerinin oluşturulmasına yönelik olarak geliştirilen sayım prosedürü kullanılmıştır. Kullanılan algoritma ve probleme uygulanması sonucunda elde edilen kesim alternatifleri Ek 2’de sunulmuştur. L_j boyunda her bir plaka çeşidi için X-kesim alternatifleri sayısı Tablo 3.16’da özetlenmektedir.

Tablo 3.16 Plaka Çeşitleri İçin X-Kesim Alternatifleri Sayısı
(Uygulama Problemi)

Plaka Boyları (Lj)	Plaka Çeşitleri (Pt)			
	P1 (30.2)	P2 (30.3)	P3 (33.3)	P4 (40.2)
290	42	5	17	1
280	38	5	15	1
270	33	5	12	1
240	21	4	7	1
230	18	4	6	1
220	16	4	6	1
210	14	4	6	1
200	13	4	6	1
170	9	3	6	1
160	8	3	5	1
140	6	3	3	1

X-kesim alternatiflerinde mevcut sipariş parçaları çerçevesinde fire olarak değerlendirilen bazı atık parçalar, üretilen yan ürünler olarak modelde dikkate alınmaktadır. Kesilen plakalar çerçevesinde, hangi atıkların yan ürün olarak değerlendirilebileceğini tespit etmek üzere, fabrikada üretilen 30x2 lik, 30x3 lük, 33x3 lük ve 40x2 lik parçaların listesi alınmıştır. Söz konusu ürünler Tablo 3.17’de gösterildiği gibidir.

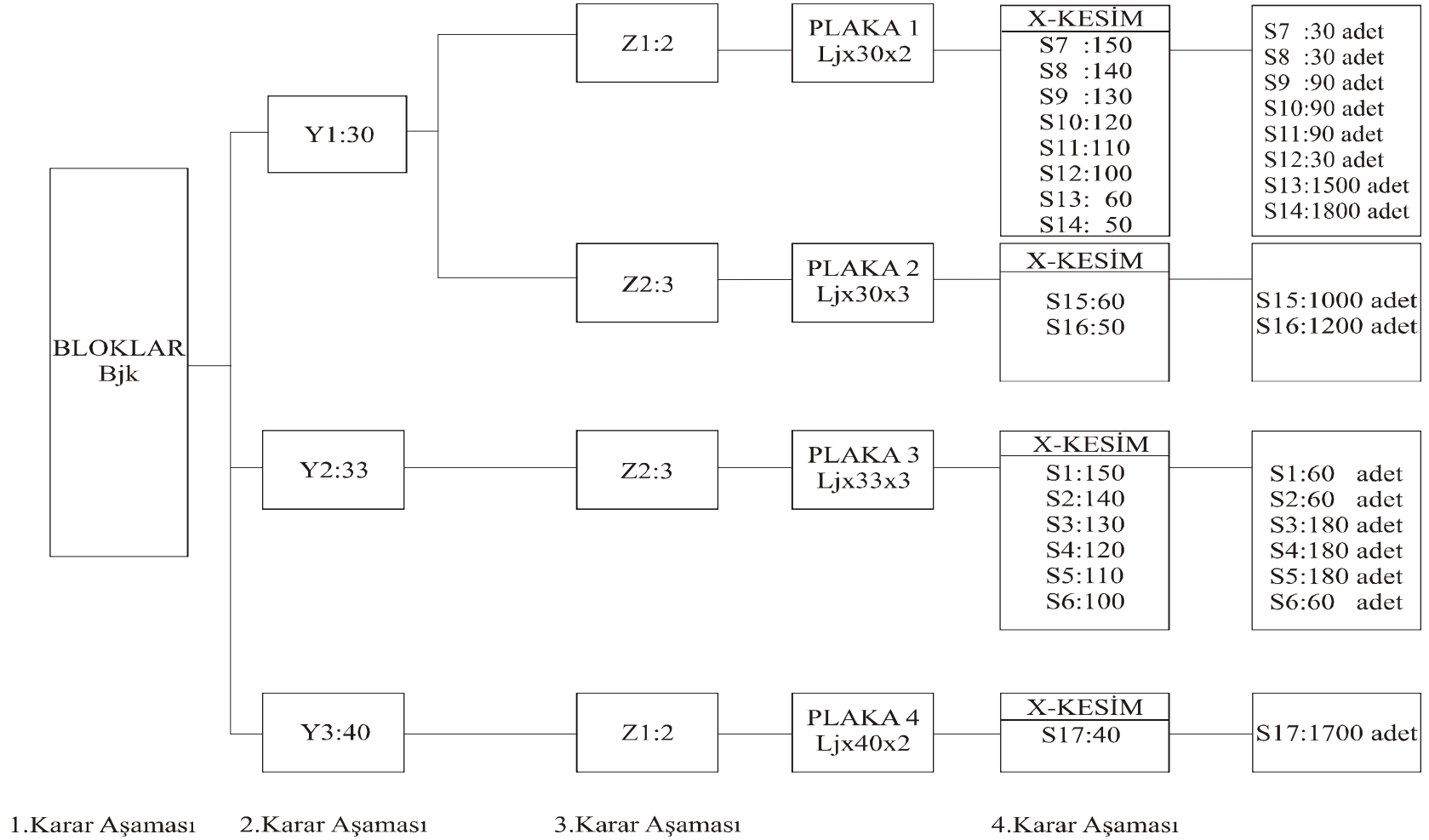
Tablo 3.17 Plaka Çeşitlerine Göre Ürün Çeşitleri
(Uygulama Problemi)

Plaka Çeşitleri	Boy
P1 (30.2)	30-40-50-60-170-165-160-155-150-145-140-135-130-125-120-115-110-105-100
P2 (30.3)	50-60
P3(33.3)	170-165-160-155-150-145-140-135-130-125-120-115-110-105-100
P4 (40.2)	30-40

Bu kapsamda, X-kesim alternatiflerinin firesi olarak değerlendirilen iki yan ürün, R1 ve R2 olarak tanımlanıp modele dahil edilmiştir. R1: 30x30x2 ve R2: 30x40x2 olmak üzere, söz konusu yan ürünler 1. ve 4. plaka çeşitlerine ait X-kesim alternatiflerinde ortaya çıkmaktadır. Bu ürünlerle ilgili karar değişkenleri şöyledir:

R_p : p. yan üründen üretilen miktar ($p = 1,2$)
 $B_j R_p$: j. bloktan üretilen p yan ürünü miktarı ($j = 1, \dots, 20$)

Bu açıklamalar ışığında, uygulama problemine ait karar aşamaları Şekil 3.6'da gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 3.6 Uygulama Probleminin Karar Aşamaları

3.5.4 Çözüm Yaklaşımları

Şekil 3.6'nın $j=1, \dots, 20$ ve $k=1, 2$ için genişletilmiş haline X-kesim alternatifleri de eklendiğinde, ele alınan problem için her biri belirli bir siparişe denk gelen tüm X-Y-Z kombinasyonları ortaya çıkacaktır. Problem, belirlenen amaç çerçevesinde siparişlerin tümünü karşılayacak X-Y-Z geometrik kombinasyonlarının bulunmasıdır. Problemi çözmek üzere, matematiksel modellere dayanan iki farklı çözüm yaklaşımı sunulabilir:

- Optimal çözümü garanti etmek üzere problemin, tüm geometrik kombinasyonları tanımlayan tek bir model vasıtasıyla çözülmesi
- Kısa sürelerde probleme çözüm bulabilmek amacıyla problemin bloklar bazında daha küçük parçalara bölünmesi ve bu problem parçaları için kurulan modellerin ardışık olarak çözülmesi

Mermer endüstrisinde karşılaşılan üç boyutlu kesme problemi için geliştirilen ana model ilk yaklaşımı esas almaktadır. İkinci yaklaşımı esas alan ardışık modeller seti ise bu modele dayanılarak yazılmıştır.

3.5.4.1 Ardışık Modeller Seti

Bu yaklaşıma göre, önceden belirlenen bir sıra dahilinde bloklar tek tek ele alınarak ana model esaslarına göre modellenip çözülmektedir. Tek tek bloklardan karşılanamayan sipariş parçası miktarları, modeller arasındaki bağlantıyı sağlamada kullanılmaktadır. Durma kriteri, tüm sipariş miktarlarının karşılanmasıdır. Sipariş miktarları karşılanana kadar, j adet blok için kurulan modeller ardışık olarak çözülmektedir.

Üretilmesi hedeflenen sipariş parçası miktarları için, j . bloktan karşılanamayan ve sipariş fazlası üretilen miktarları göstermek üzere, alt ve üst sapmalar tanımlanmaktadır. İlk blok için yazılan modelde, her bir parça için sipariş listesinde yer alan miktarlar, hedeflenen üretim miktarları olacaktır. Bu bloktan karşılanamayan sipariş parçası miktarları, bir sonraki bloktan üretilmesi hedeflenen miktarlar olarak ilgili sınırlarda yerine yazılacaktır. Bu şekilde, tüm sipariş parçaları için, aşağı sapmayla ifade edilen karşılanamayan miktarlara ait değişkenler sıfır değerini alana kadar, j adet blok için yazılan modeller ardışık olarak çözülecektir.

Her bir blok için yazılan modellerde, siparişlerin karşılanmasına öncelik verilmek suretiyle, kesilecek bloktan mümkün olduğunca çok çıktının elde edilmesine çalışılmaktadır. Bu doğrultuda, birinci öncelikli amaç olarak karşılanamayan sipariş parçası hacmi minimize edilmektedir. Böylece, sırayla kesilen bloklardan mümkün olduğunca çok sipariş parçasının karşılanması sağlanmaktadır. İkinci öncelikli amaç olarak ise, stoklanan plaka hacmi maksimize edilmektedir. Bu durumda, sipariş fazlası üretimden ziyade, ihtiyaçtan fazla üretilen plakaların stoklanması sağlanmaktadır.

Bloklara ait j indisi ($j=1, \dots, J$) kesim sırasını göstermek kaydıyla ve

DS_i	i . sipariş parçasından üretilmesi gereken miktar
$B_j S_i$	j . bloktan üretilen i . parça miktarı
$B_j AS_i$	j . bloktan karşılanamayan i . parça miktarı
$B_j YS_i$	j . bloktan sipariş fazlası üretilen i . parça miktarı

tanımlamak üzere, her bir blok için yazılacak modeller için ana model çerçevesinde yapılacak uyarlamalar şu şekildedir:

- Her bir parça için toplam üretim ve talep miktarlarını tanımlayan

$$(VIII) \sum_{j=1}^J B_j S_i = S_i$$

(tüm S_i için; $i = 1, \dots, I$)

$$(IX) S_i \geq DS_i$$

(tüm S_i için; $i = 1, \dots, I$)

VIII. ve IX. sınırlar kümesi kaldırılarak bunların yerine;

$j=1$ için

$$B_j S_i + B_j AS_i - B_j YS_i = DS_i$$

$j=j+1, \dots, J$ için

$$B_{j+1} S_i + B_{j+1} AS_i - B_{j+1} YS_i = B_j AS_i$$

sınırlar kümesi getirilmektedir.

- Amaç fonksiyonu, siparişlerin karşılanmasına öncelik verilmek suretiyle aşağıdaki şekilde yazılmaktadır. P_1 birinci öncelikli amaçla ilgili olarak, karşılanmayan sipariş hacmini cezalandıran büyük bir katsayıyı ifade etmektedir.

$$\min \quad P_1 \sum_{i=1}^I h_i \cdot B_j A S_i - \sum_{t=1}^T H S B_j P_t \cdot S B_j P_t$$

KSH karşılanmayan sipariş hacmi

SPLH stoklanan plaka hacmi

değişkenlerini ifade etmek üzere

$$KSH = \sum_{i=1}^I h_i \cdot B_j A S_i$$

$$SPLH = \sum_{t=1}^T H S B_j P_t \cdot S B_j P_t$$

tanım sınırları eklendiğinde göre amaç fonksiyonu kısaca aşağıdaki biçimde ifade edilecektir:

$$\min \quad P_1 \cdot KSH - SPLH$$

Bu açıklamalar çerçevesinde, ardışık modellerin genel formülasyonu aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\min \quad P_1 \cdot KSH - SPLH$$

sınırlar

$$(I) \quad \sum_{k=1}^2 B_{jk} \leq 1$$

$$(II) \quad \sum_{m=1}^M Y_m \cdot B_{jk} Y_m + TB_{jk} = (H_{jk} - p_{jy}) \cdot B_{jk}$$

(k = 1,2)

$$(III) \quad \sum_{n=1}^N B_{jk} Y_m Z_n = B_{jk} Y_m$$

(tüm $B_{jk} Y_m$ için; k = 1,2 m = 1,...,M)

$$(IV) \quad \sum_{k=1}^2 Z_n B_{jk, \max} \cdot B_{jk} Y_m Z_n = B_j P_t$$

(tüm $B_j P_t$ için; t = 1,...,T)

$$(V) \quad KB_j P_t + SB_j P_t = B_j P_t$$

(tüm $B_j P_t$ için; t = 1,...,T)

$$(VI) \quad \sum_{r=1}^{R_t} B_j P_t X_r = KB_j P_t$$

(tüm $KB_j P_t$ için; t = 1,...,T)

$$(VII) \quad \sum_{r=1}^{R_t} x_{ijtr} \cdot B_j P_t X_r = B_j S_i$$

(tüm $B_j S_i$ için; i = 1,...,I)

$$(VIII) \quad B_j S_i + B_j A S_i - B_j Y S_i = D S_i \quad (j = 1 \text{ için})$$

$$B_{j+1} S_i + B_{j+1} A S_i - B_{j+1} Y S_i = B_j A S_i \quad (j = j+1, \dots, J \text{ için})$$

(tüm S_i için; i = 1,...,I)

$$(IX) \quad TB_{jk} \geq T \cdot B_{jk}$$

(tüm B_{jk} için; k = 1,2)

$$(X) \quad KSH = \sum_{i=1}^I h_i \cdot B_j A S_i$$

$$KBH = \sum_{k=1}^2 H_j \cdot B_{jk} \quad (KBH = H_j)$$

$$UPH = \sum_{i=1}^I h_i \cdot B_j S_i$$

$$SPLH = \sum_{t=1}^T HSB_j P_t \cdot SB_j P_t$$

$$F = KBH - (UPH + SPLH)$$

ve

$$B_{jk} \in \{0,1\}$$

$$B_{jk} Y_m, B_{jk} Y_m Z_n, B_j P_t X_r \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

3.5.4.2 Önerilen Yaklaşımların Uygulama Probleminden Türetilmiş Küçük Bir Problem Üzerinde Uygulanması

Ele alınan problemin çözümüne bir ışık tutması amacıyla, önerilen çözüm yaklaşımları bu problem türetilmiş küçük bir problem üzerinde uygulanmıştır. Her bir parçaya ait sipariş miktarlarının %20 si alınarak üretilmesi gereken toplam sipariş hacmi 38,4178 m³ ten 7,6836 m³ e indirilmiştir. Bu siparişleri karşılamak üzere, stokta toplam hacmi 32,455 m³ olan ilk beş bloğun mevcut olduğu varsayılmıştır. Ardışık modeller kurulurken, blokların bu sıra dahilinde kesileceği kabul edilmiştir. Yazılan modeller 112 MHz Power PC 604 (8/8 unit) işlemcili, 1 GB hafızaya sahip bir bilgisayarda CPLEX Linear Optimizer 4.0.8 programı kullanılarak çözülmüştür. Tüm blokları bir arada ele alan ana model Ek 3.1’de, tek tek bloklar için yazılan modeller seti Ek 3.2’de, modellerin çözüm çıktıları Ek 4’de verilmiştir.

Elde edilen çözümlerin kalitesi, farklı kriterler çerçevesinde yorumlanabilir:

Amaç fonksiyonu değeri (fire minimizasyonu)

Optimal çözümü garanti etmesi bakımından, tüm alternatifleri bir arada değerlendiren ana modelin daha üstün olacağı açıktır. Elde edilen sonuçlar arasındaki fark, kesilecek blokların -ve kesim pozisyonunun- seçiminden ve bu bloklar için oluşturulan kesim planlarından kaynaklanmaktadır. Ana model firenin minimize edilmesi amacı doğrultusunda, kesilmesi gereken en uygun blokları seçmekte ve seçilen bloklar için en

uygun kesim planlarını belirlemektedir. Kesim planlarını belirlerken, tüm alternatifleri ve bu alternatiflerin diğer bloklar üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmaktadır. 2. yaklaşımda blok seçimi söz konusu değildir; tüm siparişler karşılanana kadar blokların önceden belirlenmiş bir sıraya göre kesilmesi gerekmektedir. Ele alınan tek bir blok için en uygun kesim planı oluşturulurken, bu kararın diğer bloklar üzerindeki etkisi göz önüne alınmamaktadır. Tablo 3.18’de blok seçiminden kaynaklanan farklar karşılaştırılmaktadır.

Tablo 3.18 Blok Seçimi Açısından Önerilen Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Önerilen Yaklaşımlar	Seçilen Bloklar	Kesilen Blok Hacmi	Üretilen Parça Hacmi	Stoklanan Plaka Hacmi	Fire Hacmi
Ana Model	Blok 3.1	6,409	3,3534	0,6786	2,377
	Blok 4.2	6,3	2,6566	1,05456	2,58884
	Blok 5.2	6,09	2,26476	1,55034	2,2749
	Toplam	18,799	8,27476	3,2835	7,24074
Ardışık Modeller Seti	Blok 1.2	7,128	4,28085		2,84715
	Blok 2.1	6,528	2,98473	0,1872	3,35607
	Blok 3.2	6,409	0,71928	2,80778	2,88194
	Toplam	20,065	7,98486	2,99498	9,08516
Fire Farkı					1,84442

Firenin minimizasyonu açısından ana model en uygun bloklar olarak 3., 4. ve 5. blokları seçmiştir. 2. yaklaşımda, şart koşulan blok kesme sırası uygun blokların seçimine imkan tanımamaktadır. Bu durumda, modellerin verdiği çözüm arasındaki fire farkı 1,84442 m³ olmaktadır.

Ardışık modeller çerçevesinde siparişleri karşılamak üzere ilk 3 bloğun yeterli olduğu görülmektedir. Blokları bir arada ele almanın çözüm üzerindeki etkisi değerlendirebilmek amacıyla, ana model stokta sadece ilk 3 bloğun mevcut olduğu varsayılarak yeniden çözülmüş ve çözüm çıktıları Ek 4.3’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.19’da özetlenmektedir.

Tablo 3.19 Blokları Bir Arada Ele Alma ve Kesim Pozisyonu Seçimi Açısından
Önerilen Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Önerilen Yaklaşımlar	Seçilen Bloklar	Kesilen Blok Hacmi	Üretilen Parça Hacmi	Stoklanan Plaka Hacmi	Fire Hacmi
Ana Model	Blok 1.1	7,128	3,06252	1,1448	2,92068
	Blok 2.1	6,528	1,1484	3,2832	2,0964
	Blok 3.1	6,409	3,7746	0,0174	2,617
	Toplam	20,065	7,98552	4,4454	7,63408
Ardışık Modeller Seti	Blok 1.2	7,128	4,28085		2,84715
	Blok 2.1	6,528	2,98473	0,1872	3,35607
	Blok 3.2	6,409	0,71928	2,80778	2,88194
	Toplam	20,065	7,98486	2,99498	9,08516
Fire Farkı					1,45108

Tablo 3.19’da blokları bir arada ele alarak en uygun kesim pozisyonlarını ve kesim planlarını belirlemenin fire üzerindeki etkisi görülmektedir. Ana model aynı blokları seçmekle birlikte, bunların farklı kesim pozisyonu alternatifleri için en uygun kesim planlarını tüm alternatifleri bir arada değerlendirerek oluşturmuş ve mevcut bloklar çerçevesinde fireyi minimuma indirmiştir. Her iki yaklaşımın önerdiği kesim planlarına ilişkin fire farkı 1,45108 m³ olmaktadır.

Tablo 3.18 ve 3.19’daki karşılaştırmalarda, ana modelin -kesim pozisyonları da dahil olmak üzere- en uygun blokların seçilmesi ve kesim planlarının oluşturulması ile ilgili olarak ikinci yaklaşıma olan üstünlüğü görülmektedir. İlk yaklaşıma göre blokları bir arada ele almanın, sadece en uygun kesim planlarını oluşturma üzerindeki etkisini değerlendirebilmek amacıyla, ardışık modellerin seçtiği bloklar ve kesim pozisyonları ($B_{12}=B_{21}=B_{32}=1$) için ana model yeniden yazılarak çözülmüş ve sonuçları Ek 4.4’de verilmiştir. Tablo 3.20’de bu bloklar oluşturulacak kesim planlarının fire üzerindeki etkisi gösterilmektedir.

Tablo 3.20 Oluşturulan Kesim Planları Açısından Önerilen Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Önerilen Yaklaşımlar	Seçilen Bloklar	Kesilen Blok Hacmi	Üretilen Parça Hacmi	Stoklanan Plaka Hacmi	Fire Hacmi
Ana Model	Blok 1.2	7,128	2,03886	2,2032	2,88594
	Blok 2.1	6,528	3,4689	0,4896	2,5695
	Blok 3.2	6,409	2,889	1,09098	2,42902
	Toplam	20,065	8,39676	3,78378	7,88446
Ardışık Modeller Seti	Blok 1.2	7,128	4,28085		2,84715
	Blok 2.1	6,528	2,98473	0,1872	3,35607
	Blok 3.2	6,409	0,71928	2,80778	2,88194
	Toplam	20,065	7,98486	2,99498	9,08516
Fire Farkı					1,2007

Aynı kesim pozisyonunda aynı bloklar kesilmesine rağmen, ana model tüm alternatifleri bir arada değerlendirerek bloklar için en uygun kesim planlarını oluşturmaktadır. İki yaklaşım arasında toplam fire hacmi açısından yaklaşık olarak 1.2 m³ lük fark bulunmaktadır.

Modellerin karmaşıklığı ve çözüm süreleri

Büyük ölçekli tamsayılı modellerde, değişken sayısının çözüm süresi üzerinde önemli etkisi vardır. Büyük bir uygulama problemi için yazılacak modellerin büyüklüğü ve çözüm süreleri açısından, ikinci yaklaşımın ilk yaklaşıma tercih edileceği açıktır. 2. yaklaşımda esas problemin daha küçük parçalara ayrılmasıyla çözüm süresi çok büyük ölçüde azaltılmaktadır. Tablo 3.21’de problemin çözümü için yazılması gereken modellerin büyüklüğü ve çözüm süreleri karşılaştırılmaktadır.

Tablo 3.21 Modellerin Büyüklüğü ve Çözüm Süreleri Açısından Önerilen Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Kriterler	Ana Model	Ardışık Modeller Seti		
		Blok 1	Blok 2	Blok 3
Sınır Sayısı	230	60	60	60
Değişken Sayısı	495	135	118	150
0-1 Değişken Sayısı	10	2	2	2
Tamsayılı Değişken Sayısı	295	61	43	75
Çözüm Süresi (sn)	576,61	0,26	0,32	0,5

Uygulanabilirlik

Her iki yaklaşımın verdiği sonuçların gerçek uygulamalardaki kısıtlar açısından da değerlendirilmesi gerekir. İlk modelde, tüm alternatifler bir arada değerlendirilerek kesilmek üzere en uygun bloklar seçilirken, belirlenen bloklarının stok sahasındaki konumları dikkate alınmamaktadır. Gerçek uygulamada mevcut blok stokları arasından yapılacak seçimi bu blokların stok sahasındaki yerleşim düzeni büyük ölçüde etkilemektedir. Bu kısıtlar çerçevesinde, blokların önceden belirlenmiş bir sıraya göre kesilmesi çoğu zaman kaçınılmaz olmaktadır. Her bir bloğu tek tek ele alan 2. yaklaşımda uygulamadan kaynaklanan bu kısıtlar daha kolay bir şekilde dikkate alınabilmektedir.

Oluşturulan modelin büyüklüğü ve çözüm süresine ilişkin kriter, önerilen yaklaşımların gerçek uygulama problemlerine uygulanabilirliği açısından da değerlendirilebilir. Modeldeki değişken sayısı ve çözüm süresinin problem boyutuyla birlikte üssel artışı, birinci yaklaşımın pratikte uygulanabilirliğini çok küçük problemlerle sınırlamaktadır. Mermer endüstrisinde karşılaşılan kesme problemi ise büyük ölçeklidir. Belirli bir siparişi karşılamak üzere binlerce parçanın üretilmesi gerekmektedir. Oluşturulması gereken kesim planları ise, belirli bir sipariş dönemine özgüdür; ilerideki bir sipariş için kesim planlarının yeniden oluşturulması gerekmektedir. Bu durumda, üretim dönemi boyunca sıklıkla karşılaşılan bir probleme makul sürelerde çözüm bulabilecek yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır.

Optimal çözümü garanti etmesi bakımından ilk yaklaşım ikinci yaklaşıma göre daha üstündür. Pratik değeri açısından ise, blok seçimi ile ilgili olarak uygulamadaki kısıtları daha kolay ele alabilmesi ve sıklıkla tekrarlanan bir probleme daha kısa sürelerde çözüm bulabilmesi gibi avantajlarıyla ikinci yaklaşım daha ağır basmaktadır. Bu değerlendirmeler neticesinde, ele alınan mermer fabrikasındaki kesme problemine çözüm bulabilmek için, optimal çözümünden uzaklaşmanın maliyetine katlanmak şartıyla, uygulamadaki değeri daha yüksek olan ikinci yaklaşımın benimsenmesine karar verilmiştir. Blokların mevcut sıraya göre kesilmesi gerektiği varsayılarak, ele alınan her bir blok için belirlenen amaçlar çerçevesinde en uygun kesim planlarının hazırlanmasına çalışılmıştır.

3.5.5 Uygulama Probleminin Çözümü ve Değerlendirilmesi

Üretilcek parça çeşidi $i = 1, \dots, 17$; mevcut blok sayısı $j = 1, \dots, 20$ olan uygulama problemi için ana modelden geliştirilen ardışık modeller, verilen sıraya göre her bir blok için yazılarak çözülmüştür. Modellerin ardışık olarak çözümlerinin elde edilmesiyle siparişleri karşılamak üzere ilk 12 bloğun kesilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Bloklar için yazılan modeller, modellerin çözümleri ve bu çözümlere dayanılarak hazırlanan ayrıntılı kesim planları Ek 5, Ek 6 ve Ek 7’de verilmektedir. Elde edilen çözümler neticesinde, blokların kesim pozisyonları, her bir bloktan üretilcek sipariş parçası miktarları, bloklardan karşılanamayan (bir sonraki bloktan karşılanması hedeflenen) sipariş parçası miktarları Tablo 3.22’de özetlenmektedir.

Tablo 3.22 Parça Üretim Programı (Uygulama Problemi)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	R1	R2	Toplam Hacim (m ³)
	60	60	180	180	180	60	30	30	90	90	90	30	1500	1800	1000	1200	1700	-	-	38,4178
Blok 1.1																1000				4,5
	60	60	180	180	180	60	30	30	90	90	90	30	1500	1800	1000	200	1700			33,9178
Blok 2.2				27	180	27									156	156				4,09266
	60	60	180	153	0	33	30	30	90	90	90	30	1500	1800	844	44	1700			29,82514
Blok 3.2	33	60	60	33			12	30	30	12					96	42				3,87369
	27	0	120	120	0	33	18	0	60	78	90	30	1500	1800	748	2	1700			25,95145
Blok 4.2	3			33		33				78	90		54	210			250			3,54329
	24	0	120	87	0	0	18	0	60	0	0	30	1446	1590	748	2	1450			22,40816
Blok 5.1	24		120	72			18					30	100	36						3,56616
	0	0	0	15	0	0	0	0	60	0	0	0	1346	1554	748	2	1450			18,842
Blok 6.1													265	795						3,339
	0	0	0	15	0	0	0	0	60	0	0	0	1081	759	748	2	1450			15,503
Blok 7.1															564					3,0456
	0	0	0	15	0	0	0	0	60	0	0	0	1081	759	184	2	1450			12,4574
Blok 8.1													720		132					3,3048
	0	0	0	15	0	0	0	0	60	0	0	0	361	759	52	2	1450			9,1526
Blok 9.1													148	592			222			3,0192
	0	0	0	15	0	0	0	0	60	0	0	0	213	167	52	2	1228			6,1334
Blok 10.2									9				9	164			750			2,9946
	0	0	0	15	0	0	0	0	51	0	0	0	204	3	52	2	478			3,1388
Blok 11.2									51				108	3			477	54	159	2,8008
	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	96	0	52	2	1			0,8168
Blok 12.2				15									96		52	2	5			0,8296
Üretim	60	60	180	180	180	60	30	30	90	90	90	30	1500	1800	1000	1200	1704	54	159	38,4306

Gri alanlar, kesilen bloktan karşılanamamış olan, dolayısıyla bir sonraki bloktan karşılanması hedeflenen parça miktarı ve hacimlerini (m³) göstermektedir.

38,4178 m³ lük siparişi karşılamak üzere, toplam hacmi 70,7455 m³ olan 12 adet bloğun kesilmesi gerekmektedir. İlk 10 blok boyunca sipariş fazlası parça ve plaka üretimi yapılmamaktadır. 11. blokta 54 adet R₁ ve 159 adet R₂ olmak üzere 0,4788 m³ lük yan ürün üretilmektedir. 12. blokta ise 17. sipariş parçasından 4 adet fazla üretilerek 0.0128 m³ lük fazla üretim yapılmakta; dört plaka çeşidinden sırasıyla 19, 20, 23 ve 50 adet olmak üzere 2,02774 m³ lük plaka stoku yapılmaktadır. Tablo 3.23'te kesilen bloklar, üretilen çıktılar ve fireler gösterilmektedir.

Tablo 3.23 Kesilen Blok, Çıktı ve Fire Hacimleri (m³)

Bloklar	Blok Hacmi	Üretilen Parça Hacmi	Stoklanan Plaka Hacmi	Fire Hacmi
Blok 1	7,128	4,5	-	2,628
Blok 2	6,528	4,09266	-	2,43534
Blok 3	6,409	3,87369	-	2,53531
Blok 4	6,3	3,54329	-	2,75671
Blok 5	6,09	3,56616	-	2,52384
Blok 6	5,888	3,339	-	2,549
Blok 7	5,776	3,0456	-	2,7304
Blok 8	5,766	3,3048	-	2,4612
Blok 9	5,474	3,0192	-	2,4548
Blok 10	5,28	2,9946	-	2,2854
Blok 11	5,168	2,8008	-	2,3672
Blok 12	4,945	0,8296	2,02774	2,08766
Toplam	70,752	38,9094	2,02774	29,8149

Tablo 3.23'teki fire hesaplamalarına, X-Y-Z kesimde blok kenarlarından bırakılan paylar da dahildir. Kenarlardan bırakılan paylar düşüldükten sonra kullanılabilir blok hacmi için fireler yeniden hesaplandığında, oluşturulan kesim planlarından kaynaklanan fire miktarı ve oranı elde edilecektir. Sonuçlar Tablo 3.24'teki gibidir.

Tablo 3.24 Kesilen Blok, Çıktı ve Fire Hacimleri (Net m³)

Bloklar	Blok Hacmi (Net)	Üretilen Parça Hacmi	Stoklanan Plaka Hacmi	Fire Hacmi (Net)
Blok 1	6,00625	4,5	-	1,50625
Blok 2	5,445	4,09266	-	1,35234
Blok 3	4,374	3,87369	-	0,50031
Blok 4	5,236	3,54329	-	1,69271
Blok 5	5,103	3,56616	-	1,53684
Blok 6	4,8825	3,339	-	1,5435
Blok 7	4,662	3,0456	-	1,6164
Blok 8	4,743	3,3048	-	1,4382
Blok 9	4,5045	3,0192	-	1,4853
Blok 10	4,34	2,9946	-	1,3454
Blok 11	4,1625	2,8008	-	1,3617
Blok 12	4,06	0,8296	2,02774	1,20266
Toplam	57,51875	38,9094	2,02774	16,58161

11. bloktan karşılanamayan 0,8168 m³ lük siparişin üretilmesi için 12. bloğun kesilmesi ve bu bloktan 4., 13., 15., 16. ve 17. sipariş parçalarını karşılamak üzere, 30x2 lik, 30x3 lük, 33x3 lük ve 40x2 lik plakaların elde edilmesi gerekmektedir. Elde edilen çözüme göre, siparişleri karşılamaya yetecek kadar plaka kullanıldıktan sonra, ihtiyaçtan fazla kısmı stoklanmaktadır. Gerçek uygulamalarda da standart boyutlardaki plakaların stoklanması, sipariş fazlası parça üretimine tercih edilmektedir. Amaç fonksiyonu, uygulamadaki tercihi doğru yansıtmaktadır.

Tüm blokları bir arada ele alan yaklaşıma göre uygulama problemi çözülmeye çalışıldığında 787 sınırlı, 784 adedi tamsayı ve 37 adedi 0-1 değişken olmak üzere 1537 değişkenli büyük ölçekli tamsayı modelin çözülmesi gerekecektir. Ardışık çözüm sürecinde problem daha kolay çözülebilen alt problemlere bölünmektedir. Her bir blok için yazılan modellerin büyüklüğü ve çözüm süreleri Tablo 3.25'te özetlenmektedir.

Tablo 3.25 Uygulama Problemi Modellerinin Büyüklüğü ve Çözüm Süreleri

Bloklar	Sınır Sayısı	Değişken Sayısı	Tamsayılı Değişken Sayısı	0-1 Değişken Sayısı	Çözüm Süresi (sn)
Blok 1	60	135	61	2	0,38
Blok 2	61	118	43	2	0,18
Blok 3	61	150	75	2	0,46
Blok 4	61	118	42	2	0,35
Blok 5	61	150	74	2	0,34
Blok 6	57	108	33	1	0,03
Blok 7	57	95	21	1	0,01
Blok 8	61	109	33	2	0,05
Blok 9	61	144	68	2	0,22
Blok 10	61	112	36	2	0,12
Blok 11	61	104	28	2	0,11
Blok 12	61	112	37	2	0,27

Problemi çözmek için önerilen yaklaşımda, siparişleri karşılamak üzere kesilecek bloklar, stoklanma durumları göz önünde bulundurularak tek tek ele alınmakta; kesim planları oluşturulurken, öncelikle mümkün olduğu kadar çok sipariş parçasının karşılanması sağlanmaktadır. İhtiyaçtan fazla üretilen plakalar, ilerideki siparişleri karşılamak üzere stoklanmaktadır. Modelde, üretim sürecinin özellikleri dikkate alınarak, oluşturulan kesim planlarının gerçek uygulamaları doğru yansıtması sağlanmaktadır. Her bir blok için yazılan modeller çok kısa süreler içinde çözülebilmektedir. Bu çerçevede, uygulamadaki ihtiyaçlara cevap verebilecek bir çözüm yaklaşımının geliştirildiği söylenebilir.

SONUÇ

Çalışmada, mermer endüstrilerinde karşılaşılan üç boyutlu kesme problemi ele alınmıştır. CS problemleri zengin bir literatüre sahip olmakla birlikte yapılan çalışmaların büyük bir kısmının bir ve iki boyutlu kesme problemleri üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Üç boyutlu problemler çerçevesinde ise yükleme ve yerleştirme problemleri ele alınmaktadır. Çeşitli endüstrilere yönelik uygulama çalışmaları yapılmış olmasına rağmen mermer endüstrisinde karşılaşılan kesme problemlerine değinilmemiştir.

Üretim sürecinin doğasına bağlı olarak mermer endüstrilerinde karşılaşılan kesme problemi literatürde incelenen problemlerden büyük ölçüde ayrılmaktadır. Üç boyutlu CS problemlerinde tek çeşit ya da standart birkaç çeşit stok malzemesi söz konusu iken mermer endüstrilerinde aynı boyutlarda mermer blokları elde etmek çok güçtür. Bu durum problemin karmaşıklığını daha da arttırmaktadır.

Problemin çözümü için tamsayılı doğrusal programlama modelleri geliştirilmiştir. Modeller iki farklı çözüm yaklaşımına dayanmaktadır. İlk yaklaşıma göre tüm bloklar bir arada ele alınarak fire minimizasyonu çerçevesinde optimum çözüm elde edilmektedir. Geliştirilen ana model, mevcut bloklar arasından en uygun olanlarını seçmekte ve seçilen bloklar için en iyi kesim planlarını oluşturmaktadır. İkinci yaklaşımda bloklar önceden belirlenen bir sıraya göre tek tek ele alınmakta ve ana model esas alınarak geliştirilen modellerin ardışık olarak çözülmesiyle bu bloklar için en iyi kesim planları oluşturulmaktadır. Ancak, tek bir blok için optimum kesim planı oluşturulurken bu kararın diğer bloklar üzerindeki etkisi dikkate alınmamaktadır. Her iki yaklaşıma göre elde edilen çözümler arasındaki fire farkı, ana modelin tüm alternatifleri bir arada değerlendirilerek en uygun blokları seçmesinden ve bunlar için en iyi kesim planlarını oluşturmaktan kaynaklanmaktadır.

İkinci yaklaşıma dayanan ardışık modeller optimum çözümü bulmayı garanti etmemektedir; bununla birlikte pratik değeri yüksek bir çözüm yaklaşımıdır. Uygulamada blokların önceden belirlenmiş bir sıraya göre kesilmesi çoğu zaman kaçınılmaz olmaktadır. İkinci yaklaşımda bu tür kısıtlamalar daha kolay dikkate

alınabilmektedir. Önemli bir diğer husus, ana model ile gerçek uygulama problemlerinin optimum çözümünü elde etmenin çok güç olmasıdır. İkinci yaklaşımda esas problem, tek tek bloklar bazında daha kolay çözülebilen alt problemlere ayrılmaktadır.

Bu değerlendirmeler neticesinde, bir mermer fabrikasında karşılaşılan kesme probleminin çözümü için ardışık modeller seti kullanılmıştır. Kesim planları oluşturulurken, öncelikle mümkün olduğu kadar çok sipariş parçasının karşılanması sağlanmaktadır. İhtiyaçtan fazla üretilen plakalar, ilerideki siparişleri karşılamak üzere stoklanmaktadır. Modelde, üretim sürecinin özellikleri dikkate alınarak, oluşturulan kesim planlarının gerçek uygulamaları doğru yansıtması sağlanmaktadır. Her bir blok için yazılan modeller çok kısa süreler içinde çözülebilmektedir. Bu çerçevede, uygulamadaki ihtiyaçlara cevap verebilecek bir çözüm yaklaşımının geliştirildiği söylenebilir.

KAYNAKÇA

Bischoff, E. E.; F. Janetz; M. S. W. Ratcliff; "Loading Pallets with Non-Identical Items", European Journal of Operational Research, Vol. 84, 1995, pp. 681-692.

Bischoff, E. E.; M. D. Marriott; "A Comparative Evaluation of Heuristic for Container Loading", European Journal of Operational Research, Vol. 44, 1990, pp. 267-276.

Bortfeldt, A.; H. Gehring; "A Hybrid Genetic Algorithm for The Container Loading Problem", European Journal of Operational Research, Vol. 131, 2001, pp. 143-161.

Carnieri, C.; G. A. Mendoza; L. G. Gavinho; "Solution Procedures for Cutting Lumber into Furniture Parts", European Journal of Operational Research, Vol. 73, 1994, pp. 495-501.

Chambers, M. L.; R. G. Dyson; "The Cutting Stock Problem in the Flat Glass Industry-Selection of Stock Sizes", Operational Research Quarterly, Vol. 27, No. 4, Part 2, 1976, pp. 949-957.

Chen, C. S.; S. M. Lee; Q. S. Shen; "An Analytical Model for the Container Loading Problem", European Journal of Operational Research, Vol. 80, 1995, pp. 68-76.

Chien, C.F.; W.T. Wu; "A Recursive Computational Procedure for Container Loading", Computers Ind. Engineering, Vol. 35, No. 1-2, 1998, pp. 319-322.

Chu, C.; J. Antonio; "Approximation Algorithms to Solve Real-Life Multicriteria Cutting Stock Problems", Operations Research, Vol. 47, No. 4, July-August 1999, pp. 495-508.

Correia, M. H.; J. F. Oliveira; J. S. Ferreira; “Reel and Sheet Cutting at a Paper Mill”, *Computers&Operations Research*, Vol. 31, 2004, pp. 1223-1243.

Dyckhoff, H.; “A Typology of Cutting and Packing Problems”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 44, 1990, pp. 145-159.

Dyckhoff, H.; U. Finke; *Cutting and Packing in Production and Distribution: A Typology and Bibliography*, Physica-Verlag, Heidelberg 1992.

Eley, M.; “Solving Container Loading Problems by Block Arrangement”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 141, 2002, pp. 393-409.

Eley, M.; “A Bottleneck Assignment Approach to the Multiple Container Loading Problem”, *OR Spectrum*, Vol. 25, 2003, pp.45-60.

Faina, L.; “A Global Optimization Algorithm for The Three-Dimensional Packing Problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 126, 2000, pp. 340-354.

Farley, A.; “Trim-Loss Pattern Rearrangement and Its Relevance to the Flat-Glass Industry”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 14, 1983, pp. 386-392.

Farley, A. A; “Mathematical Programming Models for Cutting-Stock Problems in the Clothing Industry”, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 39, No. 1, 1988, pp. 41-53.

Gehring, H.; A. Bortfeldt; “A Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem”, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 4, No. 5/6, 1997, pp. 401-418.

Gehring, H.; A. Bortfeldt; “A Parallel Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem”, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 9, 2002, pp. 497-511.

Gehring, H.; K. Menschner; K. Meyer; "A Computer-Based Heuristic for Packing Pooled Shipment Containers", *European Journal of Operational Research*, Vol. 44, 1990, pp. 277-288.

Gilmore, P. C.; R. E. Gomory; "A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem", *Operations Research*, Vol. 9, 1961, pp. 849-859.

Gilmore, P. C.; R. E. Gomory; "A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem-Part II", *Operations Research*, Vol. 11, 1963, pp. 863-888.

Gilmore, P. C.; R. E. Gomory; "Multistage Cutting Stock Problems of Two and More Dimensions", *Operations Research*, Vol. 13, 1964, pp. 94-120.

Gilmore, P. C.; R. E. Gomory; "The Theory and Computation of Knapsack Functions", *Operations Research*, Vol. 14, No. 6, November-December 1966, pp. 1045-1074.

Haessler, R. W.; P. E. Sweeney; "Cutting Stock Problems and Solution Procedures", *European Journal of Operational Research*, Vol. 54, 1991, pp. 141-150.

Haessler, R. W.; F. B. Talbot; "Load Planning for Shipments of Low Density Products", *European Journal of Operational Research*, Vol. 44, 1990, pp. 289-299.

Han, C. P.; K. Knott; P. J. Egbelu, "A Heuristic Approach to the Three-Dimensional Cargo-Loading Problem", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 27, No. 5, 1989, pp. 757-774.

Hifi, M.; "Exact Algorithms for Unconstrained Three-Dimensional Cutting Problems: A Comparative Study", *Computers&Operations Research*, Vol. 31, 2004, pp. 657-674.

Holthaus, O.; "Decomposition Approaches for Solving the Integer One-Dimensional Cutting Stock Problem with Different Types of Standard Lengths", *European Journal of Operational Research*, Vol. 141, 2002, pp. 295-312.

Hung, C. Y.; R. T. Sumichrast; E. C. Brown; "CPG_{EA} : A Grouping Genetic Algorithm for Material Cutting Plan Generation", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 44, 2003, pp. 651-672.

Jin, Z.; K. Ohno; J. Du; "An Efficient Approach for the Three-Dimensional Container Packing Problem with Practical Constraints", *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 21, No. 3, 2004, pp. 279-295.

Johnson, M. P.; C. Rennick, E. Zak; "Skiving Addition to the Cutting Stock Problem in the Paper Industry", *SIAM Rev.*, Vol. 39, No. 3, September 1997, pp. 472-483.

Kantorovich, L.V.; "Mathematical Methods of Organizing and Planning Production", *Management Science*, Vol. 6, No. 4, July 1960, pp. 366-422.

Lai, K. K.; J. W. M. Chan; "Developing a Simulated Annealing Algorithm for the Cutting Stock Problem", *Computers Ind. Engineering*, Vol. 32, No. 1, 1997, pp. 115-127.

Lai, K. K.; J. Xue; B. Xu; "Container Packing in a Multi-Customer DELivering Operation", *Computers Ind. Engineering*, Vol. 35, No. 1-2, 1998, pp. 323-326.

Lodi, A.; S. Martello; D. Vigo; "Heuristic Algorithms for the Three Dimensional Bin Packing Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 141, 2002, pp. 410-420.

Mack, D.; A. Bortfeldt; H. Gehring; "A Paralel Hybrid Local Search Algorithm for the Container Loading Problem", *International Transactions in Operational Research*, Vol. 11, 2004, pp. 511-533.

Martens, J.; "Two Genetic Algorithms to Solve a Layout Problem in the Fashion Industry", *European Journal of Operational Research*, Vol. 154, 2004, pp. 304-322.

Menon, S.; L. Schrage; "Order Allocation for Stock Cutting in the Paper Industry", *Operations Research*, Vol. 50, No. 2, March-April 2002, pp. 324-332.

Morabito, R.; M. Arenales; "An And/Or-Graph Approach to the Container Loading Problem", *Int. Trans. Opl. Res.*, Vol. 1, No. 1, 1994, pp. 59-73.

Pierce, J. F.; *Some Large-Scale Production Scheduling Problems in the Paper Industry*, Prentice-Hall, Inc., New York 1964.

Rönnqvist, M.; "A Method for the Cutting Stock Problem with Different Qualities", *European Journal of Operational Research*, Vol. 83, 1995, pp. 57-68.

Suliman, S.M.A.; "Pattern Generating Procedure for the Cutting Stock Problem", *International Journal of Production Economics*, Vol. 74, 2001, pp. 293-301.

Sweeney, P. E.; E. R. Paternoster; "Cutting and Packing Problems: A Categorized, Application-Oriented Research Bibliography", *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 43, No. 7, July 1992, pp. 691-706.

Terno, J.; G. Scheithaurer; U. Sommerweil et Al; "An Efficient Approach for the Multi-Pallet Loading Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 123, 2000, pp. 372-381.

Thorsen, M. N.; R. V. V. Vidal; "Operational Research in the Danish Steel Industry", *European Journal of Operational Research*, Vol. 51, 1991, pp. 301-309.

Tokuyama, H.; N. Ueno, "The Cutting Stock Problem for Large Sections in the Iron and Steel Industries", *European Journal of Operational Research*, Vol. 22, 1985, pp. 280-292.

Wagner, B. J.; "A Genetic Algorithm Solution for One-Dimensional Bundled Stock Cutting", *European Journal of Operational Research*, Vol. 117, 1999, pp. 368-381.

Xue, J.; K. K. Lai; "Effective Methods for a Container Packing Operation", Mathl. Comput. Modelling, Vol. 25, No. 2, 1997, pp. 75-84.

EKLER

EK 1. ÖRNEK PROBLEM (i=1,...5; j=1,...3) ÇÖZÜM ÇIKTILARI

Integer optimal solution (0.0001/0): Objective = 6.0324000000e+00

Solution time = 2.54 sec. Iterations = 276 Nodes = 130

Variable Name	Solution Value
F	6,0324
B11Y2	3
B11Y3	1
TB11	16
B11	1
B21Y1	5
TB21	5
B21	1
B1P3	120
B1P4	55
B21Y1Z1	3
B2P1	171
B21Y1Z2	2
B2P2	84
KB1P3	100
SB1P3	20
KB1P4	50
SB1P4	5
KB2P1	163
SB2P1	8
KB2P2	67
SB2P2	17
B1P3X1	100
B1P4X1	50
B2P1X1	101
B2P1X2	62
B2P2X1	67
B1S1	200
B1S5	300
B2S2	101
B2S3	450
B2S4	201
S1	200
S2	101
S3	450
S4	201
S5	300
SPLH	1,125
UPH	6,4986
KBH	13,656

All other variables in the range 1-118 are zero.

EK 2. UYGULAMA PROBLEMİ İÇİN X-KESİM ALTERNATİFLERİ

2.1 Kullanılan Algoritma (Suliman 2001)

1. ADIM: Parçaları boylarına göre büyükten küçüğe doğru sırala.

$$l_1 > l_2 > l_3 > \dots > l_l \quad (i = 1, \dots, l)$$

2. ADIM: Matrisin ilk sütununa (ilk kesim planına) ait elemanları (a_{i1}) belirle.

1. eleman (l_1 için) :

$$a_{11} = \left\lfloor \frac{L}{l_1} \right\rfloor \quad \lfloor x \rfloor : x \text{ ten küçük en büyük tamsayı}$$

2. eleman (l_2 için):

$$a_{21} = \left\lfloor \frac{L - a_{11} \cdot l_1}{l_2} \right\rfloor$$

i. eleman için:

$$a_{i1} = \left\lfloor \frac{L - \sum_{z=1}^{i-1} a_{z1} \cdot l_z}{l_i} \right\rfloor$$

Genel olarak, matristeki herhangi bir eleman aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$(1) \quad a_{ir} = \left\lfloor \frac{L - \sum_{z=1}^{i-1} a_{zr} \cdot l_z}{l_i} \right\rfloor$$

3. ADIM: İlk kesim planının firesini (T_1) hesapla.

$$(2) \quad T_r = L - \sum_{i=1}^l a_{ir} \cdot l_i$$

4. ADIM: Matrisin $(I - 1)$. satırını seç.

Satır indeksi $(i) = I - 1$

5. ADIM: i satırındaki (i, r) elemanının değeri 0 ($a_{ir} = 0$) ise 7. adıma git.

Aksi takdirde, aşağıdaki elemanlardan oluşan yeni bir sütun ($r = r + 1$) tanımla:

- $a_{zi} = a_{z(i-1)}$ ($z = 1, \dots, i - 1$)
(i, r) elemanından önceki elemanlar için
- $a_{ir} = a_{i(r-1)} - 1$
(i, r) elemanı için
- (1) de verilen formülle hesaplanan $a_{(i+1)r}, a_{(i+2)r}, \dots, a_{Ir}$ değerleri
oluşturulan sütunun diğer elemanları için

6. ADIM: (2) de verilen formülle r kesim planına ait fireyi hesapla.

7. ADIM: i 'yi bir azalt ($i = i - 1$).

$i > 0$ ise 5. adıma dön.

$i = 0$ ise, tüm kesim planı alternatifleri oluşturulmuştur ($r = 1, \dots, R$).

PLAKA 2 290x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	4	0	30
X2	3	1	40
X3	2	3	0
X4	1	4	10
X5	0	5	20

PLAKA 3 290x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1	1	0	0	1	0	0	0
X2	1	0	0	0	1	0	10
X3	1	0	0	0	0	1	20
X4	0	1	1	0	0	0	0
X5	0	1	0	1	0	0	10
X6	0	1	0	0	1	0	20
X7	0	1	0	0	0	1	30
X8	0	0	2	0	0	0	10
X9	0	0	1	1	0	0	20
X10	0	0	1	0	1	0	30
X11	0	0	1	0	0	1	40
X12	0	0	0	2	0	0	30
X13	0	0	0	1	1	0	40
X14	0	0	0	1	0	1	50
X15	0	0	0	0	2	0	50
X16	0	0	0	0	1	1	60
X17	0	0	0	0	0	2	70

PLAKA 4 290x40x2	S17 40	Fire
X1	6	30

2.2.2 280 lik Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

[illegible]

PLAKA 2 280x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	4	0	20
X2	3	1	30
X3	2	2	40
X4	1	4	0
X5	0	5	10

PLAKA 3 280x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1	1	0	0	0	1	0	0
X2	1	0	0	0	0	1	10
X3	0	1	0	1	0	0	0
X4	0	1	0	0	1	0	10
X5	0	1	0	0	0	1	20
X6	0	0	2	0	0	0	0
X7	0	0	1	1	0	0	10
X8	0	0	1	0	1	0	20
X9	0	0	1	0	0	1	30
X10	0	0	0	2	0	0	20
X11	0	0	0	1	1	0	30
X12	0	0	0	1	0	1	40
X13	0	0	0	0	2	0	40
X14	0	0	0	0	1	1	50
X15	0	0	0	0	0	2	60

PLAKA 4 280x40x2	S17 40	Fire
X1	6	20

2.2.3 270 lik Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

[illegible]

PLAKA 2 270x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	4	0	10
X2	3	1	20
X3	2	2	30
X4	1	3	40
X5	0	5	0

PLAKA 3 270x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1	1	0	0	0	0	1	0
X2	0	1	0	0	1	0	0
X3	0	1	0	0	0	1	10
X4	0	0	1	1	0	0	0
X5	0	0	1	0	1	0	10
X6	0	0	1	0	0	1	20
X7	0	0	0	2	0	0	10
X8	0	0	0	1	1	0	20
X9	0	0	0	1	0	1	30
X10	0	0	0	0	2	0	30
X11	0	0	0	0	1	1	40
X12	0	0	0	0	0	2	50

PLAKA 4 270x40x2	S17 40	Fire
X1	6	10

2.2.4 240 lık Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

PLAKA 1 240x30x2	S7 150	S8 140	S9 130	S10 120	S11 110	S12 100	S13 60	S14 50	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	1	0	10
X2	1	0	0	0	0	0	0	1	20
X3	0	1	0	0	0	0	1	0	20
X4	0	1	0	0	0	0	0	1	30
X5	0	0	1	0	0	0	1	0	30
X6	0	0	1	0	0	0	0	1	40
X7	0	0	0	1	0	1	0	0	0
X8	0	0	0	1	0	0	1	0	40
X9	0	0	0	1	0	0	0	2	0
X10	0	0	0	0	2	0	0	0	0
X11	0	0	0	0	1	1	0	0	10
X12	0	0	0	0	1	0	1	1	0
X13	0	0	0	0	1	0	0	2	10
X14	0	0	0	0	0	2	0	0	20
X15	0	0	0	0	0	1	2	0	0
X16	0	0	0	0	0	1	1	1	10
X17	0	0	0	0	0	1	0	2	20
X18	0	0	0	0	0	0	3	0	40
X19	0	0	0	0	0	0	2	2	0
X20	0	0	0	0	0	0	1	3	10
X21	0	0	0	0	0	0	0	4	20

PLAKA 2 240x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	3	0	40
X2	2	2	0
X3	1	3	10
X4	0	4	20

PLAKA 3 240x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	70
X2	0	1	0	0	0	0	80
X3	0	0	1	0	0	0	90
X4	0	0	0	1	0	1	0
X5	0	0	0	0	2	0	0
X6	0	0	0	0	1	1	10
X7	0	0	0	0	0	2	20

PLAKA 4 240x40x2	S17 40	Fire
X1	5	20

2.2.5 230 luk Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

PLAKA 1 230x30x2	S7 150	S8 140	S9 130	S10 120	S11 110	S12 100	S13 60	S14 50	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
X2	1	0	0	0	0	0	0	1	10
X3	0	1	0	0	0	0	1	0	10
X4	0	1	0	0	0	0	0	1	20
X5	0	0	1	0	0	0	1	0	20
X6	0	0	1	0	0	0	0	1	30
X7	0	0	0	1	0	0	1	0	30
X8	0	0	0	1	0	0	0	1	40
X9	0	0	0	0	1	1	0	0	0
X10	0	0	0	0	1	0	1	0	40
X11	0	0	0	0	1	0	0	2	0
X12	0	0	0	0	0	2	0	0	10
X13	0	0	0	0	0	1	1	1	0
X14	0	0	0	0	0	1	0	2	10
X15	0	0	0	0	0	0	3	0	30
X16	0	0	0	0	0	0	2	1	40
X17	0	0	0	0	0	0	1	3	0
X18	0	0	0	0	0	0	0	4	10

PLAKA 2 230x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	3	0	30
X2	2	1	40
X3	1	3	0
X4	0	4	10

PLAKA 3 230x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	60
X2	0	1	0	0	0	0	70
X3	0	0	1	0	0	0	80
X4	0	0	0	1	0	0	90
X5	0	0	0	0	1	1	0
X6	0	0	0	0	0	2	10

PLAKA 4 230x40x2	S17 40	Fire
X1	5	10

2.2.6 220 lık Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

PLAKA 1 220x30x2	S7 150	S8 140	S9 130	S10 120	S11 110	S12 100	S13 60	S14 50	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
X2	0	1	0	0	0	0	1	0	0
X3	0	1	0	0	0	0	0	1	10
X4	0	0	1	0	0	0	1	0	10
X5	0	0	1	0	0	0	0	1	20
X6	0	0	0	1	0	0	1	0	20
X7	0	0	0	1	0	0	0	1	30
X8	0	0	0	0	1	0	1	0	30
X9	0	0	0	0	1	0	0	1	40
X10	0	0	0	0	0	2	0	0	0
X11	0	0	0	0	0	1	1	0	40
X12	0	0	0	0	0	1	0	2	0
X13	0	0	0	0	0	0	3	0	20
X14	0	0	0	0	0	0	2	1	30
X15	0	0	0	0	0	0	1	2	40
X16	0	0	0	0	0	0	0	4	0

PLAKA 2 220x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	3	0	20
X2	2	1	30
X3	1	2	40
X4	0	4	0

PLAKA 3 220x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	50
X2	0	1	0	0	0	0	60
X3	0	0	1	0	0	0	70
X4	0	0	0	1	0	0	80
X5	0	0	0	0	1	0	90
X6	0	0	0	0	0	2	0

PLAKA 4 220x40x2	S17 40	Fire
X1	5	0

2.2.7 210 luk Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

PLAKA 1 210x30x2	S7 150	S8 140	S9 130	S10 120	S11 110	S12 100	S13 60	S14 50	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	0	0	40
X2	0	1	0	0	0	0	0	1	0
X3	0	0	1	0	0	0	1	0	0
X4	0	0	1	0	0	0	0	1	10
X5	0	0	0	1	0	0	1	0	10
X6	0	0	0	1	0	0	0	1	20
X7	0	0	0	0	1	0	1	0	20
X8	0	0	0	0	1	0	0	1	30
X9	0	0	0	0	0	1	1	0	30
X10	0	0	0	0	0	1	0	1	40
X11	0	0	0	0	0	0	3	0	10
X12	0	0	0	0	0	0	2	1	20
X13	0	0	0	0	0	0	1	2	30
X14	0	0	0	0	0	0	0	3	40

PLAKA 2 210x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	3	0	10
X2	2	1	20
X3	1	2	30
X4	0	3	40

PLAKA 3 210x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	40
X2	0	1	0	0	0	0	50
X3	0	0	1	0	0	0	60
X4	0	0	0	1	0	0	70
X5	0	0	0	0	1	0	80
X6	0	0	0	0	0	1	90

PLAKA 4 210x40x2	S17 40	Fire
X1	4	30

2.2.8 200 lük Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

PLAKA 1 200x30x2	S7 150	S8 140	S9 130	S10 120	S11 110	S12 100	S13 60	S14 50	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	0	0	30
X2	0	1	0	0	0	0	0	0	40
X3	0	0	1	0	0	0	0	1	0
X4	0	0	0	1	0	0	1	0	0
X5	0	0	0	1	0	0	0	1	10
X6	0	0	0	0	1	0	1	0	10
X7	0	0	0	0	1	0	0	1	20
X8	0	0	0	0	0	1	1	0	20
X9	0	0	0	0	0	1	0	1	30
X10	0	0	0	0	0	0	3	0	0
X11	0	0	0	0	0	0	2	1	10
X12	0	0	0	0	0	0	1	2	20
X13	0	0	0	0	0	0	0	3	30

PLAKA 2 200x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	3	0	0
X2	2	1	10
X3	1	2	20
X4	0	3	30

PLAKA 3 200x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	30
X2	0	1	0	0	0	0	40
X3	0	0	1	0	0	0	50
X4	0	0	0	1	0	0	60
X5	0	0	0	0	1	0	70
X6	0	0	0	0	0	1	80

PLAKA 4 200x40x2	S17 40	Fire
X1	4	20

2.2.9 170 lık Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

PLAKA 1 170x30x2	S7 150	S8 140	S9 130	S10 120	S11 110	S12 100	S13 60	S14 50	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
X2	0	1	0	0	0	0	0	0	10
X3	0	0	1	0	0	0	0	0	20
X4	0	0	0	1	0	0	0	0	30
X5	0	0	0	0	1	0	0	0	40
X6	0	0	0	0	0	1	0	1	0
X7	0	0	0	0	0	0	2	0	30
X8	0	0	0	0	0	0	1	1	40
X9	0	0	0	0	0	0	0	3	0

PLAKA 2 170x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	2	0	30
X2	1	1	40
X3	0	3	0

PLAKA 3 170x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1	1	0	0	0	0	0	0
X2	0	1	0	0	0	0	10
X3	0	0	1	0	0	0	20
X4	0	0	0	1	0	0	30
X5	0	0	0	0	1	0	40
X6	0	0	0	0	0	1	50

PLAKA 4 170x40x2	S17 40	Fire
X1	3	30

2.2.10 160 lik Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

PLAKA 1 160x30x2	S7 150	S8 140	S9 130	S10 120	S11 110	S12 100	S13 60	S14 50	Fire
X1		1	0	0	0	0	0	0	0
X2		0	1	0	0	0	0	0	10
X3		0	0	1	0	0	0	0	20
X4		0	0	0	1	0	0	0	30
X5		0	0	0	0	1	0	0	40
X6		0	0	0	0	0	2	0	20
X7		0	0	0	0	0	1	1	30
X8		0	0	0	0	0	0	2	40

PLAKA 2 160x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	2	0	20
X2	1	1	30
X3	0	2	40

PLAKA 3 160x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1		1	0	0	0	0	0
X2		0	1	0	0	0	10
X3		0	0	1	0	0	20
X4		0	0	0	1	0	30
X5		0	0	0	0	1	40

PLAKA 4 160x40x2	S17 40	Fire
X1	3	20

2.2.11 140 lık Plakalar İçin X-Kesim Alternatifleri

PLAKA 1 140x30x2	S7 150	S8 140	S9 130	S10 120	S11 110	S12 100	S13 60	S14 50	Fire
X1				1	0	0	0	0	0
X2				0	1	0	0	0	10
X3				0	0	1	0	0	20
X4				0	0	0	2	0	0
X5				0	0	0	1	1	10
X6				0	0	0	0	2	20

PLAKA 2 140x30x3	S15 60	S16 50	Fire
X1	2	0	0
X2	1	1	10
X3	0	2	20

PLAKA 3 140x33x3	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S5 110	S6 100	Fire
X1				1	0	0	0
X2				0	1	0	10
X3				0	0	1	20

PLAKA 4 140x40x2	S17 40	Fire
X1	3	0

EK 3. ÖRNEK UYGULAMA PROBLEMİ (i=1,...17; j=1,...5) MODELLERİ

3.1 Tüm Blokları Bir Arada Ele Alan Ana Model

min F

sınırlar

(I)

$$B_{11}+B_{12}\leq 1$$

$$B_{21}+B_{22}\leq 1$$

$$B_{31}+B_{32}\leq 1$$

$$B_{41}+B_{42}\leq 1$$

$$B_{51}+B_{52}\leq 1$$

(II)

$$30B_{11}Y_1+33B_{11}Y_2+40B_{11}Y_3+TB_{11}-155B_{11}=0$$

$$30B_{12}Y_1+33B_{12}Y_2+40B_{12}Y_3+TB_{12}-160B_{12}=0$$

$$30B_{21}Y_1+33B_{21}Y_2+40B_{21}Y_3+TB_{21}-155B_{21}=0$$

$$30B_{22}Y_1+33B_{22}Y_2+40B_{22}Y_3+TB_{22}-165B_{22}=0$$

$$30B_{31}Y_1+33B_{31}Y_2+40B_{31}Y_3+TB_{31}-125B_{31}=0$$

$$30B_{32}Y_1+33B_{32}Y_2+40B_{32}Y_3+TB_{32}-165B_{32}=0$$

$$30B_{41}Y_1+33B_{41}Y_2+40B_{41}Y_3+TB_{41}-145B_{41}=0$$

$$30B_{42}Y_1+33B_{42}Y_2+40B_{42}Y_3+TB_{42}-170B_{42}=0$$

$$30B_{51}Y_1+33B_{51}Y_2+40B_{51}Y_3+TB_{51}-135B_{51}=0$$

$$30B_{52}Y_1+33B_{52}Y_2+40B_{52}Y_3+TB_{52}-145B_{52}=0$$

(III)

$$B_{11}Y_1Z_1+B_{11}Y_1Z_2-B_{11}Y_1=0$$

$$B_{12}Y_1Z_1+B_{12}Y_1Z_2-B_{12}Y_1=0$$

$$B_{21}Y_1Z_1+B_{21}Y_1Z_2-B_{21}Y_1=0$$

$$B_{22}Y_1Z_1+B_{22}Y_1Z_2-B_{22}Y_1=0$$

$$B_{31}Y_1Z_1+B_{31}Y_1Z_2-B_{31}Y_1=0$$

$$B_{32}Y_1Z_1+B_{32}Y_1Z_2-B_{32}Y_1=0$$

$$B_{41}Y_1Z_1+B_{41}Y_1Z_2-B_{41}Y_1=0$$

$$B_{42}Y_1Z_1+B_{42}Y_1Z_2-B_{42}Y_1=0$$

$$B_{51}Y_1Z_1+B_{51}Y_1Z_2-B_{51}Y_1=0$$

$$B_{52}Y_1Z_1+B_{52}Y_1Z_2-B_{52}Y_1=0$$

(IV)

$$55B_{11}Y_1Z_1+53B_{12}Y_1Z_1-B_{11}P_1=0$$

$$40B_{11}Y_1Z_2+39B_{12}Y_1Z_2-B_{11}P_2=0$$

$$40B_{11}Y_2+39B_{12}Y_2-B_{11}P_3=0$$

$$55B_{11}Y_3+53B_{12}Y_3-B_{11}P_4=0$$

$$57B_{21}Y_1Z_1+53B_{22}Y_1Z_1-B_{21}P_1=0$$

$$42B21Y1Z2+39B22Y1Z2-B2P2=0$$

$$42B21Y2+39B22Y2-B2P3=0$$

$$57B21Y3+53B22Y3-B2P4=0$$

$$57B31Y1Z1+42B32Y1Z1-B3P1=0$$

$$42B31Y1Z2+31B32Y1Z2-B3P2=0$$

$$42B31Y2+31B32Y2-B3P3=0$$

$$57B31Y3+42B32Y3-B3P4=0$$

$$58B41Y1Z1+50B42Y1Z1-B4P1=0$$

$$43B41Y1Z2+36B42Y1Z2-B4P2=0$$

$$43B41Y2+36B42Y2-B4P3=0$$

$$58B41Y3+50B42Y3-B4P4=0$$

$$50B51Y1Z1+46B52Y1Z1-B5P1=0$$

$$36B51Y1Z2+34B52Y1Z2-B5P2=0$$

$$36B51Y2+34B52Y2-B5P3=0$$

$$50B51Y3+46B52Y3-B5P4=0$$

(V)

$$KB1P1+SB1P1-B1P1=0$$

$$KB1P2+SB1P2-B1P2=0$$

$$KB1P3+SB1P3-B1P3=0$$

$$KB1P4+SB1P4-B1P4=0$$

$$KB2P1+SB2P1-B2P1=0$$

$$KB2P2+SB2P2-B2P2=0$$

$$KB2P3+SB2P3-B2P3=0$$

$$KB2P4+SB2P4-B2P4=0$$

$$KB3P1+SB3P1-B3P1=0$$

$$KB3P2+SB3P2-B3P2=0$$

$$KB3P3+SB3P3-B3P3=0$$

$$KB3P4+SB3P4-B3P4=0$$

$$KB4P1+SB4P1-B4P1=0$$

$$KB4P2+SB4P2-B4P2=0$$

$$KB4P3+SB4P3-B4P3=0$$

$$KB4P4+SB4P4-B4P4=0$$

$$KB5P1+SB5P1-B5P1=0$$

$$KB5P2+SB5P2-B5P2=0$$

$$KB5P3+SB5P3-B5P3=0$$

$$KB5P4+SB5P4-B5P4=0$$

(VI)

$$B1P1X1+B1P1X2+B1P1X3+B1P1X4+B1P1X5+B1P1X6+B1P1X7+B1P1X8+B1P1X9+$$

$$B1P1X10+B1P1X11+B1P1X12+B1P1X13+B1P1X14+B1P1X15+B1P1X16+B1P1X17+$$

$$B1P1X18+B1P1X19+B1P1X20+B1P1X21+B1P1X22+B1P1X23+B1P1X24+B1P1X25+$$

$B1P1X26+B1P1X27+B1P1X28+B1P1X29+B1P1X30+B1P1X31+B1P1X32+B1P1X33-KB1P1=0$

$B1P2X1+B1P2X2+B1P2X3+B1P2X4+B1P2X5- KB1P2=0$

$B1P3X1+B1P3X2+B1P3X3+B1P3X4+B1P3X5+B1P3X6+B1P3X7+B1P3X8+B1P3X9+$

$B1P3X10+B1P3X11+B1P3X12 KB1P3=0$

$B1P4X1-KB1P4=0$

$B2P1X1+B2P1X2+B2P1X3+B2P1X4+B2P1X5+B2P1X6+B2P1X7+B2P1X8+B2P1X9+$

$B2P1X10+B2P1X11+B2P1X12+B2P1X13+B2P1X14+B2P1X15+B2P1X16+B2P1X17+$

$B2P1X18+B2P1X19+B2P1X20+B2P1X21- KB2P1=0$

$B2P2X1+B2P2X2+B2P2X3+B2P2X4- KB2P2=0$

$B2P3X1+B2P3X2+B2P3X3+B2P3X4+B2P3X5+B2P3X6+B2P3X7- KB2P3=0$

$B2P4X1- KB2P4=0$

$B3P1X1+B3P1X2+B3P1X3+B3P1X4+B3P1X5+B3P1X6+B3P1X7+B3P1X8+B3P1X9+$

$B3P1X10+B3P1X11+B3P1X12+B3P1X13+B3P1X14+B3P1X15+B3P1X16+B3P1X17+$

$B3P1X18+B3P1X19+B3P1X20+B3P1X21+B3P1X22+B3P1X23+B3P1X24+B3P1X25+$

$B3P1X26+B3P1X27+B3P1X28+B3P1X29+B3P1X30+B3P1X31+B3P1X32+B3P1X33+$

$B3P1X34+B3P1X35+B3P1X36+B3P1X37+B3P1X38+B3P1X39+B3P1X40+B3P1X41+$

$B3P1X42- KB3P1=0$

$B3P2X1+B3P2X2+B3P2X3+B3P2X4+B3P2X5- KB3P2=0$

$B3P3X1+B3P3X2+B3P3X3+B3P3X4+B3P3X5+B3P3X6+B3P3X7+B3P3X8+B3P3X9+$

$B3P3X10+B3P3X11+B3P3X12+B3P3X13+B3P3X14+B3P3X15+B3P3X16+B3P3X17-KB3P3=0$

$B3P4X1- KB3P4=0$

$B4P1X1+B4P1X2+B4P1X3+B4P1X4+B4P1X5+B4P1X6+B4P1X7+B4P1X8+B4P1X9+$

$B4P1X10+B4P1X11+B4P1X12+B4P1X13+B4P1X14+B4P1X15+B4P1X16+B4P1X17+$

$B4P1X18+B4P1X19+B4P1X20+B4P1X21- KB4P1=0$

$B4P2X1+B4P2X2+B4P2X3+B4P2X4- KB4P2=0$

$B4P3X1+B4P3X2+B4P3X3+B4P3X4+B4P3X5+B4P3X6+B4P3X7- KB4P3=0$

$B4P4X1- KB4P4=0$

$B5P1X1+B5P1X2+B5P1X3+B5P1X4+B5P1X5+B5P1X6+B5P1X7+B5P1X8+B5P1X9+$

$B5P1X10+B5P1X11+B5P1X12+B5P1X13+B5P1X14+B5P1X15+B5P1X16+B5P1X17+$

$B5P1X18+B5P1X19+B5P1X20+B5P1X21+B5P1X22+B5P1X23+B5P1X24+B5P1X25+$

$B5P1X26+B5P1X27+B5P1X28+B5P1X29+B5P1X30+B5P1X31+B5P1X32+B5P1X33+$

$B5P1X34+B5P1X35+B5P1X36+B5P1X37+B5P1X38+B5P1X39+B5P1X40+B5P1X41+$

$B5P1X42- KB5P1=0$

$B5P2X1+B5P2X2+B5P2X3+B5P2X4+B5P2X5-KB5P2= 0$

$B5P3X1+B5P3X2+B5P3X3+B5P3X4+B5P3X5+B5P3X6+B5P3X7+B5P3X8+B5P3X9+$

$B5P3X10+B5P3X11+B5P3X12+B5P3X13+B5P3X14+B5P3X15+B5P3X16+B5P3X17-KB5P3=0$

$B5P4X1-KB5P4=0$

(VII)

$B1P3X1-B1S1=0$

$B1P3X2+B1P3X3-B1S2=0$

$$B1P3X4+B1P3X5+B1P3X6-B1S3=0$$

$$B1P3X4+2B1P3X7+B1P3X8+B1P3X9-B1S4=0$$

$$B1P3X2+B1P3X5+B1P3X8+2B1P3X10+B1P3X11-B1S5=0$$

$$B1P3X1+B1P3X3+B1P3X6+B1P3X9+B1P3X11+2B1P3X12-B1S6=0$$

$$B1P1X1+B1P1X2+B1P1X3-B1S7=0$$

$$B1P1X4+B1P1X5+B1P1X6+B1P1X7-B1S8=0$$

$$B1P1X8+B1P1X9+B1P1X10+B1P1X11+B1P1X12+B1P1X13-B1S9=0$$

$$B1P1X8+2B1P1X14+B1P1X15+B1P1X16+B1P1X17+B1P1X18+B1P1X19-B1S10=0$$

$$B1P1X4+B1P1X9+B1P1X15+2B1P1X20+B1P1X21+B1P1X22+B1P1X23+B1P1X24-B1S11=0$$

$$B1P1X1+B1P1X5+B1P1X10+B1P1X16+B1P1X21+2B1P1X25+B1P1X26+B1P1X27+B1P1X28-B1S12=0$$

$$B1P1X2+B1P1X6+2B1P1X11+B1P1X12+2B1P1X17+B1P1X18+2B1P1X22+B1P1X23+2B1P1X26+B1P1X27+4B1P1X29+3B1P1X30+2B1P1X31+B1P1X32-B1S13=0$$

$$2B1P1X3+B1P1X6+2B1P1X7+B1P1X12+2B1P1X13+B1P1X18+2B1P1X19+B1P1X23+$$

$$2B1P1X24+B1P1X25+B1P1X27+3B1P1X28+B1P1X30+2B1P1X31+3B1P1X32+5B1P1X33-B1S14=0$$

$$4B1P2X1+3B1P2X2+2B1P2X3+B1P2X4-B1S15=0$$

$$B1P2X2+2B1P2X3+3B1P2X4+5B1P2X5-B1S16=0$$

$$6B1P4X1-B1S17=0$$

$$B1P1X16+B1P1X19+B1P1X20+B1P1X23+B1P1X26+B1P1X31-B1R1=0$$

$$B1P1X2+B1P1X21+B1P1X24+B1P1X27+B1P1X32-B1R2=0$$

$$B2P3X1-B2S1=0$$

$$B2P3X2-B2S2=0$$

$$B2P3X3-B2S3=0$$

$$B2P3X4-B2S4=0$$

$$2B2P3X5+B2P3X6-B2S5=0$$

$$B2P3X4+B2P3X6+2B2P3X7-B2S6=0$$

$$B2P1X1+B2P1X2-B2S7=0$$

$$B2P1X3+B2P1X4-B2S8=0$$

$$B2P1X5+B2P1X6-B2S9=0$$

$$B2P1X7+B2P1X8+B2P1X9-B2S10=0$$

$$2B2P1X10+B2P1X11+B2P1X12+B2P1X13-B2S11=0$$

$$B2P1X7+B2P1X11+2B2P1X14+B2P1X15+B2P1X16+B2P1X17-B2S12=0$$

$$B2P1X1+B2P1X3+B2P1X5+B2P1X8+B2P1X12+2B2P1X15+B2P1X16+3B2P1X18+$$

$$2B2P1X19+B2P1X20-B2S13=0$$

$$B2P1X2+B2P1X4+B2P1X6+2B2P1X9+B2P1X12+2B2P1X13+B2P1X16+2B2P1X17+$$

$$2B2P1X19+3B2P1X20+4B2P1X21-B2S14=0$$

$$3B2P2X1+2B2P2X2+B2P2X3-B2S15=0$$

$$2B2P2X2+3B2P2X3+4B2P2X4-B2S16=0$$

$$5B2P4X1-B2S17=0$$

$B2P1X4+B2P1X5-B2R1=0$
 $B2P1X6+B2P1X8+B2P1X18-B2R2=0$
 $B3P3X1+B3P3X2+B3P3X3-B3S1=0$
 $B3P3X4+B3P3X5+B3P3X6+B3P3X7-B3S2=0$
 $B3P3X4+2B3P3X8+B3P3X9+B3P3X10+B3P3X11-B3S3=0$
 $B3P3X1+B3P3X5+B3P3X9+2B3P3X12+B3P3X13+B3P3X14-B3S4=0$
 $B3P3X2+B3P3X6+B3P3X10+B3P3X13+2B3P3X15+B3P3X16-B3S5=0$
 $B3P3X3+B3P3X7+B3P3X11+B3P3X14+B3P3X16+2B3P3X17-B3S6=0$
 $B3P1X1+B3P1X2+B3P1X3+B3P1X4+B3P1X5+B3P1X6-B3S7=0$
 $B3P1X7+B3P1X8+B3P1X9+B3P1X10+B3P1X11+B3P1X12+B3P1X13-B3S8=0$
 $B3P1X7+2B3P1X14+B3P1X15+B3P1X16+B3P1X17+B3P1X18+B3P1X19+B3P1X20-B3S9=0$
 $B3P1X1+B3P1X8+B3P1X15+2B3P1X21+B3P1X22+B3P1X23+B3P1X24+B3P1X25+B3P1X26-$
 $B3S10=0$
 $B3P1X2+B3P1X9+B3P1X16+B3P1X22+2B3P1X27+B3P1X28+B3P1X29+B3P1X30+$
 $B3P1X31+B3P1X32-B3S11=0$
 $B3P1X3+B3P1X10+B3P1X17+B3P1X23+B3P1X28+B3P1X29+2B3P1X33+2B3P1X34+$
 $B3P1X35+B3P1X36+B3P1X37-B3S12=0$
 $2B3P1X4+B3P1X5+2B3P1X11+B3P1X12+2B3P1X18+B3P1X19+2B3P1X24+B3P1X25+$
 $B3P1X28+2B3P1X30+B3P1X31+B3P1X33+2B3P1X35+B3P1X36+4B3P1X38+3B3P1X39+$
 $2B3P1X40+B3P1X41-B3S13=0$
 $B3P1X5+2B3P1X6+B3P1X12+2B3P1X13+B3P1X19+2B3P1X20+B3P1X23+B3P1X25+$
 $3B3P1X26+B3P1X27+B3P1X29+2B3P1X31+3B3P1X32+B3P1X34+B3P1X35+2B3P1X36+$
 $3B3P1X37+B3P1X39+3B3P1X40+4B3P1X41+5B3P1X42-B3S14=0$
 $4B3P2X1+3B3P2X2+2B3P2X3+B3P2X4-B3S15=0$
 $B3P2X2+3B3P2X3+4B3P2X4+5B3P2X5-B3S16=0$
 $6B3P4X1-B3S17=0$
 $B3P1X10+B3P1X13+B3P1X16+B3P1X19+B3P1X21+B3P1X24+B3P1X38-B3R1=0$
 $B3P1X17+B3P1X20+B3P1X22+B3P1X25+B3P1X30+B3P1X39+B3P4X1-B3R2=0$
 $B4P3X1-B4S1=0$
 $B4P3X2-B4S2=0$
 $B4P3X3-B4S3=0$
 $B4P3X4-B4S4=0$
 $2B4P3X5+B4P3X6-B4S5=0$
 $B4P3X4+B4P3X6+2B4P3X7-B4S6=0$
 $B4P1X1+B4P1X2-B4S7=0$
 $B4P1X3+B4P1X4-B4S8=0$
 $B4P1X5+B4P1X6-B4S9=0$
 $B4P1X7+B4P1X8+B4P1X9-B4S10=0$
 $2B4P1X10+B4P1X11+B4P1X12+B4P1X13-B4S11=0$
 $B4P1X7+B4P1X11+2B4P1X14+B4P1X15+B4P1X16+B4P1X17-B4S12=0$

$B4P1X1+B4P1X3+B4P1X5+B4P1X8+B4P1X12+2B4P1X15+B4P1X16+3B4P1X18+$
 $2B4P1X19+B4P1X20-B4S13=0$
 $B4P1X2+B4P1X4+B4P1X6+2B4P1X9+B4P1X12+2B4P1X13+B4P1X16+2B4P1X17+$
 $2B4P1X19+3B4P1X20+4B4P1X21-B4S14=0$
 $3B4P2X1+2B4P2X2+B4P2X3-B4S15=0$
 $2B4P2X2+3B4P2X3+4B4P2X4-B4S16=0$
 $5B4P4X1-B4S17=0$
 $B4P1X4+B4P1X5-B4R1=0$
 $B4P1X6+B4P1X8+B4P1X18-B4R2=0$
 $B5P3X1+B5P3X2+B5P3X3-B5S1=0$
 $B5P3X4+B5P3X5+B5P3X6+B5P3X7-B5S2=0$
 $B5P3X4+2B5P3X8+B5P3X9+B5P3X10+B5P3X11-B5S3=0$
 $B5P3X1+B5P3X5+B5P3X9+2B5P3X12+B5P3X13+B5P3X14-B5S4=0$
 $B5P3X2+B5P3X6+B5P3X10+B5P3X13+2B5P3X15+B5P3X16-B5S5=0$
 $B5P3X3+B5P3X7+B5P3X11+B5P3X14+B5P3X16+2B5P3X17-B5S6=0$
 $B5P1X1+B5P1X2+B5P1X3+B5P1X4+B5P1X5+B5P1X6-B5S7=0$
 $B5P1X7+B5P1X8+B5P1X9+B5P1X10+B5P1X11+B5P1X12+B5P1X13-B5S8=0$
 $B5P1X7+2B5P1X14+B5P1X15+B5P1X16+B5P1X17+B5P1X18+B5P1X19+B5P1X20-B5S9=0$
 $B5P1X1+B5P1X8+B5P1X15+2B5P1X21+B5P1X22+B5P1X23+B5P1X24+$
 $B5P1X25+B5P1X26-B5S10=0$
 $B5P1X2+B5P1X9+B5P1X16+B5P1X22+2B5P1X27+B5P1X28+B5P1X29+B5P1X30+$
 $B5P1X31+B5P1X32-B5S11=0$
 $B5P1X3+B5P1X10+B5P1X17+B5P1X23+B5P1X28+B5P1X29+2B5P1X33+2B5P1X34+$
 $B5P1X35+B5P1X36+B5P1X37-B5S12=0$
 $2B5P1X4+B5P1X5+2B5P1X11+B5P1X12+2B5P1X18+B5P1X19+2B5P1X24+B5P1X25+$
 $B5P1X28+2B5P1X30+B5P1X31+B5P1X33+2B5P1X35+B5P1X36+4B5P1X38+3B5P1X39+$
 $2B5P1X40+B5P1X41-B5S13=0$
 $B5P1X5+2B5P1X6+B5P1X12+2B5P1X13+B5P1X19+2B5P1X20+B5P1X23+B5P1X25+$
 $3B5P1X26+B5P1X27+B5P1X29+2B5P1X31+3B5P1X32+B5P1X34+B5P1X35+2B5P1X36+$
 $3B5P1X37+B5P1X39+3B5P1X40+4B5P1X41+5B5P1X42-B5S14=0$
 $4B5P2X1+3B5P2X2+2B5P2X3+B5P2X4-B5S15=0$
 $B5P2X2+3B5P2X3+4B5P2X4+5B5P2X5-B5S16=0$
 $6B5P4X1-B5S17=0$
 $B5P1X10+B5P1X13+B5P1X16+B5P1X19+B5P1X21+B5P1X24+B5P1X38-B5R1=0$
 $B5P1X17+B5P1X20+B5P1X22+B5P1X25+B5P1X30+B5P1X39+B5P4X1-B5R2=0$
(VIII)
 $B1S1+B2S1+B3S1+B4S1+B5S1-S1=0$
 $B1S2+B2S2+B3S2+B4S2+B5S2-S2=0$
 $B1S3+B2S3+B3S3+B4S3+B5S3-S3=0$
 $B1S4+B2S4+B3S4+B4S4+B5S4-S4=0$

$$B1S5+B2S5+B3S5+B4S5+B5S5-S5=0$$

$$B1S6+B2S6+B3S6+B4S6+B5S6-S6=0$$

$$B1S7+B2S7+B3S7+B4S7+B5S7-S7=0$$

$$B1S8+B2S8+B3S8+B4S8+B5S8-S8=0$$

$$B1S9+B2S9+B3S9+B4S9+B5S9-S9=0$$

$$B1S10+B2S10+B3S10+B4S10+B5S10-S10=0$$

$$B1S11+B2S11+B3S11+B4S11+B5S11-S11=0$$

$$B1S12+B2S12+B3S12+B4S12+B5S12-S12=0$$

$$B1S13+B2S13+B3S13+B4S13+B5S13-S13=0$$

$$B1S14+B2S14+B3S14+B4S14+B5S14-S14=0$$

$$B1S15+B2S15+B3S15+B4S15+B5S15-S15=0$$

$$B1S16+B2S16+B3S16+B4S16+B5S16-S16=0$$

$$B1S17+B2S17+B3S17+B4S17+B5S17-S17=0$$

$$B1R1+B2R1+B3R1+B4R1+B5R1-R1=0$$

$$B1R2+B2R2+B3R2+B4R2+B5R2-R2=0$$

(IX)

$$S1 \geq 12$$

$$S2 \geq 12$$

$$S3 \geq 36$$

$$S4 \geq 36$$

$$S5 \geq 36$$

$$S6 \geq 12$$

$$S7 \geq 6$$

$$S8 \geq 6$$

$$S9 \geq 18$$

$$S10 \geq 18$$

$$S11 \geq 18$$

$$S12 \geq 6$$

$$S13 \geq 300$$

$$S14 \geq 360$$

$$S15 \geq 200$$

$$S16 \geq 240$$

$$S17 \geq 340$$

(X)

$$TB11-5B11 \geq 0$$

$$TB12-5B12 \geq 0$$

$$TB21-5B21 \geq 0$$

$$TB22-5B22 \geq 0$$

$$TB31-5B31 \geq 0$$

$$TB32-5B32 \geq 0$$

$$TB41-5B41 \geq 0$$

$$TB42-5B42 \geq 0$$

$$TB51-5B51 \geq 0$$

$$TB52-5B52 \geq 0$$

(XI)

$$7.128B11+7.128B12+6.528B21+6.528B22+6.409B31+6.409B32+6.3B41+6.3B42+6.09B51+6.09B52-KBH=0$$

$$0.01485S1+0.01386S2+0.01287S3+0.01188S4+0.01089S5+0.0099S6+0.009S7+0.0084S8+0.0078S9+0.0072S10+0.0066S11+0.006S12+0.0036S13+0.003S14+0.0054S15+0.0045S16+0.0032S17+0.0018R1+0.0024R2-UPH=0$$

$$0.0162SB1P1+ 0.0243SB1P2+ 0.02673SB1P3+ 0.0216SB1P4+0.0144SB2P1+$$

$$0.0216SB2P2+ 0.02376SB2P3+ 0.0192SB2P4+0.0174SB3P1+ 0.0261SB3P2+$$

$$0.02871SB3P3+ 0.0232SB3P4+0.0144SB4P1+ 0.0216SB4P2+ 0.02376SB4P3+$$

$$0.0192SB4P4+0.0174SB5P1+ 0.0261SB5P2+ 0.02871SB5P3+ 0.0232SB5P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)= F$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

3.2 Her Bloğu Tek Tek Ele Alan Ardışık Modeller

FBj: j. bloğun kesilmesi sonucu ortaya çıkan fire

Fj: ilk j bloğun kesilmesi sonucu ortaya çıkan toplam fire tanımlamaktadır.

3.2.1 Blok 1

min 100.KSH-SPLH

sınırlar

(I)

$$B11+B12 \leq 1$$

(II)

$$30B11Y1+33B11Y2+40B11Y3+TB11-155B11=0$$

$$30B12Y1+33B12Y2+40B12Y3+TB12-160B12=0$$

(III)

$$B11Y1Z1+B11Y1Z2-B11Y1=0$$

$$B12Y1Z1+B12Y1Z2-B12Y1=0$$

(IV)

$$55B11Y1Z1+53B12Y1Z1-B1P1=0$$

$$40B11Y1Z2+39B12Y1Z2-B1P2=0$$

$$40B11Y2+39B12Y2-B1P3=0$$

$$55B11Y3+53B12Y3-B1P4=0$$

(V)

$$KB1P1+SB1P1-B1P1=0$$

$$KB1P2+SB1P2-B1P2=0$$

$$KB1P3+SB1P3-B1P3=0$$

$$KB1P4+SB1P4-B1P4=0$$

(VI)

$$B1P1X1+B1P1X2+B1P1X3+B1P1X4+B1P1X5+B1P1X6+B1P1X7+B1P1X8+B1P1X9+$$

$$B1P1X10+B1P1X11+B1P1X12+B1P1X13+B1P1X14+B1P1X15+B1P1X16+B1P1X17+$$

$$B1P1X18+B1P1X19+B1P1X20+B1P1X21+B1P1X22+B1P1X23+B1P1X24+B1P1X25+$$

$$B1P1X26+B1P1X27+B1P1X28+B1P1X29+B1P1X30+B1P1X31+B1P1X32+B1P1X33-KB1P1=0$$

$$B1P2X1+B1P2X2+B1P2X3+B1P2X4+B1P2X5-KB1P2=0$$

$$B1P3X1+B1P3X2+B1P3X3+B1P3X4+B1P3X5+B1P3X6+B1P3X7+B1P3X8+B1P3X9+$$

$$B1P3X10+B1P3X11+B1P3X12-KB1P3=0$$

$$B1P4X1-KB1P4=0$$

(VII)

$$B1P3X1-B1S1=0$$

$$B1P3X2+B1P3X3-B1S2=0$$

$$B1P3X4+B1P3X5+B1P3X6-B1S3=0$$

$$B1P3X4+2B1P3X7+B1P3X8+B1P3X9-B1S4=0$$

$$B1P3X2+B1P3X5+B1P3X8+2B1P3X10+B1P3X11-B1S5=0$$

$$B1P3X1+B1P3X3+B1P3X6+B1P3X9+B1P3X11+2B1P3X12-B1S6=0$$

$$B1P1X1+B1P1X2+B1P1X3-B1S7=0$$

$$B1P1X4+B1P1X5+B1P1X6+B1P1X7-B1S8=0$$

$$B1P1X8+B1P1X9+B1P1X10+B1P1X11+B1P1X12+B1P1X13-B1S9=0$$

$$B1P1X8+2B1P1X14+B1P1X15+B1P1X16+B1P1X17+B1P1X18+B1P1X19-B1S10=0$$

$$B1P1X4+B1P1X9+B1P1X15+2B1P1X20+B1P1X21+B1P1X22+B1P1X23+B1P1X24-B1S11=0$$

$$B1P1X1+B1P1X5+B1P1X10+B1P1X16+B1P1X21+2B1P1X25+B1P1X26+B1P1X27+B1P1X28-B1S12=0$$

$$B1P1X2+B1P1X6+2B1P1X11+B1P1X12+2B1P1X17+B1P1X18+2B1P1X22+B1P1X23+2B1P1X26+B1P1X27+4B1P1X29+3B1P1X30+2B1P1X31+B1P1X32-B1S13=0$$

$$2B1P1X3+B1P1X6+2B1P1X7+B1P1X12+2B1P1X13+B1P1X18+2B1P1X19+B1P1X23+$$

$$2B1P1X24+B1P1X25+B1P1X27+3B1P1X28+B1P1X30+2B1P1X31+3B1P1X32+5B1P1X33-B1S14=0$$

$$4B1P2X1+3B1P2X2+2B1P2X3+B1P2X4-B1S15=0$$

$$B1P2X2+2B1P2X3+3B1P2X4+5B1P2X5-B1S16=0$$

$$6B1P4X1-B1S17=0$$

$$B1P1X16+B1P1X19+B1P1X20+B1P1X23+B1P1X26+B1P1X31-B1R1=0$$

$$B1P1X2+B1P1X21+B1P1X24+B1P1X27+B1P1X32-B1R2=0$$

(VIII)

$$B1S1+AB1S1-YB1S1=12$$

$$B1S2+AB1S2-YB1S2=12$$

$$B1S3+AB1S3-YB1S3=36$$

$$B1S4+AB1S4-YB1S4=36$$

$$B1S5+AB1S5-YB1S5=36$$

$$B1S6+AB1S6-YB1S6=12$$

$$B1S7+AB1S7-YB1S7=6$$

$$B1S8+AB1S8-YB1S8=6$$

$$B1S9+AB1S9-YB1S9=18$$

$$B1S10+AB1S10-YB1S10=18$$

$$B1S11+AB1S11-YB1S11=18$$

$$B1S12+AB1S12-YB1S12=6$$

$$B1S13+AB1S13-YB1S13=300$$

$$B1S14+AB1S14-YB1S14=360$$

$$B1S15+AB1S15-YB1S15=200$$

$$B1S16+AB1S16-YB1S16=240$$

$$B1S17+AB1S17-YB1S17=340$$

(IX)

$$TB11-5B11 \geq 0$$

$$TB12-5B12 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB1S1 + 0.01386AB1S2 + 0.01287AB1S3 + 0.01188AB1S4 + 0.01089AB1S5 + \\ 0.0099AB1S6 + 0.009AB1S7 + 0.0084AB1S8 + 0.0078AB1S9 + 0.0072AB1S10 + 0.0066AB1S11 + \\ 0.006AB1S12 + 0.0036AB1S13 + 0.003AB1S14 + 0.0054AB1S15 + 0.0045AB1S16 + 0.0032AB1S17 - \\ KSH = 0$$

$$7.128B11 + 7.128B12 - KBH = 0$$

$$0.01485B1S1 + 0.01386B1S2 + 0.01287B1S3 + 0.01188B1S4 + 0.01089B1S5 + 0.0099B1S6 + \\ 0.009B1S7 + 0.0084B1S8 + 0.0078B1S9 + 0.0072B1S10 + 0.0066B1S11 + 0.006B1S12 + \\ 0.0036B1S13 + 0.003B1S14 + 0.0054B1S15 + 0.0045B1S16 + 0.0032B1S17 + 0.0018B1R1 + \\ 0.0024B1R2 - UPH = 0$$

$$0.0162SB1P1 + 0.0243SB1P2 + 0.02673SB1P3 + 0.0216SB1P4 - SPLH = 0$$

$$KBH - (UPH + SPLH) = FB1$$

ve

Negatif olmama ve tamsayıllık şartları

3.2.2 Blok 2

$$\min \quad 100KSH - SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B21 + B22 \leq 1$$

(II)

$$30B21Y1 + 33B21Y2 + 40B21Y3 + TB21 - 155B21 = 0$$

$$30B22Y1 + 33B22Y2 + 40B22Y3 + TB22 - 165B22 = 0$$

(III)

$$B21Y1Z1 + B21Y1Z2 - B21Y1 = 0$$

$$B22Y1Z1 + B22Y1Z2 - B22Y1 = 0$$

(IV)

$$57B21Y1Z1 + 53B22Y1Z1 - B2P1 = 0$$

$$42B21Y1Z2 + 39B22Y1Z2 - B2P2 = 0$$

$$42B21Y2 + 39B22Y2 - B2P3 = 0$$

$$57B21Y3 + 53B22Y3 - B2P4 = 0$$

(V)

$$KB2P1 + SB2P1 - B2P1 = 0$$

$$KB2P2 + SB2P2 - B2P2 = 0$$

$$KB2P3 + SB2P3 - B2P3 = 0$$

$$KB2P4 + SB2P4 - B2P4 = 0$$

(VI)

$$B2P1X1+B2P1X2+B2P1X3+B2P1X4+B2P1X5+B2P1X6+B2P1X7+B2P1X8+B2P1X9+ \\ B2P1X10+B2P1X11+B2P1X12+B2P1X13+B2P1X14+B2P1X15+B2P1X16+B2P1X17+ \\ B2P1X18+B2P1X19+B2P1X20+B2P1X21-KB2P1=0$$

$$B2P2X1+B2P2X2+B2P2X3+B2P2X4-KB2P2=0$$

$$B2P3X1+B2P3X2+B2P3X3+B2P3X4+B2P3X5+B2P3X6+B2P3X7-KB2P3=0$$

$$B2P4X1-KB2P4=0$$

(VII)

$$B2P3X1-B2S1=0$$

$$B2P3X2-B2S2=0$$

$$B2P3X3-B2S3=0$$

$$B2P3X4-B2S4=0$$

$$2B2P3X5+B2P3X6-B2S5=0$$

$$B2P3X4+B2P3X6+2B2P3X7-B2S6=0$$

$$B2P1X1+B2P1X2-B2S7=0$$

$$B2P1X3+B2P1X4-B2S8=0$$

$$B2P1X5+B2P1X6-B2S9=0$$

$$B2P1X7+B2P1X8+B2P1X9-B2S10=0$$

$$2B2P1X10+B2P1X11+B2P1X12+B2P1X13-B2S11=0$$

$$B2P1X7+B2P1X11+2B2P1X14+B2P1X15+B2P1X16+B2P1X17-B2S12=0$$

$$B2P1X1+B2P1X3+B2P1X5+B2P1X8+B2P1X12+2B2P1X15+B2P1X16+3B2P1X18+ \\ 2B2P1X19+B2P1X20-B2S13=0$$

$$B2P1X2+B2P1X4+B2P1X6+2B2P1X9+B2P1X12+2B2P1X13+B2P1X16+2B2P1X17+ \\ 2B2P1X19+3B2P1X20+4B2P1X21-B2S14=0$$

$$3B2P2X1+2B2P2X2+B2P2X3-B2S15=0$$

$$2B2P2X2+3B2P2X3+4B2P2X4-B2S16=0$$

$$5B2P4X1-B2S17=0$$

$$B2P1X4+B2P1X5-B2R1=0$$

$$B2P1X6+B2P1X8+B2P1X18-B2R2=0$$

(VIII)

$$B2S1+AB2S1-YB2S1=0$$

$$B2S2+AB2S2-YB2S2=12$$

$$B2S3+AB2S3-YB2S3=9$$

$$B2S4+AB2S4-YB2S4=9$$

$$B2S5+AB2S5-YB2S5=36$$

$$B2S6+AB2S6-YB2S6=0$$

$$B2S7+AB2S7-YB2S7=0$$

$$B2S8+AB2S8-YB2S8=0$$

$$B2S9+AB2S9-YB2S9=0$$

$$B2S10+AB2S10-YB2S10=0$$

$$B2S11+AB2S11-YB2S11 =12$$

$$B2S12+AB2S12-YB2S12 =0$$

$$B2S13+AB2S13-YB2S13 =284$$

$$B2S14+AB2S14-YB2S14 =0$$

$$B2S15+AB2S15-YB2S15 =80$$

$$B2S16+AB2S16-YB2S16 =0$$

$$B2S17+AB2S17-YB2S17 =340$$

(IX)

$$TB21-5B21 \geq 0$$

$$TB22-5B22 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB2S1+0.01386AB2S2+0.01287AB2S3+0.01188AB2S4+0.01089AB2S5+ \\ 0.0099AB2S6+0.009AB2S7+0.0084AB2S8+0.0078AB2S9+0.0072AB2S10+0.0066AB2S11+ \\ 0.006AB2S12+0.0036AB2S13+0.003AB2S14+0.0054AB2S15+0.0045AB2S16+0.0032AB2S17- \\ KSH=0$$

$$6.528B21+6.528B22-KBH=0$$

$$0.01485B2S1+0.01386B2S2+0.01287B2S3+0.01188B2S4+0.01089B2S5+0.0099B2S6+ \\ 0.009B2S7+0.0084B2S8+0.0078B2S9+0.0072B2S10+0.0066B2S11+0.006B2S12+ \\ 0.0036B2S13+0.003B2S14+0.0054B2S15+0.0045B2S16+0.0032B2S17+0.0018B2R1+ \\ 0.0024B2R2-UPH=0$$

$$0.0144SB2P1+ 0.0216SB2P2+ 0.02376SB2P3+ 0.0192SB2P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB2$$

$$F2=2.84715+FB2$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

3.2.3 Blok 3

$$\min \quad 100KSH-SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B31+B32 \leq 1$$

(II)

$$30B31Y1+33B31Y2+40B31Y3+TB31-125B31=0$$

$$30B32Y1+33B32Y2+40B32Y3+TB32-165B32=0$$

(III)

$$B31Y1Z1+B31Y1Z2-B31Y1=0$$

$$B32Y1Z1+B32Y1Z2-B32Y1=0$$

(IV)

$$57B31Y1Z1+42B32Y1Z1-B3P1=0$$

$$42B31Y1Z2+31B32Y1Z2-B3P2=0$$

$$42B31Y2+31B32Y2-B3P3=0$$

$$57B31Y3+42B32Y3-B3P4=0$$

(V)

$$KB3P1+SB3P1-B3P1=0$$

$$KB3P2+SB3P2-B3P2=0$$

$$KB3P3+SB3P3-B3P3=0$$

$$KB3P4+SB3P4-B3P4=0$$

(VI)

$$\begin{aligned} &B3P1X1+B3P1X2+B3P1X3+B3P1X4+B3P1X5+B3P1X6+B3P1X7+B3P1X8+B3P1X9+ \\ &B3P1X10+B3P1X11+B3P1X12+B3P1X13+B3P1X14+B3P1X15+B3P1X16+B3P1X17+ \\ &B3P1X18+B3P1X19+B3P1X20+B3P1X21+B3P1X22+B3P1X23+B3P1X24+B3P1X25+ \\ &B3P1X26+B3P1X27+B3P1X28+B3P1X29+B3P1X30+B3P1X31+B3P1X32+B3P1X33+ \\ &B3P1X34+B3P1X35+B3P1X36+B3P1X37+B3P1X38+B3P1X39+B3P1X40+B3P1X41+ \\ &B3P1X42-KB3P1=0 \end{aligned}$$

$$B3P2X1+B3P2X2+B3P2X3+B3P2X4+B3P2X5-KB3P2=0$$

$$B3P3X1+B3P3X2+B3P3X3+B3P3X4+B3P3X5+B3P3X6+B3P3X7+B3P3X8+B3P3X9+$$

$$B3P3X10+B3P3X11+B3P3X12+B3P3X13+B3P3X14+B3P3X15+B3P3X16+B3P3X17-KB3P3=0$$

$$B3P4X1-KB3P4=0$$

(VII)

$$B3P3X1+B3P3X2+B3P3X3-B3S1=0$$

$$B3P3X4+B3P3X5+B3P3X6+B3P3X7-B3S2=0$$

$$B3P3X4+2B3P3X8+B3P3X9+B3P3X10+B3P3X11-B3S3=0$$

$$B3P3X1+B3P3X5+B3P3X9+2B3P3X12+B3P3X13+B3P3X14-B3S4=0$$

$$B3P3X2+B3P3X6+B3P3X10+B3P3X13+2B3P3X15+B3P3X16-B3S5=0$$

$$B3P3X3+B3P3X7+B3P3X11+B3P3X14+B3P3X16+2B3P3X17-B3S6=0$$

$$B3P1X1+B3P1X2+B3P1X3+B3P1X4+B3P1X5+B3P1X6-B3S7=0$$

$$B3P1X7+B3P1X8+B3P1X9+B3P1X10+B3P1X11+B3P1X12+B3P1X13-B3S8=0$$

$$B3P1X7+2B3P1X14+B3P1X15+B3P1X16+B3P1X17+B3P1X18+B3P1X19+B3P1X20-B3S9=0$$

$$B3P1X1+B3P1X8+B3P1X15+2B3P1X21+B3P1X22+B3P1X23+B3P1X24+B3P1X25+$$

$$B3P1X26-B3S10=0$$

$$B3P1X2+B3P1X9+B3P1X16+B3P1X22+2B3P1X27+B3P1X28+B3P1X29+B3P1X30+$$

$$B3P1X31+B3P1X32-B3S11=0$$

$$B3P1X3+B3P1X10+B3P1X17+B3P1X23+B3P1X28+B3P1X29+2B3P1X33+2B3P1X34+$$

$$B3P1X35+B3P1X36+B3P1X37-B3S12=0$$

$$2B3P1X4+B3P1X5+2B3P1X11+B3P1X12+2B3P1X18+B3P1X19+2B3P1X24+B3P1X25+$$

$$B3P1X28+2B3P1X30+B3P1X31+B3P1X33+2B3P1X35+B3P1X36+4B3P1X38+3B3P1X39+$$

$$2B3P1X40+B3P1X41-B3S13=0$$

$$B3P1X5+2B3P1X6+B3P1X12+2B3P1X13+B3P1X19+2B3P1X20+B3P1X23+B3P1X25+$$

$$3B3P1X26+B3P1X27+B3P1X29+2B3P1X31+3B3P1X32+B3P1X34+B3P1X35+2B3P1X36+$$

$$3B3P1X37+B3P1X39+3B3P1X40+4B3P1X41+5B3P1X42-B3S14=0$$

$$4B3P2X1+3B3P2X2+2B3P2X3+B3P2X4-B3S15=0$$

$$B3P2X2+3B3P2X3+4B3P2X4+5B3P2X5-B3S16=0$$

$$6B3P4X1-B3S17=0$$

$$B3P1X10+B3P1X13+B3P1X16+B3P1X19+B3P1X21+B3P1X24+B3P1X38-B3R1=0$$

$$B3P1X17+B3P1X20+B3P1X22+B3P1X25+B3P1X30+B3P1X39+B3P4X1-B3R2=0$$

(VIII)

$$B3S1+AB3S1-YB3S1=0$$

$$B3S2+AB3S2-YB3S2=0$$

$$B3S3+AB3S3-YB3S3=0$$

$$B3S4+AB3S4-YB3S4=6$$

$$B3S5+AB3S5-YB3S5=0$$

$$B3S6+AB3S6-YB3S6=0$$

$$B3S7+AB3S7-YB3S7=0$$

$$B3S8+AB3S8-YB3S8=0$$

$$B3S9+AB3S9-YB3S9=0$$

$$B3S10+AB3S10-YB3S10=0$$

$$B3S11+AB3S11-YB3S11=0$$

$$B3S12+AB3S12-YB3S12=0$$

$$B3S13+AB3S13-YB3S13=0$$

$$B3S14+AB3S14-YB3S14=0$$

$$B3S15+AB3S15-YB3S15=80$$

$$B3S16+AB3S16-YB3S16=0$$

$$B3S17+AB3S17-YB3S17=55$$

(IX)

$$TB31-5B31 \geq 0$$

$$TB32-5B32 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB3S1+0.01386AB3S2+0.01287AB3S3+0.01188AB3S4+0.01089AB3S5+$$

$$0.0099AB3S6+0.009AB3S7+0.0084AB3S8+0.0078AB3S9+0.0072AB3S10+0.0066AB3S11+$$

$$0.006AB3S12+0.0036AB3S13+0.003AB3S14+0.0054AB3S15+0.0045AB3S16+0.0032AB3S17-$$

$$KSH=0$$

$$6.409B31+6.409B32-KBH=0$$

$$0.01485B3S1+0.01386B3S2+0.01287B3S3+0.01188B3S4+0.01089B3S5+0.0099B3S6+$$

$$0.009B3S7+0.0084B3S8+0.0078B3S9+0.0072B3S10+0.0066B3S11+0.006B3S12+$$

$$0.0036B3S13+0.003B3S14+0.0054B3S15+0.0045B3S16+0.0032B3S17+0.0018B3R1+$$

$$0.0024B3R2-UPH=0$$

$$0.0174SB3P1+0.0261SB3P2+0.02871SB3P3+0.0232SB3P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB3$$

$$F3=6.20322+FB3$$

EK 4. ÖRNEK UYGULAMA PROBLEMİ (i=1,...17; j=1,...5) ÇÖZÜM ÇIKTILARI

4.1 Tüm Blokları Bir Arada Ele Alan Ana Modelin Çözümü

Integer optimal solution (0.0001/0): Objective = 7.2407400000e+00

Solution time = 576.61 sec. Iterations = 38551 Nodes = 4447

Variable Name	Solution Value	Variable Name	Solution Value	Variable Name	Solution Value
F	7,24074	B3P1X7	6	B4S9	6
B31Y1	4	B3P1X19	1	B4S10	1
TB31	5	B3P1X20	5	B4S11	16
B31	1	B3P1X23	5	B4S13	246
B42Y1	3	B3P1X26	6	B4S14	246
B42Y2	1	B3P1X27	1	B4S17	65
B42Y3	1	B3P1X35	1	B4R1	4
TB42	7	B3P1X40	26	B4R2	2
B42	1	B3P2X3	100	B5S1	24
B52Y2	3	B4P1X5	4	B5S2	12
B52Y3	1	B4P1X6	2	B5S3	36
TB52	6	B4P1X9	1	B5S4	24
B52	1	B4P1X10	8	B5S17	276
B31Y1Z1	1	B4P1X19	121	B5R2	46
B3P1	57	B4P3X4	12	S1	24
B31Y1Z2	3	B4P3X5	18	S2	12
B3P2	126	B4P4X1	13	S3	36
B42Y1Z1	3	B5P3X1	24	S4	36
B4P1	150	B5P3X4	12	S5	36
B4P3	36	B5P3X8	12	S6	12
B4P4	50	B5P4X1	46	S7	6
B5P3	102	B3S7	6	S8	6
B5P4	46	B3S8	6	S9	18
KB3P1	57	B3S9	12	S10	18
KB3P2	100	B3S10	17	S11	18
SB3P2	26	B3S11	2	S12	6
KB4P1	136	B3S12	6	S13	301
SB4P1	14	B3S13	55	S14	360
KB4P3	30	B3S14	114	S15	200
SB4P3	6	B3S15	200	S16	300
KB4P4	13	B3S16	300	S17	341
SB4P4	37	B3R1	1	R1	5
KB5P3	48	B3R2	5	R2	53
SB5P3	54	B4S4	12	UPH	8,27476
KB5P4	46	B4S5	36	SPLH	3,2835
B3P1X1	6	B4S6	12	KBH	18,799

All other variables in the range 1-495 are zero.

4.2 Her Bloğu Tek Tek Ele Alan Ardışık Modellerin Çözümü

4.2.1 Blok 1 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 3.4027100000e+02

Solution time = 0.26 sec. Iterations = 104 Nodes = 17

Variable Name	Solution Value	Variable Name	Solution Value
KSH	3,40271	B1S3	27
B12Y1	4	B1S4	27
B12Y2	1	B1S6	12
TB12	7	B1S7	6
B12	1	B1S8	6
B12Y1Z1	2	B1S9	18
B1P1	106	B1S10	18
B12Y1Z2	2	B1S11	6
B1P2	78	B1S12	6
B1P3	39	B1S13	16
B1P1X1	6	B1S14	360
B1P1X4	6	B1S15	120
B1P1X8	10	B1S16	240
B1P1X11	8	AB1S2	12
B1P1X14	4	AB1S3	9
B1P1X33	72	AB1S4	9
KB1P1	106	AB1S5	36
B1P2X1	30	AB1S11	12
B1P2X5	48	AB1S13	284
KB1P2	78	AB1S15	80
B1P3X1	12	AB1S17	340
B1P3X4	27	KBH	7,128
KB1P3	39	UPH	4,28085
B1S1	12	FB1	2,84715

All other variables in the range 1-135 are zero.

4.2.2 Blok 2 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution (0.0001/0): Objective = 6.7740800000e+01

Solution time = 0.32 sec. Iterations = 88 Nodes = 31

Variable Name	Solution Value
KSH	0,67928
SPLH	0,1872
B21Y1	2
B21Y2	1
B21Y3	1
TB21	22
B21	1
B21Y1Z1	2
B2P1	114
B2P3	42
B2P4	57
B2P1X10	6
B2P1X18	95
KB2P1	101
B2P3X2	12
B2P3X3	9
B2P3X4	3
B2P3X5	18
KB2P3	42
B2P4X1	57
KB2P4	57
SB2P1	13
B2S2	12
B2S3	9
B2S4	3
B2S5	36
B2S6	3
B2S11	12
B2S13	285
B2S17	285
B2R2	95
AB2S4	6
YB2S6	3
YB2S13	1
AB2S15	80
AB2S17	55
UPH	2,98473
KBH	6,528
FB2	3,35607
F2	6,20322

All other variables in the range 1-118 are zero.

4.2.3 Blok 3 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution (0.0001/0): Objective = -2.8077800000e+00

Solution time = 0.50 sec. Iterations = 92 Nodes = 78

Variable Name	Solution Value
SPLH	2,80778
B32Y1	1
B32Y2	1
B32Y3	2
TB32	22
B32	1
B32Y1Z2	1
B3P2	31
B3P3	31
B3P4	84
B3P2X1	20
KB3P2	20
B3P3X12	3
KB3P3	3
B3P4X1	10
KB3P4	10
SB3P2	11
SB3P3	28
SB3P4	74
B3S4	6
B3S15	80
B3S17	60
B3R2	10
YB3S17	5
UPH	0,71928
KBH	6,409
FB3	2,88194
F3	9,08516

All other variables in the range 1-150 are zero.

4.3 Tüm Blokları Bir Arada Ele Alan Ana Modelin İlk 3 Blok İçin Çözümü

Integer optimal solution (0.0001/0): Objective = 7.6340800000e+00

Solution time = 122.02 sec. Iterations = 8737 Nodes = 1976

Variable Name	Solution Value	Variable Name	Solution Value
F	7,63408	B3P1X39	1
B11Y2	2	B3P1X40	117
B11Y3	2	B3P2X3	42
TB11	9	B1S1	12
B11	1	B1S2	28
B21Y1	5	B1S3	36
TB21	5	B1S4	36
B21	1	B1S5	36
B31Y1	4	B1S6	12
TB31	5	B1S17	342
B31	1	B2S15	116
B1P3	80	B2S16	116
B1P4	110	B3S7	6
B21Y1Z2	5	B3S8	6
B2P2	210	B3S9	18
B31Y1Z1	3	B3S10	18
B3P1	171	B3S11	18
B31Y1Z2	1	B3S12	6
B3P2	42	B3S13	300
KB1P3	80	B3S14	360
KB1P4	57	B3S15	84
SB1P4	53	B3S16	126
KB2P2	58	B3R1	32
SB2P2	152	B3R2	3
KB3P1	170	S1	12
SB3P1	1	S2	28
KB3P2	42	S3	36
B1P3X1	12	S4	36
B1P3X2	28	S5	36
B1P3X4	28	S6	12
B1P3X5	8	S7	6
B1P3X7	4	S8	6
B1P4X1	57	S9	18
B2P2X2	58	S10	18
B3P1X1	4	S11	18
B3P1X4	2	S12	6
B3P1X7	5	S13	300
B3P1X10	1	S14	360
B3P1X16	11	S15	200
B3P1X17	1	S16	242
B3P1X20	1	S17	342
B3P1X21	5	R1	32
B3P1X23	3	R2	3
B3P1X24	1	UPH	7,98552
B3P1X27	3	SPLH	4,4454
B3P1X28	1	KBH	20,065
B3P1X38	14		

All other variables in the range 1-307 are zero.

4.4 Tüm Blokları Bir Arada Ele Alan Modelin İlk 3 Blok (B12=1,B21=1, B32=1) İçin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 7.8844600000e+00

Solution time = 33.98 sec. Iterations = 1951 Nodes = 960

Variable Name	Solution Value	Variable Name	Solution Value	Variable Name	Solution Value
F	7,88446	B1P3X3	1	B3S7	6
B12Y2	1	B1P3X5	20	B3S8	6
B12Y3	3	B1P4X1	57	B3S9	18
TB12	7	B2P1X9	18	B3S11	18
B12	1	B2P1X19	137	B3S12	6
B21Y1	5	B2P2X2	70	B3S13	26
TB21	5	B2P2X3	1	B3S14	50
B21	1	B2P2X4	1	B3S15	62
B32Y1	2	B3P1X4	6	B3S16	93
B32Y2	3	B3P1X7	4	B3R1	2
TB32	6	B3P1X13	2	B3R2	14
B32	1	B3P1X17	6	S1	56
B1P3	39	B3P1X20	8	S2	12
B1P4	159	B3P1X27	9	S3	36
B21Y1Z1	3	B3P1X40	7	S4	36
B2P1	171	B3P2X3	31	S5	36
B21Y1Z2	2	B3P3X1	36	S6	12
B2P2	84	B3P3X2	9	S7	6
B32Y1Z1	1	B3P3X4	4	S8	6
B3P1	42	B3P3X8	6	S9	18
B32Y1Z2	1	B1S1	11	S10	18
B3P2	31	B1S2	8	S11	18
B3P3	93	B1S3	20	S12	6
KB1P3	39	B1S5	27	S13	300
KB1P4	57	B1S6	12	S14	360
SB1P4	102	B1S17	342	S15	203
KB2P1	155	B2S10	18	S16	240
SB2P1	16	B2S13	274	S17	342
KB2P2	72	B2S14	310	R1	2
SB2P2	12	B2S15	141	R2	14
KB3P1	42	B2S16	147	UPH	8,39676
KB3P2	31	B3S1	45	SPLH	3,78378
KB3P3	55	B3S2	4	KBH	20,065
SB3P3	38	B3S3	16		
B1P3X1	11	B3S4	36		
B1P3X2	7	B3S5	9		

All other variables in the range 1-307 are zero.

EK 5. UYGULAMA PROBLEMİ (i=1,...17; j=1,...20) MODELLERİ

Ardışık Modeller Seti

5.1 Blok 1 İçin Yazılan Model

min 100KSH-SPLH

sınırlar

(I)

$$B11+B12 \leq 1$$

(II)

$$30B11Y1+33B11Y2+40B11Y3+TB11-155B11=0$$

$$30B12Y1+33B12Y2+40B12Y3+TB12-160B12=0$$

(III)

$$B11Y1Z1+B11Y1Z2-B11Y1=0$$

$$B12Y1Z1+B12Y1Z2-B12Y1=0$$

(IV)

$$55B11Y1Z1+53B12Y1Z1-B1P1=0$$

$$40B11Y1Z2+39B12Y1Z2-B1P2=0$$

$$40B11Y2+39B12Y2-B1P3=0$$

$$55B11Y3+53B12Y3-B1P4=0$$

(V)

$$KB1P1+SB1P1-B1P1=0$$

$$KB1P2+SB1P2-B1P2=0$$

$$KB1P3+SB1P3-B1P3=0$$

$$KB1P4+SB1P4-B1P4=0$$

(VI)

$$B1P1X1+B1P1X2+B1P1X3+B1P1X4+B1P1X5+B1P1X6+B1P1X7+B1P1X8+B1P1X9+$$

$$B1P1X10+B1P1X11+B1P1X12+B1P1X13+B1P1X14+B1P1X15+B1P1X16+B1P1X17+$$

$$B1P1X18+B1P1X19+B1P1X20+B1P1X21+B1P1X22+B1P1X23+B1P1X24+B1P1X25+$$

$$B1P1X26+B1P1X27+B1P1X28+B1P1X29+B1P1X30+B1P1X31+B1P1X32+B1P1X33-KB1P1=0$$

$$B1P2X1+B1P2X2+B1P2X3+B1P2X4+B1P2X5-KB1P2=0$$

$$B1P3X1+B1P3X2+B1P3X3+B1P3X4+B1P3X5+B1P3X6+B1P3X7+B1P3X8+B1P3X9+$$

$$B1P3X10+B1P3X11+B1P3X12-KB1P3=0$$

$$B1P4X1-KB1P4=0$$

(VII)

$$B1P3X1-B1S1=0$$

$$B1P3X2+B1P3X3-B1S2=0$$

$$B1P3X4+B1P3X5+B1P3X6-B1S3=0$$

$$B1P3X4+2B1P3X7+B1P3X8+B1P3X9-B1S4=0$$

$$B1P3X2+B1P3X5+B1P3X8+2B1P3X10+B1P3X11-B1S5=0$$

$$B1P3X1+B1P3X3+B1P3X6+B1P3X9+B1P3X11+2B1P3X12-B1S6=0$$

$$B1P1X1+B1P1X2+B1P1X3-B1S7=0$$

$$B1P1X4+B1P1X5+B1P1X6+B1P1X7-B1S8=0$$

$$B1P1X8+B1P1X9+B1P1X10+B1P1X11+B1P1X12+B1P1X13-B1S9=0$$

$$B1P1X8+2B1P1X14+B1P1X15+B1P1X16+B1P1X17+B1P1X18+B1P1X19-B1S10=0$$

$$B1P1X4+B1P1X9+B1P1X15+2B1P1X20+B1P1X21+B1P1X22+B1P1X23+B1P1X24-B1S11=0$$

$$B1P1X1+B1P1X5+B1P1X10+B1P1X16+B1P1X21+2B1P1X25+B1P1X26+B1P1X27+B1P1X28-B1S12=0$$

$$B1P1X2+B1P1X6+2B1P1X11+B1P1X12+2B1P1X17+B1P1X18+2B1P1X22+B1P1X23+2B1P1X26+B1P1X27+4B1P1X29+3B1P1X30+2B1P1X31+B1P1X32-B1S13=0$$

$$2B1P1X3+B1P1X6+2B1P1X7+B1P1X12+2B1P1X13+B1P1X18+2B1P1X19+B1P1X23+2B1P1X24+B1P1X25+B1P1X27+3B1P1X28+B1P1X30+2B1P1X31+3B1P1X32+5B1P1X33-B1S14=0$$

$$4B1P2X1+3B1P2X2+2B1P2X3+B1P2X4-B1S15=0$$

$$B1P2X2+2B1P2X3+3B1P2X4+5B1P2X5-B1S16=0$$

$$6B1P4X1-B1S17=0$$

$$B1P1X16+B1P1X19+B1P1X20+B1P1X23+B1P1X26+B1P1X31-B1R1=0$$

$$B1P1X2+B1P1X21+B1P1X24+B1P1X27+B1P1X32-B1R2=0$$

(VIII)

$$B1S1+AB1S1-YB1S1=60$$

$$B1S2+AB1S2-YB1S2=60$$

$$B1S3+AB1S3-YB1S3=180$$

$$B1S4+AB1S4-YB1S4=180$$

$$B1S5+AB1S5-YB1S5=180$$

$$B1S6+AB1S6-YB1S6=60$$

$$B1S7+AB1S7-YB1S7=30$$

$$B1S8+AB1S8-YB1S8=30$$

$$B1S9+AB1S9-YB1S9=90$$

$$B1S10+AB1S10-YB1S10=90$$

$$B1S11+AB1S11-YB1S11=90$$

$$B1S12+AB1S12-YB1S12=30$$

$$B1S13+AB1S13-YB1S13=1500$$

$$B1S14+AB1S14-YB1S14=1800$$

$$B1S15+AB1S15-YB1S15=1000$$

$$B1S16+AB1S16-YB1S16=1200$$

$$B1S17+AB1S17-YB1S17=1700$$

(IX)

$$TB11-5B11 \geq 0$$

$$TB12-5B12 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB1S1+0.01386AB1S2+0.01287AB1S3+0.01188AB1S4+0.01089AB1S5+ \\ 0.0099AB1S6+0.009AB1S7+0.0084AB1S8+0.0078AB1S9+0.0072AB1S10+0.0066AB1S11+ \\ 0.006AB1S12+0.0036AB1S13+0.003AB1S14+0.0054AB1S15+0.0045AB1S16+0.0032AB1S17- \\ KSH=0$$

$$7.128B11+7.128B12-KBH=0$$

$$0.0162SB1P1+ 0.0243SB1P2+ 0.02673SB1P3+ 0.0216SB1P4-SPLH=0$$

$$0.01485B1S1+0.01386B1S2+0.01287B1S3+0.01188B1S4+0.01089B1S5+0.0099B1S6+ \\ 0.009B1S7+0.0084B1S8+0.0078B1S9+0.0072B1S10+0.0066B1S11+0.006B1S12+ \\ 0.0036B1S13+0.003B1S14+0.0054B1S15+0.0045B1S16+0.0032B1S17+0.0018B1R1+ \\ 0.0024B1R2-UPH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB1$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.2 Blok 2 İçin Yazılan Model

$$\min \quad 100KSH-SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B21+B22 \leq 1$$

(II)

$$30B21Y1+33B21Y2+40B21Y3+TB21-155B21=0$$

$$30B22Y1+33B22Y2+40B22Y3+TB22-165B22=0$$

(III)

$$B21Y1Z1+B21Y1Z2-B21Y1=0$$

$$B22Y1Z1+B22Y1Z2-B22Y1=0$$

(IV)

$$57B21Y1Z1+53B22Y1Z1-B2P1=0$$

$$42B21Y1Z2+39B22Y1Z2-B2P2=0$$

$$42B21Y2+39B22Y2-B2P3=0$$

$$57B21Y3+53B22Y3-B2P4=0$$

(V)

$$KB2P1+SB2P1-B2P1=0$$

$$KB2P2+SB2P2-B2P2=0$$

$$KB2P3+SB2P3-B2P3=0$$

$$KB2P4+SB2P4-B2P4=0$$

(VI)

$$B2P1X1+B2P1X2+B2P1X3+B2P1X4+B2P1X5+B2P1X6+B2P1X7+B2P1X8+B2P1X9+ \\ B2P1X10+B2P1X11+B2P1X12+B2P1X13+B2P1X14+B2P1X15+B2P1X16+B2P1X17+$$

$$B2P1X18+B2P1X19+B2P1X20+B2P1X21-KB2P1=0$$

$$B2P2X1+B2P2X2+B2P2X3+B2P2X4-KB2P2=0$$

$$B2P3X1+B2P3X2+B2P3X3+B2P3X4+B2P3X5+B2P3X6+B2P3X7-KB2P3=0$$

$$B2P4X1-KB2P4=0$$

(VII)

$$B2P3X1-B2S1=0$$

$$B2P3X2-B2S2=0$$

$$B2P3X3-B2S3=0$$

$$B2P3X4-B2S4=0$$

$$2B2P3X5+B2P3X6-B2S5=0$$

$$B2P3X4+B2P3X6+2B2P3X7-B2S6=0$$

$$B2P1X1+B2P1X2-B2S7=0$$

$$B2P1X3+B2P1X4-B2S8=0$$

$$B2P1X5+B2P1X6-B2S9=0$$

$$B2P1X7+B2P1X8+B2P1X9-B2S10=0$$

$$2B2P1X10+B2P1X11+B2P1X12+B2P1X13-B2S11=0$$

$$B2P1X7+B2P1X11+2B2P1X14+B2P1X15+B2P1X16+B2P1X17-B2S12=0$$

$$B2P1X1+B2P1X3+B2P1X5+B2P1X8+B2P1X12+2B2P1X15+B2P1X16+3B2P1X18+$$

$$2B2P1X19+B2P1X20-B2S13=0$$

$$B2P1X2+B2P1X4+B2P1X6+2B2P1X9+B2P1X12+2B2P1X13+B2P1X16+2B2P1X17+$$

$$2B2P1X19+3B2P1X20+4B2P1X21-B2S14=0$$

$$3B2P2X1+2B2P2X2+B2P2X3-B2S15=0$$

$$2B2P2X2+3B2P2X3+4B2P2X4-B2S16=0$$

$$5B2P4X1-B2S17=0$$

$$B2P1X4+B2P1X5-B2R1=0$$

$$B2P1X6+B2P1X8+B2P1X18-B2R2=0$$

(VIII)

$$B2S1+AB2S1-YB2S1=60$$

$$B2S2+AB2S2-YB2S2=60$$

$$B2S3+AB2S3-YB2S3=180$$

$$B2S4+AB2S4-YB2S4=180$$

$$B2S5+AB2S5-YB2S5=180$$

$$B2S6+AB2S6-YB2S6=60$$

$$B2S7+AB2S7-YB2S7=30$$

$$B2S8+AB2S8-YB2S8=30$$

$$B2S9+AB2S9-YB2S9=90$$

$$B2S10+AB2S10-YB2S10=90$$

$$B2S11+AB2S11-YB2S11=90$$

$$B2S12+AB2S12-YB2S12=30$$

$$B2S13+AB2S13-YB2S13=1500$$

$$B2S14+AB2S14-YB2S14 =1800$$

$$B2S15+AB2S15-YB2S15 =1000$$

$$B2S16+AB2S16-YB2S16 =200$$

$$B2S17+AB2S17-YB2S17 =1700$$

(IX)

$$TB21-5B21 \geq 0$$

$$TB22-5B22 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB2S1+0.01386AB2S2+0.01287AB2S3+0.01188AB2S4+0.01089AB2S5+$$

$$0.0099AB2S6+0.009AB2S7+0.0084AB2S8+0.0078AB2S9+0.0072AB2S10+0.0066AB2S11+$$

$$0.006AB2S12+0.0036AB2S13+0.003AB2S14+0.0054AB2S15+0.0045AB2S16+0.0032AB2S17-$$

$$KSH=0$$

$$6.528B21+6.528B22-KBH=0$$

$$0.01485B2S1+0.01386B2S2+0.01287B2S3+0.01188B2S4+0.01089B2S5+0.0099B2S6+$$

$$0.009B2S7+0.0084B2S8+0.0078B2S9+0.0072B2S10+0.0066B2S11+0.006B2S12+$$

$$0.0036B2S13+0.003B2S14+0.0054B2S15+0.0045B2S16+0.0032B2S17+0.0018B2R1+$$

$$0.0024B2R2-UPH=0$$

$$0.0144SB2P1+ 0.0216SB2P2+ 0.02376SB2P3+ 0.0192SB2P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB2$$

$$F2=2.628+ FB2$$

ve

negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.3 Blok 3 İçin Yazılan Model

$$\min \quad 100KSH-SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B31+B32 \leq 1$$

(II)

$$30B31Y1+33B31Y2+40B31Y3+TB31-125B31=0$$

$$30B32Y1+33B32Y2+40B32Y3+TB32-165B32=0$$

(III)

$$B31Y1Z1+B31Y1Z2-B31Y1=0$$

$$B32Y1Z1+B32Y1Z2-B32Y1=0$$

(IV)

$$57B31Y1Z1+42B32Y1Z1-B3P1=0$$

$$42B31Y1Z2+31B32Y1Z2-B3P2=0$$

$$42B31Y2+31B32Y2-B3P3=0$$

$$57B31Y3+42B32Y3-B3P4=0$$

(V)

$$\begin{aligned} &B3P1X1+B3P1X2+B3P1X3+B3P1X4+B3P1X5+B3P1X6+B3P1X7+B3P1X8+B3P1X9+ \\ &B3P1X10+B3P1X11+B3P1X12+B3P1X13+B3P1X14+B3P1X15+B3P1X16+B3P1X17+ \\ &B3P1X18+B3P1X19+B3P1X20+B3P1X21+B3P1X22+B3P1X23+B3P1X24+B3P1X25+ \\ &B3P1X26+B3P1X27+B3P1X28+B3P1X29+B3P1X30+B3P1X31+B3P1X32+B3P1X33+ \\ &B3P1X34+B3P1X35+B3P1X36+B3P1X37+B3P1X38+B3P1X39+B3P1X40+B3P1X41+ \\ &B3P1X42-KB3P1=0 \end{aligned}$$

$$B3P2X1+B3P2X2+B3P2X3+B3P2X4+B3P2X5-KB3P2=0$$

$$\begin{aligned} &B3P3X1+B3P3X2+B3P3X3+B3P3X4+B3P3X5+B3P3X6+B3P3X7+B3P3X8+B3P3X9+ \\ &B3P3X10+B3P3X11+B3P3X12+B3P3X13+B3P3X14+B3P3X15+B3P3X16+B3P3X17-KB3P3=0 \\ &B3P4X1-KB3P4=0 \end{aligned}$$

(VI)

$$KB3P1+SB3P1-B3P1=0$$

$$KB3P2+SB3P2-B3P2=0$$

$$KB3P3+SB3P3-B3P3=0$$

$$KB3P4+SB3P4-B3P4=0$$

(VII)

$$B3P3X1+B3P3X2+B3P3X3-B3S1=0$$

$$B3P3X4+B3P3X5+B3P3X6+B3P3X7-B3S2=0$$

$$B3P3X4+2B3P3X8+B3P3X9+B3P3X10+B3P3X11-B3S3=0$$

$$B3P3X1+B3P3X5+B3P3X9+2B3P3X12+B3P3X13+B3P3X14-B3S4=0$$

$$B3P3X2+B3P3X6+B3P3X10+B3P3X13+2B3P3X15+B3P3X16-B3S5=0$$

$$B3P3X3+B3P3X7+B3P3X11+B3P3X14+B3P3X16+2B3P3X17-B3S6=0$$

$$B3P1X1+B3P1X2+B3P1X3+B3P1X4+B3P1X5+B3P1X6-B3S7=0$$

$$B3P1X7+B3P1X8+B3P1X9+B3P1X10+B3P1X11+B3P1X12+B3P1X13-B3S8=0$$

$$B3P1X7+2B3P1X14+B3P1X15+B3P1X16+B3P1X17+B3P1X18+B3P1X19+B3P1X20-B3S9=0$$

$$B3P1X1+B3P1X8+B3P1X15+2B3P1X21+B3P1X22+B3P1X23+B3P1X24+B3P1X25+$$

$$B3P1X26-B3S10=0$$

$$B3P1X2+B3P1X9+B3P1X16+B3P1X22+2B3P1X27+B3P1X28+B3P1X29+B3P1X30+$$

$$B3P1X31+B3P1X32-B3S11=0$$

$$B3P1X3+B3P1X10+B3P1X17+B3P1X23+B3P1X28+B3P1X29+2B3P1X33+2B3P1X34+$$

$$B3P1X35+B3P1X36+B3P1X37-B3S12=0$$

$$2B3P1X4+B3P1X5+2B3P1X11+B3P1X12+2B3P1X18+B3P1X19+2B3P1X24+B3P1X25+$$

$$B3P1X28+2B3P1X30+B3P1X31+B3P1X33+2B3P1X35+B3P1X36+4B3P1X38+3B3P1X39+$$

$$2B3P1X40+B3P1X41-B3S13=0$$

$$B3P1X5+2B3P1X6+B3P1X12+2B3P1X13+B3P1X19+2B3P1X20+B3P1X23+B3P1X25+$$

$$3B3P1X26+B3P1X27+B3P1X29+2B3P1X31+3B3P1X32+B3P1X34+B3P1X35+2B3P1X36+$$

$$3B3P1X37+B3P1X39+3B3P1X40+4B3P1X41+5B3P1X42-B3S14=0$$

$$4B3P2X1+3B3P2X2+2B3P2X3+B3P2X4-B3S15=0$$

$$B3P2X2+3B3P2X3+4B3P2X4+5B3P2X5-B3S16=0$$

$$6B3P4X1-B3S17=0$$

$$B3P1X10+B3P1X13+B3P1X16+B3P1X19+B3P1X21+B3P1X24+B3P1X38-B3R1=0$$

$$B3P1X17+B3P1X20+B3P1X22+B3P1X25+B3P1X30+B3P1X39+B3P4X1-B3R2=0$$

(VIII)

$$B3S1+AB3S1-YB3S1=60$$

$$B3S2+AB3S2-YB3S2=60$$

$$B3S3+AB3S3-YB3S3=180$$

$$B3S4+AB3S4-YB3S4=153$$

$$B3S5+AB3S5-YB3S5=0$$

$$B3S6+AB3S6-YB3S6=33$$

$$B3S7+AB3S7-YB3S7=30$$

$$B3S8+AB3S8-YB3S8=30$$

$$B3S9+AB3S9-YB3S9=90$$

$$B3S10+AB3S10-YB3S10=90$$

$$B3S11+AB3S11-YB3S11=90$$

$$B3S12+AB3S12-YB3S12=30$$

$$B3S13+AB3S13-YB3S13=1500$$

$$B3S14+AB3S14-YB3S14=1800$$

$$B3S15+AB3S15-YB3S15=844$$

$$B3S16+AB3S16-YB3S16=44$$

$$B3S17+AB3S17-YB3S17=1700$$

(IX)

$$TB31-5B31 \geq 0$$

$$TB32-5B32 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB3S1+0.01386AB3S2+0.01287AB3S3+0.01188AB3S4+0.01089AB3S5+$$

$$0.0099AB3S6+0.009AB3S7+0.0084AB3S8+0.0078AB3S9+0.0072AB3S10+0.0066AB3S11+$$

$$0.006AB3S12+0.0036AB3S13+0.003AB3S14+0.0054AB3S15+0.0045AB3S16+0.0032AB3S17-$$

$$KSH=0$$

$$6.409B31+6.409B32-KBH=0$$

$$0.01485B3S1+0.01386B3S2+0.01287B3S3+0.01188B3S4+0.01089B3S5+0.0099B3S6+$$

$$0.009B3S7+0.0084B3S8+0.0078B3S9+0.0072B3S10+0.0066B3S11+0.006B3S12+$$

$$0.0036B3S13+0.003B3S14+0.0054B3S15+0.0045B3S16+0.0032B3S17+0.0018B3R1+$$

$$0.0024B3R2-UPH=0$$

$$0.0174SB3P1+0.0261SB3P2+0.02871SB3P3+0.0232SB3P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB3$$

$$F3=5.06334+FB3$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.4 Blok 4 İçin Yazılan Model

min 100KSH-SPLH

sınırlar

(I)

$$B41+B42 \leq 1$$

(II)

$$30B41Y1+33B41Y2+40B41Y3+TB41-145B41=0$$

$$30B42Y1+33B42Y2+40B42Y3+TB42-170B42=0$$

(III)

$$B41Y1Z1+B41Y1Z2-B41Y1=0$$

$$B42Y1Z1+B42Y1Z2-B42Y1=0$$

(IV)

$$58B41Y1Z1+50B42Y1Z1-B4P1=0$$

$$43B41Y1Z2+36B42Y1Z2-B4P2=0$$

$$43B41Y2+36B42Y2-B4P3=0$$

$$58B41Y3+50B42Y3-B4P4=0$$

(V)

$$B4P1X1+B4P1X2+B4P1X3+B4P1X4+B4P1X5+B4P1X6+B4P1X7+B4P1X8+B4P1X9+B4P1X10+B4P1X11+B4P1X12+B4P1X13+B4P1X14+B4P1X15+B4P1X16+B4P1X17+B4P1X18+B4P1X19+B4P1X20+B4P1X21-KB4P1=0$$

$$B4P2X1+B4P2X2+B4P2X3+B4P2X4-KB4P2=0$$

$$B4P3X1+B4P3X2+B4P3X3+B4P3X4+B4P3X5+B4P3X6+B4P3X7-KB4P3=0$$

$$B4P4X1-KB4P4=0$$

(VI)

$$KB4P1+SB4P1-B4P1=0$$

$$KB4P2+SB4P2-B4P2=0$$

$$KB4P3+SB4P3-B4P3=0$$

$$KB4P4+SB4P4-B4P4=0$$

(VII)

$$B4P3X1-B4S1=0$$

$$B4P3X2-B4S2=0$$

$$B4P3X3-B4S3=0$$

$$B4P3X4-B4S4=0$$

$$2B4P3X5+B4P3X6-B4S5=0$$

$$B4P3X4+B4P3X6+2B4P3X7-B4S6=0$$

$$B4P1X1+B4P1X2-B4S7=0$$

$$B4P1X3+B4P1X4-B4S8=0$$

$$B4P1X5+B4P1X6-B4S9=0$$

$$B4P1X7+B4P1X8+B4P1X9-B4S10=0$$

$$2B4P1X10+B4P1X11+B4P1X12+B4P1X13-B4S11=0$$

$$B4P1X7+B4P1X11+2B4P1X14+B4P1X15+B4P1X16+B4P1X17-B4S12=0$$

$$B4P1X1+B4P1X3+B4P1X5+B4P1X8+B4P1X12+2B4P1X15+B4P1X16+3B4P1X18+2B4P1X19+B4P1X20-B4S13=0$$

$$B4P1X2+B4P1X4+B4P1X6+2B4P1X9+B4P1X12+2B4P1X13+B4P1X16+2B4P1X17+2B4P1X19+3B4P1X20+4B4P1X21-B4S14=0$$

$$3B4P2X1+2B4P2X2+B4P2X3-B4S15=0$$

$$2B4P2X2+3B4P2X3+4B4P2X4-B4S16=0$$

$$5B4P4X1-B4S17=0$$

$$B4P1X4+B4P1X5-B4R1=0$$

$$B4P1X6+B4P1X8+B4P1X18-B4R2=0$$

(VIII)

$$B4S1+AB4S1-YB4S1=27$$

$$B4S2+AB4S2-YB4S2=0$$

$$B4S3+AB4S3-YB4S3=120$$

$$B4S4+AB4S4-YB4S4=120$$

$$B4S5+AB4S5-YB4S5=0$$

$$B4S6+AB4S6-YB4S6=33$$

$$B4S7+AB4S7-YB4S7=18$$

$$B4S8+AB4S8-YB4S8=0$$

$$B4S9+AB4S9-YB4S9=60$$

$$B4S10+AB4S10-YB4S10=78$$

$$B4S11+AB4S11-YB4S11=90$$

$$B4S12+AB4S12-YB4S12=30$$

$$B4S13+AB4S13-YB4S13=1500$$

$$B4S14+AB4S14-YB4S14=1800$$

$$B4S15+AB4S15-YB4S15=748$$

$$B4S16+AB4S16-YB4S16=2$$

$$B4S17+AB4S17-YB4S17=1700$$

(IX)

$$TB41-5B41 \geq 0$$

$$TB42-5B42 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB4S1+0.01386AB4S2+0.01287AB4S3+0.01188AB4S4+0.01089AB4S5+$$

$$0.0099AB4S6+0.009AB4S7+0.0084AB4S8+0.0078AB4S9+0.0072AB4S10+0.0066AB4S11+$$

$$0.006AB4S12+0.0036AB4S13+0.003AB4S14+0.0054AB4S15+0.0045AB4S16+0.0032AB4S17-$$

$$KSH=0$$

$$6.3B41+6.3B42-KBH=0$$

$$0.01485B4S1+0.01386B4S2+0.01287B4S3+0.01188B4S4+0.01089B4S5+0.0099B4S6+$$

$$0.009B4S7+0.0084B4S8+0.0078B4S9+0.0072B4S10+0.0066B4S11+0.006B4S12+$$

$$0.0036B4S13+0.003B4S14+0.0054B4S15+0.0045B4S16+0.0032B4S17+0.0018B4R1+0.0024B4R2-UPH=0$$

$$0.0144SB4P1+0.0216SB4P2+0.02376SB4P3+0.0192SB4P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB4$$

$$F4=7.59865+FB4$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.5 Blok 5 İçin Yazılan Model

min 100KSH-SPLH

sınırlar

(I)

$$B51+B52 \leq 1$$

(II)

$$30B51Y1+33B51Y2+40B51Y3+TB51-135B51=0$$

$$30B52Y1+33B52Y2+40B52Y3+TB52-145B52=0$$

(III)

$$B51Y1Z1+B51Y1Z2-B51Y1=0$$

$$B52Y1Z1+B52Y1Z2-B52Y1=0$$

(IV)

$$50B51Y1Z1+46B52Y1Z1-B5P1=0$$

$$36B51Y1Z2+34B52Y1Z2-B5P2=0$$

$$36B51Y2+34B52Y2-B5P3=0$$

$$50B51Y3+46B52Y3-B5P4=0$$

(V)

$$KB5P1+SB5P1-B5P1=0$$

$$KB5P2+SB5P2-B5P2=0$$

$$KB5P3+SB5P3-B5P3=0$$

$$KB5P4+SB5P4-B5P4=0$$

(VI)

$$B5P1X1+B5P1X2+B5P1X3+B5P1X4+B5P1X5+B5P1X6+B5P1X7+B5P1X8+B5P1X9+$$

$$B5P1X10+B5P1X11+B5P1X12+B5P1X13+B5P1X14+B5P1X15+B5P1X16+$$

$$B5P1X17+B5P1X18+B5P1X19+B5P1X20+B5P1X21+B5P1X22+B5P1X23+B5P1X24+$$

$$B5P1X25+B5P1X26+B5P1X27+B5P1X28+B5P1X29+B5P1X30+B5P1X31+B5P1X32+$$

$$B5P1X33+B5P1X34+B5P1X35+B5P1X36+B5P1X37+B5P1X38+B5P1X39+B5P1X40+$$

$$B5P1X41+B5P1X42-KB5P1=0$$

$$B5P2X1+B5P2X2+B5P2X3+B5P2X4+B5P2X5-KB5P2=0$$

$$B5P3X1+B5P3X2+B5P3X3+B5P3X4+B5P3X5+B5P3X6+B5P3X7+B5P3X8+B5P3X9+$$

$$B5P3X10+B5P3X11+B5P3X12+B5P3X13+B5P3X14+B5P3X15+B5P3X16+B5P3X17-KB5P3=0$$

$$B5P4X1-KB5P4=0$$

(VII)

$$B5P3X1+B5P3X2+B5P3X3-B5S1=0$$

$$B5P3X4+B5P3X5+B5P3X6+B5P3X7-B5S2=0$$

$$B5P3X4+2B5P3X8+B5P3X9+B5P3X10+B5P3X11-B5S3=0$$

$$B5P3X1+B5P3X5+B5P3X9+2B5P3X12+B5P3X13+B5P3X14-B5S4=0$$

$$B5P3X2+B5P3X6+B5P3X10+B5P3X13+2B5P3X15+B5P3X16-B5S5=0$$

$$B5P3X3+B5P3X7+B5P3X11+B5P3X14+B5P3X16+2B5P3X17-B5S6=0$$

$$B5P1X1+B5P1X2+B5P1X3+B5P1X4+B5P1X5+B5P1X6-B5S7=0$$

$$B5P1X7+B5P1X8+B5P1X9+B5P1X10+B5P1X11+B5P1X12+B5P1X13-B5S8=0$$

$$B5P1X7+2B5P1X14+B5P1X15+B5P1X16+B5P1X17+B5P1X18+B5P1X19+B5P1X20-B5S9=0$$

$$B5P1X1+B5P1X8+B5P1X15+2B5P1X21+B5P1X22+B5P1X23+B5P1X24+B5P1X25+$$

$$B5P1X26-B5S10=0$$

$$B5P1X2+B5P1X9+B5P1X16+B5P1X22+2B5P1X27+B5P1X28+B5P1X29+B5P1X30+$$

$$B5P1X31+B5P1X32-B5S11=0$$

$$B5P1X3+B5P1X10+B5P1X17+B5P1X23+B5P1X28+B5P1X29+2B5P1X33+2B5P1X34+$$

$$B5P1X35+B5P1X36+B5P1X37-B5S12=0$$

$$2B5P1X4+B5P1X5+2B5P1X11+B5P1X12+2B5P1X18+B5P1X19+2B5P1X24+B5P1X25+$$

$$B5P1X28+2B5P1X30+B5P1X31+B5P1X33+2B5P1X35+B5P1X36+4B5P1X38+3B5P1X39+$$

$$2B5P1X40+B5P1X41-B5S13=0$$

$$B5P1X5+2B5P1X6+B5P1X12+2B5P1X13+B5P1X19+2B5P1X20+B5P1X23+B5P1X25+$$

$$3B5P1X26+B5P1X27+B5P1X29+2B5P1X31+3B5P1X32+B5P1X34+B5P1X35+2B5P1X36+$$

$$3B5P1X37+B5P1X39+3B5P1X40+4B5P1X41+5B5P1X42-B5S14=0$$

$$4B5P2X1+3B5P2X2+2B5P2X3+B5P2X4-B5S15=0$$

$$B5P2X2+3B5P2X3+4B5P2X4+5B5P2X5-B5S16=0$$

$$6B5P4X1-B5S17=0$$

$$B5P1X10+B5P1X13+B5P1X16+B5P1X19+B5P1X21+B5P1X24+B5P1X38-B5R1=0$$

$$B5P1X17+B5P1X20+B5P1X22+B5P1X25+B5P1X30+B5P1X39+B5P4X1-B5R2=0$$

(VIII)

$$B5S1+AB5S1-YB5S1=24$$

$$B5S2+AB5S2-YB5S2=0$$

$$B5S3+AB5S3-YB5S3=120$$

$$B5S4+AB5S4-YB5S4=87$$

$$B5S5+AB5S5-YB5S5=0$$

$$B5S6+AB5S6-YB5S6=0$$

$$B5S7+AB5S7-YB5S7=18$$

$$B5S8+AB5S8-YB5S8=0$$

$$B5S9+AB5S9-YB5S9=60$$

$$B5S10+AB5S10-YB5S10=0$$

$$B5S11+AB5S11-YB5S11=0$$

$$B5S12+AB5S12-YB5S12=30$$

$$B5S13+AB5S13-YB5S13=1446$$

$$B5S14+AB5S14-YB5S14=1590$$

$$B5S15+AB5S15-YB5S15=748$$

$$B5S16+AB5S16-YB5S16=2$$

$$B5S17+AB5S17-YB5S17=1450$$

(IX)

$$TB51-5B51 \geq 0$$

$$TB52-5B52 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB5S1+0.01386AB5S2+0.01287AB5S3+0.01188AB5S4+0.01089AB5S5+$$

$$0.0099AB5S6+0.009AB5S7+0.0084AB5S8+0.0078AB5S9+0.0072AB5S10+0.0066AB5S11+$$

$$0.006AB5S12+0.0036AB5S13+0.003AB5S14+0.0054AB5S15+0.0045AB5S16+0.0032AB5S17-$$

$$KSH=0$$

$$6.09B51+6.09B52-KBH=0$$

$$0.01485B5S1+0.01386B5S2+0.01287B5S3+0.01188B5S4+0.01089B5S5+0.0099B5S6+$$

$$0.009B5S7+0.0084B5S8+0.0078B5S9+0.0072B5S10+0.0066B5S11+0.006B5S12+$$

$$0.0036B5S13+0.003B5S14+0.0054B5S15+0.0045B5S16+0.0032B5S17+0.0018B5R1+$$

$$0.0024B5R2-UPH=0$$

$$0.0174SB5P1+0.0261SB5P2+0.02871SB5P3+0.0232SB5P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB5$$

$$F5=10.35536+FB5$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.6 Blok 6 İçin Yazılan Model

$$\min \quad 100KSH-SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B61=1$$

(II)

$$30B61Y1+33B61Y2+40B61Y3+TB61-155B61=0$$

(III)

$$B61Y1Z1+B61Y1Z2-B61Y1=0$$

(IV)

$$53B61Y1Z1-B6P1=0$$

$$39B61Y1Z2-B6P2=0$$

$$39B61Y2-B6P3=0$$

$$53B61Y3-B6P4=0$$

(V)

$$KB6P1+SB6P1-B6P1=0$$

$$KB6P2+SB6P2-B6P2=0$$

$$KB6P3+SB6P3-B6P3=0$$

$$KB6P4+SB6P4-B6P4=0$$

(VI)

$$B6P1X1+B6P1X2+B6P1X3+B6P1X4+B6P1X5+B6P1X6+B6P1X7+B6P1X8+B6P1X9+ \\ B6P1X10+B6P1X11+B6P1X12+B6P1X13+B6P1X14+B6P1X15+B6P1X16+B6P1X17+ \\ B6P1X18-KB6P1=0$$

$$B6P2X1+B6P2X2+B6P2X3+B6P2X4-KB6P2=0$$

$$B6P3X1+B6P3X2+B6P3X3+B6P3X4+B6P3X5+B6P3X6-KB6P3=0$$

$$B6P4X1-KB6P4=0$$

(VII)

$$B6P3X1-B6S1=0$$

$$B6P3X2-B6S2=0$$

$$B6P3X3-B6S3=0$$

$$B6P3X4-B6S4=0$$

$$B6P3X5-B6S5=0$$

$$B6P3X5+2B6P3X6-B6S6=0$$

$$B6P1X1+B6P1X2-B6S7=0$$

$$B6P1X3+B6P1X4-B6S8=0$$

$$B6P1X5+B6P1X6-B6S9=0$$

$$B6P1X7+B6P1X8-B6S10=0$$

$$B6P1X9+B6P1X10+B6P1X11-B6S11=0$$

$$B6P1X9+2B6P1X12+B6P1X13+B6P1X14-B6S12=0$$

$$B6P1X1+B6P1X3+B6P1X5+B6P1X7+B6P1X10+B6P1X13+3B6P1X15+2B6P1X16+ \\ B6P1X17-B6S13=0$$

$$B6P1X2+B6P1X4+B6P1X6+B6P1X8+2B6P1X11+B6P1X13+2B6P1X14+B6P1X16+ \\ 3B6P1X17+4B6P1X18-B6S14=0$$

$$3B6P2X1+2B6P2X2+B6P2X3-B6S15=0$$

$$B6P2X2+3B6P2X3+4B6P2X4-B6S16=0$$

$$5B6P4X1-B6S17=0$$

$$B6P1X6+B6P1X7+B6P1X15-B6R1=0$$

$$B6P1X8+B6P1X10+B6P1X16-B6R2=0$$

(VIII)

$$B6S1+AB6S1-YB6S1=0$$

$$B6S2+AB6S2-YB6S2=0$$

$$B6S3+AB6S3-YB6S3=0$$

$$B6S4+AB6S4-YB6S4=15$$

$$B6S5+AB6S5-YB6S5=0$$

$$B6S6+AB6S6-YB6S6=0$$

$$B6S7+AB6S7-YB6S7=0$$

$$B6S8+AB6S8-YB6S8=0$$

$$B6S9+AB6S9-YB6S9=60$$

$$B6S10+AB6S10-YB6S10=0$$

$$B6S11+AB6S11-YB6S11=0$$

$$B6S12+AB6S12-YB6S12=0$$

$$B6S13+AB6S13-YB6S13=1346$$

$$B6S14+AB6S14-YB6S14=1554$$

$$B6S15+AB6S15-YB6S15=748$$

$$B6S16+AB6S16-YB6S16=2$$

$$B6S17+AB6S17-YB6S17=1450$$

(IX)

$$TB61-5B61 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB6S1+0.01386AB6S2+0.01287AB6S3+0.01188AB6S4+0.01089AB6S5+$$

$$0.0099AB6S6+0.009AB6S7+0.0084AB6S8+0.0078AB6S9+0.0072AB6S10+0.0066AB6S11+$$

$$0.006AB6S12+0.0036AB6S13+0.003AB6S14+0.0054AB6S15+0.0045AB6S16+0.0032AB6S17-$$

$$KSH=0$$

$$5.888B61-KBH=0$$

$$0.01485B6S1+0.01386B6S2+0.01287B6S3+0.01188B6S4+0.01089B6S5+0.0099B6S6+$$

$$0.009B6S7+0.0084B6S8+0.0078B6S9+0.0072B6S10+0.0066B6S11+0.006B6S12+$$

$$0.0036B6S13+0.003B6S14+0.0054B6S15+0.0045B6S16+0.0032B6S17+0.0018B6R1+$$

$$0.0024B6R2-UPH=0$$

$$0.0138SB6P1+ 0.0207SB6P2+ 0.02277SB6P3+ 0.0184SB6P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB6$$

$$F6=12.8792+ FB6$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.7 Blok 7 İçin Yazılan Model

$$\min \quad 100KSH-SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B71=1$$

(II)

$$30B71Y1+33B71Y2+40B71Y3+TB71-185B71=0$$

(III)

$$B71Y1Z1+B71Y1Z2-B71Y1=0$$

(IV)

$$64B71Y1Z1-B7P1=0$$

$$47B71Y1Z2-B7P2=0$$

$$47B71Y2-B7P3=0$$

$$64B71Y3-B7P4=0$$

(V)

$$KB7P1+SB7P1-B7P1=0$$

$$KB7P2+SB7P2-B7P2=0$$

$$KB7P3+SB7P3-B7P3=0$$

$$KB7P4+SB7P4-B7P4=0$$

(VI)

$$B7P1X1+B7P1X2+B7P1X3+B7P1X4+B7P1X5+B7P1X6+B7P1X7+B7P1X8-KB7P1=0$$

$$B7P2X1+B7P2X2+B7P2X3-KB7P2=0$$

$$B7P3X1+B7P3X2+B7P3X3+B7P3X4+B7P3X5-KB7P3=0$$

$$B7P4X1-KB7P4=0$$

(VII)

$$B7S1=0$$

$$B7P3X1-B7S2=0$$

$$B7P3X2-B7S3=0$$

$$B7P3X3-B7S4=0$$

$$B7P3X4-B7S5=0$$

$$B7P3X5-B7S6=0$$

$$B7S7=0$$

$$B7P1X1-B7S8=0$$

$$B7P1X2-B7S9=0$$

$$B7P1X3-B7S10=0$$

$$B7P1X4-B7S11=0$$

$$B7P1X5-B7S12=0$$

$$2B7P1X6+B7P1X7-B7S13=0$$

$$B7P1X7+2B7P1X8-B7S14=0$$

$$2B7P2X1+B7P2X2-B7S15=0$$

$$B7P2X2+2B7P2X3-B7S16=0$$

$$3B7P4X1-B7S17=0$$

$$B7P1X4+B7P1X7-B7R1=0$$

$$B7P1X5+B7P1X8-B7R2=0$$

(VIII)

$$B7S1+AB7S1-YB7S1=0$$

$$B7S2+AB7S2-YB7S2=0$$

$$B7S3+AB7S3-YB7S3=0$$

$$B7S4+AB7S4-YB7S4=15$$

$$B7S5+AB7S5-YB7S5=0$$

$$B7S6+AB7S6-YB7S6=0$$

$$B7S7+AB7S7-YB7S7=0$$

$$B7S8+AB7S8-YB7S8=0$$

$$B7S9+AB7S9-YB7S9=60$$

$$B7S10+AB7S10-YB7S10=0$$

$$B7S11+AB7S11-YB7S11=0$$

$$B7S12+AB7S12-YB7S12=0$$

$$B7S13+AB7S13-YB7S13=1081$$

$$B7S14+AB7S14-YB7S14=759$$

$$B7S15+AB7S15-YB7S15=748$$

$$B7S16+AB7S16-YB7S16=2$$

$$B7S17+AB7S17-YB7S17=1450$$

(IX)

$$TB71-5B71 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB7S1+0.01386AB7S2+0.01287AB7S3+0.01188AB7S4+0.01089AB7S5+$$

$$0.0099AB7S6+0.009AB7S7+0.0084AB7S8+0.0078AB7S9+0.0072AB7S10+0.0066AB7S11+$$

$$0.006AB7S12+0.0036AB7S13+0.003AB7S14+0.0054AB7S15+0.0045AB7S16+0.0032AB7S17-$$

$$KSH=0$$

$$5.776B71-KBH=0$$

$$0.01485B7S1+0.01386B7S2+0.01287B7S3+0.01188B7S4+0.01089B7S5+0.0099B7S6+$$

$$0.009B7S7+0.0084B7S8+0.0078B7S9+0.0072B7S10+0.0066B7S11+0.006B7S12+$$

$$0.0036B7S13+0.003B7S14+0.0054B7S15+0.0045B7S16+0.0032B7S17+0.0018B7R1+$$

$$0.0024B7R2-UPH=0$$

$$0.0096SB7P1+ 0.0144SB7P2+ 0.01584SB7P3+ 0.0128SB7P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB7$$

$$F7=15.4282+FB7$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.8 Blok 8 İçin Yazılan Model

$$\min \quad 100KSH-SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B81+B82 \leq 1$$

(II)

$$30B81Y1+33B81Y2+40B81Y3+TB81-155B81=0$$

$$30B82Y1+33B82Y2+40B82Y3+TB82-175B82=0$$

(III)

$$B81Y1Z1+B81Y1Z2-B81Y1=0$$

$$B82Y1Z1+B82Y1Z2-B82Y1=0$$

(IV)

$$60B81Y1Z1+53B82Y1Z1-B8P1=0$$

$$44B81Y1Z2+39B82Y1Z2-B8P2=0$$

$$44B81Y2+39B82Y2-B8P3=0$$

$$60B81Y3+53B82Y3-B8P4=0$$

(V)

$$KB8P1+SB8P1-B8P1=0$$

$$KB8P2+SB8P2-B8P2=0$$

$$KB8P3+SB8P3-B8P3=0$$

$$KB8P4+SB8P4-B8P4=0$$

(VI)

$$B8P1X1+B8P1X2+B8P1X3+B8P1X4+B8P1X5+B8P1X6+B8P1X7+B8P1X8+B8P1X9+$$

$$B8P1X10+B8P1X11+B8P1X12+B8P1X13-KB8P1=0$$

$$B8P2X1+B8P2X2+B8P2X3+B8P2X4-KB8P2=0$$

$$B8P3X1+B8P3X2+B8P3X3+B8P3X4+B8P3X5+B8P3X6-KB8P3=0$$

$$B8P4X1-KB8P4=0$$

(VII)

$$B8P3X1-B8S1=0$$

$$B8P3X2-B8S2=0$$

$$B8P3X3-B8S3=0$$

$$B8P3X4-B8S4=0$$

$$B8P3X5-B8S5=0$$

$$B8P3X6-B8S6=0$$

$$B8P1X1-B8S7=0$$

$$B8P1X2-B8S8=0$$

$$B8P1X3-B8S9=0$$

$$B8P1X4+B8P1X5-B8S10=0$$

$$B8P1X6+B8P1X7-B8S11=0$$

$$B8P1X8+B8P1X9-B8S12=0$$

$$B8P1X4+B8P1X6+B8P1X8+3B8P1X10+2B8P1X11+B8P1X12-B8S13=0$$

$$B8P1X3+B8P1X5+B8P1X7+B8P1X9+B8P1X11+2B8P1X12+3B8P1X13-B8S14=0$$

$$3B8P2X1+2B8P2X2+B8P2X3-B8S15=0$$

$$B8P2X2+2B8P2X3+3B8P2X4-B8S16=0$$

$$4B8P4X1-B8S17=0$$

$$B8P1X1+B8P1X9+B8P1X13-B8R1=0$$

$$B8P1X2-B8R2=0$$

(VIII)

$$B8S1+AB8S1-YB8S1=0$$

$$B8S2+AB8S2-YB8S2=0$$

$$B8S3+AB8S3-YB8S3=0$$

$$B8S4+AB8S4-YB8S4=15$$

$$B8S5+AB8S5-YB8S5=0$$

$$B8S6+AB8S6-YB8S6=0$$

$$B8S7+AB8S7-YB8S7=0$$

$$B8S8+AB8S8-YB8S8=0$$

$$B8S9+AB8S9-YB8S9=60$$

$$B8S10+AB8S10-YB8S10=0$$

$$B8S11+AB8S11-YB8S11=0$$

$$B8S12+AB8S12-YB8S12=0$$

$$B8S13+AB8S13-YB8S13=1081$$

$$B8S14+AB8S14-YB8S14=759$$

$$B8S15+AB8S15-YB8S15=184$$

$$B8S16+AB8S16-YB8S16=2$$

$$B8S17+AB8S17-YB8S17=1450$$

(IX)

$$TB81-5B81 \geq 0$$

$$TB82-5B82 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB8S1+0.01386AB8S2+0.01287AB8S3+0.01188AB8S4+0.01089AB8S5+$$

$$0.0099AB8S6+0.009AB8S7+0.0084AB8S8+0.0078AB8S9+0.0072AB8S10+0.0066AB8S11+$$

$$0.006AB8S12+0.0036AB8S13+0.003AB8S14+0.0054AB8S15+0.0045AB8S16+0.0032AB8S17-$$

$$KSH=0$$

$$5.766B81+5.76B82-KBH=0$$

$$0.01485B8S1+0.01386B8S2+0.01287B8S3+0.01188B8S4+0.01089B8S5+0.0099B8S6+$$

$$0.009B8S7+0.0084B8S8+0.0078B8S9+0.0072B8S10+0.0066B8S11+0.006B8S12+$$

$$0.0036B8S13+0.003B8S14+0.0054B8S15+0.0045B8S16+0.0032B8S17+0.0018B8R1+$$

$$0.0024B8R2-UPH=0$$

$$0.012SB8P1+ 0.018SB8P2+ 0.0198SB8P3+ 0.016SB8P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB8$$

$$F8=18.1586+FB8$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.9 Blok 9 İçin Yazılan Model

min 100KSH-SPLH

sınırlar

(I)

$$B91+B92 \leq 1$$

(II)

$$30B91Y1+33B91Y2+40B91Y3+TB91-165B91=0$$

$$30B92Y1+33B92Y2+40B92Y3+TB92-110B92=0$$

(III)

$$B91Y1Z1+B91Y1Z2-B91Y1=0$$

$$B92Y1Z1+B92Y1Z2-B92Y1=0$$

(IV)

$$37B91Y1Z1+57B92Y1Z1-B9P1=0$$

$$27B91Y1Z2+42B92Y1Z2-B9P2=0$$

$$27B91Y2+42B92Y2-B9P3=0$$

$$37B91Y3+57B92Y3-B9P4=0$$

(V)

$$KB9P1+SB9P1-B9P1=0$$

$$KB9P2+SB9P2-B9P2=0$$

$$KB9P3+SB9P3-B9P3=0$$

$$KB9P4+SB9P4-B9P4=0$$

(VI)

$$B9P1X1+B9P1X2+B9P1X3+B9P1X4+B9P1X5+B9P1X6+B9P1X7+B9P1X8+B9P1X9+B9P1X10+B9P1X11+B9P1X12+B9P1X13+B9P1X14+B9P1X15+B9P1X16+B9P1X17+B9P1X18+B9P1X19+B9P1X20+B9P1X21+B9P1X22+B9P1X23+B9P1X24+B9P1X25+B9P1X26+B9P1X27+B9P1X28+B9P1X29+B9P1X30+B9P1X31+B9P1X32+B9P1X33+B9P1X34+B9P1X35+B9P1X36+B9P1X37+B9P1X38-KB9P1=0$$

$$B9P2X1+B9P2X2+B9P2X3+B9P2X4+B9P2X5-KB9P2=0$$

$$B9P3X1+B9P3X2+B9P3X3+B9P3X4+B9P3X5+B9P3X6+B9P3X7+B9P3X8+B9P3X9+B9P3X10+B9P3X11+B9P3X12+B9P3X13+B9P3X14+B9P3X15-KB9P3=0$$

$$B9P4X1-KB9P4=0$$

(VII)

$$B9P3X1+B9P3X2-B9S1=0$$

$$B9P3X3+B9P3X4+B9P3X5-B9S2=0$$

$$2B9P3X6+B9P3X7+B9P3X8+B9P3X9-B9S3=0$$

$$B9P3X3+B9P3X7+2B9P3X10+B9P3X11+B9P3X12-B9S4=0$$

$$B9P3X1+B9P3X4+B9P3X8+B9P3X11+2B9P3X13+B9P3X14-B9S5=0$$

$$B9P3X2+B9P3X5+B9P3X9+B9P3X12+B9P3X14+2B9P3X15-B9S6=0$$

$$B9P1X1+B9P1X2+B9P1X3+B9P1X4-B9S7=0$$

$$B9P1X5+B9P1X6+B9P1X7+B9P1X8+B9P1X9+B9P1X10-B9S8=0$$

$$2B9P1X11+B9P1X12+B9P1X13+B9P1X14+B9P1X15+B9P1X16+B9P1X17-B9S9=0$$

$$B9P1X5+B9P1X12+2B9P1X18+B9P1X19+B9P1X20+B9P1X21+B9P1X22+B9P1X23-B9S10=0$$

$$B9P1X1+B9P1X6+B9P1X13+B9P1X19+2B9P1X24+B9P1X25+B9P1X26+B9P1X27+B9P1X28-B9S11=0$$

$$B9P1X2+B9P1X7+B9P1X14+B9P1X20+B9P1X25+2B9P1X29+2B9P1X30+B9P1X31+B9P1X32+B9P1X33-B9S12=0$$

$$B9P1X3+2B9P1X8+B9P1X9+2B9P1X15+B9P1X16+2B9P1X21+B9P1X22+2B9P1X26+B9P1X27+B9P1X29+2B9P1X31+B9P1X32+4B9P1X34+3B9P1X35+2B9P1X36+B9P1X37-B9S13=0$$

$$B9P1X3+2B9P1X4+B9P1X9+2B9P1X10+B9P1X16+2B9P1X17+B9P1X22+2B9P1X23+B9P1X25+B9P1X27+3B9P1X28+B9P1X30+2B9P1X32+3B9P1X33+B9P1X35+2B9P1X36+4B9P1X37+5B9P1X38-B9S14=0$$

$$4B9P2X1+3B9P2X2+2B9P2X3+B9P2X4-B9S15=0$$

$$B9P2X2+2B9P2X3+4B9P2X4+5B9P2X5-B9S16=0$$

$$6B9P4X1-B9S17=0$$

$$B9P1X14+B9P1X17+B9P1X19+B9P1X22+B9P1X26+B9P1X35-B9R1=0$$

$$B9P1X20+B9P1X23+B9P1X24+B9P1X27+B9P1X31+B9P1X36-B9R2=0$$

(VIII)

$$B9S1+AB9S1-YB9S1=0$$

$$B9S2+AB9S2-YB9S2=0$$

$$B9S3+AB9S3-YB9S3=0$$

$$B9S4+AB9S4-YB9S4=15$$

$$B9S5+AB9S5-YB9S5=0$$

$$B9S6+AB9S6-YB9S6=0$$

$$B9S7+AB9S7-YB9S7=0$$

$$B9S8+AB9S8-YB9S8=0$$

$$B9S9+AB9S9-YB9S9=60$$

$$B9S10+AB9S10-YB9S10=0$$

$$B9S11+AB9S11-YB9S11=0$$

$$B9S12+AB9S12-YB9S12=0$$

$$B9S13+AB9S13-YB9S13=361$$

$$B9S14+AB9S14-YB9S14=759$$

$$B9S15+AB9S15-YB9S15=52$$

$$B9S16+AB9S16-YB9S16=2$$

$$B9S17+AB9S17-YB9S17=1450$$

(IX)

$$TB91-5B91 \geq 0$$

$$TB92-5B92 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB9S1+0.01386AB9S2+0.01287AB9S3+0.01188AB9S4+0.01089AB9S5+ \\ 0.0099AB9S6+0.009AB9S7+0.0084AB9S8+0.0078AB9S9+0.0072AB9S10+0.0066AB9S11+ \\ 0.006AB9S12+0.0036AB9S13+0.003AB9S14+0.0054AB9S15+0.0045AB9S16+0.0032AB9S17- \\ KSH=0$$

$$5.474B91+5.474B92-KBH=0$$

$$0.01485B9S1+0.01386B9S2+0.01287B9S3+0.01188B9S4+0.01089B9S5+0.0099B9S6+ \\ 0.009B9S7+0.0084B9S8+0.0078B9S9+0.0072B9S10+0.0066B9S11+0.006B9S12+ \\ 0.0036B9S13+0.003B9S14+0.0054B9S15+0.0045B9S16+0.0032B9S17+0.0018B9R1+ \\ 0.0024B9R2-UPH=0$$

$$0.0168SB9P1+ 0.0252SB9P2+ 0.02772SB9P3+ 0.0224SB9P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB9$$

$$F9=20.6198+ FB9$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.10 Blok 10 İçin Yazılan Model

$$\min \quad 100KSH-SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B101+B102 \leq 1$$

(II)

$$30B101Y1+33B101Y2+40B101Y3+TB101-145B101=0$$

$$30B102Y1+33B102Y2+40B102Y3+TB102-155B102=0$$

(III)

$$B101Y1Z1+B101Y1Z2-B101Y1=0$$

$$B102Y1Z1+B102Y1Z2-B102Y1=0$$

(IV)

$$53B101Y1Z1+50B102Y1Z1-B10P1=0$$

$$39B101Y1Z2+36B102Y1Z2-B10P2=0$$

$$39B101Y2+36B102Y2-B10P3=0$$

$$53B101Y3+50B102Y3-B10P4=0$$

(V)

$$KB10P1+SB10P1-B10P1=0$$

$$KB10P2+SB10P2-B10P2=0$$

$$KB10P3+SB10P3-B10P3=0$$

$$KB10P4+SB10P4-B10P4=0$$

(VI)

$$B10P1X1+B10P1X2+B10P1X3+B10P1X4+B10P1X5+B10P1X6+B10P1X7+B10P1X8+$$

$B10P1X9+B10P1X10+B10P1X11+B10P1X12+B10P1X13+B10P1X14+B10P1X15+B10P1X16-$
 $KB10P1=0$

$B10P2X1+B10P2X2+B10P2X3+B10P2X4-KB10P2=0$

$B10P3X1+B10P3X2+B10P3X3+B10P3X4+B10P3X5+B10P3X6-KB10P3=0$

$B10P4X1-KB10P4=0$

(VII)

$B10P3X1-B10S1=0$

$B10P3X2-B10S2=0$

$B10P3X3-B10S3=0$

$B10P3X4-B10S4=0$

$B10P3X5-B10S5=0$

$2B10P3X6-B10S6=0$

$B10P1X1-B10S7=0$

$B10P1X2+B10P1X3-B10S8=0$

$B10P1X4+B10P1X5-B10S9=0$

$B10P1X6+B10P1X7-B10S10=0$

$B10P1X8+B10P1X9-B10S11=0$

$2B10P1X10+B10P1X11+B10P1X12-B10S12=0$

$B10P1X2+B10P1X4+B10P1X6+B10P1X8+B10P1X11+3B10P1X13+2B10P1X14+B10P1X15-$
 $B10S13=0$

$B10P1X1+B10P1X3+B10P1X5+B10P1X7+B10P1X9+2B10P1X12+B10P1X14+2B10P1X15+$
 $4B10P1X16-B10S14=0$

$3B10P2X1+2B10P2X2+B10P2X3-B10S15=0$

$B10P2X2+2B10P2X3+4B10P2X4-B10S16=0$

$5B10P4X1-B10S17=0$

$B10P1X7+B10P1X8+B10P1X14-B10R1=0$

$B10P1X9+B10P1X11+B10P1X15-B10R2=0$

(VIII)

$B10S1+AB10S1-YB10S1=0$

$B10S2+AB10S2-YB10S2=0$

$B10S3+AB10S3-YB10S3=0$

$B10S4+AB10S4-YB10S4=15$

$B10S5+AB10S5-YB10S5=0$

$B10S6+AB10S6-YB10S6=0$

$B10S7+AB10S7-YB10S7=0$

$B10S8+AB10S8-YB10S8=0$

$B10S9+AB10S9-YB10S9=60$

$B10S10+AB10S10-YB10S10=0$

$B10S11+AB10S11-YB10S11=0$

$B10S12+AB10S12-YB10S12=0$

$$B10S13+AB10S13-YB10S13=213$$

$$B10S14+AB10S14-YB10S14=167$$

$$B10S15+AB10S15-YB10S15=52$$

$$B10S16+AB10S16-YB10S16=2$$

$$B10S17+AB10S17-YB10S17=1228$$

(IX)

$$TB101-5B101 \geq 0$$

$$TB102-5B102 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB10S1+0.01386AB10S2+0.01287AB10S3+0.01188AB10S4+0.01089AB10S5+$$

$$0.0099AB10S6+0.009AB10S7+0.0084AB10S8+0.0078AB10S9+0.0072AB10S10+$$

$$0.0066AB10S11+0.006AB10S12+0.0036AB10S13+0.003AB10S14+0.0054AB10S15+$$

$$0.0045AB10S16+0.0032AB10S17-KSH=0$$

$$5.28B101+5.28B102-KBH=0$$

$$0.01485B10S1+0.01386B10S2+0.01287B10S3+0.01188B10S4+0.01089B10S5+$$

$$0.0099B10S6+0.009B10S7+0.0084B10S8+0.0078B10S9+0.0072B10S10+0.0066B10S11+$$

$$0.006B10S12+0.0036B10S13+0.003B10S14+0.0054B10S15+0.0045B10S16+0.0032B10S17+$$

$$0.0018B10R1+0.0024B10R2-UPH=0$$

$$0.0132SB10P1+ 0.0198SB10P2+ 0.02178SB10P3+ 0.0176SB10P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB10$$

$$F10=23.0746+ FB10$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.11 Blok 11 İçin Yazılan Model

$$\min \quad 100KSH-SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B111+B112 \leq 1$$

(II)

$$30B111Y1+33B111Y2+40B111Y3+TB111-155B111=0$$

$$30B112Y1+33B112Y2+40B112Y3+TB112-185B112=0$$

(III)

$$B111Y1Z1+B111Y1Z2-B111Y1=0$$

$$B112Y1Z1+B112Y1Z2-B112Y1=0$$

(IV)

$$64B111Y1Z1+53B112Y1Z1-B11P1=0$$

$$47B111Y1Z2+39B112Y1Z2-B11P2=0$$

$$47B111Y2+39B112Y2-B11P3=0$$

$$64B111Y3+53B112Y3-B11P4=0$$

(V)

$$KB11P1+SB11P1-B11P1=0$$

$$KB11P2+SB11P2-B11P2=0$$

$$KB11P3+SB11P3-B11P3=0$$

$$KB11P4+SB11P4-B11P4=0$$

(VI)

$$B11P1X1+B11P1X2+B11P1X3+B11P1X4+B11P1X5+B11P1X6+B11P1X7+B11P1X8+B11P1X9-KB11P1=0$$

$$B11P2X1+B11P2X2+B11P2X3-KB11P2=0$$

$$B11P3X1+B11P3X2+B11P3X3+B11P3X4+B11P3X5+B11P3X6-KB11P3=0$$

$$B11P4X1-KB11P4=0$$

(VII)

$$B11P3X1-B11S1=0$$

$$B11P3X2-B11S2=0$$

$$B11P3X3-B11S3=0$$

$$B11P3X4-B11S4=0$$

$$B11P3X5-B11S5=0$$

$$B11P3X6-B11S6=0$$

$$B11P1X1-B11S7=0$$

$$B11P1X2-B11S8=0$$

$$B11P1X3-B11S9=0$$

$$B11P1X4-B11S10=0$$

$$B11P1X5-B11S11=0$$

$$B11P1X6-B11S12=0$$

$$2B11P1X7+B11P1X8-B11S13=0$$

$$B11P1X6+B11P1X8+3B11P1X9-B11S14=0$$

$$2B11P2X1+B11P2X2-B11S15=0$$

$$B11P2X2+3B11P2X3-B11S16=0$$

$$3B11P4X1-B11S17=0$$

$$B11P1X4+B11P1X7-B11R1=0$$

$$B11P1X5+B11P1X8+B11P4X1-B11R2=0$$

(VIII)

$$B11S1+AB11S1-YB11S1=0$$

$$B11S2+AB11S2-YB11S2=0$$

$$B11S3+AB11S3-YB11S3=0$$

$$B11S4+AB11S4-YB11S4=15$$

$$B11S5+AB11S5-YB11S5=0$$

$$B11S6+AB11S6-YB11S6=0$$

$$B11S7+AB11S7-YB11S7=0$$

$$B11S8+AB11S8-YB11S8=0$$

$$B11S9+AB11S9-YB11S9=51$$

$$B11S10+AB11S10-YB11S10=0$$

$$B11S11+AB11S11-YB11S11=0$$

$$B11S12+AB11S12-YB11S12=0$$

$$B11S13+AB11S13-YB11S13=204$$

$$B11S14+AB11S14-YB11S14=3$$

$$B11S15+AB11S15-YB11S15=52$$

$$B11S16+AB11S16-YB11S16=2$$

$$B11S17+AB11S17-YB11S17=478$$

(IX)

$$TB111-5B111 \geq 0$$

$$TB112-5B112 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB11S1+0.01386AB11S2+0.01287AB11S3+0.01188AB11S4+0.01089AB11S5+$$

$$0.0099AB11S6+0.009AB11S7+0.0084AB11S8+0.0078AB11S9+0.0072AB11S10+$$

$$0.0066AB11S11+0.006AB11S12+0.0036AB11S13+0.003AB11S14+0.0054AB11S15+$$

$$0.0045AB11S16+0.0032AB11S17-KSH=0$$

$$5.168B111+5.168B112-KBH=0$$

$$0.01485B11S1+0.01386B11S2+0.01287B11S3+0.01188B11S4+0.01089B11S5+$$

$$0.0099B11S6+0.009B11S7+0.0084B11S8+0.0078B11S9+0.0072B11S10+0.0066B11S11+$$

$$0.006B11S12+0.0036B11S13+0.003B11S14+0.0054B11S15+0.0045B11S16+0.0032B11S17+$$

$$0.0018B11R1+0.0024B11R2-UPH=0$$

$$0.0102SB11P1+ 0.0153SB11P2+ 0.01683SB11P3+ 0.0136SB11P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB11$$

$$F11=25.36+ FB11$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

5.12 Blok 12 İçin Yazılan Model

$$\min \quad 100KSH-SPLH$$

sınırlar

(I)

$$B121+B122 \leq 1$$

(II)

$$30B121Y1+33B121Y2+40B121Y3+TB121-140B121=0$$

$$30B122Y1+33B122Y2+40B122Y3+TB122-150B122=0$$

(III)

$$B121Y1Z1+B121Y1Z2-B121Y1=0$$

$$B122Y1Z1+B122Y1Z2-B122Y1=0$$

(IV)

$$51B121Y1Z1+48B122Y1Z1-B12P1=0$$

$$38B121Y1Z2+35B122Y1Z2-B12P2=0$$

$$38B121Y2+35B122Y2-B12P3=0$$

$$51B121Y3+48B122Y3-B12P4=0$$

(V)

$$KB12P1+SB12P1-B12P1=0$$

$$KB12P2+SB12P2-B12P2=0$$

$$KB12P3+SB12P3-B12P3=0$$

$$KB12P4+SB12P4-B12P4=0$$

(VI)

$$B12P1X1+B12P1X2+B12P1X3+B12P1X4+B12P1X5+B12P1X6+B12P1X7+B12P1X8+$$

$$B12P1X9+B12P1X10+B12P1X11+B12P1X12+B12P1X13+B12P1X14+B12P1X15+B12P1X16-$$

$$KB12P1=0$$

$$B12P2X1+B12P2X2+B12P2X3+B12P2X4-KB12P2=0$$

$$B12P3X1+B12P3X2+B12P3X3+B12P3X4+B12P3X5+B12P3X6-KB12P3=0$$

$$B12P4X1-KB12P4=0$$

(VII)

$$B12P3X1-B12S1=0$$

$$B12P3X2-B12S2=0$$

$$B12P3X3-B12S3=0$$

$$B12P3X4-B12S4=0$$

$$B12P3X5-B12S5=0$$

$$2B12P3X6-B12S6=0$$

$$B12P1X1-B12S7=0$$

$$B12P1X2+B12P1X3-B12S8=0$$

$$B12P1X4+B12P1X5-B12S9=0$$

$$B12P1X6+B12P1X7-B12S10=0$$

$$B12P1X8+B12P1X9-B12S11=0$$

$$2B12P1X10+B12P1X11+B12P1X12-B12S12=0$$

$$B12P1X2+B12P1X4+B12P1X6+B12P1X8+B12P1X11+3B12P1X13+2B12P1X14+B12P1X15-$$

$$B12S13=0$$

$$B12P1X1+B12P1X3+B12P1X5+B12P1X7+B12P1X9+2B12P1X12+B12P1X14+2B12P1X15+$$

$$4B12P1X16-B12S14=0$$

$$3B12P2X1+2B12P2X2+B12P2X3-B12S15=0$$

$$B12P2X2+2B12P2X3+4B12P2X4-B12S16=0$$

$$5B12P4X1-B12S17=0$$

$$B12P1X7+B12P1X8+B12P1X14-B12R1=0$$

$$B12P1X9+B12P1X11+B12P1X15-B12R2=0$$

(VIII)

$$B12S1+AB12S1-YB12S1=0$$

$$B12S2+AB12S2-YB12S2=0$$

$$B12S3+AB12S3-YB12S3=0$$

$$B12S4+AB12S4-YB12S4=15$$

$$B12S5+AB12S5-YB12S5=0$$

$$B12S6+AB12S6-YB12S6=0$$

$$B12S7+AB12S7-YB12S7=0$$

$$B12S8+AB12S8-YB12S8=0$$

$$B12S9+AB12S9-YB12S9=0$$

$$B12S10+AB12S10-YB12S10=0$$

$$B12S11+AB12S11-YB12S11=0$$

$$B12S12+AB12S12-YB12S12=0$$

$$B12S13+AB12S13-YB12S13=96$$

$$B12S14+AB12S14-YB12S14=0$$

$$B12S15+AB12S15-YB12S15=52$$

$$B12S16+AB12S16-YB12S16=2$$

$$B12S17+AB12S17-YB12S17=1$$

(IX)

$$TB121-5B121 \geq 0$$

$$TB122-5B122 \geq 0$$

(X)

$$0.01485AB12S1+0.01386AB12S2+0.01287AB12S3+0.01188AB12S4+0.01089AB12S5+$$

$$0.0099AB12S6+0.009AB12S7+0.0084AB12S8+0.0078AB12S9+0.0072AB12S10+$$

$$0.0066AB12S11+0.006AB12S12+0.0036AB12S13+0.003AB12S14+0.0054AB12S15+$$

$$0.0045AB12S16+0.0032AB12S17-KSH=0$$

$$4.945B121+4.945B122-KBH=0$$

$$0.01485B12S1+0.01386B12S2+0.01287B12S3+0.01188B12S4+0.01089B12S5+$$

$$0.0099B12S6+0.009B12S7+0.0084B12S8+0.0078B12S9+0.0072B12S10+0.0066B12S11+$$

$$0.006B12S12+0.0036B12S13+0.003B12S14+0.0054B12S15+0.0045B12S16+0.0032B12S17+$$

$$0.0018B12R1+0.0024B12R2-UPH=0$$

$$0.0132SB12P1+ 0.0198SB12P2+ 0.02178SB12P3+ 0.0176SB12P4-SPLH=0$$

$$KBH-(UPH+SPLH)=FB12$$

$$F12=27.7272+ FB12$$

ve

Negatif olmama ve tamsayılık şartları

EK 6. UYGULAMA PROBLEMİ (i=1,...17; j=1,...20) ÇÖZÜM ÇIKTILARI**Ardışık Modellerin Çözümü****6.1 Blok 1 İçin Yazılan Modelin Çözümü**

Integer optimal solution: Objective = 3.3917800000e+03

Solution time = 0.38 sec. Iterations = 101 Nodes = 47

Variable Name	Solution Value
KSH	33,9178
B11Y1	5
TB11	5
B11	1
B11Y1Z2	5
B1P2	200
B1P2X5	200
KB1P2	200
B1S16	1000
AB1S1	60
AB1S2	60
AB1S3	180
AB1S4	180
AB1S5	180
AB1S6	60
AB1S7	30
AB1S8	30
AB1S9	90
AB1S10	90
AB1S11	90
AB1S12	30
AB1S13	1500
AB1S14	1800
AB1S15	1000
AB1S16	200
AB1S17	1700
UPH	4,5
KBH	7,128
FB1	2,628

All other variables in the range 1-135 are zero.

6.2 Blok 2 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 2.9825140000e+03

Solution time = 0.18 sec. Iterations = 96 Nodes = 19

Variable Name	Solution Value
KSH	29,82514
B22Y1	2
B22Y2	3
TB22	6
B22	1
B22Y1Z2	2
B2P2	78
B2P3	117
B2P2X2	78
KB2P2	78
B2P3X4	27
B2P3X5	90
KB2P3	117
B2S4	27
B2S5	180
B2S6	27
B2S15	156
B2S16	156
AB2S1	60
AB2S2	60
AB2S3	180
AB2S4	153
AB2S6	33
AB2S7	30
AB2S8	30
AB2S9	90
AB2S10	90
AB2S11	90
AB2S12	30
AB2S13	1500
AB2S14	1800
AB2S15	844
AB2S16	44
AB2S17	1700
UPH	4,09266
KBH	6,528
FB2	2,43534
F2	5,06334

All other variables in the range 1-118 are zero.

6.3 Blok 3 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution (0.0001/0): Objective = 2.5951450000e+03

Solution time = 0.46 sec. Iterations = 151 Nodes = 39

Variable Name	Solution Value
KSH	25,95145
B32Y1	2
B32Y2	3
TB32	6
B32	1
B32Y1Z1	1
B3P1	42
B32Y1Z2	1
B3P2	31
B3P3	93
B3P1X1	12
B3P1X7	30
KB3P1	42
B3P2X1	17
B3P2X3	14
KB3P2	31
B3P3X1	33
B3P3X4	60
KB3P3	93
B3S1	33
B3S2	60
B3S3	60
B3S4	33
B3S7	12
B3S8	30
B3S9	30
B3S10	12
B3S15	96
B3S16	42
AB3S1	27
AB3S3	120
AB3S4	120
AB3S6	33
AB3S7	18
AB3S9	60
AB3S10	78
AB3S11	90
AB3S12	30
AB3S13	1500
AB3S14	1800
AB3S15	748
AB3S16	2
AB3S17	1700
UPH	3,87369
KBH	6,409
FB3	2,53531
F3	7,59865

All other variables in the range 1-150 are zero.

6.4 Blok 4 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 2.2408160000e+03

Solution time = 0.35 sec. Iterations = 77 Nodes = 28

Variable Name	Solution Value
KSH	22,40816
B42Y1	3
B42Y2	1
B42Y3	1
TB42	7
B42	1
B42Y1Z1	3
B4P1	150
B4P3	36
B4P4	50
B4P1X9	78
B4P1X10	45
B4P1X19	27
KB4P1	150
B4P3X1	3
B4P3X4	33
KB4P3	36
B4P4X1	50
KB4P4	50
B4S1	3
B4S4	33
B4S6	33
B4S10	78
B4S11	90
B4S13	54
B4S14	210
B4S17	250
AB4S1	24
AB4S3	120
AB4S4	87
AB4S7	18
AB4S9	60
AB4S12	30
AB4S13	1446
AB4S14	1590
AB4S15	748
AB4S16	2
AB4S17	1450
UPH	3,54329
KBH	6,3
FB4	2,75671
F4	10,35536

All other variables in the range 1-118 are zero.

6.5 Blok 5 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 1.8842000000e+03

Solution time = 0.34 sec. Iterations = 99 Nodes = 25

Variable Name	Solution Value
KSH	18,842
B51Y1	1
B51Y2	3
TB51	6
B51	1
B51Y1Z1	1
B5P1	50
B5P3	108
B5P1X4	18
B5P1X35	30
B5P1X40	2
KB5P1	50
B5P3X1	24
B5P3X8	60
B5P3X12	24
KB5P3	108
B5S1	24
B5S3	120
B5S4	72
B5S7	18
B5S12	30
B5S13	100
B5S14	36
AB5S4	15
AB5S9	60
AB5S13	1346
AB5S14	1554
AB5S15	748
AB5S16	2
AB5S17	1450
UPH	3,56616
KBH	6,09
FB5	2,52384
F5	12,8792

All other variables in the range 1-150 are zero.

6.6 Blok 6 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 1.5503000000e+03

Solution time = 0.03 sec. Iterations = 30 Nodes = 1

Variable Name	Solution Value
KSH	15,503
B61Y1	5
TB61	5
B61	1
B61Y1Z1	5
B6P1	265
B6P1X17	265
KB6P1	265
B6S13	265
B6S14	795
AB6S4	15
AB6S9	60
AB6S13	1081
AB6S14	759
AB6S15	748
AB6S16	2
AB6S17	1450
UPH	3,339
KBH	5,888
FB6	2,549
F6	15,4282

All other variables in the range 1-108 are zero.

6.7 Blok 7 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 1.2457400000e+03

Solution time = 0.01 sec. Iterations = 21 Nodes = 1

Variable Name	Solution Value
KSH	12,4574
B71Y1	6
TB71	5
B71	1
B71Y1Z2	6
B7P2	282
B7P2X1	282
KB7P2	282
B7S15	564
AB7S4	15
AB7S9	60
AB7S13	1081
AB7S14	759
AB7S15	184
AB7S16	2
AB7S17	1450
UPH	3,0456
KBH	5,776
FB7	2,7304
F7	18,1586

All other variables in the range 1-95 are zero.

6.8 Blok 8 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 9.1526000000e+02

Solution time = 0.05 sec. Iterations = 31 Nodes = 4

Variable Name	Solution Value
KSH	9,1526
B81Y1	5
TB81	5
B81	1
B81Y1Z1	4
B8P1	240
B81Y1Z2	1
B8P2	44
B8P1X10	240
KB8P1	240
B8P2X1	44
KB8P2	44
B8S13	720
B8S15	132
AB8S4	15
AB8S9	60
AB8S13	361
AB8S14	759
AB8S15	52
AB8S16	2
AB8S17	1450
UPH	3,3048
KBH	5,766
FB8	2,4612
F8	20,6198

All other variables in the range 1-109 are zero.

6.9 Blok 9 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 6.1334000000e+02

Solution time = 0.22 sec. Iterations = 56 Nodes = 11

Variable Name	Solution Value
KSH	6,1334
B91Y1	4
B91Y3	1
TB91	5
B91	1
B91Y1Z1	4
B9P1	148
B9P4	37
B9P1X37	148
KB9P1	148
B9P4X1	37
KB9P4	37
B9S13	148
B9S14	592
B9S17	222
AB9S4	15
AB9S9	60
AB9S13	213
AB9S14	167
AB9S15	52
AB9S16	2
AB9S17	1228
UPH	3,0192
KBH	5,474
FB9	2,4548
F9	23,0746

All other variables in the range 1-144 are zero.

6.10 Blok 10 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 3.1388000000e+02

Solution time = 0.12 sec. Iterations = 39 Nodes = 7

Variable Name	Solution Value
KSH	3,1388
B102Y1	1
B102Y3	3
TB102	5
B102	1
B102Y1Z1	1
B10P1	50
B10P4	150
B10P1X4	9
B10P1X16	41
KB10P1	50
B10P4X1	150
KB10P4	150
B10S9	9
B10S13	9
B10S14	164
B10S17	750
AB10S4	15
AB10S9	51
AB10S13	204
AB10S14	3
AB10S15	52
AB10S16	2
AB10S17	478
UPH	2,9946
KBH	5,28
FB10	2,2854
F10	25,36

All other variables in the range 1-112 are zero.

6.11 Blok 11 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution: Objective = 8.1680000000e+01

Solution time = 0.11 sec. Iterations = 29 Nodes = 8

Variable Name	Solution Value
KSH	0,8168
B112Y1	2
B112Y3	3
TB112	5
B112	1
B112Y1Z1	2
B11P1	106
B11P4	159
B11P1X3	51
B11P1X7	54
B11P1X9	1
KB11P1	106
B11P4X1	159
KB11P4	159
B11S9	51
B11S13	108
B11S14	3
B11S17	477
B11R1	54
B11R2	159
AB11S4	15
AB11S13	96
AB11S15	52
AB11S16	2
AB11S17	1
UPH	2,8008
KBH	5,168
FB11	2,3672
F11	27,7272

All other variables in the range 1-104 are zero.

6.12 Blok 12 İçin Yazılan Modelin Çözümü

Integer optimal solution (0.0001/0): Objective = -2.0277400000e+00

Solution time = 0.27 sec. Iterations = 45 Nodes = 22

Variable Name	Solution Value
SPLH	2,02774
B121Y1	2
B121Y2	1
B121Y3	1
TB121	7
B121	1
B121Y1Z1	1
B12P1	51
B121Y1Z2	1
B12P2	38
B12P3	38
B12P4	51
B12P1X13	32
KB12P1	32
B12P2X1	17
B12P2X3	1
KB12P2	18
B12P3X4	15
KB12P3	15
B12P4X1	1
KB12P4	1
SB12P1	19
SB12P2	20
SB12P3	23
SB12P4	50
B12S4	15
B12S13	96
B12S15	52
B12S16	2
B12S17	5
YB12S17	4
UPH	0,8296
KBH	4,945
FB12	2,08766
F12	29,81486

All other variables in the range 1-112 are zero.

EK 7. UYGULAMA PROBLEMİ (i=1,...17; j=1,...20) KESİM PLANLARI**7.1 Blok 1 Kesim Planı**

BLOK 1.1 270x165x160				
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S16 50
Y1: 30 5 adet	Z2: 3 5 adet	P2: 270x30x3 Üretilen: 200 adet Kesilen: 200 adet	P2X5: 200	5
Taban: 5	Üretilen Parça Miktarı			1000

7.2 Blok 2 Kesim Planı

BLOK 2.2 240x160x170								
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S4 120	S5 110	S6 100	S15 60	S16 50
Y1: 30 2 adet	Z2: 3 2 adet	P2: 240x30x3 Üretilen: 78 adet Kesilen: 78 adet	P2X2: 78				2	2
Y2: 33 3 adet	Z2: 3 3 adet	P3: 240x33x3 Üretilen: 117 adet Kesilen: 117 adet	P3X4: 27	1		1		
			P3X5: 90		2			
Taban: 6	Üretilen Parça Miktarı			27	180	27	156	156

7.3 Blok 3 Kesim Planı

BLOK 3.2 290x130x170													
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S1 150	S2 140	S3 130	S4 120	S7 150	S8 140	S9 130	S10 120	S15 60	S16 50
Y1: 30 2 adet	Z1: 2 1 adet	P1: 290x30x2 Üretilen: 42 adet Kesilen: 42 adet	P1X1: 12					1			1		
			P1X7: 30						1	1			
	Z2: 3 1 adet	P2: 290x30x3 Üretilen: 31 adet Kesilen: 31 adet	P2X1: 17									4	
			P2X3: 14									2	3
Y2: 33 3 adet	Z2: 3 3 adet	P3: 290x33x3 Üretilen: 93 adet Kesilen: 93 adet	P3X1: 33	1			1						
			P3X4: 60		1	1							
Taban: 6	Üretilen Parça Miktarı			33	60	60	33	12	30	30	12	96	42

7.4 Blok 4 Kesim Planı

BLOK 4.2 240x150x175											
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S1 150	S4 120	S6 100	S10 120	S11 110	S13 60	S14 50	S17 40
Y1: 30 3 adet	Z1: 2 3 adet	P1: 240x30x2 Üretilen: 150 adet Kesilen: 150 adet	P1X9: 78				1			2	
			P1X10: 45					2			
			P1X19: 27						2	2	
Y2: 33 1 adet	Z2: 3 1 adet	P3: 240x33x3 Üretilen: 36 adet Kesilen: 36 adet	P3X1: 3	1							
			P3X4: 33		1	1					
Y3: 40 1 adet	Z1: 2 1 adet	P4: 240x40x2 Üretilen: 50 adet Kesilen: 50 adet	P4X1: 50								5
Taban: 7	Üretilen Parça Miktarı			3	33	33	78	90	54	210	250

7.5 Blok 5 Kesim Planı

BLOK 5.1 290x150x140										
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S1 150	S3 130	S4 120	S7 150	S12 100	S13 60	S14 50
Y1: 30 1 adet	Z1: 2 1 adet	P1: 290x30x2 Üretilen: 50 adet Kesilen: 50 adet	P1X4: 18				1		2	
			P1X35: 30					1	2	1
			P1X40: 2						2	3
Y2: 33 3 adet	Z2: 3 3 adet	P3: 290x33x3 Üretilen: 108 adet Kesilen: 108 adet	P3X1: 24	1		1				
			P3X8: 60		2					
			P3X12: 24			2				
Taban: 6	Üretilen Parça Miktarı			24	120	72	18	30	100	36

7.6 Blok 6 Kesim Planı

BLOK 6.1 230x160x160					
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S13 60	S14 50
Y1: 30 5 adet	Z1: 2 5 adet	P1: 230x30x2 Üretilen: 265 adet Kesilen: 265 adet	P1X17: 265	1	3
Taban: 5	Üretilen Parça Miktarı			265	795

7.7 Blok 7 Kesim Planı

BLOK 7.1 160x190x190				
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S15 60
Y1: 30 6 adet	Z2: 3 6 adet	P2: 160x30x3 Üretilen: 282 adet Kesilen: 282 adet	P2X1: 282	2
Taban: 5	Üretilen Parça Miktarı			564

7.8 Blok 8 Kesim Planı

BLOK 8.1 200x180x160					
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S13 60	S15 60
Y1: 30 5 adet	Z1: 2 4 adet	P1: 200x30x2 Üretilen: 240 adet Kesilen: 240 adet	P1X10: 240	3	
	Z2: 3 1 adet	P2: 200x30x3 Üretilen: 44 adet Kesilen: 44 adet	P2X1: 44		3
Taban: 5	Üretilen Parça Miktarı			720	132

7.9 Blok 9 Kesim Planı

BLOK 9.1 280x115x170						
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S13 60	S14 50	S17 40
Y1: 30 4 adet	Z1: 2 4 adet	P1: 280x30x2 Üretilen: 148 adet Kesilen: 148 adet	P1X37: 148	1	4	
Y3: 40 1 adet	Z1: 2 1 adet	P4: 280x40x2 Üretilen: 37 adet Kesilen: 37 adet	P4X1: 37			6
Taban: 5	Üretilen Parça Miktarı			148	592	222

7.10 Blok 10 Kesim Planı

BLOK 10.2 220x150x160							
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S9 130	S13 60	S14 50	S17 40
Y1: 30 1 adet	Z1: 2 1 adet	P1: 220x30x2 Üretilen: 50 adet Kesilen: 50 adet	P1X4: 9	1	1		
			P1X16: 41			4	
Y3: 40 3 adet	Z1: 2 3 adet	P4: 220x40x2 Üretilen: 150 adet Kesilen: 150 adet	P4X1: 150				5
Taban: 5	Üretilen Parça Miktarı			9	9	164	750

7.11 Blok 11 Kesim Planı

BLOK 11.2 170x160x190									
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S9 130	S13 60	S14 50	S17 40	R1 30	R2 40
Y1: 30 2 adet	Z1: 2 2 adet	P1: 170x30x2 Üretilen: 106 adet Kesilen: 106 adet	P1X3: 51	1					
			P1X7: 54		2			1	
			P1X9: 1			3			
Y3: 40 3 adet	Z1: 2 3 adet	P4: 170x40x2 Üretilen: 159 adet Kesilen: 159 adet	P4X1: 159				3		1
Taban: 5	Üretilen Parça Miktarı			51	108	3	477	54	159

7.12 Blok 12 Kesim Planı

BLOK 12.1 220x155x145									
Y-Kesim	Z-Kesim	Plakalar	X-Kesim	S4 120	S13 60	S15 60	S16 50	S17 40	
Y1: 30 2 adet	Z1: 2 1 adet	P1: 220x30x2 Üretilen: 51 adet Kesilen: 32 adet	P1X13: 32		3				
	Z2: 3 1 adet	P2: 220x30x3 Üretilen: 38 adet Kesilen: 18 adet	P2X1: 17			3			
			P2X3: 1			1	2		
Y2: 33 1 adet	Z2: 3 1 adet	P3: 220x33x3 Üretilen: 38 adet Kesilen: 15 adet	P3X4: 15	1					
Y3: 40 1 adet	Z1: 2 1 adet	P4: 220x40x2 Üretilen: 51 adet Kesilen: 1 adet	P4X1: 1					5	
Taban: 7	Üretilen Parça Miktarı			15	96	52	2	5	

ÖZGEÇMİŞ

Yasemin YAVUZ

1981 yılında Gaziantep’te doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gaziantep’te tamamladıktan sonra, 1999’da Kayseri Sümer Lisesi’ni birincilikle bitirdi. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi İşletme Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında dönem birincisi olarak lisans öğrenimini tamamladı. 2003’te Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı. Nisan 2004’ten bu yana Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Üretim Yönetimi ve Pazarlama Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

İletişim Bilgileri

Adres :

Erciyes Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü
38039 KAYSERİ

Telefon : (0.384) 437 49 01 / 30262

E-posta : yaseminy@erciyes.edu.tr