ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

3 BOYUTLU KONTEYNIR YERLEŞTİRME PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA İLE ÇÖZÜMÜ VE KONSERVE SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Çağlar KARAMAŞA

Yüksek Lisans Tezi

Eskişehir,2012

3 BOYUTLU KONTEYNIR YERLEŞTİRME PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA İLE ÇÖZÜMÜ VE KONSERVE SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Çağlar KARAMAŞA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hasan DURUCASU

Eskişehir
Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Temmuz, 2012

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Çağlar KARAMAŞA'nın, **"3 Boyutlu Konteynır Yerleştirme Probleminin Matematiksel Programlama ile Çözümü ve Konserve Sektöründe Bir Uygulama"** başlıklı tezi **26 Temmuz 2012** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca toplanan **İşletme (Sayısal Yöntemler)** Anabilim Dalında, **yüksek lisans tezi** olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı)	:	**Prof.Dr.Hasan DURUCASU**
Üye	:	**Prof.Dr.Emel ŞIKLAR**
Üye	:	**Doç.Dr.Özgür TONUS**

Prof.Dr.B.Zafer ERDOĞAN
Anadolu Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

Yüksek Lisans Tez Özü

3 BOYUTLU KONTEYNIR YERLEŞTİRME PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA İLE ÇÖZÜMÜ VE KONSERVE SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Çağlar KARAMAŞA

Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Temmuz 2012

Danışman: Prof. Dr. Hasan Durucasu

Bu çalışmada tek çeşit ürün için yaratılan kutu türleriyle tek tür bir konteynıra yükleme yapılmıştır. Maksimum sayıdaki ürünün konteynıra yerleştirilmesi ve maksimum konteynır verimliliği amaçları ele alınmıştır. Rotasyon (yerleştirme) açısından kutuların 6 farklı biçimde yerleşeceği ele alınmıştır. Bu problemin çözümü için öncelikle tamsayılı doğrusal olmayan model oluşturulmuştur. Yerel optimum çözüm verdiği için bu model tamsayı ve doğrusal özelliklerindeki indirgenmiş modele dönüştürülerek modelin performansı incelenmiştir.

Çalışma 3 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kesme ve yerleştirme problemlerinin genel özellikleri tartışılmıştır. İkinci bölümde stok kesme problemleri ve çözüm yaklaşımları ile kesme ve yerleştirme problemlerinin alt türü olan konteynır yerleştirme problemleri incelenerek literatürdeki çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde ise konserve sektöründeki 3 boyutlu konteynır yerleştirme problemi ayrıntılarıyla incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyutlu konteynır yerleştirme problemi , Tamsayılı doğrusal programlama , Konserve sektörü

Abstract

SOLUTION OF 3 DIMENSIONAL CONTAINER LOADING PROBLEM BY MEANS OF MATHEMATICAL PROGRAMMING AND PRACTICE IN CONSERVATION INDUSTRY

Çağlar KARAMAŞA

Department of Quantitative Methods

Anadolu University, Graduate School of Social Sciences, July 2012

Supervisor: Prof. Dr. Hasan DURUCASU

In this manuscript one type of container is loaded with box types created for one product. Aims, which are loading maximum products in container and loading with maximum container utility rate are considered in this work. In the context of rotation boxes are placed with 6 different orientation. Integer non-linear model is created for solution of problem. Because of local optimum solution performance of this model is analyzed by changing into the reduced model having integer and linear attributes.

This work is consisted of three parts. Cutting and packing problems are discussed in the first part. Cutting stock problems and solution approaches , and container loading problems subtype of cutting and packing problems are analyzed by considering into literature in the second part. Three dimensional container loading problem in conservation industry are considered with details in the third part.

Key words: 3 Dimensional container loading problem, Integer linear programming, Conservation industry

01/08/2012

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tez çalışmasının bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumunda bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde intihal içermediğini beyan ederim.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Çağlar KARAMAŞA

İçindekiler

İkinci Bölüm

Stok Kesme ve Konteynır Yükleme Problemleri

Üçüncü Bölüm

Tekli Konteynır Yükleme Problemi ve Konserve Sektöründe Uygulama

Tablolar Listesi

Sayfa

Şekiller Listesi

Sayfa

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Giriş

Birçok endüstride tedarik edilen büyük boyutlardaki stok malzemeleri müşterilerin talep ettiği göreceli olarak daha küçük boyutlar haline dönüştürülmesi için kesme işlemine maruz kalır. Bu kesme işleminin sonucunda bu tür endüstrilerde fire ile karşılaşılması kaçınılmazdır. Bu nedenle bu tür endüstrilerde tedarik edilen stok malzemelerinden uygulanan kesim işlemi sonucunda en az kayıpla müşteri siparişlerinin karşılanması önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulaşım sektöründe ise genellikle boyutları bilinen malzemelerin belirli hacim ve kapasiteye sahip konteynırlara yüklenmesi problemleriyle karşılaşılmaktadır. Literatürde bu tür problemler stok kesme ve yükleme problemleri (stock cutting and packing) olarak bilinmektedir. Stok kesme ve yerleştirme problemlerinin alt türü olan konteynır yerleştirme problemleri ise özellikle lojistik sektöründe maliyetler açısından büyük önem taşımaktadır. Lojistik maliyetler firmaların toplam gelirlerinin önemli bir miktarını oluşturmaktadır. Bu yüzden firmalar taşımacılıktaki maliyetleri azaltmak için çeşitli yöntemlere başvurmaktadır. Lojistik sektöründe malların taşınması genellikle konteynırlarla yapılmaktadır. Lojistik maliyetlerinin azaltılması amacıyla konteynırların etkin ve verimli bir şekilde yüklenmesi bu açıdan önem kazanmaktadır. Bu bağlamda konteynır yükleme problemleri belirli boyutlara sahip malları bir yada daha fazla konteynıra etkin bir şekilde yerleştirmeye yöneliktir.

Bu çalışmada tek çeşit malın değişen boyutuna göre yaratılan kutu türleriyle tek tür bir konteynıra yükleme yapılmıştır. Maksimum sayıdaki malın konteynıra yüklenmesi ile konteynırın maksimum verimliliği sağlaması amaçları ile ilgilenilmiştir. Her çeşit mal için değişik kutu boyutları oluşturularak amaç fonksiyonları karşılaştırılmıştır.

Çalışma bu bağlamda üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde kesme ve yerleştirme problemlerinden genel olarak bahsedilmiştir. İkinci bölümde stok kesme problemleri ve çözüm yaklaşımları ile kesme ve yerleştirme problemlerinin alt türü olan konteynır yerleştirme problemleri incelenerek literatürdeki çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde ise konserve sektöründeki 3 boyutlu konteynır yerleştirme problemi ayrıntılarıyla incelenmiştir.

Birinci Bölüm

Kesme ve Yerleştirme Problemleri

1.Kesme ve Yerleştirme Problemleri İle İlgili Temel Kavramlar

Standart boyutlarda ve belirli miktarlardaki stok malzemelerin belirli boyut ve miktarlardaki küçük parçaları elde etmek için kesilmesine malzeme kesme problemi denir. Kesilecek malzeme için genellikle ana malzeme yada stok malzeme ifadesi kullanılmaktadır (Erol, 1990: 5).

Çeşitli sektörlerde (cam, tekstil, ağaç, metal, çelik, oluklu mukavva, kağıt vb.) belirli boyutlarda tedarik edilen stok malzemelerinin müşterilerin talep ettiği oransal olarak daha küçük boyutlara dönüştürülmesi amacıyla kesim işlemine tabi tutulması üretim sürecinin önemli bir bölümünü oluşturur. Kesim işlemi sonucunda oluşan ve boyutları bakımından talep edilen en küçük boyutlu parçadan bile küçük olan parçalara kesme kaybı yada fire denir (Erol, 1990: 5). Bu sektörlerde stok malzemelerinin verimli kullanılması başka bir deyişle oluşabilecek fire miktarının azaltılması önemli bir amaçtır. Bu amaçla bu sektörlerde malzemelerin nasıl kesileceğini gösteren uygun kesim planlarının oluşturulması bu amacın karşılanmasında önemli bir yer tutmaktadır. Parçaların belirli stok malzemelerine atanması ve bu atama sonucunda parçaların en az fire oluşturacak şekilde stok malzemesine yerleştirilmesi kesme problemlerinin iki önemli boyutunu meydana getirir (Erol, 1990: 26).

Yerleştirme problemleri ise boyut ve hacim olarak küçük malzemelerin kendisinden boyut ve hacim olarak büyük yerlere yerleştirilmesiyle ilgilidir. Örneğin ihracat ve taşımacılıkta ürünlerin kendisinden hacim olarak büyük kutulara, konteynırlara, araçlara vb. yerleştirilmesi problemleri bu türden problemlerdir. Bu tür problemlerde belirli kapasite kısıtları altında maksimum sayıda küçük parçanın yerleştirilmesi önemli bir amaçtır.

Benzer özelliklerinden dolayı literatürde kesme ve yerleştirme problemleri birlikte incelenmektedir. Dolayısıyla bir kesme problemi yerleştirme problemi olarak , bir yerleştirme problemi de kesme problemi olarak ele alınabilir (Yavuz, 2005: 3-4). Küçük parçaların büyük objelere yerleştirilmesi büyük objelerin boş alanlarının küçük parçalar tarafından kaplanacak şekilde bölünmesi (arta kalanların fire olduğu) ile aynı görülebilir. Buna karşıt olarak stok kesme problemleri de büyük objelerin alanlarına küçük parçaların kapladıkları alanların yerleştirilmesi şeklinde ele alınabilir. Kesme ve yerleştirme problemleri arasındaki güçlü ilişki katı malzemeler ile kapladıkları alanların dualitesinden gelmektedir

Kesme ve yerleştirme problemlerinde her parçanın en fazla bir objeye (stok malzemesi) , her objenin de parçalar kümesine atanması kombinatoryal özelliğe , kesim planlarıyla objelere atanan küçük parçaların stok malzemesinin boyutlarını ihlal etmeyecek durumda olması da geometrik özelliğe ilişkindir (Dyckhoff ve Finke, 1992 : 10).

Kesme ve yerleştirme problemlerinin genel olarak hangi stok malzemelerinin ve parçalarının kullanılacağının seçilmesi, hangi parçanın hangi stok malzemesinden elde edileceğinin belirlenmesi için her bir parçanın belirli stok malzemelerine atanması ve stok malzemelerine atanan parçaların bu malzemelerden nasıl elde edileceğini gösteren yerleştirme (kesim planlarının oluşturulması) aşamalarından oluşmaktadır (Yavuz , 2005: 4).

Kesme ve yerleştirme problemlerinde kullanılan amaçlar çoğunlukla kesim işlemi sonunda oluşacak fire miktarının minimizasyonu, uygulanacak kesim işlemi sonunda kendilerine belirli bir değer atanan parçaların bu değerlerinin maksimizasyonu, az stok malzemesinin kullanılması dolayısıyla girdi minimizasyonu (tek çeşit stok malzemesinin kullanılması durumunda firenin minimizasyonu) ve kullanılan stok malzemesi, fire , envanter , kesim bıçaklarının değiştirilmesi, kesme planlarının düzenlenmesi ve elden geçirilmesi gibi bileşenlerden oluşan maliyet minimizasyonudur. Ayrıca siparişleri makul zaman içinde karşılanması için makine ve kesim düzeneklerinin kapasitelerinin kullanım düzeylerini dikkate alarak maksimum kapasiteden yararlanılması da kesme ve yerleştirme problemlerinin amaçları arasında yer alabilir (Harrison, 1984’den aktaran Erol, 1990, s.18).

2.Kesme ve Yerleştirme Problemlerinin Özellikleri

Dyckhoff ve Finke (1992:22) çözüm yaklaşımları açısından kesme ve yerleştirme problemlerini karşılaştırmak amacıyla 1991 yılına kadar literatürdeki 269 kaynaktan 308 problemi incelemişlerdir. Gerçek hayatta karşılaşılan çok sayıda problemi sistematik bir yaklaşımla birkaç önemli türe indirgemek için topoloji denilen bilimsel yöntemden yararlanmışlardır. Literatürdeki farklı kullanımların bir araya getirilmesiyle oluşturulan bu tür topoloji ileride belirli problem türleri üzerinde araştırmaların yoğunlaşmasını sağlar. Kesme ve yükleme problemlerine yönelik karakterler sistematik bir listeye göre oluşturulmuştur.

Sistematik listeyi oluştururken problemlerin iki şekilde farklılaşacağı göz önüne alınmıştır. Bunlar mantıksal yapıya dayalı karakterler ve gerçek odaklı karakterlerdir. Mantıksal yapıya dayalı karakterler kesme ve yerleştirme problemlerinin gerçek uygulama biçiminden ayrı bir şekilde nasıl nitelendirilebileceğine (betimlenebileceğine) yöneliktir. Gerçek odaklı karakterler ise kesme ve yerleştirme problemlerinin uygulanabilir temellerine (altyapısına) göre nasıl farklılaşacağı ile ilgilidir. Gerçek odaklı karakterlerin oluşturulması sırasında zorluklar yaşanabilir çünkü pratikte çok sayıda değişen karakter vardır. Bu nedenle her gerçek durumu açıklayacak çok sayıda özelliğin kullanılması gerekir. Bir bütün olarak sürece yönelik değerlendirilen bu karakterler (mantıksal yapıya dayalı ve gerçek odaklı) aslında yakın ilişki içindedir (Dyckhoff ve Finke, 1992: 24-25).

Tablo 1. *Temel özellikler listesi*

Kategoriler	Mantıksal yapıya dayalı karakterler	Gerçek odaklı karakterler
Temel Özellikler	• Boyut • Atama türü • Büyük objelerin özellikleri • Küçük parçaların özellikleri • Kesim planı kısıtları • Amaçlar • Bilginin durumu ve verinin değişkenliği	• Obje ve nesnelerin türü • Endüstri kolu • Planlama kapsamı • Yazılım

	• Çözüm yöntemleri	

Kaynak: Dyckhoff ve Finke, 1992:25.

Tablo 1 ’deki temel özellikler çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi, seçimi ve uygulanmasında değerlendirilen temel karakterleri işlevselleştirmek (belirlemek, oluşturmak) amacıyla belirtilmiştir.

2.1.Mantıksal Yapıya Dayalı Karakterler

Bu karakterler ilk bakışta ilişkisiz olarak görülen kesme ve yerleştirme problemlerinin ortak özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir.

2.1.1.Boyut

Kesme yükleme problemlerinin en önemli niteliği boyuttur. Gerçek hayatta stok malzemeleri ve parçaları tanımlamakta kullanılan üç boyuttan ziyade, kesme ve yükleme problemlerinde önemli olan kesme yada yerleştirme planını geometrik olarak oluşturmak için gerekli olan minimum boyut sayısıdır (Dyckhoff ve Finke, 1992: 26). Stok malzemesi üzerinde uygulanan kesme işleminin yön sayısı bu problemlerin boyutunu belirtir (Erol, 1990: 6). Kesme yerleştirme problemleri literatürde genel olarak bir (rulo, tel, boru kesimi) , iki (metal saç , kumaş rulo, pencere camı, çelik plaka kesimi ve palet yükleme) ve üç boyutlu (mermer blok kesimi, konteynır, araç yükleme) olarak incelenmiştir. Ana malzemelerin düzensiz boyutlarda olması dorumunda çok boyutlu kesme işleminden yararlanılır. Soyut kesme ve yükleme problemleri çok boyutlu problemlere örnektir. Ayrıca sırt çantası ve araç yükleme problemlerinde ağırlık boyutu, montaj hattı dengeleme ve çok işlemcili çizelgelemede zaman boyutu, sermaye bütçeleme ve para bozdurmada finansal boyut, bilgisayar hafıza dağıtımında ele alınan veri depolama boyutları bunlara birer örnektir(Dyckhoff, 1990:149).

2.1.2 Atama türü

Kesim planlarındaki stok malzemeleri ve küçük parçaların durumu ile ilgili dört farklı atama mevcuttur (Dyckhoff ve Finke, 1992 : 27):

1.tür atama : Tüm stok malzemelerinin ve küçük parçaların atanması yani kesim planlarında yer alması durumudur. Fabrikalardaki makine yerleşimi gibi küçük parçaların üç boyutlu (uzamsal) dizilmesinin önemli bir sorun olduğu durumlarda bu atamadan yararlanılır (Dyckhoff ve Finke, 1992: 27). Temel yerleşim problemi bu tür atamaya örnek verilebilir.

2.tür atama (‘Beladeprobleme’): Bu tür atamada tüm stok malzemeleri küçük parçalar kümesindeki bazı elemanlara atanır, yani bütün küçük parçalar kesim planlarında yer almaz. Başka bir deyişle mevcut bir stok malzemesi yada herhangi bir kapasite için küçük parçalar arasından seçim işleminin yapılması durumudur. Atanan küçük parça birden fazla objede (stok malzemesinde) bulunabilir. İşletmenin yeterli girdi kaynağına sahip olmadığı durumlarda meydana gelen atamadır. Bu türden atama sırt çantası ve dual kutu yükleme problemleri için geçerlidir.

3.tür atama (‘Verladeprobleme’): Tüm küçük parçaların stok malzemelerinden bazılarına atandığı atama türüdür. Diğer bir deyişle mevcut küçük parçalar yada talep edilen parçalar için stok malzemesi veya gerekli kapasite büyüklüğü açısından seçim işleminin yapılmasıdır. Bu türden atama klasik stok kesme ve kutu yükleme problemleri için geçerlidir.

4.tür atama (‘Ladeprobleme’): Birbirlerine yönelik atama yapılacak stok malzemesi ve küçük parçaların seçilmesi işlemidir. Küçük parçalar kümesinden seçilen parçalar stok malzemesi kümesinden seçilen malzemeye atanmakta ve bu durum kesim planında yer almaktadır. Hem stok malzemelerinden hem de küçük parçalardan kullanılmayan kısımların olduğu atama türüdür.

2.1.3 Girdi ve çıktılarla ilgili nitelikler

Kesme ve yükleme problemlerinde stok malzemeleri ve küçük parçalar gerçel sayılarla ölçülebilen belirli sayıda boyuta sahip olan geometrik şekillerdir (Dyckhoff ve Finke, 1992: 28). Kesme ve yerleştirme problemlerinde girdi ve çıktılarla ilgili özellikler dört şekilde ele alınabilir.

2.1.3.1 *Miktar ölçüm türleri*

Kesme /yükleme problemlerinde girdi yada çıktılar miktar bakımından kesikli biçimdedir. Başka bir deyişle doğal sayılarla ölçülür. 1.5 boyutlu problemler bu durum karşısında istisnadır. Bu problemler iki boyutlu kesme problemlerinin özel hali olup, kesilecek malzemenin bir boyutunun sürekli birimlerle ölçüldüğü problemlerdir (Dyckhoff, 1990: 150). Bu problemlerde bir boyut sabit olarak alınıp elde edilecek kesme planlarında dikkate alınmamaktadır. Örneğin kağıt rulolar kesilirken ruloların genişliklerinin sabit olarak alınıp kesim işleminin rulo sayısı yerine sürekli olarak ifade edilebilen uzunluklara göre yapılması problemi iki boyuttan 1.5 boyutlu problem haline dönüştürür.

2.1.3.2 *Malzeme ve parçaların şekilleri*

Kesme ve yükleme problemlerinde stok malzemeleri ve küçük parçalar ilgili boyutlardaki geometrik şekilleri (dörtgensel yada bloklar halinde/ dörtgensel olmayan üçgen, daire, çember yada düzensiz şekilli), büyüklükleri (uzunluk, alan, hacim) ve konumları (90° yada herhangi bir açıyla yüzey üzerinde döndürülüp döndürülememe durumu) ile ifade edilirler. Büyük obje yada küçük parçanın şekli ilgili boyut uzayındaki geometrik gösterimine göre belirlenir. Şekil, büyüklük ve konum yönünden uyuşan büyük objeler ve küçük parçalar benzer olarak kabul edilir. Kesme ve yerleştirme problemlerinin çözümündeki zorluk stok malzemeleri ve küçük parçalar arasındaki büyüklük ilişkisinden kaynaklanmaktadır (Dyckhoff ve Finke, 1992: 29).

Çoğunlukla büyüklüklerine göre farklılaşan şekiller tüm ilgili boyutlardaki ölçme ölçeğinin eşit olarak değiştirilmesiyle benzer hale gelebilir. Boyutlarına bağlı olarak bir şeklin büyüklüğü uzunluk, alan yada hacmine göre ölçülür (Dyckhoff, 1990:151).

Konumla ilgili üç durum ortaya çıkar: a)eğer herhangi yöndeki bir döndürmeye izin verilirse ötelemeler sonucunda eş olanlar hariç şekil bakımından benzerliğe sahip obje ve parçalar farklılaşır b)eğer sadece 90 derecelik dönüşlere izin verilirse ilgili şekillerdeki obje ve parçalar eş olarak değerlendirilir c)eğer yön sabitse (herhangi yönde döndürme yoksa) benzer şekillerdeki obje ve parçalar farklılaşamaz (Dyckhoff, 1990:151).

2.1.3.3 *Çeşitlilik*

Çeşitlilik izin verilen stok malzemeleri ile küçük parçaların şekillerine ve sayılarına göre oluşturulur. Stok malzemeleri ve parçalar çeşitlilik bakımından homojen yada heterojen olarak nitelendirilebilirler. Şekil ve büyüklük olarak birbirine benzeyen, konumları açısından farklılık gösteren parça ve malzemeler homojendir. Şekiller önceden belirlenmiş olabileceği gibi paletlerin üzerine yapılan yerleştirmelerdeki gibi belli bir seviyeye kadar farklı olabilir (Dyckhoff ve Finke, 1992: 29). Her üç gösterge açısından da birbirinden farklı olan malzeme ve parçalar heterojen olarak adlandırılır. Heterojenlik yüksek ve düşük seviyelerde olabilir. Eğer çeşit sayısı fazla olup çeşit başına düşen parça sayısı az ise yüksek , çeşit az çeşit başına düşen parça çoksa düşük heterojenlikten söz edilebilir.

2.1.3.4 *Mevcudiyet (hazır bulunma, kullanılabilirlik)*

Mevcudiyet kesme ve yerleştirme sürecindeki stok malzemeleri ve parçalara yönelik miktar (alt ve üst sınırlar), sıra ve tarih ile ilgilidir. Benzer şekillerde elde edilen stok malzemeleri ve parçaların mevcut sayısına yönelik üç durum oluşur. İlk durumda malzeme ve parçaların kullanılabilirlik sınırı matematiksel olarak sonsuzdur. İkinci durum malzeme ve parçaların sırasıyla daha fazla yada daha az sınırlı kullanım miktarına yada uç bir durum olarak sadece bir taneye sahip olmasıdır. Üçüncü durum ise ilk iki durumun birleşimidir yani bazı türlerin miktarı sınırlı iken bazılarının ise sınırsızdır. Bu durum önceki siparişlerden arta kalan ve fire olarak değerlendirilemeyen miktarların gelecekte kullanılmak üzere maliyetler göz önünde bulundurularak stoklandığı kesim süreçlerinde görülür (Dyckhoff ve Finke, 1992:30).

Bazı sipariş durumlarında bir stok malzemesi yada küçük parça bir diğerinden önce kesim yada yerleşim planında yer alabilir. Örneğin kısmi siparişler açısından montaj hattındaki küçük parçalar gibi. Mevcudiyet özelliği ile ilgili diğer bir durumda stok malzemeleri ve küçük parçaların aynı yada farklılaşan dağıtım tarihlerine sahip olmalarıdır (Dyckhoff ve Finke, 1992: 30).

2.1.4. Kesme planları ile ilgili özellikler

Kesme planları sipariş edilen parçaların stok malzemesinde nereye ve ne kadar yerleştirileceğini belirten ve kesim işlemini yönlendiren göstergelerdir (Erol, 1990:6). Dyckhoff ve Finke'ye (1992:30) göre kesim planları geometrik niteliklerin (kesim planının tasarlanması aşamasında teknolojik ve örgütsel koşullardan kaynaklanan) yanı sıra operasyonel karakterler (kesim planlarının diğerleri arasından atanması) yada dağıtım (paylaştırma, ayırma) dinamiklerine göre sınıflandırılabilir. Küçük parça ve büyük objelerin çoğu özelliğinin geometrik kombinasyonlar yanında parçaların objelere atanması üzerinde de doğrudan bir etkisi vardır. İlk durumda geometrik yada kombinatorik kısıtların ele alındığı tekil kesim planları oluşturulur. İkinci durumda ise kesim planlarının sayı, sıra yada kombinasyonu ile ilgili kısıtlar dikkate alınır (Dyckhoff, 1990:152). Oluşturulan kesim planlarındaki parçaların atandıkları stok malzemesinin geometrik sınırlarını aşmaması ve kesim planları sonucunda belirli bir türden elde edilen parça sayısının o türden talep edilen miktardan az olmaması önemlidir (Yavuz, 2005:9). Bunların dışında kesme planları ile ilgili özellikler şöyle sıralanabilir:

2.1.4.1 *Mesafe kısıtı*

Bazı endüstrilerde malzemeler kesilirken kenarlarda oluşacak düzensizlikleri engellemek için kesim sırasında paylar bırakılır. Cam kesim sektörü buna bir örnektir. Ayrıca kesim aletlerindeki kayma durumuna karşılık kesilen parçalar arasında bırakılacak aralığın üst yada alt sınırlarına uyulmalıdır (Yavuz, 2005:9).

2.1.4.2 *Pozisyon (döndürme) kısıtı*

Parçalar kesim planına yerleştirilirken birbirlerine ve malzemeye göre konumları bazı sektörlerde uyulması gereken durumlardan birisidir (Yavuz, 2005:10). Kareli kumaşların kesiminde karelerin birbiri ile uyumlu olması bu koşula örnek olarak verilebilir.

2.1.4.3 *Parça sıklık kısıtı*

Kesim planı içerisinde küçük parçaların ve çeşitli türlerin kombinasyonel (birleşimsel) olasılıklarının sayısına yöneliktir. Örgütsel nedenlerden ötürü her müşterinin siparişini tek kesim planına göre birleştirmenin yanı sıra kesim makinesindeki teknolojik kısıtlardan (kesme kapasitesi, ayar yeteneği vb.) dolayı kesim planındaki parça sayılarına sınır konulması gerekli olabilir (Dyckhoff ve Finke, 1992:31). Kesim planlarında her bir parça çeşidine yönelik olarak oluşturulan kısıt problemin analitik yöntemlerle çözülmesi sonucundaki tam sayılı olmayan çözümün tam sayıya yuvarlatılmasına yöneliktir (Sweeney ve Haessler, 1990: 225). Bu kısıt maksimum fire miktarı yanında büyüklük yada siparişlerin maksimum değişim aralığı gibi durumları da içerir.

2.1.4.4 *Kesim planı çeşidi kısıtı (Kesim planı sıklığı)*

Bazı stok kesim problemlerinde kesim planlarının değiştirilmesi sonucu oluşabilecek maliyeti azaltmak için kesim planlarının uygulanma sıklığına yönelik kısıtlar oluşturulabilir. Her bir kesme planı için olası fire miktarları kesme planı kısıtları arasında yer alır (Erol, 1990:16). Kesim planlarının sıklığı ile ilgili farklı türden kesim planlarının sayısı yada aynı türden kesim planlarının sayısına yönelik kısıtlar olabilir (Dyckhoff ve Finke, 1992:32).

2.1.4.5 *Kesim türü (Ayırma kısıtı)*

Ayırma kısıtı küçük parçaların büyük parçalardan kesilmesi ile ilgili kısıttır. Küçük parçalar stok malzemelerinden dik açıyla (ortogonal) yada farklı açılarda (ortogonal olmayan) kesilebilir. Ortogonal kesimde küçük parçalar stok malzemelerinin kenarlarına paralel olarak yerleştirilir. Ortogonal olmayan kesim planları genellikle düzensiz şekilli parçaları elde etmek için kullanılır. Ortogonal kesim kendi içinde giyotin yada yuvalanmış (iç içe) biçiminde oluşabilir. Kesim işleminin yönü değiştirilmeksizin yapılan kesimler giyotin kesimi oluşturur. Giyotin kesimler sipariş edilen parçaları elde etmek için bir, iki, üç yada çok aşamalı olabilmektedir (Dyckhoff ve Finke, 1992:31). Aşamanın yanı sıra her aşamada gerçekleştirilen paralel kesim sayısı da giyotinsel kesim planlarının karmaşıklığı üzerinde etkilidir (Dyckhoff, 1990:152). Kesim yönünün kesme işlemi esnasında değiştirildiği yuvalanmış kesimler dengesizlik durumundan kaçınmak için genellikle yerleştirme problemlerinde kullanılır (Yavuz, 2005:11).

2.1.4.6 *Kesim süreci (Kesim aşaması sayısı)*

Kesme ve yerleştirme sürecindeki her aşama kesme ve yerleştirmenin bağımsız iş döngüsüdür. Kesim planlarının talep edilen parçaları elde etmek için stok malzemelerine atama süreci tek yada çok aşamalı olarak meydana gelebilir. Tek aşamalı atamada stok malzemesi bütün olarak ele alınıp kesim planını mimimum kesinti ile tek adımda oluşturulur. Parçalar stok malzemelerinden aynı anda elde edilmekte bir sonraki aşamaya kalmamaktadır. Kesim planlarının ardışık adımlarda oluştuğu çok aşamalı atamada ise önceki aşamalarda stok malzemesinden arta kalan yarı mamüller daha sonraki aşamalarda stok malzemesi olarak kullanılmaktadır. Örneğin kağıt sektöründe ruloların kesim yapılana kadar bir kenarda bekletilmesi gibi. Çok aşamalı kesim planlarında arta kalan malzemelerin tutulacağı (tampon) depolar için kapasitenin hesaba katılması gerekir (Dyckhoff ve Finke, 1992: 32).

Çok aşamalı kesim planları kesim işlemleri sonucunda oluşacak fire miktarını azaltmasına rağmen birbirinden farklı birden çok kesim makinasında yapılan kesimlerin maliyeti nedeniyle uygulamada pek tercih edilen bir yaklaşım değildir. Farley (1986'dan aktaran Erol,1990,s.7) iki kademeli kesme planlarının uygulamadaki istekleri karşılayacak düzeyde olduğunu belirtmektedir.

2.1.4.7 *Kesim planı sırası*

Kesim planı sırası mantıksal yapıya dayalı bir karakter olmasından ziyade ayrı bir planlama aşaması içinde değerlendirilebilir. İşletmedeki çeşitli sebeplerden dolayı belli bir müşterinin siparişini bir diğer müşterininkinden sonra ele almak gerekebilir (Dyckhoff ve Finke, 1992:32). Büyük obje yada küçük parçaların sırası ve ilişkisinden yada kesme/yerleştirme sürecindeki teknolojiden kaynaklı olarak atama sürecinde kesim planlarının sırasına yönelik kısıtlar olabilir (Dyckhoff, 1990:153).

2.1.4.8 *Dağıtım dinamikleri*

Kesme ve yükleme problemleri tüm stok malzemeleri ve küçük parçaların aynı zaman dönemi içinde mevcut olduğu statik (durağan) problemlerdir. Gerçekte değişik teslim tarihlerine sahip stok malzemeleri ve parçaların olduğu durumlar mevcuttur. Örneğin uçak yada konteynır yüklemede çok sayıdaki küçük parça diğerlerinden önce yüklenmemelidir. Statik problemler tüm stok malzemelerinin planlama döneminde (off-line problemler) yada sadece kısmi (dönemsel) olarak belirlenmesine göre (on-line problemler) farklılaşabilir (Dyckhoff ve Finke, 1992: 32).

2.1.5 Amaçlar

Kesme ve yerleştirme problemlerinin çözümlerinin geometrik ve kombinatorik kısıtların yanında teknolojik ve organizasyonel kısıtları da tatmin etmesi gerekir. Kesme ve yükleme problemlerinde sadece tek bir amacın minimizasyonu ve maksimizasyonundan ziyade literatürde daha az uygulanan çok amaçlı karar vermenin etkileşimli yaklaşımlarından yararlanılması daha uygundur. Kesme- yerleştirme problemlerinin ve alt yapısının (arka planının, tabanının) büyüklüğünden dolayı tüm durumlar için tek bir amaç oluşturmak mümkün değildir (Dyckhoff ve Finke, 1992:33). Amaç fonksiyonları büyük objeler yada kesim planlarına atanan küçük ve kalıntı parçaların sayısı, kesim planlarının geometrisi ile kesim planlarının sayısı, sırası yada kombinasyonu gibi özelliklere göre farklılaşabilir (Dyckhoff, 1990: 153). Dyckhoff ve Finke'ye (1992:33) göre amaç türleri şunlardır: a) Girdi minimizasyonu : kullanılan stok malzemelerinin sayısının minimizasyonu b) kesim kaybı minimizasyonu (mutlak): kesim kaybı miktarının minimizasyonu c) kesim kaybı minimizasyonu (oransal): girdi miktarına oranla kesim kaybı miktarının minimizasyonu d) maliyet minimizasyonu (alan/malzeme): Şekillere bağlı olarak parça başına maliyetlere göre kesim kaybı ve malzeme kullanımının minimize edilmesi e) Değişim maliyeti minimizasyonu: Kesme ve yerleştirme araçlarının değiştirilmesi sonucu oluşan maliyetlerin minimize edilmesi f) envanter maliyeti minimizasyonu: stoklanan küçük parçalar ve stok malzemelerinin minimize edilmesi g) değer maksimizasyonu: yerleştirilen yada kesilen küçük parçaların değerinin maksimize edilmesi. Amaç fonksiyonları büyük obje yada küçük parçaların büyüklüklerine göre ele alınan miktarları kapsamında (kesim kaybı yada girdi minimizasyonu) yada fiyatlarına göre (maliyet minimizasyonu) doğrusal olabileceği gibi oransal kesim kaybının minimize edildiği yada kesim planları için sabit yüklerin ele alındığı gibi doğrusal olmayabilir (Dyckhoff, 1990: 153).

2.1.6 Bilgi durumu ve verinin değişkenliği

Bilginin durumu ve değişkenliği problem verilerinin deterministik, stokastik yada belirsiz olup olmamasına ve bunların kesin yada belirli aralıklar arasında değişken olup olmamasına bağlıdır. Stoktaki plastik film rulolarının rassal olarak değişen büyüklükteki kenar kusurlarına sahip olması bu duruma örnek verilebilir (Dyckhoff, 1990: 154). Oldukça kısa planlama döneminden dolayı kesme ve yerleştirme problemleri deterministiktir. Stokastik veriye sahip durumlar da mevcuttur. Sıcak dökme (pik) demir yassı kütüklerinden ince plakaların haddelenmesinde teknik nedenlerden dolayı yassı kütük ölçümü değişkendir ve planlama döneminde tam olarak belirlenemez. Bazı sektörlerde belli bir derecede verilerde değişkenlik olabilir. Örneğin kağıt sektöründe teslimat sırasında ölçülerde %5'e kadar olan sapmalar makul görülebilir (Dyckhoff ve Finke, 1992:34).

2.1.7 Çözüm yöntemleri

Dyckhoff ve Finke (1992:34) kesme ve yerleştirme problemlerinin çözümünde obje odaklı ve kesim/yerleştirme planı odaklı iki yöntemin kullanılabileceğini belirtmiştir. Küçük parçaların tekil olarak büyük objelere atandığı obje odaklı yöntemler çok sayıda ve çeşitli küçük parçaların mevcut olduğu durumlarda uygulanır. Kesim/yerleştirme planı odaklı yöntemler çeşitli uygun planların oluşturularak bunlar arasından atama için en uygun olanlarının seçilmesi ile ilgilidir. Tek ve çok kesim/yerleştirme planının oluşturulması gibi iki türü vardır. Tek planlı yöntemlerde oluşturulan her plan için uygun malzeme ve parçaların atanması yapıldıktan sonra başka plan oluşturulur. Sonradan oluşturulan kesim planları önceki karşılanmayan siparişler açısından dikkate alınmaz. Çok planlı yöntemde birçok plan aynı anda geliştirilerek planlar arasındaki ilişkiler dikkate alınarak eş zamanlı atama yapılır. Kesim planı sayısının fazla olması durumunda tam sayılı olma koşulu doğrusal programlama gevşetimi ile kaldırılarak problem çözülür ve elde edilen değerler tam sayıya yuvarlanır (Sweeney ve Paternoster 1992: 692).

Dyckhoff ve Finke'nin çözüm yaklaşımlarına yönelik oluşturduğu topoloji geometrik açıdan ziyade kombinatorik yönlerden ele alınmıştır. Diğer çözüm yaklaşımlarını belirtmek ve önemli farklılıkları göstermek açısından araç yükleme, kutu yükleme ve stok kesme kapsamında bir boyutlu problem türleri ele alınabilir (Dyckhoff, 1990: 156-157).

1/V/I/F olarak simgelenen araç yükleme problemleri obje yada nesne odaklı yaklaşımlar içinde yer alan dinamik programlama yada dal ve sınır gibi analitik yöntemlerle çözülebilir.
1/V/I/M olarak simgelenen kutu yükleme problemleri obje yada nesne odaklı yaklaşımlar içinde yer alan yakınsama algoritmalarıyla çözülür.

1/V/I/R olarak simgelenen stok kesme problemleri kesme planı odaklı yaklaşımlar arasında yer alan sezgisel yöntemler yada doğrusal programlama gevşetimine bağlı yöntemler ile çözülür.

Kesim makinelerinde kesim planlarının değiştirilmesi sonucu oluşan maliyetler gibi uygulamada görülen ek kısıtlar ve amaçları hesaba katan sezgisel yöntemler kesme/yerleştirme problemlerinde önemli bir yere sahiptir. Doğrusal programlama temelli yakınsama algoritmaları başlangıçta kesim planı odaklı modelin doğrusal programlama gevşetimini çözer sonra da uzman stratejilerle tam sayılı çözüm uzayını araştırır (Dyckhoff, 1990: 157-158).

Tablo 2. *Mantıksal yapıya dayalı karakterler*

Karakterler	Özellikler
Boyut	• Bir boyutlu • İki boyutlu • Üç boyutlu • Çok boyutlu
Atama türü	• 1.tür (tüm objeler, tüm parçalar) • 2.tür (tüm objeler, parçalar arasından seçim) • 3.tür (objeler arasından seçim, tüm parçalar) • 4.tür (objeler arasından seçim, parçalar arasından seçim)
Büyük obje ve küçük parçaların nitelikleri	1-Miktar ölçüm türü • Kesikli • Sürekli 2-Şekil a)Geometrik şekil • Dörtgensel • Dörtgensel olmayan b)Konum • Sabit • İsteğe bağlı (opsiyonel) • 90^0 döndürme (paralel) • 90^0 döndürme (seçime bağlı) 3-Çeşitlilik a)Homojen • Sabit • Değişken b)Heterojen • Şekil başına az obje

	• Şekil başına çok obje 4-Mevcudiyet a)Şekil sayısı • Sınırlı (uç=1) • Sınırsız • Karma b)Sıra • Sıra yok • Kısmi sıra • Tam sıra c)Tarih • Eş dağıtım zamanları • Farklı dağıtım zamanları
Kesim planı kısıtları	1-Geometrik nitelikler a)Mesafe kısıtları • Parçalar arasında • Kenarlar arasında b)Sıklık kısıtları • Şekillerin sınırlı kombinasyonu • Şekillerin sınırlı sayısı • Küçük parçaların sınırlı sayısı c)Ayırma kısıtları • Ortogonal olmayan kesim planları • İç içe (yuvalanmış) kesim planları • Sabit sayıdaki kesim aşamasıyla giyotin kesim planları • Sınırsız sayıdaki kesim aşamasıyla giyotin kesim planları 2-Operasyonel özellikler a)Aşama sayısı • Tek aşamalı • Çok aşamalı b)Kesim planı sırası • Opsiyonel • Kısıtlı c)Kesim planı sıklığı • Farklı kesim planları için sınırlama • Aynı kesim planları için minimum sayı 3-Dağıtım dinamikleri a)Dinamik b)Statik (durağan) • Off-line • On-line
Amaçlar	• Girdi minimizasyonu

	• Kesim kaybı minimizasyonu (mutlak) • Kesim kaybı minimizasyonu (oransal) • Değer maksimizasyonu • (Malzeme/alan)maliyet minimizasyonu • Değişim maliyeti minimizasyonu • Envanter maliyeti minimizasyonu • Diğer
Bilginin durumu/ değişkenlik	1-Bilginin durumu • Deterministik • Stokastik • Belirsiz 2-Verinin değişkenliği • Sabit veri • Değişken veri
Çözüm yöntemleri	1-Nesne odaklı yöntemler 2-Kesme planı odaklı yöntemler • Tek kesim planı • Çok kesim planı

Kaynak: Dyckhoff ve Finke, 1992 : 37.

2.2 Gerçek Odaklı Karakterler

Gerçek odaklı karakterler kesme ve yerleştirme probleminin gerçek alt yapısı temelli çözümler oluşturmaya yöneliktir. Gerçek olayların matematiksel olarak formüle edilmesi zor olan yönleri vardır (Dyckhoff ve Finke, 1992:35).

2.2.1.Stok malzemeleri, parçaların türü ve endüstri kolu

Küçük parçalar, büyük objeler ve ilgili endüstri sektörüne göre problemin gerçek alt yapısı tanımlanabilir. Örneğin palet yükleme endüstri firmaları ve hizmet sektörüne yöneliktir (Dyckhoff ve Finke, 1992:35).

2.2.2 Planlama kapsamı

Kesme ve yerleştirme problemlerinde geniş bir kapsamda planlama vardır. Planlama sürecini oluştururken farklı problem kümelerine sahip olmalarından dolayı kesme ve yükleme problemlerini ayrı olarak ele almak gerekir. Üretim sürecinin parçası olan kesim işleminin sipariş yönetimi, zamanlama, kapasite planlaması, envanter planlaması, tedarik planlaması, malzeme ihtiyaç planlaması gibi planlamanın diğer alanlarıyla ilişkisi vardır. Bu bağlılıkları ele almak için iki yöntem uygulanır: a) Önceki problemlerden elde edilen sonuçların gelecekteki planlama için kısıt oluşturması mantığıyla tüm alanlar sırasıyla planlanır. Bu yöntemde kesim süreci ayrı şekilde planlanır. b) Diğer alanlar ardışık olarak planlanıyorken iki yada daha fazla planlama alanı eş zamanlı planlama sürecine göre bütünleştirilir. Yerleştirme sürecinde diğer planlama alanlarıyla ilgili ilişkiler kesim sürecindeki gibi açık değildir. Başka bir deyişle ayrı şekilde oluşturulan bir yerleştirme planlaması en uygun olanıdır (Dyckhoff ve Finke, 1992:35-36).

2.2.3.Yazılım

Temel özellikler arasında özel bir yere sahip olan yazılım literatürdeki karar modellerinin uygulanabilirliğinin ölçülmesinde önemli role sahiptir. Yazılım odaklı karar modelleri gerçeğe daha yakın çözümler üretir. Yazılımlar pratik uygulamalar için olabileceği gibi benzetim amaçlı da kullanılabilir. Yazılımlar bu amaçla kesme ve yerleştirme problemlerinin türlerinin belirlenmesine katkıda bulunur (Dyckhoff ve Finke, 1992:36).

Tablo 3. *Gerçek odaklı karakterler*

Karakterler	Özellikler
Stok malzemeleri, parçaların türü ve endüstri kolu	• Büyük objelerin türü • Küçük parçaların türü • Endüstri kolu
Planlama kapsamı	1-Kesme problemleri • Sipariş yönetimi • Zamanlama • Kapasite planlaması • Sıralama • Envanter planlaması • Malzeme gereksinim planlaması • Tedarik planlaması • Sayısal (nümerik) kontrol • Diğerleri 2-Yerleştirme problemleri

	• Dengeleme koşulları • Durağanlık koşulları • Yerleştirme planlaması • Ulaştırma planlaması • Diğerleri
Yazılım	• Pratik uygulama • Benzetim

Kaynak: Dyckhoff ve Finke, 1992:38.

3. Kesme Yükleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Dyckhoff'a (1990:154) göre kesme - yükleme problemleri dört karakteri göz önüne alarak şu şekilde sınıflandırılır:

α: Boyut $\alpha \in \{1,2,3,N\}$

1: Bir boyutlu

2: İki boyutlu

3: Üç boyutlu

N: N boyutlu (N>3)

β: Atama türü $\beta \in \{B,V\}$

B: Parça kümesinden seçilen elemanların tüm stok malzemelerine atanması (Mevcut stok malzemesi için küçük parçaların seçiminin yapılması)

V: Stok malzemesi kümesinden seçilen elemanların tüm parçalara atanması (Mevcut küçük parçalar yada istenen parçalar için stok malzemesi seçiminin yapılması)

γ: Stok malzemelerinin çeşitliliği (türü) $\gamma \in \{O,I,D\}$

O: Tek stok malzemesi

I: Benzer şekillerdeki (boyutsal ve geometrik olarak) stok malzemeleri

D: Farklı şekillerdeki (boyutsal ve geometrik olarak) stok malzemeleri

δ: Küçük parçaların çeşitliliği (türü) $\delta \in \{F,M,R,C\}$

F: Şekil ve boyut olarak çeşitliliğin fazla olduğu az sayıdaki parçalar

M: Şekil ve boyut olarak çeşitliliğin fazla olduğu çok sayıdaki parçalar

R: Şekil ve boyut olarak çeşitliliğin az olduğu çok sayıdaki parçalar

C: Şekil ve boyut olarak benzer parçalar

Simgesel olarak kesme ve yükleme problemleri $\alpha / \beta / \gamma / \delta$ olarak gösterilebilir. Bu simgelerle gösterilen karakterlerin (boyut, atama türü, büyük objelerin çeşitliliği, küçük parçaların çeşitliliği) özelliklerinin ele alınmasıyla 4x2x3x4=96 farklı türde kesme yerleştirme problemi oluşturulmuştur.

Tablo 4. *Problem türlerinin Dyckhoff 'un belirttiği simgelere göre sınıflandırılması*

Açıklama	Simgesel Gösterim
• Klasik sırt çantası problemi	$1/B/O/\delta$
• Çok boyutlu sırt çantası problemi	$\alpha/B/O/\delta$
• Palet yükleme problemi	$2/B/O/C$
• Dual kutu yükleme problemi	$1/B/O/M$
• Araç yükleme problemi	$1/V/I/F$ yada $1/V/I/M$
• Konteynır yükleme problemi	$3/V/I/\delta$ yada $3/B/O/\delta$
• Klasik kutu yükleme problemi	$1/V/I/M$
• İki boyutlu kutu yükleme problemi	$2/V/D/M$
• Klasik stok kesme problemi	$1/V/I/R$ yada $1/B/I/R$
• İki boyutlu stok kesme problemi	$2/V/I/R$ yada $2/B/D/R$
• Üç boyutlu stok kesme problemi	$3/V/I/R$ yada $3/B/D/R$
• Montaj hattı dengeleme problemi	$1/V/I/M$ yada $1/V/D/M$
• Çok işlemli çizelgeleme problemi	$1/V/I/M$
• Çok periyotlu sermaye bütçeleme problemi	$\alpha/B/O/F$ yada $\alpha/B/O/M$
• Bellek atama problemi	$1/V/I/M$

Kaynak: Dyckhoff, 1990 : 155.

4. Kesme Yükleme Problemlerinin Hiyerarşik Sınıflandırılması

Dyckhoff ve Finke (1992:39) çözüm yöntemlerinin seçimi, uygulanması ve geliştirilmesi için kesme ve yükleme problemlerinin türlerini incelemişlerdir. Kesme ve yükleme problemlerinin sınıflandırılmasında kullanılan dört karakterden ilgili olanlarını belirli gruplara göre bir araya getirmişlerdir. Kümelendirilen karakterler kesme ve yükleme problemlerinin belirli bir grubunun çözümü için niteliklerin açığa çıkarılması amacıyla türlere atanmıştır. Bu amaçla kullanılan karakterlere tür tanımlayıcı karakterler denir. Oluşturulan türler ayrı olarak ele alınmaktan ziyade bütün olarak ele alınmıştır. Kesme ve yükleme problemlerinin hiyerarşik sınıflandırılması genel ve özel türler olarak ikiye ayrılır.

4.1.Genel Türler

Dyckhoff ve Finke (1992:40) boyut, atama türü ve parçaların çeşitliliğine göre kesme ve yükleme problemlerinin genel türlerini belirlemiştir.

Boyut: 1,2 ve 3 boyutlu
Atama türü: 2, 3 ve 4. tür atama
Küçük parçaların çeşitliliği: Şekil ve boyut açısından benzer olan homojen parçalar, şekil ve boyut olarak çeşitliliğin fazla olduğu az sayıdaki parçalar (yüksek derecede heterojen) , şekil ve boyut olarak çeşitliliğin az olduğu çok sayıdaki parçalar (düşük derecede heterojen).

Dyckhoff ve Finke (1992:41) atama türü ve parçaların çeşitliliği özelliklerini dikkate alarak dört kesme ve yükleme problemi türü belirlemiştir. Bunlar kutu yükleme (bin packing), stok kesme (cutting stock) , sırt çantası (knapsack) ve palet yükleme (pallet loading) problemleridir.

Kutu yükleme problemlerinde çeşitli şekillerde çok sayıda küçük parçanın ya tamamının (3. Tür atama) yada bir kısmının (4. Tür atama) seçilen stok malzemelerine atanması söz konusudur. Bu durumdaki atama problemi genellikle karmaşıktır. Bu türdeki problemlerin çözümü zordur (NP-hard) ve yordamsal yöntemler kullanılarak daha hızlı ve daha verimli çözümler elde edilebilir (Dyckhoff ve Finke, 1992:41).

Stok kesme problemlerinde şekil ve boyut açısından çeşitliliği az olan çok sayıda küçük parçanın tamamının (3. Tür atama) yada bir kısmının (4. Tür atama) seçilen stok malzemelerine atanması söz konusudur. Kutu yükleme problemlerinin aksine çok sayıdaki parça göreceli olarak birbirine benzer şekillerdeki birkaç gruba ayrılabilir. Küçük parçaların büyük objelere yerleştirilmesinde tekrar eden çözümler oluşur. Her atamayı tek başına ele almak yerine bir yerleşim planı çok sayıdaki benzer parçaların atanmasını simgeler. Bu durum tamsayılı kısıtlarını dahil etmeyen analitik yöntemin (simpleks algoritması) kullanılmasıyla karmaşıklığı belli bir dereceye kadar azaltır (Dyckhoff ve Finke, 1992:41).

Sırt çantası problemlerinde şekil ve boyut açısından çeşitliliğin fazla olduğu çok sayıdaki parçalar arasından seçim yapılarak sınırlı sayıda olan stok malzemelerine atama yapılır. Dal sınır ve dinamik programlama sırt çantası problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerdir (Dyckhoff ve Finke, 1992:41).

Palet yükleme problemlerinde şekil ve boyut açısından benzer parçaların büyük objelere atanması söz konusudur. Bu problem türünde büyük objeler genelde homojen türde olduğundan atama işlemi için tek bir temsili çözüm yeterlidir (Dyckhoff ve Finke, 1992:42).

4.2. Özel Türler

Genel problemlerin alt kısımlara bölünmesiyle değişik soyutlama (ayrım) seviyelerine sahip olan özel türler oluşur. Ek tür tanımlayıcı karakterlerin oluşturulmasıyla bu durum gerçekleştirilir. Kesme ve yükleme problemlerinin gerçek hayattaki çeşitliliğini dikkate aldığımızda bu durum tüm genel problemler için geçerlidir. Dyckhoff ve Finke (1992:47) genel problem türlerinden olan bir boyutlu stok kesme, iki boyutlu stok kesme ve iki boyutlu kutu yükleme problemlerini ek tür tanımlayıcı karakterlere göre özel türlere ayırmışlardır.

4.2.1 İki boyutlu kutu yükleme problemi

İncelenen iki boyutlu kutu yükleme problemleri ek tür tanımlayıcı karakterlere göre beş özel türe ayrılır. Ek tür tanımlayıcı karakterler sırasıyla büyük objelerin çeşitliliği (homojen-heterojen), küçük parçaların şekilleri (dörtgensel-dörtgensel olmayan)ve büyük objelerin mevcut sayısıdır (şekil başına tek parça-şekil başına çok parça). İki boyutlu kutu yükleme problemlerinde büyük objeler çeşitlilikleri bakımından homojen yada heterojen olarak ayrıldıktan sonra heterojen çeşitliliğe sahip büyük objeler küçük parçaların şekilleri açısından da dörtgensel ve dörtgensel olmayan diye iki özel türe ayrılırlar. Bu ayrımdan sonra dörtgensel şekillere sahip küçük parçalar şekil başına büyük parçaların mevcudiyeti (kullanılabilirliği) açısından da iki yeni türe ayrılırlar. Şerit yükleme olarak da bilinen ilk durum belirli bir genişlikte ve sonsuz uzunluktaki bir objeye sayısı önceden belirlenmiş belirli genişlik ve uzunluktaki parçaların en az uzunluk kaybı oluşturacak şekilde atanmasıdır. Bu durum tüm olası sonlu (belirli) uzunluktaki sonsuz sayıda objeden (her uzunluktan bir tane) en küçük fireyi verecek olanının seçimi şeklindeki stok malzemesi seçimi olarak ifade edilebilir. İkinci durumda ise önceden belirlenmiş olan ölçülere sahip şekil başına çok sayıda büyük obje mevcuttur (Dyckhoff ve Finke, 1992:48-49).

4.2.2. Bir boyutlu stok kesme problemi

Ek tür tanımlayıcı karakterlere göre bir boyutlu stok kesme problemi dört türe ayrılır. Burada kullanılan ek tür tanımlayıcı karakterler büyük objelerin miktar ölçüleri (kesikli-sürekli) ve çeşitlilikleridir (homojen-heterojen). Kesikli yada sürekli olma durumu problemin çözüm olasılıklarını (olanaklarını) etkilemez. Çünkü kesikli problemlerde bile sürekli miktar ölçümleri kullanılır ve tamsayılı olmayan çözümler yuvarlanır. Dyckhoff ve Finke (1992:49) kesikli miktara sahip büyük objeleri ikinci karakter olan çeşitliliklerine göre homojen ve heterojen olarak ikiye ayırmıştır. Bu ayrım büyük objelerin seçimindeki karmaşıklığı (zorluk) etkiler (Dyckhoff ve Finke, 1992:50).

4.2.3. İki boyutlu stok kesme problemleri

Ek tür tanımlayıcı karakterler açısından iki boyutlu stok kesme problemleri altı türe ayrılır. Burada kullanılan ek tür tanımlayıcı karakterler ise küçük parçaların şekilleri, büyük objelerin mevcut sayısı ve ortogonal ayrım kısıtlarıdır. Dörtgensel şekle sahip olan küçük parçalar büyük parçaların şekil başına tek yada çok sayıda olmasına göre ikiye ayrılır. Buna ek olarak şekil başına çok sayıda büyük objenin olduğu tür giyotinsel yada yuvalanmış (iç içe) kesimlerin olmasına göre iki ek kısma ayrılabilir (Dyckhoff ve Finke, 1992:50-51). Ortogonal ayrım kısıtları problemin karmaşıklığı açısından önemlidir. Stok malzemesinin hiçbir aksama (durma, kesinti) olmaksızın parçalara bölündüğü giyotin türünde problemi birbiriyle bağlantılı bir boyutlu sırt çantası problemleri dizisi gibi ele alıp çözmeye çalışarak problemin karmaşıklığı azaltılabilir (Dyckhoff ve Finke, 1992:51). Gilmore ve Gomory (1965: 102-104) giyotinsel kesimlerin uygulandığı iki boyutlu stok kesim problemlerini 1+1 boyutlu olarak ele almıştır. Yuvalanmış kesimlerin olduğu problem türleri ise daha karmaşıktır (Dyckhoff ve Finke, 1992:51).

5.Kesme ve Yerleştirme Problemlerine Yönelik Yeni Bir Topoloji

Topoloji belli tanımlama ölçütlerine (kriterlerine) bağlı olarak nesnelerin(objelerin) türdeş kategorilere göre sistematik biçimde düzenlenmesidir. Topoloji sınıflandırmaya benzemekle beraber bütünsel olmaması (bir kategorinin tüm niteliklerinin bütünsel olarak değerlendirilmemesi) ve bulanık olması (kategorilerin tam olarak tanımlanmaması ve birbirlerinden farklılaştırılamaması) açısından sınıflandırmadan ayrılır. Topoloji uygun ve önemli objeleri açık ve öz bir biçimde belirtmekle birlikte gerçek odaklı araştırmalar için temel oluşturur. Ayrıca tanım ve gösterimleri bütünleştirerek alandaki araştırmacılar arasındaki iletişimi kolaylaştırır. Yöneylem araştırması problemlerinin topolojisi temel problem türlerinin yapısal analizi, standart problemlerin tanımlanması ve belirlenmesi, model ve algoritmaların geliştirilmesi vb. için temel oluşturur (Wascher vd. 2007: 1109).

Dyckhoff'un topolojisi ilk ortaya çıktığında kesme ve yerleştirme problemlerinin ortak temel yapılarını belirtmesi açısında kilometre taşı olarak görülmüştür. Yani iki ayrı araştırma alanının bütünleştirilmesini desteklemiştir. Ancak kesme ve yerleştirme problemleri ile ilgili mevcut ve yeni literatürün düzenlenmesi ve sınıflandırılması amacıyla oluşturulan Dyckhoff'un topolojisi zamanla yeni gelişmeleri karşılamakta yetersiz kalmıştır (Wascher vd. 2007:1110). Bunun sonucunda Wascher , Haubner ve Schumann (2007:1112) tarafından tüm kesme ve yükleme problemlerinin ve ilgili literatürün tam olarak sınıflandırılması için problem türleri ile ilgili uygun bir sistem sağlayan yeni bir topoloji oluşturulmuştur. Oluşturulan topoloji Dyckhoff'un özgün fikirlerine kısmen dayalı olmakla birlikte problemleri sınıflama biçimi açısından Dyckhoff'tan farklıdır. Ayrıca bu topoloji daha önce fazla araştırma yapılmayan alanların açığa çıkarılması açısından da önemlidir.

Dyckhoff'un topolojisinin önemli bir dezavantajı tüm kesme yerleştirme problemlerinin belirtilen problem biçimleri tarafından tam olarak karşılanamamasıdır. Örneğin araç yükleme problemi Dyckhoff'un sınıflandırmasına göre hem 1/V/I/F hem de 1/V/I/M olarak ifade edilebilir. Bu simgelemede F şekil, büyüklük ve/veya yön(konum) açısından farklı birkaç küçük parçanın atanmasını, M ise çok farklı şekillerdeki çok fazla küçük parçanın büyük objelere atanması ile ilgilidir. İyi bilinen standart bir problem olan araç yükleme probleminin tanımlanması için tek bir seçeneğin olmamasının yanında, model oluşturulması ve algoritma geliştirilmesi bağlamında her iki kategoriyi içeren (F ve M) tek bir problem türünden daha türdeş olan problem kategorileri için bu farklılaşmanın nasıl oluşacağı açık değildir (Wascher vd. 2007:1111).

Dyckhoff'un topolojisi kısmi olarak tutarsızdır ve uygulanması karışık sonuçlar ortaya çıkarabilir. Farklı büyüklüklerdeki küçük parçaların (genelde dörtgenlerin) sabit en ve değişken boydaki tek bir dikdörtgene yerleştirilmesine yönelik şerit yükleme problemleri araştırmacı ve uygulayıcılar tarafından 2/V/O/M olarak, Dyckhoff'un topolojisinde ise 2/V/D/M olarak ifade edilmektedir. Dyckhoff bu problemi sabit genişlikte olan tüm olası uzunluk değerlerini alabilen sonsuz sayıdaki büyük objeden oluşan stoktan minimal uzunlukta bir objenin seçimiyle ilişkili olan ana malzeme seçimi problemine benzer olarak ele almıştır. Problemin gösterim ve tanımlanmasındaki bu karışıklıktan kaçınmak için problem türlerini sabit ve değişken boyutlu olarak ele almak gerekir (Wascher vd. 2007:1112).

Dyckhoff'un topolojisi türdeş problem kategorilerinde tam olarak istenilen sonucu vermez (Wascher vd. 2007:1112). Gradisar (2002:1208) sonsuz miktarda temin edilen standart stok malzemesinden göreceli olarak daha az farklı şekildeki çok sayıda küçük parçanın elde edilmesi ile ilgili tek boyutlu kesim problemlerinde standart stok malzemesinin farklı büyüklüklerde olması halinde iki farklı durumun ortaya çıkacağını belirtir. İlk durumda stok malzemeleri eş büyüklüklerdeki birkaç gruba ayrılırken ikinci durumda ise tüm stok malzemeleri tamamen farklıdır. Dyckhoff'un kodlama sisteminde her iki durum da 1/V/D/R olarak gösterilir.

İki problemin de aynı kategoriye dahil edilmesi uygun değildir çünkü iki problem için çözüm yaklaşımları farklıdır. İlk durum için kesim planı odaklı çözüm yaklaşımı, ikinci durum için ise parça odaklı çözüm yaklaşımı kullanılır (Gradisar, 2002: 1208). Türdeş problemlerle ilgili kategoriler oluşturmak amacıyla Wascher (2007:1112) topolojisine büyük objelerin çeşitliliği adında yeni bir kriter eklemiştir.

5.1 Kesme ve Yerleştirme Problemlerinin Yapısı

Kesme ve yerleştirme problemleri 1,2,3 yada n boyutlu olarak tanımlanan büyük objeler (girdi, arz) ve küçük parçalar (çıktı, talep) kümelerinden oluşur. Küçük parçaların tümünün yada bazısının seçilmesi, seçilenlerin bir yada daha fazla alt kümeye göre gruplanması ve bu alt kümelerin her birinin büyük objelerden birine atanması sırasında geometrik koşullara uymak gerekir. Başka bir deyişle belli bir amacı (tek yada çok boyutlu) optimize etmek için her alt kümenin küçük parçalarını ilgili (uygun) büyük objeye yerleştirirken alt kümenin tüm küçük parçaları büyük objenin sınırları içerisinde olması ve bunların birbirleriyle çakışmaması gerekir (Wascher vd. 2007:1110).

Genel olarak kesme ve yerleştirme problemlerinde global bir optimuma ulaşmak için birbirinden farklı olan beş tane alt problemin eş zamanlı olarak çözülmesi gerekir. Bu problemler sırasıyla büyük objelerin seçilmesi problemi, küçük parçaların seçilmesi problemi, seçilen küçük parçaların gruplanması problemi, küçük parçaların alt kümelerinin büyük objelere atanması problemi, küçük parçaların seçilen her bir büyük objeye geometrik koşulları dikkate alarak yerleştirme problemidir. Ek kısıtların eklenmesiyle kesme ve yerleştirmeyle ilgili özel problemler oluşturulabilir (Wascher vd. 2007: 1110).

5.2. Yeni Topolojinin Ana Hatları ve Problem Türlerine Genel Bir Bakış

Farklı sınıflandırma kriterlerinin eş zamanlı yada ardışık olarak uygulanması sonucu bütünleşik problem türleri elde edilir. Topolojide bütünleşik problem türlerinin tanımlanmasında boyut, atama türü, büyük objelerin (stok malzemeleri) çeşitliliği, küçük parçaların çeşitliliği ve küçük parçaların şekilleri olmak üzere beş farklı ölçüt kullanılmıştır (Wascher vd. 2007:1112).

Wascher (2007:1112-1113), Dyckhoff'un atama türü ile ilgili Almanca gösterimler (Verladeproblem ve Beladeproblem) yerine girdi minimizasyonu ve çıktı makmimizasyonu gösterimlerini kullanmasının yanı sıra küçük parçaların çeşitliliği ve büyük objelerin çeşitliliği kriterlerini yeniden tanımlamış ve/veya yeni özellikler ilave etmiştir.

Atama türü ve küçük parçaların çeşitliliği kriterleri temel problem türlerini tanımlamak için bir arada kullanılmıştır. Büyük objelerin çeşitliliği kriterinin ardışık olarak uygulanması ile birlikte orta sınıf problem türleri tanımlanır. Boyut ve iki ve çok boyutlu problemlerdeki küçük parçaların şekli ölçütlerinin eklenmesiyle arıtılmış problem türleri elde edilebilir. Arıtılmış problem türleri ek kısıtların ve/veya kriterlerin olup olmamasına bağlı olarak ikiye ayrılır. Sadece problem türünü tanımlayıcı özellikler içeren problemler ilk seviye standart problemdir. Bu özelliklerin yanında ek kısıtlar ve/veya kriterler içeren problemler ilk seviye standart olmayan problemlerdir. İlk seviye standart olmayan problemler içinde yer alan ve istisna olarak bilimsel araştırmalarda iyi bilinen standart problemlerin belirtilmesinde kullanılan problemler ikinci seviye standart problemlerdir. Standart problem türlerinin belirlenmesi Wascher'ın topolojisinin temelini oluşturur. Bu problem türleri standart modellerin, algoritmaların geliştirilmesi bağlamında bilimsel araştırmanın temelini oluşturur (Wascher vd. 2007:1113).

Wascher (2007:1113) topolojisinde büyük objelerin alt kümesinden kesilecek yada alt kümesine yerleştirilecek küçük parçaların seçimine yönelik kesim planları ve uygun amaç fonksiyonu değerinden meydana gelen çözümlere sahip saf kesme yerleştirme problem türleriyle ilgilenmiştir. Kesme ve yerleştirme temelinin ötesinde planlama problemine yönelik bakışı genişleten ek durumların eklenmesi sonucu genişletilmiş problem türleri meydana gelir. Kesim planlarına yönelik bilgilerin dışında bu türden bir problemin çözümünde farklı kesim planlarının sayısı , işlem sıraları yada parti büyüklükleri gibi problemle ilişkili diğer durumları da ele almak gerekir.

Basit, orta ve arıtılmış (birleşmiş) problem türlerini tanımlarken belirli varsayımların ifade edilmesi gerekir. Bu varsayımlardan bazısı problemin genel nitelikleriyle ilgilidir ve problemi tek hedefli, tek dönemli ve deterministik olarak kısıtlar. Bu varsayımların yerine farklı olanların konulması sonucu değişik problem türleri ortaya çıkar. Çok amaçlı problemler, bulanık problemler, stokastik problemler, on-line problemler bu kategoriye girer (Wascher vd. 2007:1113).

5.3 Problem Türlerinin Tanımlanmasında Kullanılan Kriterler

Bu kriterler boyut, atama türü, küçük parçaların çeşitliliği, büyük objelerin çeşitliliği ve küçük parçaların şekli olmak üzere beşe ayrılır.

5.3.1. Boyut

Topolojide problemler boyut açısından 1,2 ve 3 boyutlu olarak incelenmiştir. Bunun dışında n boyutlu (n>3) problemler değişik (farklı) problemler açısından ele alınmıştır (Wascher vd. 2007:1114).

5.3.2. Atama türü

Çıktı maksimizasyonunda büyük objeler kümesi tüm küçük parçaları yerleştirmek için yeterli sayıda değildir. Tüm büyük objelere parçalar kümesinden seçilen maksimum değerli küçük parçaların atandığı atama türüdür.Girdi minimizasyonunda büyük objeler kümesi tüm küçük parçaları yerleştirmek için yeterli sayıdadır. Tüm küçük parçaların büyük objeler kümesinden seçilen minimum değerli büyük objelere atandığı atama türüdür (Wascher vd. 2007:1114-1115).

Özel problemler ele alındığında maliyetler, gelirler yada malzeme (madde) miktarlarına göre ifade edilebilen büyük obje/küçük parçaların değerinin daha açık bir şekilde belirlenmesi gerekir. Genel olarak büyük obje/küçük parçaların değeri büyüklükleriyle orantılı olarak varsayılır ve öyle ki amaç fonksiyonu uzunluk (bir boyutlu), alan (iki boyutlu), hacim (üç boyutlu) maksimizasyonu (çıktı) yada minimizasyonuna (girdi) ilişkindir. Bu gibi durumlarda girdi minimizasyonu ve çıktı maksimizasyonunu fire minimizasyonuna (seçilen büyük objelerin kullanılmayan toplam büyüklüklerinin minimizasyonu) dönüştürebiliriz. Gerçek hayatta karşılaşılan ve/veya literatürde tartışılan problemler hem büyük obje hem de küçük parçalarla ilgili seçiminin yapıldığı problemlerdir. Bu durum maliyet ve gelirleri bir arada ele alan amaç fonksiyonunu (kâr maksimizasyonu) gerektirir (Wascher vd. 2007:1115).

5.3.3 Küçük parçaların çeşitliliği

Küçük parçalar çeşitlilik bakımından üç şekilde farklılaşır.

5.3.3.1 *Eş küçük parçalar*

Problemle ilgili boyutlara (uzunluk, genişlik ve yükseklik gibi probleme uygun boyut sayısı bağlamında) göre tüm küçük parçaların aynı şekil ve büyüklüğe (ölçü) sahip olmasıdır. Çıktı maksimizasyonu durumunda küçük parça türünün sınırsız talebe sahip olduğu varsayılır. Dyckhoff'un topolojisinde küçük parçaların çeşitliliği altında C simgesiyle gösterilen karakterle aynı özelliktedir (Wascher vd. 2007:1115).

5.3.3.2 *Heterojenliği düşük küçük parçalar*

Küçük parçalar şekil ve büyüklük açısından benzer olanlar kapsamında göreceli olarak birkaç gruba ayrılır. Şekil ve büyüklük açısından benzer olup yön açısından uyuşmayan parçalar farklı tür olarak değerlendirilirler. Her parçanın talebi göreceli olarak büyüktür ve üst sınırla sınırlandırılabilir. Dyckhoff'un topolojisinde küçük parçaların çeşitliliği altında R simgesiyle gösterilen karakterle aynı özelliktedir (Wascher vd. 2007:1115).

5.3.3.3 *Heterojenliği yüksek küçük parçalar*

Sadece çok az sayıda küçük parça benzer şekil ve büyüklüğe sahiptir. Bu tür küçük parçalar tekil bileşenler olarak değerlendirilir. Her parçanın talebi bire eşittir. Dyckhoff'un topolojisinde küçük parçaların çeşitliliği altında F ve M simgeleriyle gösterilen karakterlerle benzer özelliktedir (Wascher vd. 2007:1115).

Bu kategori içerisinde farklılaşan talep durumuna sahip (küçük parçalar arasında talep açısından tekdüze bir dağılım olmaması) problemler değişken problemler olarak incelenir (Wascher vd. 2007:1115-1116).

5.3.4. Büyük objelerin (stok malzemelerinin) çeşitliliği

Büyük objeler topolojiye göre iki şekilde farklılaşır.

5.3.4.1. *Tek büyük obje*

Büyük objeler kümesi tek bir elemandan oluşur. Bu özellik problemle ilgili tüm boyutların sabit ve bir yada daha fazla boyutun değişken olma durumuna göre iki ek kısma ayrılır. Tüm boyutların sabit olması durumu Dyckhoff'un topolojisinde büyük objelerin çeşitliliği altında O simgesiyle gösterilen karakterle benzer özelliktedir (Wascher vd. 2007:1116).

5.3.4.2. *Birkaç büyük obje*

Bu durumda problemle ilgili tüm boyutlar sabit olarak ele alınmıştır. Eş büyük objeler, heterojenliği düşük büyük objeler, heterojenliği yüksek büyük parçalar olmak üzere üçe ayrılır (Wascher vd. 2007:1116).

Temel problem türlerinin tanımlanması için tüm büyük objelerin dörtgensel şekilde (dikdörtgen, küp) olduğu ve türdeş malzemelerden oluştuğu varsayımları göz önünde bulundurulur. Dörtgensel olmayan (dairesel şekiller) ve/veya türdeş olamayan malzemelerden (kusurlu, defolu malzemeler) oluşan büyük objeler değişik problem türleri kapsamındadır (Wascher vd. 2007:1116).

5.3.5. Küçük parçaların şekilleri

İki ve üç boyutlu problemler incelendiğinde arıtılmış problemlerin elde edilmesi için küçük parçalar düzenli (dikdörtgen, küp, daire, silindir vb.) ve düzensiz olarak ikiye ayrılır. Dörtgensel parçaların literatürde belirtildiği gibi ortogonal yerleştirildiği varsayılır. Ortogonal olmayan yerleşimlere ve/veya düzenli ve düzensiz küçük parçaların karışımına olanak sağlayan problemler değişik problem türleri olarak ele alınır (Wascher vd. 2007: 1116).

5.4. Temel Problem Türleri

Temel problem türleri atama türü ve küçük parçaların çeşitliliği kriterlerinin kombinasyonu sonucu belirlenir (Wascher vd. 2007:1116).

5.4.1.Çıktı maksimizasyonu türleri

Tüm küçük parçaları yerleştirmeye olanak sağlamayan sınırlı sayıda büyük obje mevcuttur. Belirli bir seçim sonunda yerleştirilecek küçük parçaların değerini maksimize etmek için tüm büyük objelerden yararlanılır (Wascher vd. 2007:1116). Temel çıktı maksimizasyon problem türleri şunlardır:

Eş parça yerleştirme problemleri: En büyük sayıda mevcut eş parçanın herhangi bir seçim olmaksızın sınırlı sayıdaki büyük objeye atanması problemidir. Geometrik koşullar dikkate alınarak bu problem çözülür (Wascher vd. 2007:1117).

Yerleştirme problemi: Düşük heterojenliğe sahip küçük parçaların sınırlı sayıdaki büyük objelere atanması problemidir. Yerleştirilen küçük parçaların toplam büyüklüğünün maksimize edilmesi yada benzer şekilde yerleştirme sonucunda oluşabilecek firenin minimize edilmesi amaçlanmaktadır (Wascher vd. 2007:1117).

Sırt çantası problemi: Güçlü heterojenliğe sahip küçük parçaların sınırlı sayıdaki büyük objelere atanması problemidir. Seçim sonunda yerleştirilecek parçaların değerlerinin toplamının maksimize edilmesi amaçlanır (Wascher vd. 2007:1117).

5.4.2.Girdi minimizasyonu türleri

Tüm küçük parçaları yerleştirmek için yeteri kadar fazla büyük obje vardır. Tüm küçük parçaları yerleştirmek için seçilen büyük objelerin değerleri toplamının minimize edilmesi amaçlanır (Wascher vd. 2007:1117). Temel girdi minimizasyon problem türleri şunlardır:

Açık boyutlu problem: Küçük parçalar kümesinin tüm elemanlarının tek büyük obje yada birkaç büyük objeye göre yerleştirildiği problem türüdür. Bu problem türünde büyük objelerin en az bir boyutundaki uzantısı değişkendir. Büyük objelerin değişken boyutunda yada boyutlara sahip uzantı yada uzantılarının yerleştirilmesine yönelik problemdir. Girdi değeri (yada uzunluk, alan yada hacim gibi ilişkili ek bir ölçünün) minimize edilmeye çalışılır. Temel problem türlerinin oluşturulması için büyük objelerin dörtgensel (iki boyutlu problemler) yada kübik (üç boyutlu problemler) olmasına yönelik kısıtlar eklenir (Wascher vd. 2007:1118).

Stok kesme problemi: Düşük heterojenliğe sahip bütün küçük parçaların seçilecek büyük objelere atanması problemidir. Seçilecek büyük objelerin değer, sayı yada toplam büyüklük açısından minimize edilmesi amaçlanır. Büyük objeler sabit boyuttadır. Büyük objelerin çeşitliliğine (benzer, heterojenliği düşük, heterojenliği yüksek) ilişkin herhangi bir varsayım ele alınmamıştır (Wascher vd. 2007:1118).

Kutu yükleme problemi: Yüksek heterojenliğe sahip bütün küçük parçaların seçilecek büyük objelere atanması problemidir. Stok kesme problemlerine benzer amacı vardır. Büyük objelerin çeşitliliğine yönelik bir değerlendirme yoktur (Wascher vd. 2007:1118).

5.5. Orta Derece Problem Türleri

Temel problem türlerini tanımlamakta kullanılan kriterlere ek olarak büyük objelerin çeşitliliği kriterinin hesaba katılması sonucunda daha türdeş (homojen) problem türü olan orta derece problem türleri tanımlanabilir.

Basit problem yapısından dolayı eş parça yükleme problemi üzerinde daha fazla farklılaştırma yapılmamıştır. Bu türdeki bir problemin en büyük sayıda mevcut küçük parçanın atanacağı bir büyük objeyle (büyük parçaların en azından kısmi olarak benzer olması halinde büyük objelerin belirli bir türüne göre) ilişkili olan birbirinden bağımsız alt problemlere ayrılması halinde çözüm bulunabilir (Wascher vd. 2007:1118-1119).

5.6. Arıtılmış problem türleri

Boyut ile iki ve üç boyutlu problemler için küçük parçaların şekli kriterlerinin eklenmesi sonucunda elde edilir. Bu problem türünün alt kategorileri orta problem türlerine yukarıda belirtilen iki karakterin eklenmesiyle bulunur (Wascher vd. 2007:1119).

5.7. Özel Problem Türleri

Wascher (2007:1120) topolojisinde 14 farklı özel problem türünden bahsetmiştir.

5.7.1. Eş parça yükleme problemi

Maksimum sayıda eş parçanın tek bir palete yüklenmesine ilişkin klasik üreticinin palet yükleme problemi bu türdeki iyi bilinen bir örnektir. Katlar biçiminde yüklenen kutuların aynı dikey yöne sahip olması sonucu bu problem maksimum sayıda benzer dikdörtgenin büyük bir dikdörtgene yerleştirileceği iki boyutlu dörtgensel eş parça yükleme problemine dönüşür. Aynı büyüklüğe sahip maksimum sayıdaki dairenin bir dikdörtgene yerleştirildiği silindir yükleme problemi iki boyutlu dairesel eş parça yükleme problemine , tek kutu türünün mevcut olduğu konteynır yükleme problemi de üç boyutlu dörtgensel eş parça yükleme problemine örnektir (Wascher vd. 2007:1120-1121).

5.7.2. Tek büyük obje yerleştirme problemi

Belirli bir türden parçanın yerleştirme sayısının sınırlı yada sınırsız olduğu sırt çantası problemleri bir boyutlu tek büyük objeli yerleştirme problemine örnektir. Bu tür problemlerde düşük heterojenliğe, belirli bir ağırlığa sahip ve kendilerine belirli bir değer atanan parçalar arasından seçilip ağırlık kısıtını ihlal etmeksizin tek bir sırt çantasına yerleştirilecek parçaların değerleri toplamı maksimize edilmeye çalışılır. Tek büyük dikdörtgenden kesilmek için düşük heterojenliğe sahip düzenli yada düzensiz parçalar kümesinden seçilecek elemanların değerleri toplamının maksimize edilmesini amaçlayan kalıp yerleştirme problemi iki boyutlu tek objeli yerleştirme problemlerine örnektir (Wascher vd. 2007:1121) .

Yerleştirilen parçaların hacim yada değerlerini maksimize etmek veya benzer şekilde konteynırın boş alanlarını yada yerleştirilmeyen parça sayısını minimize etmek amacıyla düşük heterojenliğe sahip çok sayıda parçanın tek konteynıra yerleştirildiği tek konteynırlı yükleme problemi üç boyutlu dörtgensel tek büyük objeli yerleştirme problemine örnektir. Gerçek hayatta tek konteynıra yada palete yerleştirilecek kutu sayılarının üst sınırla sınırlandırıldığı örneklere rastlanır (Wascher vd. 2007:1121).

5.7.3. Çok sayıda eş büyük objeli yerleştirme problemi

Tek büyük objeli yerleştirme probleminin açık bir uzantısıdır. Sınırlı yada sınırsız çoklu sırt çantası problemi, çoklu stok plakası kesim problemi bu türden problemlerdir (Wascher vd. 2007:1121).

5.7.4. Çoklu heterojen (çok sayıda farklı türden) büyük obje yerleştirme problemi

Tek büyük objeli yerleştirme probleminin bir diğer uzantısıdır (Wascher vd. 2007:1121). Gradisar vd. (1999: 559) düşük heterojenliğe sahip sipariş uzunluklarının tamamıyla birbirinden farklı girdi uzunluklarından kesildiği bir boyutlu çoklu heterojen büyük obje yerleştirme problemi üzerinde çalışmıştır. Girdi uzunlukları tüm talepleri karşılayacak düzeyde olmadığından kesilmeyen sipariş uzunluklarının minimize edilmesi amaçlanır.

5.7.5. Tekli sırt çantası problemi

Yerleştirilecek parçaların değerlerini maksimize etmek amacıyla belirli ağırlık ve değere sahip farklı parçalar kümesinden parçaların seçilerek sınırlı ağırlık kapasitesine sahip bir sırt çantasına yerleştirildiği klasik (bir boyutlu) sırt çantası problemi bu türe özel bir örnek teşkil eder. Parçanın ağırlığının değerine eşit olduğu altküme toplamı problemi bir klasik sırt çantası problemidir. Kapasite kısıtı dışında m-1 ek kısıtın da yerleştirilen parçalar tarafından sağlanacağı m kısıtlı sırt çantası bu problemi de klasik sırt çantası probleminin bir uzantısıdır. Klasik sırt çantası probleminin bir başka uzantısı da küçük farklı dikdörtgenlerin bir büyük dikdörtgenden kesildiği iki boyutlu dörtgensel sırt çantası ve dörtgensel şekilli kutuların bir konteynıra yerleştirildiği üç boyutlu dörtgensel sırt çantası problemleridir. Bu problemlerde kesilecek yada yerleştirilecek parçaların değerleri maksimize edilmek istenir (Wascher vd. 2007:1122). George vd. (1995:694-695) seçilen boruların değerlerini maksimize etmek amacıyla farklı türdeki borulardan (daire) oluşan kümeden seçilen elemanların tek bir konteynıra (tabanı oluşturan dikdörtgene) yerleştirileceği iki boyutlu dairesel sırt çantası problemini tanımlamıştır.

5.7.6. Çoklu eş sırt çantası problemi

Literatürde bir boyutlu çoklu eş sırt çantası problemi belirli ağırlığa sahip, küçük, bölünmez ve çeşitlilik açısından yüksek derecede heterojen olan parçalar ile eş kapasiteli sabit sayıda büyük objeden oluşan maksimum nicelikli kutu yükleme problemi olarak bilinir .Belirli ağırlık ve değere sahip çeşitlilik açısından yüksek derecede heterojen olan parçaların belirli sayıdaki eş konteynırlara yüklendiği çoklu konteynır yükleme problemi bu problem türünün üç boyutlu bir örneğidir (Wascher vd. 2007:1122).

5.7.7. Çoklu heterojen sırt çantası problemi

Belirli ağırlık ve faydaya sahip çeşitlilik açısından yüksek derecede heterojen olan küçük parçalar kümesinden seçilen elemanların farklı kapasitelere sahip sırt çantalarından oluşan kümeden seçilen büyük objelere yerleştirilmesine yönelik bir problem türüdür (Wascher vd. 2007:1122). Martello ve Toth (1990: 157-187) 0-1 çoklu sırt çantası problemini bu problem kategorisinin bir boyutlu örneği (bir boyutlu çoklu heterojen sırt çantası problemi) olarak değerlendirmiştir.

5.7.8. Açık boyutlu problem

Genişliği sabit uzunluğu değişken olan bir dikdörtgen obje üzerine iki boyutlu küçük parçaların yerleştirildiği şerit yükleme problemi bir açık boyutlu problem türüdür. Amaç değişken olan büyük obje uzunluğunu minimize etmektir. Bu problem büyük obje üzerine yerleştirilecek parçaların dörtgensel olması durumunda dörtgensel şerit yükleme problemleri, dörtgensel parçaların ortogonal olarak büyük objeye yerleştirilmesi durumunda ortogonal dörtgensel şerit yükleme problemleri , dörtgenlerin aşamalar (seviyeler, katlar) olarak yapılması halinde seviye yükleme problemleri adını alır (Wascher vd. 2007:1123). Büyük objeler üzerine yerleştirilecek küçük parçaların düzensiz şekillerde olduğu düzensiz şerit yükleme (Hopper ve Turton, 2001: 257) yada yuvalanmış şekilde yerleştirme problemlerine hazır giyim, ayakkabı üretimi gibi sektörlerde rastlanır.

Küçük parçaların değişken uzunluğa sahip bir konteynıra yüklenmesi açık boyutlu problemlerin üç boyutlu olanlarına bir örnektir. Bu problemde değişken boyut olan konteynır uzunluğu açısından en küçük alanın kullanılması amaçlanır. İki boyutlu dörtgensel, dairesel yada düzensiz şekilli küçük parçaların genişlik ve uzunluk açısından değişken boyutlara sahip olan dörtgensel bir büyük objeye yerleştirildiği minimum çevreleme problemi açık boyutlu problemin bir uzantısıdır (Wascher vd. 2007:1123).

Farklı işlem sürelerine sahip bölünmez işlerin belirli sayıdaki eş işlemcilere toplam tamamlanma süresini minimize etmek amacıyla atandığı çok işlemcili çizelgeleme problemi açık boyutlu problemlerin bir boyutlusuna verilebilecek bir örnektir (Brucker, 2004: 107-154).

5.7.9. Tek stok büyüklüğüne sahip stok kesme problemi

Düşük heterojenliğe sahip sipariş uzunlukları kümesinden seçilen elemanların tek bir uzunluğa sahip standart stok malzemesinden kesildiği klasik bir boyutlu stok kesme problemi ile düşük heterojenliğe sahip dörtgensel parçalar kümesinden seçilen elemanların tek bir uzunluk ve genişliğe sahip stok plakasından (malzemesinden, levhasından) kesildiği iki boyutlu stok kesme problemi (Gilmore ve Gomory, 1965:98-101) tek stok büyüklüğüne sahip stok kesme probleminin uzantılarıdır. Her iki problemde de kullanılan büyük objelerin değerlerinin minimize edilmesi beklenir. Çok paletli yükleme problemi ile çok konteynırlı yükleme problemi bu problem türünün üç boyutlu biçimine ilişkin örneklerdir (Wascher vd. 2007:1123) .

5.7.10. Çok stok büyüklüğüne sahip stok kesme problemi

Literatürde tek boyutlu çok stok büyüklüğüne sahip kesme kağıt kırpma problemi olarak bilinir (Golden, 1976: 265). Carnieri vd. (1994:496-497) mobilya sektöründe iki boyutlu çok stok büyüklüğüne sahip problem türünü incelemişlerdir. Eley (2003:45-47) konteynır ve konteynırlara yüklenecek kutuların belirli gruplara ayrıldığı, her konteynır türüne bir maliyet atandığı ve tüm kutuları yerleştirmek için kullanılacak konteynırların toplam maliyetini minimize etmeyi amaçlayan üç boyutlu çok stok büyüklüğüne sahip problemlerle ilgilenmiştir.

5.7.11. Artık stok kesim problemi

Wascher vd. (2007: 1124) yüksek heterojenliğe sahip büyük objelere yerleştirme yapılmasıyla ilgili problem için artık kesim problemi ifadesini kullanmıştır. Bunun nedeni önceki kesim/yerleştirme işlemleri sonucunda büyük objelerden arta kalan parçalardan daha sonraki işlemlerde yararlanılmasıdır.

Gradišar vd. (1999: 559; 2002: 1212) düşük heterojenliğe sahip sipariş edilen parçaların uzunluklarının birbirinden farklı uzunluklara sahip büyük objeler arasından seçilen obje(ler)den kesileceği hibrid bir boyutlu stok kesim problemiyle ilgilenmişlerdir. Girdilerin uzunluklar açısından talebi tatmin edecek büyüklüğe sahip olduğundan kullanılan girdi uzunluklarından kaynaklanan kesim kaybının minimize edilmesi amaçlanır. Gradišar vd. (1999: 560-562) bu problemin çözümünde parça ve kesim planı odaklı çözüm yöntemlerinin kombinasyonundan yararlanmışlardır.

5.7.12. Tek kutu büyüklüğüne sahip kutu yükleme problemi

Belirli ağırlıklara sahip farklı küçük parçaların eş kapasiteye sahip minimum sayıdaki kutulara yüklenmesiyle ilgili klasik kutu yükleme problemi bu problem kategorisine verilebilecek bir örnektir (Wascher vd. 2007:1124). Literatürde bu problem araç yükleme (Golden, 1976: 266) ve 0-1 stok kesme problemi (Vance vd. 1994:112) olarak ele alınır. Farklı dörtgenlerin (küçük parçalar) ortogonal biçimde minimum sayıdaki büyük dörtgensel kutulara yerleştirildiği iki boyutlu ortogonal kutu yükleme problemi (Lodi vd. 2002b: 379; Lodi vd. 2002a: 242) ile dairesel küçük parçaların büyük dörtgensel objelere yerleştirildiği silindirik kutu yükleme problemi (George vd. 1995:693) tek kutu büyüklüğüne sahip kutu yükleme problemlerine verilebilecek iki boyutlu (dörtgensel ve dairesel) örneklerdir. Minimum sayıdaki konteynıra boruların yerleştirilmesi gerçek hayatta karşılaşılan iki boyutlu dairesel tek kutu büyüklüğüne sahip kutu yükleme problemlerine örnektir. Lodi vd. (2002c:410) dörtgensel kutuların ortogonal biçimde minimum sayıdaki eş büyüklüğe sahip konteynırlara yerleştirildiği üç boyutlu ortogonal kutu yükleme problemlerinden bahsetmişlerdir.

5.7.13. Çoklu kutu büyüklüğüne sahip kutu yükleme problemleri

Değişken büyüklüğe sahip bir boyutlu kutu yükleme problemi birkaç kutu türünden oluşan klasik bir boyutlu kutu yükleme probleminin bir uzantısıdır. Sınırsız sayıda tedarik edilen her kutu türü belirli bir maliyet ve büyüklüğe sahiptir. Bütün küçük parçaları yerleştirmek amacıyla kullanılacak kutuların toplam maliyeti minimize edilmek istenir (Wascher vd. 2007:1125).

5.7.14. Artık kutu yükleme problemi

Yüksek heterojenliğe sahip küçük parçaların farklı büyüklüklerdeki minimum sayıda büyük objeye yerleştirilmesiyle ilgili problem türüdür (Wascher vd. 2007:1125).

Chen vd. (1995:70) düşük heterojenliğe sahip kutuların farklı büyüklüklerdeki konteynırlara yerleştirilmesine yönelik üç boyutlu konteynır yükleme problemleriyle ilgilenmişlerdir.

Wascher (2007:1125-1127) 1995 ile 2004 yılları arasındaki kesme ve yerleştirme ile ilgili yapılan çalışmaları topolojisine göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma yapılmadan önce kesme ve yerleştirme problemleriyle doğrudan ilgisi olmayan, akış hattı dengeleme, sermaye bütçeleme ve çok işlemcili çizelgeleme üzerine yapılan çalışmalar bu değerlendirmenin dışında bırakılmıştır. Arıtılmış problem türleri bağlamında sınıflandırma yapılmıştır. Bu koşulları sağlayan 413 çalışma değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Araştırmanın sonuçlarına göre girdi minimizasyonuna (59%) yönelik problemlerin oranı çıktı maksimizasyonuyla ilgili problemlerin oranından (41%) fazladır. Yapılan çalışmaların çoğu bir (39%) ve iki boyutlu (48%) problemler üzerinedir. Çıktı maksimizasyonuyla ilgili problemler arasında tek büyük objenin ele alındığı çalışmalar daha fazladır (çıktı maksimizasyonu içinde 91%, tüm çalışmalar içinde 37%). Girdi minimizasyonuyla ilgili problemler arasında tek büyüklüğe sahip eş büyük objeler (girdi minimizasyonu içinde 48%, tüm çalışmalar içinde 29%) ve bir değişken boyutu olan tek büyük obje (girdi minimizasyonu içinde 39%, tüm çalışmalar içinde 23%) kategorileri üzerinde en fazla çalışılan problem türleridir. Daha açık bir şekilde, değerlendirmeye alınan araştırmalar beş problem türü üzerinde odaklanır. Bu türler açık boyutlu problemler (23%), tek kutu büyüklüğüne sahip kutu yükleme problemleri (20%), tekli sırt çantası problemi (19%), tek büyük objeli yerleştirme problemi (13%) ve tek stok büyüklüğüne sahip stok kesim problemidir (9%).

Wascher vd. (2007: 1127)'nin yaptığı değerlendirme sonucunda son yıllarda yapılan çalışmaların geleneksel odaklı olduğu anlaşılmıştır. Çalışmaların odaklandığı beş problem türü de (oranı açısından) sırasıyla düzenli ve düzensiz şerit yükleme problemi, klasik kutu yükleme problemi, klasik sırt çantası problemi, dağıtıcının palet yükleme problemi ve klasik stok kesme problemi gibi açık bir şekilde tanımlanmış olan standart (klasik) problemleri içermektedir. Araştırmalar geleneksel alanlardan uzaklaştıkça standart problemlerden yüksek boyutlu problemlere doğru açık bir artış olmaktadır.

İkinci Bölüm

Stok Kesme ve Konteynır Yükleme Problemleri

1. Kesme Problemlerinin Modellenmesi

Stok kesme problemleri ilk olarak 1939 yılında Kantorovich tarafından incelenmiştir. Tek boyutlu stok kesme problemi her biri n adet makinada işlenecek m sayıda işin çizelgelenmesi probleminin bir uzantısı olarak tanımlanmış ve fire minimizasyonuna yönelik tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir (Yavuz, 2005:23). Gilmore ve Gomory 1961 yılında matematiksel model kurarak stok kesme problemlerini çözmeye çalışan ilk araştırmacılardır. Gilmore ve Gomory stok kesme problemlerini birbiriyle bağlantılı sırt çantası problemleri dizisi gibi ele alarak önce kesim planlarını oluşturmuş, sonra da doğrusal programlama yöntemiyle çözüme girecek kesim planlarının optimum miktarlarını belirlemeye çalışmıştır.

İki aşamadan oluşan geleneksel yaklaşım stok kesme problemlerinin çözümünde kullanılan ilk yöntemdir. Önceden tanımlanmış kısıtları karşılayan kesme planlarının toplam sayımlama yoluyla oluşturulması herhangi boyutlu stok kesme problemleri için ilk çözüm aşamasını oluştururken, uygun kesme planlarından oluşan küme içindeki elemanlardan ne kadar kullanılacağının doğrusal programlama yöntemiyle belirlenmesi de çözümdeki ikinci aşamadır. Fakat küçük ölçekli problemler için bile çok sayıda kesim planı türeten bu yaklaşım gerçek hayatta karşılaşılan orta ve büyük ölçekli problemler için çözümün etkinliği ve hızlılığı açısından uygun bir yöntem değildir (Erol,1990:19). Stok kesim problemleri ayrıca hangi stok büyüklüklerinin kesileceğinin belirlendiği ana malzeme seçimi ve/veya kesim sıralamasına yönelik kesim planı yerleştirme problemleriyle bağlantılı olabilir. Sweeney ve Paternoster (1992:691) stok kesim problemi ve ilgili uygulamalar açısından 500'den fazla çalışmadan bahsetmiştir. Stok kesim yöntemlerinin endüstrilerde bu kadar yaygın kullanılmasının temel nedenleri daha etkin ve verimli çözüm yöntemlerinin bulunması için ekonomik olarak büyük teşvik yapılması ile alternatif çözüm yöntemlerinin kıyaslanmasının ve önerilen çözüm yönteminin kullanılması sonucunda oluşan mevcut faydaların tanımlanmasının kolaylığıdır (Haessler ve Sweeney, 1991:141). Literatürde kesme ve yerleştirme problemlerine yönelik çeşitli uygulamalar Dyckhoff'un (1990:154) bu problemler için bir sınıflandırma listesi oluşturmasına neden olmuştur.

1.1. Bir Boyutlu Kesme Problemlerinin Modellenmesi (1/V/I/R)

Gilmore ve Gomory (1961:850-852)'nin bir boyutlu ve tek çeşit stok malzemesinin kesimine yönelik problemin matematiksel modeli:

L : Stok malzemesinin uzunluğu

m : Uzunluk ve talep miktarına göre parça çeşidi sayısı $\quad i = 1,2......m$

l_i : i. parçanın uzunluğu

D_i : i. parçanın talep miktarı

a_{if} : f. Kesim planındaki i. parça miktarı

F : Kesim planı sayısı $\quad f = 1,2......F$

S_f : f. Kesim planının kullanılması sonucunda oluşacak fire $\quad S_f = L - \sum_{i=1}^{m} a_{if} l_i$

x_f : kullanılan f. kesim planı miktarı

M: kullanılabilecek maksimum stok malzemesi miktarı

Amaç fonksiyonu: $\quad \min z = \sum_{f=1}^{F} S_f x_f$

Kısıtlar: $\quad \sum_{i=1}^{m} a_{if} l_i \le L \qquad \forall f \text{ için} \quad f = 1,2.....F$

$$\sum_{f=1}^{F} a_{if} x_f \ge D_i \qquad \forall i \text{ için} \quad i = 1,2.....m$$

$$\sum_{f=1}^{F} x_f \le M$$

$$x_f \ge 0 \quad \text{ve tamsayı}$$

$$a_{if} \geq 0 \quad \text{ve tamsayı}$$

1.2. Bir Boyutlu Kesme Problemlerinin Modellenmesi (1/V/D/R)

Boyutları önceden belirlenmiş olan bir boyutlu ve j çeşit stok malzemesinden küçük parçaların kesilmesine yönelik problemin matematiksel formülasyonu:

L_j = j. stok malzemesinin uzunluğu

m: Uzunluk ve talep miktarına göre parça çeşidi sayısı $\quad i = 1,2......m$

l_i: i. parçanın uzunluğu

D_i: i. parçanın talep miktarı

a_{ifj} = f. plana göre kesilen j. stok malzemesindeki i. parça miktarı

F_j = j. stok malzemesi için kesim planı sayısı $\quad f = 1,2......F_j$

S_{fj} = j. stok malzemesinin f. plana göre kesilmesi sonucu oluşan fire

$$S_{fj} = L_j - \sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i$$

x_{fj} = f. plana göre kesilen j. stok malzemesi sayısı

M_j = j. stok malzemesinden maksimum kullanılabilecek miktar $\quad j = 1,2.....n$

Amaç fonksiyonu: $\quad \min z = \sum_{f=1}^{F_j} \sum_{j=1}^{n} S_{fj} x_{fj}$

Kısıtlar: $\quad \sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i \leq L_j \quad \forall f, j$ için $\quad f = 1,2....F_j \quad j = 1,2.....n$

$$\sum_{f=1}^{F_j} \sum_{j=1}^{n} a_{ifj} x_{fj} \geq D_i \quad \forall i \text{ için } \quad i = 1,2.....m$$

$$\sum_{f=1}^{F_j} x_{fj} \leq M_j \quad \forall j \text{ için } \quad j = 1,2....n$$

$$x_{fj} \geq 0 \quad \text{ve tamsayı}$$

$$a_{ifj} \geq 0 \quad \text{ve tamsayı}$$

Herhangi bir çeşit stok malzemesinden kesilecek parçaların uzunluklarının toplamının stok malzemesinin uzunluğundan büyük olmaması stok kesim problemlerinin uygunluk şartını, herhangi çeşit stok malzemesinin belirli bir kesim planına göre kesilmesi sonucu oluşacak firenin en küçük parçadan daha küçük olması ise bu problemin etkinlik şartını oluşturur (Holthaus, 2002, 298). Uygunluk ve etkinlik şartlarının sağlanması sonucunda bu tür problemlerin optimal çözümü bulunabilir.

Uygunluk şartı: $\sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i \leq L_j \qquad \forall f, j$ için $\quad f = 1,2....F_j \quad j = 1,2.....n$

$a_{ifj} \geq 0$ ve tamsayı

Etkinlik şartı: $S_{fj} = L_j - \sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i < \min l_i$

Stok malzemelerinin farklı yerlerde olması sonucunda yük taşıma maliyetleri hangi stok malzemelerinin seçileceği kararını etkiler. Bunun sonucunda amaç fonksiyonu şu şekilde değiştirilir:

$$\min \sum_{j=1}^{n} (C_{1j} \sum_{f=1}^{F_j} S_{fj} x_{fj} + \sum_{i=1}^{m} \sum_{f=1}^{F_j} C_{2ji} a_{ifj} x_{fj})$$

$C_{1j} =$ j. stok malzemesi için birim başına kesim kaybının dolar olarak değeri

$C_{2ji} =$ j. stok malzemesinden üretilen i. sipariş için bir rulonun taşınma maliyeti . Stok uzunluğunun ürünün konumunu (yerini) tanımladığı varsayılır. Eğer bütün ürünler aynı konumdaysa bu değer sıfıra eşit olur.

En genel durumlarda kesim kaybı ve yük taşıma ile ilgili değişken maliyetler , C_{fj} , şu şekilde bulunur:

$$C_{fj} = C_j + C_{pj} (\sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i) + \sum_{i=1}^{m} C_{2ji} a_{ifj}$$

C_j j. stok rulosunu malzeme hariç üretme maliyeti

C_{pj} kullanılan j. stok rulosunun inç başına malzeme maliyeti

C_{2ji} j. stok rulosunun olduğu yerden i. siparişi karşılamak için bir rulo taşımanın maliyeti

Bu durumda gölge fiyatlar doğrusal programlamada temele girecek kesim planını bulmadan önce ayarlanmalıdır (düzeltilmelidir). Her stok malzemesi için şu sırt çantası problemi çözülmelidir:

$$Z_j = \max \sum_{i=1}^{m} (U_i - C_{pj} l_i - C_{2ji}) a_{ifj} - C_j$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i \leq UL_j \qquad \forall f, j \text{ için} \qquad f = 1,....F_j \quad j = 1,.....,n$$

$$a_{ifj} \geq 0 \quad \text{ve tamsayı}$$

1.3. İki Boyutlu Kesme Problemlerinin Modellenmesi (2/V/D/R)

Boyutları önceden belirlenmiş olan iki boyutlu ve j çeşit stok malzemesinden küçük parçaların kesilmesine yönelik problemin matematiksel formülasyonu:

L_j : j. stok malzemesinin uzunluğu

W_j : j. stok malzemesinin genişliği

l_i : i. parçanın uzunluğu

w_i : i. parçanın genişliği

m : Uzunluk, genişlik ve talep miktarına göre parça çeşidi sayısı $i = 1,2......m$

D_i : i. parçanın talep miktarı

a_{ifj} = f. planına göre kesilen j. stok malzemesindeki i. parça miktarı

F_j = j. stok malzemesi için kesim planı sayısı $\quad f = 1,2......F_j$

S_{fj} = j. stok malzemesinin f. plana göre kesilmesi sonucu oluşan fire

$$S_{fj} = L_j W_j - \sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i w_i$$

x_{fj} = f. plana göre kesilen j. stok malzemesi sayısı

M_j = j. stok malzemesinden maksimum kullanılabilecek miktar $\quad j = 1,2.....n$

Amaç fonksiyonu: $\quad \min z = \sum_{f=1}^{F_j} \sum_{j=1}^{n} S_{fj} x_{fj}$

Kısıtlar: $\quad \sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i w_i \le L_j W_j \quad \forall f, j$ için $\quad f = 1,2....F_j$

$j = 1,2.....n$

$$\sum_{f=1}^{F_j} \sum_{j=1}^{n} a_{ifj} x_{fj} \ge D_i \quad \forall i \text{ için } \quad i = 1,2.....m$$

$$\sum_{f=1}^{F_j} x_{fj} \le M_j \quad \forall j \text{ için } \quad j = 1,2....n$$

$$x_{fj} \ge 0 \quad \text{ve tamsayı}$$

$$a_{ifj} \ge 0 \quad \text{ve tamsayı}$$

1.4. Üç Boyutlu Kesme Problemlerinin Modellenmesi

Üç boyutlu kesme problemleri daha çok yerleştirme problemi niteliğindedir (Steudel, 1979'dan aktaran Erol, 1990, s.22). Üç boyutlu ve j çeşit stok malzemesinin kesiminin matematiksel formülasyonu şu şekildedir:

L_j : j. stok malzemesinin uzunluğu

W_j : j. stok malzemesinin genişliği

H_j : j. stok malzemesinin yüksekliği

l_i : i. parçanın uzunluğu

w_i : i. parçanın genişliği

h_i : i. parçanın yüksekliği

m: Uzunluk, genişlik, yükseklik ve talep miktarına göre parça çeşidi sayısı $i = 1,2......m$

D_i : i. parçanın talep miktarı

a_{ifj} = f. planına göre kesilen j. stok malzemesindeki i. parça miktarı

F_j = j. stok malzemesi için kesim planı sayısı $\qquad f = 1,2......F_j$

S_{fj} = j. stok malzemesinin f. plana göre kesilmesi sonucu oluşan fire

$$S_{fj} = L_j W_j H_j - \sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i w_i h_i$$

x_{fj} = f. plana göre kesilen j. stok malzemesi sayısı

M_j = j. stok malzemesinden maksimum kullanılabilecek miktar $\qquad j = 1,2.....n$

Amaç fonksiyonu: $\quad \min z = \sum_{f=1}^{F_j} \sum_{j=1}^{n} S_{fj} x_{fj}$

Kısıtlar: $\quad \sum_{i=1}^{m} a_{ifj} l_i w_i h_i \le L_j W_j H_j \qquad \forall f, j$ için $\quad f = 1,2....F_j$

$j = 1,2.....n$

$$\sum_{f=1}^{F_j} \sum_{j=1}^{n} a_{ifj} x_{fj} \ge D_i \qquad \forall i \text{ için } \quad i = 1,2.....m$$

$$\sum_{f=1}^{F_j} x_{fj} \le M_j \qquad \forall j \text{ için } \quad j = 1,2....n$$

$x_{fj} \ge 0$ ve tamsayı

$a_{ifj} \ge 0$ ve tamsayı

2. Çözüm Yaklaşımları

Stok kesim problemleri makul sürede çözüme kolayca ulaşamayacağımız NP hard olarak adlandırılan problem türüdür. Boyut, malzeme/parça çeşitliliği ile malzeme/parçaların döndürülmesi problemin karmaşıklığı ile orantılıdır (Dyckhoff 1990:154-157). Parçaların malzemenin boyutlarına oranına bağlı olan kesim planı alternatifi sayısı ve bunun tam sayılı olma kısıtı problemin karmaşıklığını arttırıcı bir etkiye sahiptir (Gilmore ve Gomory 1961: 850). Ayrıca kesimin aşamalar halinde yapılması ve kesim türü üzerinde (giyotin/ yuvalanmış) bir kısıt bulunması da problemin çözümünü zorlaştırır.

Herhangi boyuttaki stok kesme problemi için tüm kısıtları dikkate alan genel amaçlı bir çözüm yaklaşımı bulunmamaktadır (Dyckhoff,1985'den aktaran Erol, 1990, s.23). Stok kesme problemlerine yönelik çözümler analitik , yordamsal ve diğer yaklaşımlar olarak üçe ayrılır. Geleneksel yöntem (toplam sayımlama ve doğrusal programlama) , dinamik programlama, tam sayılı ve doğrusal programlamanın birlikte kullanımı, ve dal sınır yöntemi analitik yöntemler çerçevesinde değerlendirilebilir. Bu yöntemlerin dezavantajı kısıt sayısına bağımlı olarak karmaşıklığın artması , çözüm değerlerinin tam sayıya yuvarlanması ve çözüm sürelerinin uzun olmasıdır (Erol,1990: 23).

Yordamsal yaklaşımlar ise çözümlerin tam sayıya yuvarlanmasına gerek olmayan, problemin gereksinimlerine (kısıtlarına) göre oluşturulan ve en iyiye yakın çözüm verme özelliğine sahip yöntemdir. Durum uzayı araştırılarak yada indirgeme yapılarak en iyiye yakın çözüm bulunabilir (Hinxman , 1980'den aktaran Erol, 1990,s.24). Durum uzayı araştırmasında problemden elde edilen kısmi çözümlerin bir düğüm olarak ele alındığı bir serimin ilk durumundan (çözülmemiş problem) son durumuna kadar (tam çözüm) araştırma yapılır. Alt problemlere ayrılan ana problemin çözümü için alt problemlerin çözümlerinin birleştirildiği yöntem ise problem indirgemedir (Erol, 1990 :38). Yaygın olarak iki tür yordamsal yaklaşım stok kesim problemlerinin optimal çözümünü bulmak için kullanılır. İlk yaklaşım tam sayılı problemin doğrusal programlama gevşetmesi sonucu bulunan çözümü başlangıç noktası olarak ele alır. Doğrusal programlama sonucu elde edilen çözüm çeşitli yollarla modifiye edilerek problem için tam sayılı çözüm bulunur. İkinci yaklaşım ise ardışık kesim planlarını oluşturarak arta kalan koşulların sırasıyla kısmi olarak tatmin edilmesidir. Tüm sipariş koşulları tatmin edildiğinde ardışık yordamsal yöntem sonlanır.

İnsan odaklı uzman sistemler, benzetim yöntemleri ve problemin yapısına göre birlikte kullanılan analitik ile yordamsal yöntemler diğer yaklaşım türlerine örnektir (Dağlı, 1988'den aktaran Erol, 1990, s.24).

3. Konteynır Yükleme Problemleri

Lojistik maliyetlerin arttığı günümüzde konteynır yükleme problemleri de önemli hale gelmiştir. Konteynıra yapılan yükleme sonunda boş alan bırakılmaması lojistik maliyetler açısından önem taşımaktadır. Yükleme problemleri üç şekilde ele alınabilir.

3.1.Tek Boyutlu Yükleme Problemleri

Nesnelerin tek boyutlarının ele alınarak yüklemenin yapılacağı problem türüdür. Maddelerin ağırlıklarının dikkate alınarak yükleme yapılması bu problem türüne örnektir.

3.2. İki Boyutlu Yükleme Problemleri

Nesnelerin iki boyutunun ele alınarak yüklemenin yapılacağı problem türüdür. Yükleme sonucu oluşan boş alanların minimize edilmesi amaçlanır. AxB boyutlarındaki kalastan çeşitli boyutlardaki küçük tahtaların kesilmesi problemi buna örnektir. Bunun dışında eş yüksekliğe sahip kutuların kat biçiminde konteynırı doldurmak için tabana yerleştirilmesi de bu problem türüne örnek verilebilir.

3.3. Üç Boyutlu Yükleme Problemleri

Üç boyutlu dörtgensel nesnelerin konteynıra yüklenmesine yönelik problemlerdir. Bu tür problemler çözümü zor yani NP-Hard problemlerdir. Üç boyutlu konteynır yükleme problemleri nesnelerin yükleneceği konteynırların sayısına göre tek yada çok biçiminde olabilir. Üç boyutlu nesnelerin tek bir konteynıra yüklendiği problemlere tek konteynırlı yükleme problemi denir. Bu problemlerde konteynırın verimliliğinin maksimizasyonu yada boş alanların minimizasyonu amaçlanır. Konteynıra yüklenecek birimlerin her birinin bir değerinin olduğu ve yüklemede birimlerin sayısı ile kar oranları toplamının maksimize edilmesini amaçlayan sırt çantası yükleme problemleri bu türden problemlerdir. Üç boyutlu nesnelerin birden çok konteynıra yüklendiği problemlere çok konteynırlı yükleme problemi denir. K adet konteynıra l adet nesnenin konteynırın içinde kalacak boş alanı ve dolayısıyla kullanılan konteynır sayısını minimize ederek yerleştirmeyi amaçlayan kutu yükleme problemleri bu türden problemlerdir. Ayrıca konteynırların değişken boyutlara sahip olduğu ve minimum taşıma maliyetini verecek konteynır alt kümesinin seçimini amaçlayan çoklu konteynır yükleme problemleri de bu türe örnek verilebilir. Konteynıra yüklenen nesnelerin heterojenliğinin derecesine göre araştırmacılar çeşitli sezgisel yöntemlerden yararlanarak problemi çözmeye çalışmıştır. Heterojenliğin düşük olması durumunda duvar inşa etme, blok şeklinde yükleme, katlı yerleştirme gibi yöntemlerden yararlanırken; heterojenliğin yüksek olması durumunda tabu arama, genetik algoritma, dal-sınır ve ağaç arama gibi sezgisel yöntemler kullanmışlardır.

3.4. Literatür Çalışması

Çok boyutlu yükleme problemlerinin optimizasyonuna yönelik geniş kapsamlı bir literatür olmasının yanında zor örneklerin çözülebilmesi için gelişmiş yöntemler mevcuttur. Literatürde standart olmayan yerleştirme problemleri ile ilgili çalışmalar olmasına rağmen araştırmaların çoğu ek kısıt olmaksızın dörtgensel parçaların dörtgensel alanlara ortogonal yerleştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Ek kısıtlarla birlikte standart olmayan yükleme problemlerinin çözümünde sıklıkla meta sezgisel yada özel sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu problemlerin çözümünde karma tam sayılı programlama temelli yaklaşımlar da ele alınmıştır.

George ve Robinson (1980:148-152) eş konteynırlar için karton yönü ile ilgili kısıtın olmadığı duvar inşa etme yordamsal yöntemini oluşturmuşlardır. Yükleme konteynırın derinlik boyutunca oluşturulan katlar halinde yapılmaktadır. Kat derinliği seçilirken bir sınıflandırma kuralı geliştirilmiştir. Ayrıca katlar oluşturulurken aynı katta farklı türden kartonların olmasına izin verilmiştir.

Pisinger (2002:382) şeritlerin ve katların oluşturulması sonucu üç boyutlu kutu yükleme probleminin küçük alt problemlere ayrıldığı duvar inşa etme yordamsal yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada katların derinlikleri ile katların içine yüklenecek sütunların genişliklerini optimum duruma getirmek amaçlanmıştır.

Han vd. (1989:757) tek tür konteynırın olduğu üç boyutlu yükleme problemleri ile ilgilenmişlerdir. Çözüm yöntemi olarak sezgisel yöntem tercih edilmiştir.

Haessler ve Talbot (1990:289-291) ve Eley (2002:393-394) parçaların minimum boşluk olacak şekilde taban boyunca oluşturulan bloklara yerleştirildiği blok oluşturma sezgisel yöntemini kullanarak konteynırlara yükleme yapmışlardır.

Chien ve Wu (1998:320) parçaların minimum boşluk olacak şekilde yükseklik boyunca oluşturulan katlara yerleştirildiği genel dal-sınır algoritması temelli kat oluşturma sezgisel yöntemini kullanarak konteynırlara yükleme yapmışlardır.

Eley (2003:47-50) her konteynır için sezgisel yöntemlerle belirlenen yerleşim planı alternatiflerini geliştirdiği tam sayılı modelde uygulayarak çoklu konteynır yükleme problemi için çözüm elde etmiştir.

Hifi (2004:660-666) kolon türetme yöntemi temelli dinamik programlama ile çoklu konteynır yükleme problemlerini çözmeye çalışmıştır.

Chen vd. (1995:70-73) parçaların birbirine ve konteynıra göre konumlarının ikili değişkenlerle tanımlandığı karma tam sayılı doğrusal programlama yöntemiyle çoklu konteynır yükleme problemlerini incelemişlerdir.

Fasano (2008:291-298) standart olmayan üç boyutlu yerleştirme problemleri için karma tamsayılı programlama temelli bir yordamsal yöntem geliştirmiştir. Tekli kutu yükleme problemi (temel problem) ele alınmış; dengeleme, standart olmayan alanlar ve tetris benzeri parçaları içeren olası uzantılarla beraber karma tam sayılı programlama kısaca incelenmiştir. Temel problemi veya karma tam sayılı gösterime uygun olarak mevcut herhangi bir uzantısını etkili olarak çözmek için karma tam sayılı programlama temelli bir yordamsal yaklaşım önerilmiştir. Yordamsal yaklaşım gizli olmayan yerel aramaya dayalı yineleyici bir yöntemdir. Parçalar arasındaki göreceli konumlar soyut biçimlendirmeye göre belirlenmiştir. Soyut biçimlendirmeye göre belirlenen parçaların göreceli konumları sınırlandırılmamış alanda uygun çözüm oluşturur. Yordamsal yaklaşım iyi soyut şekiller dizisi yaratır ve mevcut soyut biçimlere göre parçaların göreceli konumlarını ayarlayarak indirgenmiş karma tamsayılı modelini adım adım çözer.

Martello vd. (2000:260-262) üç boyutlu konteynır yükleme problemlerinde yerleştirilen kutuların üç köşe koordinatından yararlanılarak oluşturulan köşe algoritmasından yararlanarak yerleştirme sonucunda konteynır içinde kalabilecek boş alanı minimize etmeye çalışmıştır. Bu noktalar konteynıra yeni bir kutu yerleştirildiğinde daha önce yerleştirilen kutularla çakışmamasını sağlar. Ayrıca yeni kutu yerleştirildiğinde bunun sola, sağa, yukarı yada aşağı yönlü hareketine olanak tanımaz. Konteynır içindeki tüm köşe noktalarının kümesi konteynır içindeki boş bölge ve yerleştirme yapılan bölge arasındaki sınırın tanımlanmasına olanak sağlar.

Wu vd.(2010:347-349) dikdörtgen şekildeki kutulardan ve kartonlardan oluşan, kutuların yüksekliğinin yerleştirilecek kartonlara göre ayarlandığı (değişken kutu yüksekliğine sahip) üç boyutlu kutu yükleme problemlerini incelemişlerdir. Kartonların kutulara paralel biçimde altı pozisyondan birinde yerleştirilmesine olanak tanınarak tekli kutu yükleme problemi için Chen vd.'nin (1995) modeline dayalı olarak karma tamsayılı model oluşturulmuştur. Amaç olarak tüm kutular için toplam hacmin minimum olması istenmiştir. Yapılan testler sonucunda modelin problem için uygun olmadığı kanısına varılmış ve bunun sonucunda çok sayıda kutu türüne blok oluşturacak şekilde yerleştirmelerin yapılacağı genetik algoritmadan yararlanılarak hızlı ve tatmin edici sonuçlara ulaşılmıştır.

Bischoff ve Dowsland (1982:272-275) her katın aynı birimlerden oluştuğu ve katların oluşturulurken iki boyutlu yükleme problemi olarak ele alındığı bir algoritmadan yararlanmıştır. Katları oluşturan birimlerin derinliklerinin aynı olmasına dikkat edilmiştir.

Gehring vd.(1990:278-280) konteynırın hacminin maksimize edilmeye çalışıldığı, ağırlık ve denge kısıtlarının ele alındığı duvar inşa yönteminden yararlanarak konteynır yükleme problemini çözmeye çalışmışlardır.

Baltacıoğlu vd. (2006:250-252) birimlerin üç boyutunun da ele alınarak katların inşa edildiği duvar oluşturma yönteminden yararlanarak farklı türdeki konteynırlara birimlerin yerleştirilmesi problemiyle ilgilenmiştir. Ayrıca algoritma ile konteynıra yükleme yapılırken insan zekasının yüklemedeki etkinliğinden yararlanılarak yüklenecek birimler seçilmiştir.

Yeung ve Tang (2005:617-624) genetik algoritma ile bir yenilikçi bir sezgisel algoritmanın birbiriyle ilişkilendirilmesinden oluşan hibrit bir algoritma oluşturmuştur. Yüklenecek birimlerin sırasını belirlemede genetik algoritmadan yararlanırken, sezgisel algoritma seviyeler oluşturma yöntemi ile bu birimleri konteynıra yüklemektedir. Konteynırın yüksekliği sonsuz kabul edilerek minimum yükseklikte maksimum verim elde edilmeye çalışılmıştır. Karmaşık ve çok kısıtlı yükleme problemleri basit yerleştirme problemlerine dönüştürülmektedir.

Chien ve Deng (2002:24-28) farklı türdeki kutularla standart bir konteynırı doldurmak için bir algoritma geliştirmiştir ve yükleme planlarının görselliği için grafiksel bir kullanıcı arayüzü oluşturmuştur. Algoritma çok sayıdaki sırt çantası probleminin çözümünü gerektiren duvar inşa yöntemini kullanır. Önerilen algoritma greedy algortimasıyla kıyaslanmış ve konteynır verimliliğinde artış gözlemlenmiştir.

Bortfeldt vd. (2003:642-655) düşük heterojenliğe sahip kutuların tek bir konteynıra yüklenmesi için parallel tabu arama algoritmasını önermişlerdir. Oryantasyon ve denge kısıtlarını problemin formülasyonunda dikkate almamışlardır. Algoritma düşük, orta ve yüksek modüllerden oluşmaktadır. Algoritmanın %90'dan daha fazla konteynır verimliliğini sağladığı kanıtlanmıştır.

Birgin vd. (2005:19-25) maksimum sayıdaki silindiri konteynır içine yükleme problemiyle ilgilenmiştir. Tüm silindirler aynı yüksekliğe sahip olarak ele alınmıştır ve doğrusal olmayan tamsayılı model oluşturulmuştur. Global optimum çözümü bulmak için yerel optimum çözümler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yöntem büyük boyutlu problemlerde daha iyi sonuç vermektedir.

Takahara (2005:543) heterojenliği düşük olan kutuların birden çok konteynıra yüklenmesi problemiyle ilgilenmiştir. Konteynırların atıl hacimlerini minimize etmek amaçlanmıştır. Yüklenecek kutuların ve konteynırların önceliği yöntemlerinden yararlanmıştır. Konteynıra yüklenecek kutuların sırasının belirlenmesinde komşuluk aramasına dayalı meta sezgisel yöntemden yararlanılmıştır. Yerel arama ve benzetimli tavlama yöntemleriyle kıyaslandığında önerilen yöntemin daha verimli sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır.

Osogami ve Okano (1999:29-30) komşuluk ilişkilerinden yararlanan yerel arama algoritması geliştirerek konteynır yükleme problemine optimum çözüm bulmaya çalışmıştır.

Terno vd. (1995:681-682) ağırlık ve denge kısıtlarını ele alan seviye algoritması denen sezgisel bir yöntem geliştirmiştir.

Nepomuceno vd. (2007:155-160) farklı birimlerin tek bir konteynıra yerleştirilmesine yönelik problem çözmek için tamsayılı doğrusal programlama ve genetik algoritmanın birleşiminden oluşan hibrit bir yaklaşım sunmuşlardır. Aynı zamanda bu yaklaşımı kat oluşturarak yükleme yöntemine de uyarlamışlardır. Her oluşturulan kat hibrit yaklaşımla çözülecek farklı bir konteynır yükleme problemi olarak ele alınmıştır.

Mohanty vd. (1994:143) sütun oluşturma yöntemini kullanarak birden çok konteynıra birimleri yerleştirmeye çalışmıştır.

Üçüncü Bölüm

Tekli Konteynır Yükleme Problemi ve Konserve Sektöründe Uygulama

1.Problemin Tanımlanması

Konservelerin taşınması sırasında dengenin sağlanması ve hasarın engellenmesi için bunların taşınabilecek büyüklüğe sahip karton kutulara yerleştirilmesi gerekir. Bu problemde karton kutuların tasarımı konservelerin çap, yükseklik ve ağırlık gibi özelliklerine göre belirlenmiştir.

Dikdörtgensel alana dairesel objeler iki türlü yerleştirme planıyla yüklenir. Bunlar iç içe yada üst üste şeklindedir. Üst üste yerleştirilmede toplam yükseklik istiflenen objelerin yükseklikleri toplamıdır. İç içe yerleştirme sürecinde ise taban boyutları ve kutuların yüksekliği objelerin özelliklerine göre değişir (Medinoğlu,2009 :23-24). Bu problemde konserveler karton kutulara üst üste yüklenmiştir.

Problem belirli çap ve yüksekliğe sahip olan konservelerle doldurulan kutuların belirli bir konteynıra yüklenmesine yöneliktir.Problemde benzer türdeki konservelerin yüklenmesiyle ilgilenilmiştir. Önerilen yükleme süreci bu durum için en iyi yüklemeyi belirler. Yüklemenin yapılması ve kutuların yeniden boyutlandırılmasını aynı süreçte gerçekleşir.

Problem, Dyckhoff ve Finke'nin (1992:24) topolojisine göre 3 boyutlu / 1. tür atama / tek stok malzemesi / şekil ve boyut olarak benzer parçalar şeklinde sınıflandırılır.

3boyutlu (3): Problemde tek tür konservelerin LxWxH boyutlarındaki konteynıra yüklenmesine çalışılmaktadır.

1.tür atama: Tüm stok malzemeleri (konteynır) ve küçük parçalar (konserveler) yerleşim planında yer almaktadır.

Tek stok malzemesi (O): Tek tip konserveler tek stok malzemesine (konteynıra) atanarak yükleme planı oluşturulmaktadır.

Şekil ve boyut olarak benzer parçalar (C) : Tek konteynıra şekil ve boyut olarak benzer parçalar (tek tip konserveler) yüklenmektedir.

Problem Wascher'ın (2007) sınıflandırmasına göre ise özel problem türlerinden olan eş parça yükleme problem sınıfına girmektedir. Maksimum sayıdaki eş parçanın (konservenin) tek bir stok malzemesine (konteynıra) yüklenmesi amaçlanmaktadır. Yani problem tek konserve türünün mevcut olduğu 3 boyutlu dairesel eş parça yükleme problemine bir örnektir.

2.Problemin Amacı

Tek türden konserveler ile dolu olan bir konteynır sipariş eden müsterilere yönelik olan bir durum incelenmiştir. Konteynırın kapladığı alanın verimli bir biçimde kullanılması amacı ile konteynıra daha fazla konservenin yüklenmesi amacı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayı gerçekleştirmek için kutu ebatları konteynır ve konservelerin büyüklüklerine göre belirlenmiştir. Matematiksel model optimal yada optimale yakın çözümü bulmak için tamsayılı biçimde oluşturulmuştur.

3. Modelin Varsayımları

Modelin varsayımları, parametreler, karar değişkenleri, hesaplamalar ve modelin yazımında Medinoğlu (2009:33-36)'nun çalışmasından yararlanılmıştır.

Problemde rotasyon açısından her kutu konteynıra 6 farklı biçimde yerleştirilmiştir.

Kutular taşınabilecek ve yüklenebilecek boyut ve ağırlıklardadır.

Kutulardaki konserve sayıları önceden belirlenmemiştir.

Taşıma sırasında oluşabilecek herhangi bir maliyet dikkate alınmamıştır. Sipariş miktarlarının kutuların maliyeti üzerinde etkisi yoktur.

Konservelerin konteynırlara taşınması sırasında paletlerle ilgili herhangi bir durum ele alınmamıştır.

Konteynırların yükleme planı kat yapısı oluşturmaya dayanır. Katlar daha sonra birleştirilerek konteynıra doldurulur. Problemde katların genişliği konteynırın genişliği (W) dikkate alınarak oluşturulmuştur.

4.Parametreler

W = Konteynırın genişliği (mm)

L = Konteynırın uzunluğu (mm)

H = Konteynırın yüksekliği (mm)

KAmax = Konteynırın maksimum taşıyabileceği ağırlık (kg)

gmin = Kutunun minimum genişliği (mm)

gmax = Kutunun maksimum genişliği (mm)

umin = Kutunun minimum uzunluğu (mm)

umax = Kutunun maksimum uzunluğu (mm)

ymin = Kutunun minimum yüksekliği (mm)

ymax = Kutunun maksimum yüksekliği (mm)

TK = Kutunun tüm kenarlarındaki kartonun toplam kalınlığı (mm)

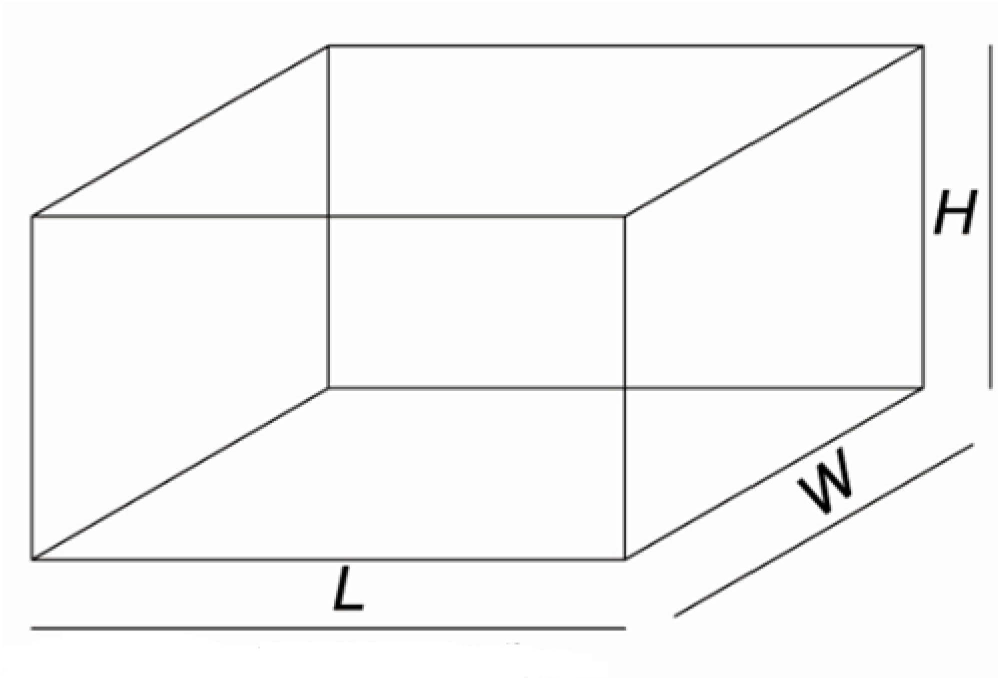
Kmax = Kutunun maksimum ağırlığı (kg)

Kta = Kutular açısından kartonun ağırlığı (kg)

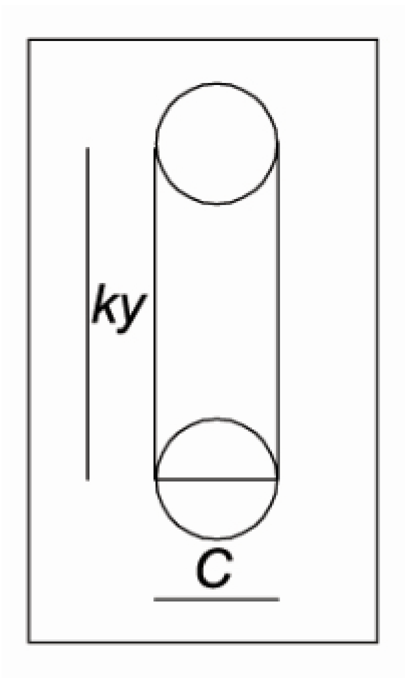
C = Konservenin çapı (mm)

ky = Konservenin yüksekliği (mm)

ka = Konservenin ağırlığı (gr)



Şekil 1. *Konteynırın boyutları*



Şekil 2. *Konservelerin özellikleri*

5. Karar Değişkenleri

V = Konteynırın verimlilik değeri (%)

u = Kutunun uzunluğu (mm)

g = Kutunun genişliği (mm)

y = Kutunun yüksekliği (mm)

d = Konteynırın genişliği boyunca kullanılan kutu genişliği sayısı

e = Konteynırın genişliği boyunca kullanılan kutu uzunluğu sayısı

f = Konteynırın genişliği boyunca kullanılan kutu yüksekliği sayısı

h = Konteynırın uzunluğu boyunca kullanılan kutu genişliği sayısı

i = Konteynırın uzunluğu boyunca kullanılan kutu uzunluğu sayısı

j = Konteynırın uzunluğu boyunca kullanılan kutu yüksekliği sayısı

k = Konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutu genişliği sayısı

l = Konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutu uzunluğu sayısı

m = Konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutu yüksekliği sayısı

d_1 = Konteynırın genişliği boyunca kullanılan kutu genişliği sayısı (uzunluk boyunca kutu uzunluğu olması durumunda)

d_2 = Konteynırın genişliği boyunca kullanılan kutu genişliği sayısı (uzunluk boyunca kutu yüksekliği olması durumunda)

e_1 = Konteynırın genişliği boyunca kullanılan kutu uzunluğu sayısı (uzunluk boyunca kutu genişliği olması durumunda)

e_2 = Konteynırın genişliği boyunca kullanılan kutu uzunluğu sayısı (uzunluk boyunca kutu yüksekliği olması durumunda)

f_1 = Konteynırın genişliği boyunca kullanılan kutu yüksekliği sayısı (uzunluk boyunca kutu uzunluğu olması durumunda)

f_2 = Konteynırın genişliği boyunca kullanılan kutu yüksekliği sayısı (uzunluk boyunca kutu genişliği olması durumunda)

h_1 = Konteynırın uzunluğu boyunca kullanılan kutu genişliği sayısı (genişlik boyunca kutu uzunluğu olması durumunda yani e_1)

h_2 = Konteynırın uzunluğu boyunca kullanılan kutu genişliği sayısı (genişlik boyunca kutu yüksekliği olması durumunda yani f_2)

i_1 = Konteynırın uzunluğu boyunca kullanılan kutu uzunluğu sayısı (genişlik boyunca kutu genişliğinin olması durumunda yani d_1)

i_2 = Konteynırın uzunluğu boyunca kullanılan kutu uzunluğu sayısı (genişlik boyunca kutu yüksekliğinin olması durumunda yani f_1)

j_1 = Konteynırın uzunluğu boyunca kullanılan kutu yüksekliği sayısı (genişlik boyunca kutu genişliğinin olması durumunda yani d_2)

j_2 = Konteynırın uzunluğu boyunca kullanılan kutu yüksekliği sayısı (genişlik boyunca kutu uzunluğunun olması durumunda yani e_2)

k_1 = Konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutu genişliği sayısı (uzunluk boyunca kutu yüksekliği ve genişlik boyunca kutu uzunluğunun olması durumunda yani e_2 ve j_2)

k_2 = Konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutu genişliği sayısı (uzunluk boyunca kutu uzunluğu ve genişlik boyunca kutu yüksekliğinin olması durumunda yani f_1 ve i_2)

l_1 = Konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutu uzunluğu sayısı (uzunluk boyunca kutu yüksekliği ve genişlik boyunca kutu genişliğinin olması durumunda yani d_2 ve j_1)

l_2 = Konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutu uzunluğu sayısı (uzunluk boyunca kutu genişliği ve genişlik boyunca kutu yüksekliğinin olması durumunda yani f_2 ve h_2)

m_1 = Konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutu yüksekliği sayısı (uzunluk boyunca kutu uzunluğu ve genişlik boyunca kutu genişliğinin olması durumunda yani d_1 ve i_1)

m_2 = Konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutu yüksekliği sayısı (uzunluk boyunca kutu genişliği ve genişlik boyunca kutu uzunluğu olması durumunda yani e_1 ve h_1)

KS = Konteynırdaki kutu sayısı

KKA = Kutudaki konservelerin ağırlığı (kg)

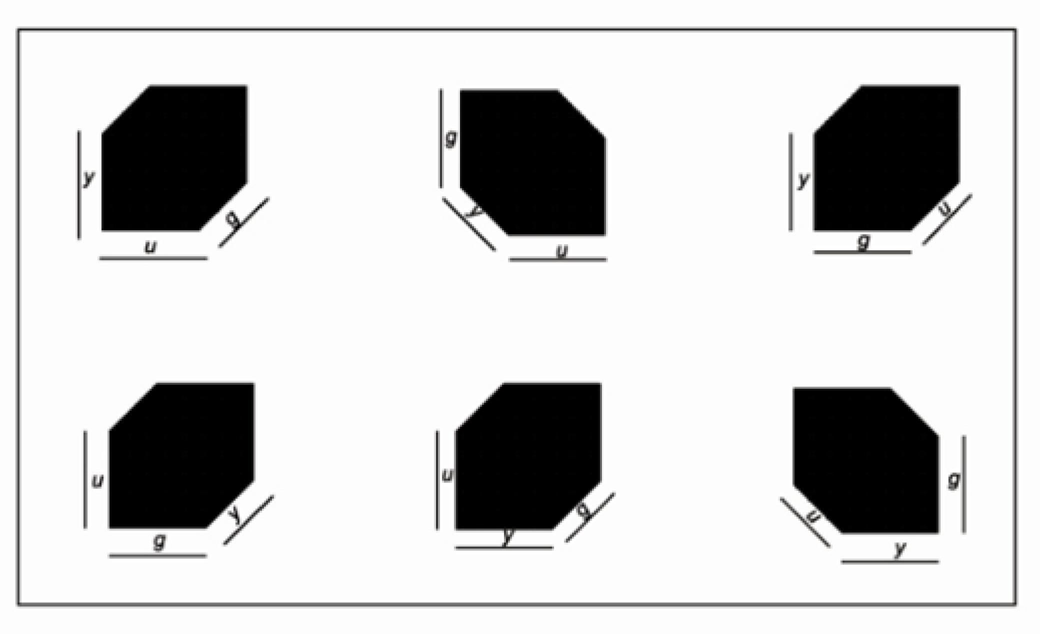
KONS = Kutudaki konserve sayısı

a = Kutunun uzunluğu boyunca kullanılan konserve sayısı

b = Kutunun genişliği boyunca kullanılan konserve sayısı

c = Kutunun yüksekliği boyunca kullanılan konserve sayısı

TKONS = Konteynırdaki toplam konserve sayısı



Şekil 3. *Kutuların rotasyon durumları*

6. Hesaplamalar

Yerleştirme problemlerinde kullanılan verimlilik karar değişkeni (V) kutuların toplam hacminin konteynırın hacmine bölünmesiyle hesaplanır. Kutuların toplam hacmi, kutuların boyutlarıyla (u,g,y) konteynırdaki kutu sayısının (KS) çarpılmasıyla bulunurken; konteynırın hacmi ise konteynır boyutlarının (W,L,H) çarpılmasıyla elde edilir.

(1) V= (KS. u. g. y) / (L.W.H)

Kutunun uzunluğu olan u değişkeni kutunun uzunluğu boyunca kullanılan konserve sayısı ile (a) konservenin çapının (Ç) çarpım değerinin toplam karton kalınlığı (TK) ile toplanması sonucu bulunur.

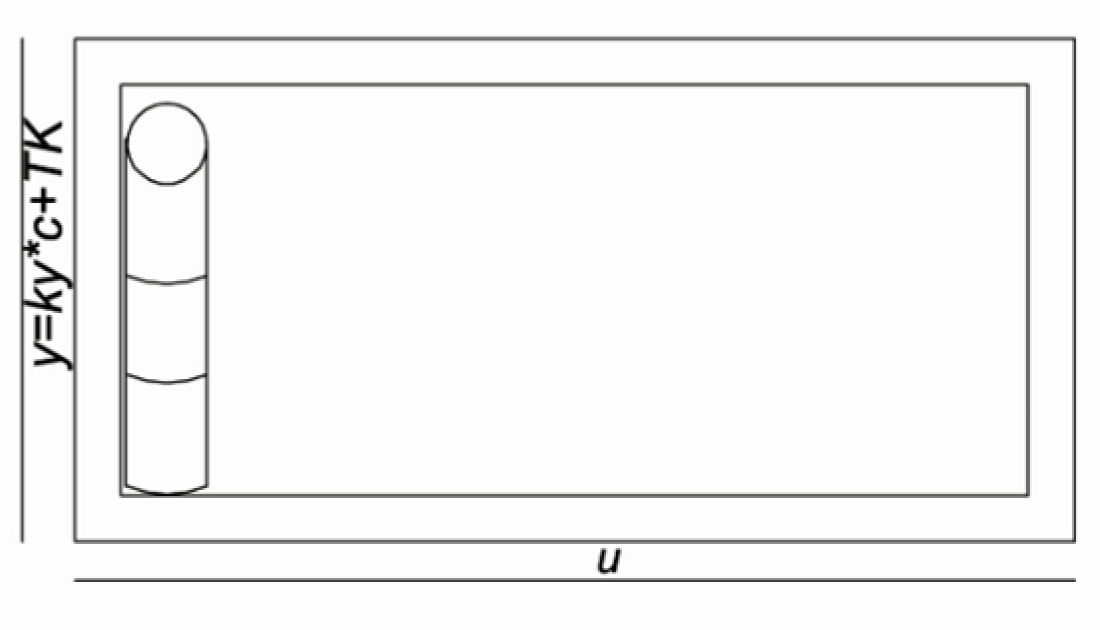
(2) u= C.a + TK

Kutunun genişliği olan g değişkeni kutunun genişliği boyunca kullanılan konserve sayısı ile (b) konservenin çapının (Ç) çarpım değerinin toplam karton kalınlığı (TK) ile toplanması sonucu bulunur.

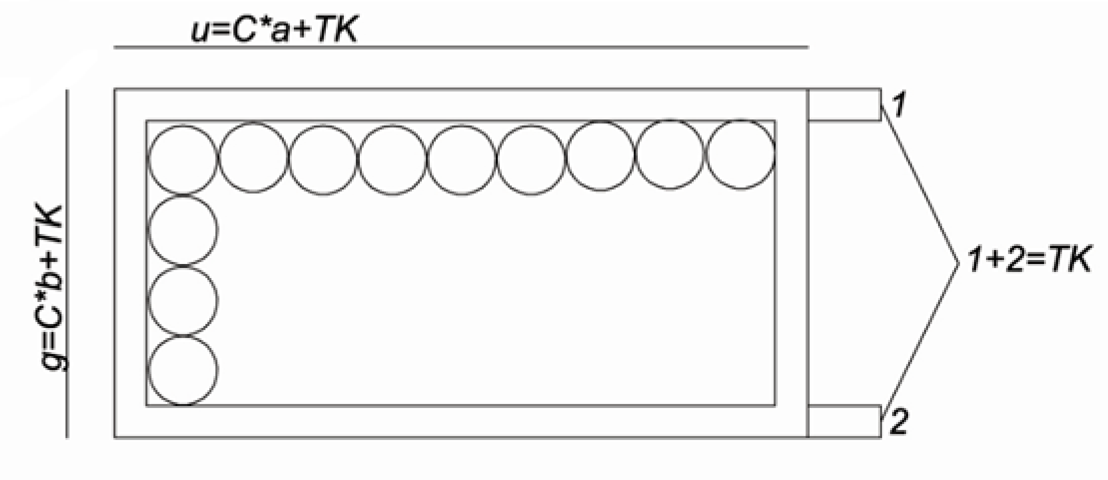
(3) g= C.b + TK

Kutunun yüksekliği olan y değişkeni ise kutunun yüksekliği boyunca kullanılan konserve sayısı ile (c) konservenin yüksekliğinin (ky) çarpım değerinin toplam karton kalınlığı (TK) ile toplanması sonucu bulunur.

(4) y= ky.c + TK



Şekil 4. *Kutunun yan taraftan görünümü*



Şekil 5. *Kutunun üst taraftan görünümü*

Kutudaki konserve sayısı olan KONS tabana yerleştirilen konserve sayısı ile (a.b) kutunun yüksekliği boyunca kullanılan konserve sayısının (c) çarpılmasıyla bulunur.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

(5) KONS= a.b.c

Konteynırın genişliği (W) boyunca yapılan yüklemelerde kutuların sadece tek boyutunun (u,g yada y) ele alınması sonucu yani aynı türden katlar oluşturmadan konteynıra yüklenecek kutu sayısı (KS) şu şekilde hesaplanır:

(6) KS= d.i.m + d.j.l + e.h.m + e.j.k + f.h.l + f.i.k

Konteynırın genişliği (W) boyunca yapılan yüklemelerde kutuların tüm boyutlarının bir arada olarak ele alınmasıyla yani aynı türden katların oluşturulması sonucunda konteynıra yüklenecek kutu sayısı (KS) şu şekilde hesaplanır:

(7) KS= $d_1.i_1.m_1 + d_2.j_1.l_1 + e_1.h_1.m_2 + e_2.j_2.k_1 + f_1.i_2.k_2 + f_2.h_2.l_2$

Kutu içindeki konservelerin ağırlığı olan KKA, kutudaki konserve sayısı ile (KONS) konservenin ağırlık değerinin (ka) çarpımının 1000'e bölünmesiyle kg cinsinden bulunur.

(8) KKA = (KONS. ka) /1000

Konteynırdaki toplam konserve sayısı olan TKONS konteynırdaki kutu sayısı ile (KS) kutudaki konserve sayısının (KONS) çarpımı ile bulunur.

(9) TKONS = KONS. KS

7.Modelin Yazılması

Modelde konteynıra yüklenecek konserve sayısının maksimize edilmesi amacı ile konteynırın maksimum verimlilikle yüklenmesi amacı karşılaştırılacaktır. Bu yüzden amaç fonksiyonu:

(10) Max TKONS

(11) Max V

Kutular boyutları açısından (uzunluk, genişlik ve yükseklik) belirtilen sınırlar içinde olmalıdırlar.

(12) $u \leq umax$

(13) $u \geq umin$

(14) $g \leq gmax$

(15) $g \geq gmin$

(16) $y \leq ymax$

(17) $y \geq ymin$

Rotasyon açısından aynı türden katların oluşturulmaması durumunda konteynırın genişliği (W) boyunca yerleştirilen katların boyutlarının toplamı konteynırın genişliğini aşmamalıdır. Benzer şekilde katların uzunluğu ve yükseklikleri de konteynırın uzunluğu (L) ve yüksekliğini (H) aşmamalıdır.

(18) $d.g + e.u + f.y \leq W$

(19) $h.g + i.u + j.y \leq L$

(20) $k.g + l.u + m.y \leq H$

Rotasyon açısından aynı türden katların oluşturulması durumunda da konteynırın genişliği (W) boyunca yerleştirilen katların boyutlarının toplamı konteynırın genişliğini aşmamalıdır. Benzer şekilde katların uzunluğu ve yükseklikleri de konteynırın uzunluğu (L) ve yüksekliğini (H) aşmamalıdır.

(21) $d_1.g + d_2.g + e_1.u + e_2.u + f_1.y + f_2.y \leq W$

(22) $h_1.g \leq L$

(23) $h_2.g \leq L$

(24) $i_1.u \leq L$

(25) $i_2.u \leq L$

(26) $j_1.y \leq L$

(27) $j_2.y \leq L$

(28) $k_1.g \leq H$

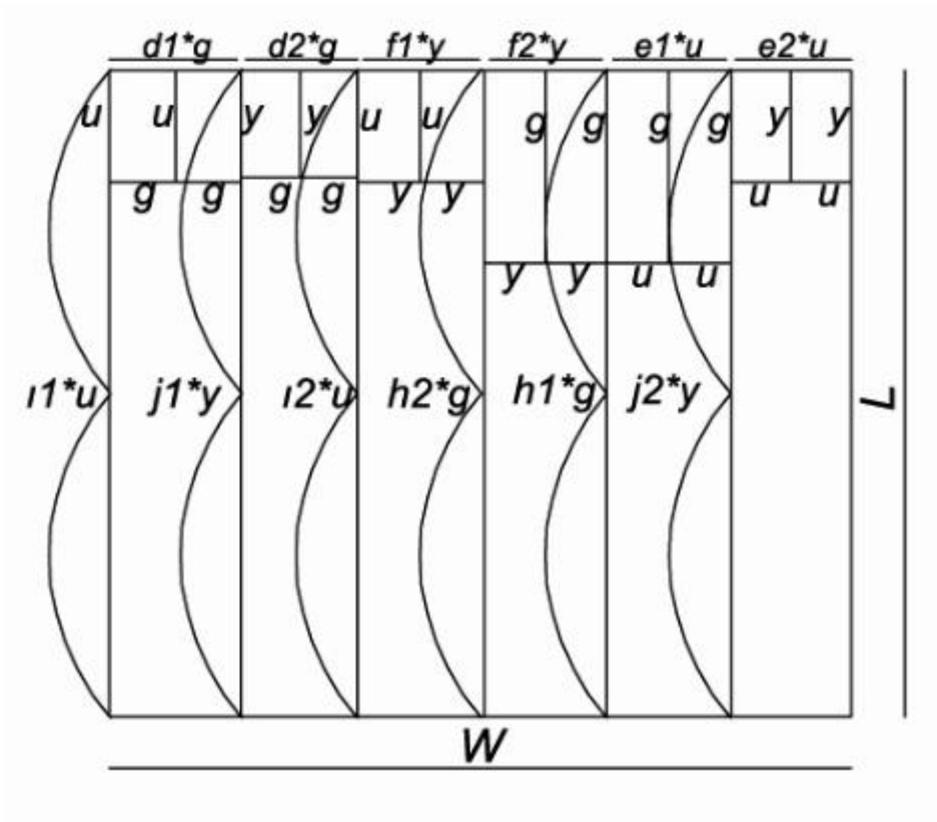
(29) $k_2.g \leq H$

(30) $l_1.u \leq H$

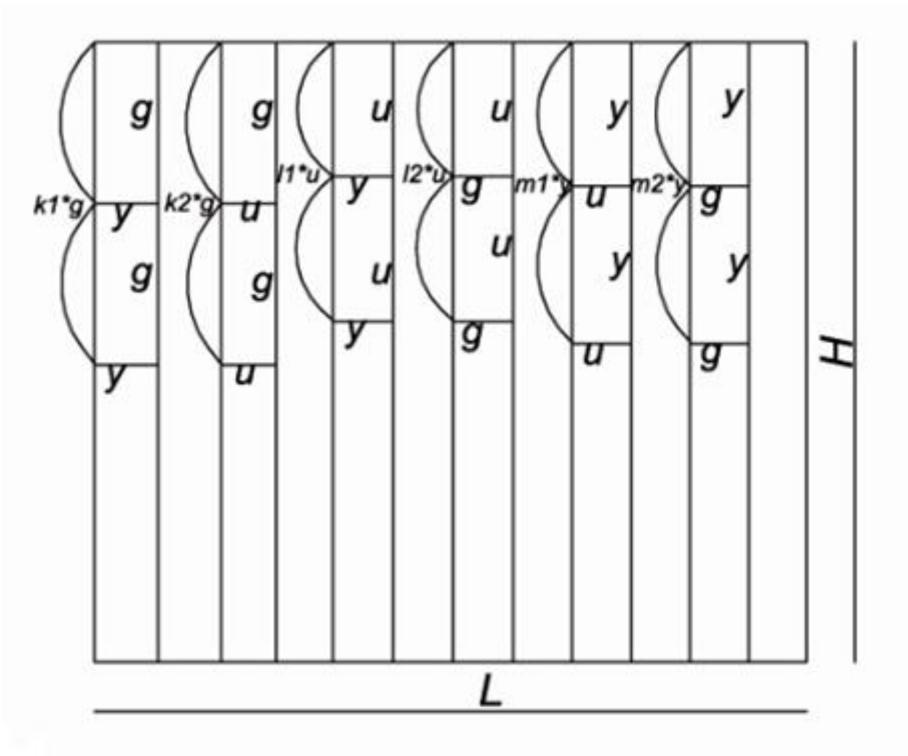
(31) $l_2.u \leq H$

(32) $m_1.y \leq H$

(33) $m_2 . \mathrm{y} \leq \mathrm{H}$



Şekil 6. *Aynı türden katlar oluşturarak konteynırın genişliği boyunca yapılan yükleme*



Şekil 7. *Aynı türden katlar oluşturarak konteynırın yüksekliği boyunca yapılan yükleme*

Kutuların taşıma ve yüklemede makul ağırlıkta olması için ağırlık sınırını aşmaması gerekir.

(34) KKA + Kta ≤ Kmax

Konteynırın taşıyabileceği maksimum ağırlık aşılmamalıdır.

(35) (KKA + Kta). KS ≤ KAmax

Tamsayı kısıtlarının sağlanması gerekir.

(36) a,b,c,d,e,f,h,i,j,k,l,m, $d_1, d_2, e_1, e_2, f_1, f_2, h_1, h_2, i_1, i_2, j_1, j_2, k_1, k_2, l_1, l_2, m_1, m_2$ ≥ 0 ve tamsayı

Ana modelin genel olarak formülasyonu aynı türden katlar oluşturmadan toplam konserve sayısının maksimize edilmesine yönelik şu şekildedir:

(10) Max TKONS= (d.i.m + d.j.l + e.h.m + e.j.k + f.h.l + f.i.k).a.b.c

(12) $u \leq umax$

(13) $u \geq umin$

(14) $g \leq gmax$

(15) $g \geq gmin$

(16) $y \leq ymax$

(17) $y \geq ymin$

(18) $d.g + e.u + f.y \leq W$

(19) $h.g + i.u + j.y \leq L$

(20) $k.g + l.u + m.y \leq H$

(34) $KKA + Kta \leq Kmax$

(35) $(KKA + Kta). KS \leq KAmax$

(36) $a,b,c,d,e,f,h,i,j,k,l,m \geq 0$ ve tamsayı

Ana modelin genel olarak formülasyonu aynı türden katlar oluşturmadan konteynır verimliliğinin maksimize edilmesine yönelik şu şekildedir:

(11) $Max \ V = (KS.\ u.\ g.\ y) / (L.W.H)$

(12) $u \leq umax$

(13) $u \geq umin$

(14) $g \leq gmax$

(15) $g \geq gmin$

(16) $y \leq ymax$

(17) $y \geq ymin$

(18) $d.g + e.u + f.y \leq W$

(19) h.g + i.u + j.y $\leq$ L

(20) k.g + l.u + m.y $\leq$ H

(34) KKA + Kta $\leq$ Kmax

(35) (KKA + Kta). KS $\leq$ KAmax

(36) d,e,f,h,i,j,k,l,m $\geq$ 0 ve tamsayı

Ana modelin genel olarak formülasyonu aynı türden katlar oluşturulması sonucunda toplam konserve sayısının maksimize edilmesine yönelik şu şekildedir:

(10) Max TKONS = ($d_1.i_1.m_1 + d_2.j_1.l_1 + e_1.h_1.m_2 + e_2.j_2.k_1 + f_1.i_2.k_2 + f_2.h_2.l_2$). a. b .c

(12) u $\leq$ umax

(13) u $\geq$ umin

(14) g $\leq$ gmax

(15) g $\geq$ gmin

(16) y $\leq$ ymax

(17) y $\geq$ ymin

(21) d_1.g + d_2.g + e_1.u + e_2.u + f_1.y + f_2.y $\leq$ W

(22) h_1.g $\leq$ L

(23) h_2.g $\leq$ L

(24) i_1.u $\leq$ L

(25) i_2.u $\leq$ L

(26) j_1.y $\leq$ L

(27) j_2.y $\leq$ L

(28) $k_1.g \leq H$

(29) $k_2.g \leq H$

(30) $l_1.u \leq H$

(31) $l_2.u \leq H$

(32) $m_1.y \leq H$

(33) $m_2.y \leq H$

(34) KKA + Kta $\leq$ Kmax

(35) (KKA + Kta). KS $\leq$ KAmax

(36) a,b,c, $d_1, d_2, e_1, e_2, f_1, f_2, h_1, h_2, i_1, i_2, j_1, j_2, k_1, k_2, l_1, l_2, m_1, m_2 \geq 0$ ve tamsayı

Ana modelin genel olarak formülasyonu aynı türden katlar oluşturulması sonucunda konteynır verimliliğinin maksimize edilmesine yönelik şu şekildedir:

(11) Max V = (KS. u. g. y) / (L.W.H)

(12) u $\leq$ umax

(13) u $\geq$ umin

(14) g $\leq$ gmax

(15) g $\geq$ gmin

(16) y $\leq$ ymax

(17) y $\geq$ ymin

(21) $d_1.g + d_2.g + e_1.u + e_2.u + f_1.y + f_2.y \leq W$

(22) $h_1.g \leq L$

(23) $h_2.g \leq L$

(24) $i_1.\mathrm{u} \leq \mathrm{L}$

(25) $i_2.\mathrm{u} \leq \mathrm{L}$

(26) $j_1.\mathrm{y} \leq \mathrm{L}$

(27) $j_2.\mathrm{y} \leq \mathrm{L}$

(28) $k_1.\mathrm{g} \leq \mathrm{H}$

(29) $k_2.\mathrm{g} \leq \mathrm{H}$

(30) $l_1.\mathrm{u} \leq \mathrm{H}$

(31) $l_2.\mathrm{u} \leq \mathrm{H}$

(32) $m_1.\mathrm{y} \leq \mathrm{H}$

(33) $m_2.\mathrm{y} \leq \mathrm{H}$

(34) KKA + Kta ≤ Kmax

(35) (KKA + Kta). KS ≤ KAmax

(36) $d_1, d_2, e_1, e_2, f_1, f_2, h_1, h_2, i_1, i_2, j_1, j_2, k_1, k_2, l_1, l_2, m_1, m_2 \geq 0$ ve tamsayı

8. İndirgenmiş Model

Tamsayılı doğrusal olmayan nitelikteki ana modelin çözümü global optimum sonuç vermeyeceği için model tamsayılı doğrusal nitelikteki indirgenmiş modele dönüştürülür. Bu dönüştürme sırasında modeldeki bazı karar değişkenleri modele girdi olarak dahil edilir. Aynı türden katların oluşturulduğu modelin amaç fonksiyonu (toplam konserve sayısının maksimizesine yönelik) açık bir şekilde yazılırsa;

Max TKONS= KS. KONS = $(d_1.i_1.m_1 + d_2.j_1.l_1 + e_1.h_1.m_2 + e_2.j_2.k_1 + f_1.i_2.k_2 + f_2.h_2.l_2)$. a. b .c

Benzer şekilde aynı türden katların oluşturulduğu modelin amaç fonksiyonu (konteynırın verimliliğinin maksimizesine yönelik) açık bir şekilde yazılırsa;

Max V= (KS. u. g. y) / (L.W.H) = ($d_1.i_1.m_1$ + $d_2.j_1.l_1$ + $e_1.h_1.m_2$ + $e_2.j_2.k_1$ + $f_1.i_2.k_2$ + $f_2.h_2.l_2$). u.g.y / (L.W.H)

Amaç fonksiyonunu doğrusal biçime çevirmek için a,b ve c karar değişkenlerinin tümü; $d_1.i_1.m_1$ - $d_2.j_1.l_1$ - $e_1.h_1.m_2$ - $e_2.j_2.k_1$ - $f_1.i_2.k_2$ - $f_2.h_2.l_2$ karar değişkenleri alt kümelerinin her birinden iki tanesi modele girdi olarak alınır. Kutunun uzunluğu boyunca kullanılan konserve sayısı (a), kutunun genişliği boyunca kullanılan konserve sayısı (b) ve kutunun yüksekliği boyunca kullanılan konserve sayısı (c) karar değişkenleri girdi olarak ele alındığında kutunun boyutları (u,g ve y değişkenleri) kolayca hesaplanır. Bu yöntemden yararlandığımızda $h_1, h_2, i_1, i_2, j_1, j_2, k_1, k_2, l_1, l_2, m_1$ ve m_2 karar değişkenleri modele girdi olarak alınır. Bu değişkenler şu şekilde hesaplanır:

h_1= L/g h_2 =L/g i_1=L/u i_2=L/u j_1=L/y j_2=L/y k_1=H/g k_2=H/g l_1=H/u l_2=H/u m_1=H/y m_2=H/y

Oluşturulan indirgenmiş modelde ilki dışında rotasyon kısıtları ile kutu boyutlarının sınırlarına yönelik kısıtlar modelden kaldırılır. İndirgenmiş model kutu boyutlarının tüm alternatifleri için ele alınır. Bu yüzden kutu boyutlarının sınırları (umin,umax, gmin, gmax, ymin,ymax) indirgenmiş modelde girdi olarak ele alınmaz. Benzer şekilde tamsayı olma kısıtlarında da modele girdi olarak eklenen değişkenler (a,b,c, $h_1, h_2, i_1, i_2, j_1, j_2, k_1, k_2, l_1, l_2, m_1, m_2$) yer almaz. İndirgenmiş modelde amaç fonksiyonu ele alınan her kutu boyutu alternatifi açısından kıyaslanarak en iyi amaç değeri bulunur. İndirgenmiş model toplam konserve sayısının maksimize edilmesine yönelik şu şekilde gösterilir:

(10) Max TKONS= ($d_1.i_1.m_1$ + $d_2.j_1.l_1$ + $e_1.h_1.m_2$ + $e_2.j_2.k_1$ + $f_1.i_2.k_2$ + $f_2.h_2.l_2$). a. b .c

(21) d_1.g + d_2.g + e_1.u + e_2.u + f_1.y + f_2.y $\leq$ W

(34) KKA + Kta ≤ Kmax

(35) (KKA + Kta). KS ≤ KAmax

(36) $d_1, d_2, e_1, e_2, f_1, f_2 \geq 0$ ve tamsayı

İndirgenmiş model konteynırın verimliliğinin maksimize edilmesine yönelik olarak da şu şekilde yazılır:

(11) Max V= (KS. u. g. y) / (L.W.H) = ($d_1.i_1.m_1$ + $d_2.j_1.l_1$ + $e_1.h_1.m_2$ + $e_2.j_2.k_1$ + $f_1.i_2.k_2$ + $f_2.h_2.l_2$). u.g.y / (L.W.H)

(21) d_1.g + d_2.g + e_1.u + e_2.u + f_1.y + f_2.y ≤ W

(34) KKA + Kta ≤ Kmax

(35) (KKA + Kta). KS ≤ KAmax

(36) $d_1, d_2, e_1, e_2, f_1, f_2 \geq 0$ ve tamsayı

Bunun dışında istifleme sırasında konteynıra yerleştirilen kutulardaki konservelerde oluşabilecek zararı engellemek için konteynırın yüksekliği boyunca kullanılacak kutu sayıları (k_1, k_2, l_1, l_2, m_1 ve m_2) üzerinde kısıt koymak gerekir ($k_1 \leq 7$ gibi). Ancak bu kısıtların koyulması modeli tamsayılı doğrusal olmayan şekle dönüştürür ve global optimum çözüm bulunamaz. Bu nedenle konteynırın yüksekliği boyunca kullanılacak kutu sayısına yönelik değişkenleri modele girdi olarak alırız. Konteynırın yüksekliği boyunca yapılacak istiflemede yedi kutunun üst üste gelmesi varsayımı için konteynırın yüksekliği boyunca kullanılan kutuların boyutlarına yönelik karar değişkenleri şu şekilde gösterilir:

k_1= 7 , k_2 =7 , l_1 =7 , l_2 =7 , m_1 =7 , m_2 =7

9. Uygulama Problemi ve Çözümlerin Analizi

9.1. Konserve Fabrikası ile İlgili Veriler

1967 yılından beri hizmet veren TAT Konserve Sanayi A.Ş. başta domates salçası olmak üzere 12 kategoride 140 ürünü piyasaya sunmaktadır. 2004 yılında yeni logosu, pazarlama stratejisi ve ürünleriyle TAT Konserve Sanayi A.Ş. tüm ürün kategorilerinde toplam kapasitesini yüksek rakamlara çekmiştir. Yılda 8000 ton domates salçası, 4500 ton conserve ürün ve 4.5 milyon adet boş teneke kutusu üretme kapasitesine sahip fabrika Bursa'nın Mustafakemalpaşa ilçesinde bulunmaktadır. Fabrikada ürünün rengini, aromasını, kokusunu ve vitaminlerini koruyan ve ısıl işlemin az kullanıldığı bir üretim hattı bulunmaktadır.Bu üretim hattından geçen ürünler cam kavanozlara yada konservelere doldurulmaktadır. Daha sonrasında ise paletler aracılığıyla konserveler karton kutulara, cam kavanozlar ise özel olarak hazırlanan ambalajlara koyularak konteynırların içinde dağıtım yapılmaktadır. Firma başta domates salçaları olmak üzere ürünleri için genellikle silindirik konservelerden yararlanmaktadır. Bunun nedeni ise dökülme sırasında kolaylık sağlanması ve konserve içinde oluşabilecek firenin minimize edilmesidir. Firma konserve türleri için belirli boyutlardaki kutulara yükleme yapmaktadır. Firma konserveleri yerleştirdiği kutuları Karacabey'deki bir kutu ve ambalaj firmasına yaptırmaktadır. Firma piyasanın (özellikle ev kadınlarının) taleplerini dikkate alarak konserveleri yerleştirdiği kutuların boyutlarını ve kutu içindeki konserve sayılarını kutudaki fireyi minimize edecek şekilde belirlemiş olup, firma bu kutu boyutları için patent almıştır.

9.2 Uygulama Problemi ile İlgili Veriler

Problemde kullanılacak konservelerle ilgili özellikler (çap, yükseklik ve ağırlık) aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5. *Konservelere ilişkin özellikler*

Konserve türü	C (mm)	ky(mm)	ka(gr)
I	55	90	170
II	75	110	430
III	85	140	710

Konserve türlerinin yerleştirileceği kutuların boyutları için oluşturulan sınırlar ile kutunun tüm kenarlarındaki toplam karton kalınlığı, kartonun ağırlığı ve kutunun maksimum ağırlığına yönelik veriler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6. *Kutulara ilişkin özellikler*

Konserve türü	umin (mm)	umax (mm)	gmin (mm)	gmax (mm)	ymin (mm)	ymax (mm)	TK (mm)	Kmax (kg)	Kta (kg)
I	100	300	200	400	100	300	60	12	0,102
II	200	400	100	300	200	500	60	15	0.300
III	100	300	200	400	200	600	60	14	0,114

Firmanın konserve türleri için kullandığı mevcut kutuların boyutları ile kutulardaki konserve sayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 7. *Firmanın kullandığı kutu özellikleri*

Konserve türü	u(mm)	g(mm)	y(mm)	KONS
I	340	230	190	48
II	450	310	120	24
III	375	280	145	12

Kutuların yüklendiği konteynırların boyutları ile maksimum taşıyabileceği ağırlık aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 8. *Konteynırlara ilişkin özellikler*

Konteynır cinsi	W(mm)	L(mm)	H(mm)	KAmax(kg)
20'lik kuru yük konteynır	5.898	2.350	2.390	24.800
40'lık kuru yük konteynır	12.035	2.350	2.393	28.800
40'lık HC (high cube) konteynır	12.030	2.350	2.690	28.570

Kaynak: www.nakliyerehberim.com/asya%20konteyner%20ebatboyutlar.htm

Uzunluk, genişlik ve yükseklik açısından verilen sınırlar ile rotasyon açısından tüm boyutlarının ele alınması sonucu 170, 430 ve 710 gr'lık konserveler için oluşturulabilecek kutu alternatifleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 9. *170 gr'lık konserve için tüm olası kutu alternatifleri*

Alternatifler	u (mm)	g (mm)	y (mm)
1	115	225	150
2	115	280	150
3	115	335	150

4	115	390	150
5	170	225	150
6	170	280	150
7	170	335	150
8	170	390	150
9	225	225	150
10	225	280	150
11	225	335	150
12	225	390	150
13	280	225	150
14	280	280	150
15	280	335	150
16	280	390	150
17	115	225	240
18	115	280	240
19	115	335	240
20	115	390	240
21	170	225	240
22	170	280	240
23	170	335	240
24	170	390	240
25	225	225	240
26	225	280	240
27	225	335	240
28	225	390	240
29	280	225	240
30	280	280	240
31	280	335	240
32	280	390	240

Tablo10. *430gr'lık konserve için tüm olası kutu alternatifleri*

Alternatifler	u (mm)	g (mm)	y (mm)
1	210	135	280
2	210	210	280
3	210	285	280
4	285	135	280
5	285	210	280
6	285	285	280
7	360	135	280
8	360	210	280
9	360	285	280
10	210	135	390
11	210	210	390
12	210	285	390
13	285	135	390
14	285	210	390
15	285	285	390
16	360	135	390
17	360	210	390

18	360	285	390
19	210	135	500
20	210	210	500
21	210	285	500
22	285	135	500
23	285	210	500
24	285	285	500
25	360	135	500
26	360	210	500
27	360	285	500

Tablo 11. *710gr'lık konserve için tüm olası kutu alternatifleri*

Alternatifler	u (mm)	g (mm)	y (mm)
1	145	230	200
2	145	315	200
3	145	400	200
4	230	230	200
5	230	315	200
6	230	400	200
7	145	230	340
8	145	315	340
9	145	400	340
10	230	230	340
11	230	315	340
12	230	400	340
13	145	230	480
14	145	315	480
15	145	400	480
16	230	230	480
17	230	315	480
18	230	400	480

9.3 Konserve Türleri İçin Konteynır Yerleştirme Sonuçları ve Analizi

Uygulama probleminde 170 gr'lık konservelerin 20'lik kuru yük konteynırına; 430gr'lık konservelerin 40'lık kuru yük konteynırına ve 710 gr'lık konservelerin 40'lık HC (high cube) konteynırına yerleştirilmesiyle ilgilenilmiştir. Model LINGO 13.0 / 2011 programında ve Samsung /4gbRAM / Windows 7 bilgisayarında çözülerek konteynır yerleştirme sonuçları bulunmuştur. Konteynır yerleştirme sonuçları dört şekilde incelenmiştir. İlk olarak firmanın kullandığı mevcut kutu boyutları indirgenmiş modelde çözülerek analiz edilmiştir. İkinci olarak rotasyon sınırları içerisindeki tüm olası kutu boyutları indirgenmiş modelde çözülerek amaç fonksiyonunu en iyileyen durum bulunmaya çalışılmıştır. Üçüncü olarak istifleme durumunun ele alınmasıyla birlikte firmanın kullandığı mevcut kutu boyutları indirgenmiş modelde çözülerek incelenmiştir. Dördüncü olarak da istifleme durumunun ele alınmasıyla birlikte rotasyon sınırları içerisindeki tüm olası kutu boyutları indirgenmiş modelde çözülerek amaç fonksiyonunu en iyileyen durum bulunmaya çalışılmıştır.

Tablo 12. *Firmanın 1. konserve türü için kullandığı mevcut kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 20'lik konteynıra yerleştirilme sonuçları*

Konserve türü	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
I	340	230	190	48	2170	104160	97,33063

Firma verilen boyutlardaki (340,230,190) toplam 104160 tane konserveyi 2170 kutu içinde %97 verimlilikle 20'lik kuru yük konteynırına yüklemektedir.

Tablo 13. *1.Konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 20'lik konteynıra toplam konserve sayısına göre (TKONS) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
32	280	390	240	48	1170	56160	92,56551
31	280	335	240	40	1367	54680	92,89922
28	225	390	240	36	1464	52704	93,07411
27	225	335	240	30	1701	51030	92,89072
30	280	280	240	32	1560	49920	88,60972
24	170	390	240	24	2040	48960	97,99060
23	170	335	240	20	2380	47600	98,19998
26	225	280	240	24	1950	46800	89,00530
29	280	225	240	24	1950	46800	89,00530
16	280	390	150	24	1890	45360	93,45557
15	280	335	150	20	2205	44100	93,65526
25	225	225	240	18	2430	43740	89,12756
22	170	280	240	16	2730	43680	94,14783
12	225	390	150	18	2340	42120	92,97875
11	225	335	150	15	2740	41100	93,51873
21	170	225	240	12	3408	40896	94,44343
14	280	280	150	16	2520	40320	89,46174
8	170	390	150	12	3288	39456	98,71112
7	170	335	150	10	3836	38360	98,92204
10	225	280	150	12	3150	37800	89,86112
13	280	225	150	12	3150	37800	89,86112
6	170	280	150	8	4410	35280	95,05310
20	115	390	240	12	2934	35208	95,33739
9	225	225	150	9	3901	35106	89,40265
19	115	335	240	10	3423	34230	95,54110
5	170	225	150	6	5480	32880	94,91454

18	115	280	240	8	3912	31296	91,26314
17	115	225	240	6	4890	29340	91,67057
4	115	390	150	6	4710	28260	95,65421
3	115	335	150	5	5495	27475	95,85860
2	115	280	150	4	6300	25200	91,85803
1	115	225	150	3	7850	23550	91,97520

Verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (280,390,240) 56160 tane konserve 1170 kutu içinde %92 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırdaki toplam konserve sayısı (TKONS) açısından bakıldığında 1.tür konserveler için firmanın kullandığı boyutlardaki (340,230,190) durum verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (280,390,240) olan durumdan daha iyidir.

Tablo 14. *Firmanın 2. konserve türü için kullandığı mevcut kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık konteynıra yerleştirilme sonuçları*

Konserve türü	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
II	450	310	120	24	2711	65064	67,05456

Firma verilen boyutlardaki (450,310,120) toplam 65064 tane konserveyi 2711 tane kutu içinde %67 verimlilikle 40'lık kuru yük konteynırına yüklemektedir.

Tablo 15. *2.Konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık konteynıra toplam konserve sayısına göre (TKONS) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V (%)
15	285	285	390	27	2016	54432	94,36006
17	360	210	390	24	2190	52560	95,40560
9	360	285	280	24	2128	51072	90,32758
21	210	285	500	24	2112	50688	93,38377
23	285	210	500	24	2112	50688	93,38377
26	360	210	500	32	1584	50688	88,46884
12	210	285	390	18	2784	50112	96,01550
14	285	210	390	18	2784	50112	96,01550
6	285	285	280	18	2688	48384	90,32758
8	360	210	280	16	2930	46880	91,64121
20	210	210	500	16	2904	46464	94,61251
11	210	210	390	12	3773	45276	95,88117
5	285	210	280	12	3760	45120	93,10079
3	210	285	280	12	3760	45120	93,10079
2	210	210	280	8	5170	41360	94,32580

16	360	135	390	12	3402	40824	95,27491
22	285	135	500	12	3264	39168	92,77738
25	360	135	500	16	2448	39168	87,89436
13	285	135	390	9	4302	38718	95,37993
7	360	135	280	8	4536	36288	91,20333
19	210	135	500	8	4488	35904	93,99814
10	210	135	390	6	5880	35280	96,05906
4	285	135	280	6	5840	35040	92,95930
1	210	135	280	4	8030	32120	94,18245
18	360	285	390	36	*UOÇ	UOÇ	UOÇ
24	285	285	500	36	UOÇ	UOÇ	UOÇ
27	360	285	500	48	UOÇ	UOÇ	UOÇ

*UOÇ= Uygun olmayan çözüm

Verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (285,285,390) 54432 tane konserve 2016 kutu içinde %94 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırdaki toplam konserve sayısı (TKONS) açısından bakıldığında 2.tür konserveler için firmanın kullandığı boyutlardaki (450,310,120) durum verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (285,285,390) olan durumdan daha iyidir.

Tablo 16. *Firmanın 3. konserve türü için kullandığı mevcut kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lik HC konteynıra yerleştirilme sonuçları*

Konserve türü	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
III	375	280	145	12	3308	39696	66,22730

Firma verilen boyutlardaki (375,280,145) toplam 39696 tane konserveyi 3308 kutu içinde %66 verimlilikle 40'lık HC (high cube) konteynırına yüklemektedir.

Tablo 17. *3.Konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık HC konteynıra toplam konserve sayısına göre (TKONS) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V (%)
17	230	315	480	18	2000	36000	91,45845
12	230	400	340	16	2120	33920	87,20007
11	230	315	340	12	2818	33816	91,27935
16	230	230	480	12	2750	33000	91,82138
6	230	400	200	8	3900	31200	94,36190
10	230	230	340	8	3880	31040	91,76573
5	230	315	200	6	4953	29718	94,37369
14	145	315	480	9	3200	28800	92,25374
15	145	400	480	12	2400	28800	87,86071
9	145	400	340	8	3392	27136	87,95833

4	230	230	200	4	6770	27080	94,18648
8	145	315	340	6	4513	27078	92,15885
13	145	230	480	6	4500	27000	94,72483
7	145	230	340	4	6344	25376	94,59151
3	145	400	200	4	6240	24960	95,18243
2	145	315	200	3	7926	23778	95,20875
1	145	230	200	2	10868	21736	95,32124
18	230	400	480	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ

Verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (230,315,480) 36000 tane konserve 2000 kutu içinde %91 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırdaki toplam konserve sayısı (TKONS) açısından bakıldığında 3.tür konserveler için firmanın kullandığı boyutlardaki (375,280,145) durum verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (230,315,480) olan durumdan daha iyidir.

Tablo 18. *1.Konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 20'lik konteynıra verimlilik değerine göre (V) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V (%)
7	170	335	150	10	3836	38360	98,92204
8	170	390	150	12	3288	39456	98,71112
23	170	335	240	20	2380	47600	98,19998
24	170	390	240	24	2040	48960	97,99060
3	115	335	150	5	5495	27475	95,85860
4	115	390	150	6	4710	28260	95,65421
19	115	335	240	10	3423	34230	95,54110
20	115	390	240	12	2934	35208	95,33739
6	170	280	150	8	4410	35280	95,05310
5	170	225	150	6	5480	32880	94,91454
21	170	225	240	12	3408	40896	94,44343
22	170	280	240	16	2730	43680	94,14783
15	280	335	150	20	2205	44100	93,65526
11	225	335	150	15	2740	41100	93,51873
16	280	390	150	24	1890	45360	93,45557
28	225	390	240	36	1464	52704	93,07411
12	225	390	150	18	2340	42120	92,97875
31	280	335	240	40	1367	54680	92,89922
27	225	335	240	30	1701	51030	92,89072
32	280	390	240	48	1170	56160	92,56551
1	115	225	150	3	7850	23550	91,97520
2	115	280	150	4	6300	25200	91,85803
17	115	225	240	6	4890	29340	91,67057
18	115	280	240	8	3912	31296	91,26314
10	225	280	150	12	3150	37800	89,86112
13	280	225	150	12	3150	37800	89,86112
14	280	280	150	16	2520	40320	89,46174
9	225	225	150	9	3901	35106	89,40265

25	225	225	240	18	2430	43740	89,12756
26	225	280	240	24	1950	46800	89,00530
29	280	225	240	24	1950	46800	89,00530
30	280	280	240	32	1560	49920	88,60972

Verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (170,335,150) 38360 tane konserve 3836 kutu içinde %99 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırın verimliliği (V) açısından bakıldığında 1.tür konserveler için verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (170,335,150) olan durum firmanın kullandığı boyutlardaki (340,230,190) durumdan daha iyidir.

Tablo 19. *2.Konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık konteynıra verimlilik değerine göre (V) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V (%)
10	210	135	390	6	5880	35280	96,05906
12	210	285	390	18	2784	50112	96,01550
14	285	210	390	18	2784	50112	96,01550
11	210	210	390	12	3773	45276	95,88117
17	360	210	390	24	2190	52560	95,40560
13	285	135	390	9	4302	38718	95,37993
16	360	135	390	12	3402	40824	95,27491
20	210	210	500	16	2904	46464	94,61251
15	285	285	390	24	2268	54432	94,36006
2	210	210	280	8	5170	41360	94,32580
1	210	135	280	4	8030	32120	94,18245
19	210	135	500	8	4488	35904	93,99814
21	210	285	500	24	2112	50688	93,38377
23	285	210	500	24	2112	50688	93,38377
5	285	210	280	12	3760	45120	93,10079
3	210	285	280	12	3760	45120	93,10079
4	285	135	280	6	5840	35040	92,95930
22	285	135	500	12	3264	39168	92,77738
8	360	210	280	16	2930	46880	91,64121
7	360	135	280	8	4536	36288	91,20333
9	360	285	280	24	2128	51072	90,32758
6	285	285	280	18	2688	48384	90,32758
26	360	210	500	32	1584	50688	88,46884
25	360	135	500	16	2448	39168	87,89436
18	360	285	390	36	UOÇ	UOÇ	UOÇ
24	285	285	500	36	UOÇ	UOÇ	UOÇ
27	360	285	500	48	UOÇ	UOÇ	UOÇ

Verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (210,135,390) 35280 tane konserve 5880 kutu içinde %96 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırın verimliliği (V) açısından bakıldığında 2.tür konserveler için verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (210,135,390) olan durum firmanın kullandığı boyutlardaki (450,310,120) durumdan daha iyidir.

Tablo 20. *3.Konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık HC (high cube) konteynıra verimlilik değerine göre (V) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
1	145	230	200	2	10868	21736	95,32124
2	145	315	200	3	7926	23778	95,20875
3	145	400	200	4	6240	24960	95,18243
13	145	230	480	6	4500	27000	94,72483
7	145	230	340	4	6344	25376	94,59151
5	230	315	200	6	4953	29718	94,37369
6	230	400	200	8	3900	31200	94,36190
4	230	230	200	4	6770	27080	94,18648
14	145	315	480	9	3200	28800	92,25374
8	145	315	340	6	4513	27078	92,15885
16	230	230	480	12	2750	33000	91,82138
10	230	230	340	8	3880	31040	91,76573
17	230	315	480	18	2000	36000	91,45845
11	230	315	340	12	2818	33816	91,27935
9	145	400	340	8	3392	27136	87,95833
15	145	400	480	12	2400	28800	87,86071
12	230	400	340	16	2120	33920	87,20007
18	230	400	480	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ

Verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (145,230,200) 21736 tane konserve 10868 kutu içinde %95 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırın verimliliği (V) açısından bakıldığında 3.tür konserveler için verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (145,230,200) olan durum firmanın kullandığı boyutlardaki (375,280,145) durumdan daha iyidir.

Sonuçta konteynıra yüklenen toplam konserve sayısı (TKONS) amaç fonksiyonu olarak ele alındığında tüm konserve türleri için firmanın kullandığı boyutlarda oluşan durum verdiğimiz sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu için oluşan durumdan hep daha iyidir. Konteynırın verimliliği (V) amaç fonksiyonu olarak ele alındığında ise verdiğimiz sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu için oluşan durum firmanın kullandığı boyutlardaki durumdan hep daha iyidir.

Tablo 21. *İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte firmanın 1. konserve türü için kullandığı mevcut kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 20'lik konteynıra yerleştirilme sonuçları*

Konserve türü	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
I	340	230	190	48	2170	104160	97,33063

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda firma verilen boyutlardaki (340,230,190) toplam 104160 tane konserveyi 2170 kutu içinde %97 verimlilikle 20'lik kuru yük konteynırına yüklemektedir.

Tablo 22. *İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte 1.konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 20'lik konteynıra toplam konserve sayısına göre (TKONS) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u(mm)	g(mm)	y(mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
31	280	335	240	40	1365	54600	92,76330
27	225	335	240	30	1701	51030	92,89072
23	170	335	240	20	2226	44520	91,84586
15	280	335	150	20	2205	44100	93,65526
30	280	280	240	32	1365	43680	77,53351
11	225	335	150	15	2730	40950	93,17742
29	280	225	240	24	1701	40824	77,64001
26	225	280	240	24	1701	40824	77,64001
7	170	335	150	10	3633	36330	93,68711
22	170	280	240	16	2226	35616	76,76669
14	280	280	150	16	2205	35280	78,27902
19	115	335	240	10	3423	34230	95,54110
10	225	280	150	12	2730	32760	77,87964
13	280	225	150	12	2730	32760	77,87964
25	225	225	240	18	1820	32760	66,75398
6	170	280	150	8	3633	29064	78,30565
21	170	225	240	12	2422	29064	67,11913
3	115	335	150	5	5495	27475	95,85860
18	115	280	240	8	3423	27384	79,85525
9	225	225	150	9	2730	24570	62,58185
2	115	280	150	4	5495	21980	80,12062
17	115	225	240	6	3640	21840	68,23740
5	170	225	150	6	3633	21798	62,92418
1	115	225	150	3	5495	16485	64,38264
4	115	390	150	6	UOÇ	UOÇ	UOÇ
8	170	390	150	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
12	225	390	150	18	UOÇ	UOÇ	UOÇ
16	280	390	150	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
20	115	390	240	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ

24	170	390	240	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
28	225	390	240	36	UOÇ	UOÇ	UOÇ
32	280	390	240	48	UOÇ	UOÇ	UOÇ

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (280,335,240) 54600 tane konserve 1365 kutu içinde %93 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırdaki toplam konserve sayısı (TKONS) açısından bakıldığında 1.tür konserveler için firmanın kullandığı boyutlardaki (340,230,190) durum verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (280,335,240) olan durumdan daha iyidir.

Tablo 23. *İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte firmanın 2. konserve türü için kullandığı mevcut kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık konteynıra yerleştirilme sonuçları*

Konserve türü	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
II	450	310	120	24	2709	65016	67,00509

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda firma verilen boyutlardaki (450,310,120) toplam 65016 tane konserveyi 2709 tane kutu içinde % 67 verimlilikle 40'lık kuru yük konteynırına yüklemektedir.

Tablo 24. *İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte 2.konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık konteynıra toplam konserve sayısına göre (TKONS) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u(mm)	g(mm)	y(mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
9	360	285	280	24	2352	56448	99,83574
6	285	285	280	18	2352	42336	79,03663
5	285	210	280	12	3290	39480	81,46319
3	210	285	280	12	3290	39480	81,46319
2	210	210	280	8	4389	35112	80,07659
4	285	135	280	6	5110	30660	81,33939
1	210	135	280	4	6860	27440	80,45973
7	360	135	280	8	UOÇ	UOÇ	UOÇ
8	360	210	280	16	UOÇ	UOÇ	UOÇ
10	210	135	390	6	UOÇ	UOÇ	UOÇ
11	210	210	390	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
12	210	285	390	18	UOÇ	UOÇ	UOÇ
13	285	135	390	9	UOÇ	UOÇ	UOÇ
14	285	210	390	18	UOÇ	UOÇ	UOÇ
15	285	285	390	27	UOÇ	UOÇ	UOÇ
16	360	135	390	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ

17	360	210	390	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
18	360	285	390	36	UOÇ	UOÇ	UOÇ
19	210	135	500	8	UOÇ	UOÇ	UOÇ
20	210	210	500	16	UOÇ	UOÇ	UOÇ
21	210	285	500	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
22	285	135	500	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
23	285	210	500	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
24	285	285	500	36	UOÇ	UOÇ	UOÇ
25	360	135	500	16	UOÇ	UOÇ	UOÇ
26	360	210	500	32	UOÇ	UOÇ	UOÇ
27	360	285	500	48	UOÇ	UOÇ	UOÇ

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (360,285,280) 56448 tane konserve 2352 kutu içinde %99 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırdaki toplam konserve sayısı (TKONS) açısından bakıldığında 2.tür konserveler için firmanın kullandığı boyutlardaki (450,310,120) durum verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (360,285,280) olan durumdan daha iyidir.

Tablo 25. *İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte firmanın 3. konserve türü için kullandığı mevcut kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık HC konteynıra yerleştirilme sonuçları*

Konserve türü	u (mm)	g (mm)	y (mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
III	375	280	145	12	3304	39648	66,14722

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda firma verilen boyutlardaki (375,280,145) toplam 39648 tane konserveyi 3304 kutu içinde % 66 verimlilikle 40'lik HC (high cube) konteynırına yüklemektedir.

Tablo 26. *İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte 3.konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık HC konteynıra toplam konserve sayısına göre (TKONS) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u(mm)	g(mm)	y(mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
11	230	315	340	12	2667	32004	86,38823
10	230	230	340	8	3640	29120	86,08950
8	145	315	340	6	4256	25536	86,91071
5	230	315	200	6	4207	25242	80,15952
7	145	230	340	4	5852	23408	87,25560
2	145	315	200	3	6720	20160	80,72203
4	230	230	200	4	4207	16828	58,52918
1	145	230	200	2	6720	13440	58,93989

3	145	400	200	4	UOÇ	UOÇ	UOÇ
6	230	400	200	8	UOÇ	UOÇ	UOÇ
9	145	400	340	8	UOÇ	UOÇ	UOÇ
12	230	400	340	16	UOÇ	UOÇ	UOÇ
13	145	230	480	6	UOÇ	UOÇ	UOÇ
14	145	315	480	9	UOÇ	UOÇ	UOÇ
15	145	400	480	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
16	230	230	480	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
17	230	315	480	18	UOÇ	UOÇ	UOÇ
18	230	400	480	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (230,315,340) 32004 tane konserve 2667 kutu içinde %86 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırdaki toplam konserve sayısı (TKONS) açısından bakıldığında 3.tür konserveler için firmanın kullandığı boyutlardaki (375,280,145) durum verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (230,315,340) olan durumdan daha iyidir.

Tablo 27. *İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte 1.konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 20'lik konteynıra verimlilik değerine göre (V) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u(mm)	g(mm)	y(mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
3	115	335	150	5	5495	27475	95,85860
19	115	335	240	10	3423	34230	95,54110
7	170	335	150	10	3633	36330	93,68711
15	280	335	150	20	2205	44100	93,65526
11	225	335	150	15	2730	40950	93,17742
27	225	335	240	30	1701	51030	92,89072
31	280	335	240	40	1365	54600	92,76330
23	170	335	240	20	2226	44520	91,84586
2	115	280	150	4	5495	21980	80,12062
18	115	280	240	8	3423	27384	79,85525
6	170	280	150	8	3633	29064	78,30565
14	280	280	150	16	2205	35280	78,27902
10	225	280	150	12	2730	32760	77,87964
13	280	225	150	12	2730	32760	77,87964
26	225	280	240	24	1701	40824	77,64001
29	280	225	240	24	1701	40824	77,64001
30	280	280	240	32	1365	43680	77,53351
22	170	280	240	16	2226	35616	76,76669
17	115	225	240	6	3640	21840	68,23740
21	170	225	240	12	2422	29064	67,11913
25	225	225	240	18	1820	32760	66,75398

1	115	225	150	3	5495	16485	64,38264
5	170	225	150	6	3633	21798	62,92418
9	225	225	150	9	2730	24570	62,58185
4	115	390	150	6	UOÇ	UOÇ	UOÇ
8	170	390	150	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
12	225	390	150	18	UOÇ	UOÇ	UOÇ
16	280	390	150	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
20	115	390	240	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
24	170	390	240	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
28	225	390	240	36	UOÇ	UOÇ	UOÇ
32	280	390	240	48	UOÇ	UOÇ	UOÇ

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (115,335,150) 27475 tane konserve 5495 kutu içinde %95 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırın verimliliği (V) açısından bakıldığında 1.tür konserveler için firmanın kullandığı boyutlardaki (340,230,190) durum verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (115,335,150) olan durumdan daha iyidir.

Tablo 28. *İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte 2.konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık konteynıra verimlilik değerine göre (V) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u(mm)	g(mm)	y(mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
9	360	285	280	24	2352	56448	99,83574
5	285	210	280	12	3290	39480	81,46319
3	210	285	280	12	3290	39480	81,46319
4	285	135	280	6	5110	30660	81,33939
1	210	135	280	4	6860	27440	80,45973
2	210	210	280	8	4389	35112	80,07659
6	285	285	280	18	2352	42336	79,03663
7	360	135	280	8	UOÇ	UOÇ	UOÇ
8	360	210	280	16	UOÇ	UOÇ	UOÇ
10	210	135	390	6	UOÇ	UOÇ	UOÇ
11	210	210	390	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
12	210	285	390	18	UOÇ	UOÇ	UOÇ
13	285	135	390	9	UOÇ	UOÇ	UOÇ
14	285	210	390	18	UOÇ	UOÇ	UOÇ
15	285	285	390	27	UOÇ	UOÇ	UOÇ
16	360	135	390	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
17	360	210	390	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
18	360	285	390	36	UOÇ	UOÇ	UOÇ
19	210	135	500	8	UOÇ	UOÇ	UOÇ
20	210	210	500	16	UOÇ	UOÇ	UOÇ
21	210	285	500	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
22	285	135	500	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ

23	285	210	500	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ
24	285	285	500	36	UOÇ	UOÇ	UOÇ
25	360	135	500	16	UOÇ	UOÇ	UOÇ
26	360	210	500	32	UOÇ	UOÇ	UOÇ
27	360	285	500	48	UOÇ	UOÇ	UOÇ

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (360,285,280) 56448 tane konserve 2352 kutu içinde %99 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırın verimliliği (V) açısından bakıldığında 2.tür konserveler için verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (360,285,280) olan durum firmanın kullandığı boyutlardaki (450,310,120) durumdan daha iyidir.

Tablo 29. *İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte 3.konserve türü için tüm olası kutu boyutlarının indirgenmiş modelde 40'lık HC (high cube) konteynıra verimlilik değerine göre (V) yerleştirilme sonuçları*

Alternatif	u(mm)	g(mm)	y(mm)	KONS	KS	TKONS	V(%)
7	145	230	340	4	5852	23408	87,25560
8	145	315	340	6	4256	25536	86,91071
11	230	315	340	12	2667	32004	86,38823
10	230	230	340	8	3640	29120	86,08950
2	145	315	200	3	6720	20160	80,72203
5	230	315	200	6	4207	25242	80,15952
1	145	230	200	2	6720	13440	58,93989
4	230	230	200	4	4207	16828	58,52918
3	145	400	200	4	UOÇ	UOÇ	UOÇ
6	230	400	200	8	UOÇ	UOÇ	UOÇ
9	145	400	340	8	UOÇ	UOÇ	UOÇ
12	230	400	340	16	UOÇ	UOÇ	UOÇ
13	145	230	480	6	UOÇ	UOÇ	UOÇ
14	145	315	480	9	UOÇ	UOÇ	UOÇ
15	145	400	480	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
16	230	230	480	12	UOÇ	UOÇ	UOÇ
17	230	315	480	18	UOÇ	UOÇ	UOÇ
18	230	400	480	24	UOÇ	UOÇ	UOÇ

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu açısından (145,230,340) 23408 tane konserve 5852 kutu içinde %87 verimlilikle konteynıra yüklenmektedir. Konteynırın verimliliği (V) açısından bakıldığında 3.tür konserveler için verilen sınırlar arasındaki en iyi kutu boyutu için (145,230,340) olan durum firmanın kullandığı boyutlardaki (375,280,145) durumdan daha iyidir.

Sonuçta konteynırın yüksekliği boyunca istiflenen kutu sayısının 7 olması durumunda konteynıra yüklenen toplam konserve sayısı (TKONS) amaç fonksiyonu olarak ele alındığında tüm konserve türleri için firmanın kullandığı boyutlarda oluşan durum verdiğimiz sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu için oluşan durumdan hep daha iyidir. Konteynırın verimliliği (V) amaç fonksiyonu olarak ele alındığında ise 1.konserve türü hariç verdiğimiz sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu için oluşan durum firmanın kullandığı boyutlardaki durumdan hep daha iyidir.

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenecek kutu sayısına yönelik durumun ele alınması sonucunda firmanın kullandığı mevcut boyutlardaki toplam yüklenecek konserve sayısı (TKONS) açısından amaç fonksiyonu istiflemenin ele alınmadığı duruma göre 1.konserve türü hariç azalma göstermiştir. Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenecek kutu sayısına yönelik durumun ele alınması sonucunda verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu için toplam yüklenecek konserve sayısı (TKONS) açısından amaç fonksiyonu istiflemenin ele alınmadığı duruma göre 2. konserve türü hariç azalma göstermektedir.

Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenecek kutu sayısına yönelik durumun ele alınması sonucunda firmanın kullandığı mevcut boyutlardaki toplam konteynır verimliliği (V) açısından amaç fonksiyonu istiflemenin ele alınmadığı duruma göre 1.konserve türü hariç azalma göstermiştir. Konteynırın yüksekliği boyunca istiflenecek kutu sayısına yönelik durumun ele alınması sonucunda verilen sınırlar içindeki en iyi kutu boyutu için toplam konteynır verimliliği (V) açısından amaç fonksiyonu istiflemenin ele alınmadığı duruma göre 2. konserve türü hariç azalma göstermektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada konteynır içerisine belirli çap ve yüksekliğe sahip tek tür kutuların 6 farklı rotasyonla yerleştirilmesi incelenmiştir. Her konserve türü çeşitli kutu boyutu sınırları verilerek kutu boyutları konserve çeşitleri için tekrardan düzenlenmiştir. Yüklemenin yapılması ve kutuların boyutlandırılması bu süreçte birarada oluşturulmuştur. Kutuların konteynıra konteynırın genişliği boyunca aynı türden katlar oluşturacak şekilde yüklenmesi esas alınmıştır. Amaç fonksiyonu olarak konteynıra maksimum sayıdaki konservenin yerleştirilmesi ve konteynırın maksimum kullanım verimliliği ile ilgilenilmiştir.

Çözüm için tamsayılı özelliğe sahip ana model oluşturulmuştur. Aynı türden katların oluşturulduğu ve oluşturulmadığı durumlar için ana model yazılmıştır. Ancak bu model global optimum sonuç vermediği için model tamsayılı ve doğrusal özelliklere sahip indirgenmiş modele dönüştürülmüştür.

Konteynıra yapılacak olan yerleştirmeler indirgenmiş model aracılığıyla iki şekilde incelenmiştir. İlk olarak firmanın kullandığı mevcut kutu boyutları indirgenmiş modelde çözülerek analiz edilmiştir. İkinci olarak da rotasyon sınırları içerisindeki tüm olası kutu boyutları indirgenmiş modelde çözülerek amaç fonksiyonunu en iyileyen durum bulunmaya çalışılmıştır. Konteynırdaki toplam konserve sayısı (TKONS) ve konteynırın kullanım verimliliği (V) amaçları her iki durum için kıyaslanmıştır. Konteynırdaki konserve sayısının (TKONS) maksimize edilmesi açısından ilk durum ikinci durumdan hep daha iyi çıkmıştır. Konteynırın verimliliğinin (V) maksimize edilmesi açısından ise ikinci durum ilk durumdan hep daha iyi sonuç vermiştir.

Bundan ayrı olarak istifleme durumunun ele alınmasıyla birlikte firmanın kullandığı mevcut kutu boyutları indirgenmiş modelde çözülerek incelenmiş ve rotasyon sınırları içerisindeki tüm olası kutu boyutları indirgenmiş modelde çözülerek amaç fonksiyonunu en iyileyen durum bulunmaya çalışılmıştır. Konteynırdaki toplam konserve sayısı (TKONS) ve konteynırın kullanım verimliliği (V) amaçları istifleme durumu için de kıyaslanmıştır. Konteynırdaki konserve sayısının (TKONS) maksimize edilmesi açısından bakıldığında firmanın kullandığı mevcut kutu boyutları için olan durum verilen sınırlar içinde hesaplanan en iyi durumdan daha iyi çıkmıştır.

Konteynırın verimliliğinin (V) maksimize edilmesi açısından ise 1.konserve türü hariç verilen sınırlar içerisindeki en iyi kutu boyutu için ele alınan durum firmanın kullandığı mevcut kutu boyutları için olan durumdan daha iyi sonuç vermiştir.

İncelediğimiz modele yeni kısıtlar eklenerek hem gerçek hayattaki durumlara uygunluk sağlanır hem de optimuma daha yakın sonuçlar bulunabilir. Bu kısıtlar denge kısıtı ile yüklemeden önceki ve sonraki ağırlık merkezi kısıtı olabilir. Ayrıca amaç fonksiyonuna maliyet unsurları katılarak gerçek hayattaki global optimum sonuca daha da yaklaşılabilir.

Ekler Listesi

Sayfa

EK 1. Konserve türü için kullanılan mevcut kutu boyutlarının 20'lik kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 5898;
L= 2350 ;
H= 2390;
C= 55 ;
ky = 90;
TK= 60 ;
ka= 170 ;

u=340 ;
g=230 ;
y=190 ;

KONS = 48 ;
Kmax = 12 ;
Kta = 0.102 ;
KAmax = 24800 ;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);
k1= @FLOOR (H/g);
k2= @FLOOR (H/g);
l1= @FLOOR (H/u);
l2= @FLOOR (H/u);
m1= @FLOOR(H/y);
m2= @FLOOR (H/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
```

```
@GIN(d2) ;
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              104160.0
  Objective bound:                              104160.0
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                    11
  Nonlinear variables:                 0
  Integer variables:                   8

  Total constraints:                   7
  Nonlinear constraints:               0

  Total nonzeros:                     19
  Nonlinear nonzeros:                  0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	104160.0	0.000000
W	5898.000	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2390.000	0.000000
C	55.00000	0.000000
KY	90.00000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	170.0000	0.000000
U	340.0000	0.000000
G	230.0000	0.000000
Y	190.0000	0.000000
KONS	48.00000	0.000000
KMAX	12.00000	0.000000

KTA	0.1020000	0.000000
KAMAX	24800.00	0.000000
V	0.9733063	0.000000
KS	2170.000	0.000000
D1	0.000000	-3456.000
I1	6.000000	0.000000
M1	12.00000	0.000000
D2	0.000000	-4032.000
J1	12.00000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
E1	0.000000	-5760.000
H1	10.00000	0.000000
M2	12.00000	0.000000
E2	0.000000	-5760.000
J2	12.00000	0.000000
K1	10.00000	0.00000
F1	0.000000	-2880.000
I2	6.000000	0.000000
K2	10.00000	0.000000
F2	31.00000	-3360.000
H2	10.00000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
KKA	8.160000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	104160.0	1.000000
2	0.000000	0.000000

3	0.000000	48.0000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	10416.00
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000
15	0.000000	14880.00
16	0.000000	0.000000
17	0.000000	0.000000
18	8.000000	0.000000
19	3.738000	0.000000
20	6871.460	0.000000

EK 2. Konserve türü için kullanılan mevcut kutu boyutlarının 40'lık kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 12035;
L= 2350 ;
H= 2393;
C= 75 ;
ky = 110;
TK= 60 ;
ka= 430 ;

u=450 ;
g=310 ;
y=120 ;

KONS = 24 ;
Kmax = 15 ;
Kta = 0.300;
KAmax = 28800 ;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);
k1= @FLOOR (H/g);
k2= @FLOOR (H/g);
l1= @FLOOR (H/u);
l2= @FLOOR (H/u);
m1= @FLOOR(H/y);
m2= @FLOOR (H/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              65064.00
  Objective bound:                              65064.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                  11
  Nonlinear variables:               0
  Integer variables:                 8

  Total constraints:                 7
  Nonlinear constraints:             0

  Total nonzeros:                   19
  Nonlinear nonzeros:                0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	65064.00	0.000000
W	12035.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2393.000	0.000000
C	75.00000	0.000000
KY	110.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	430.0000	0.000000
U	450.0000	0.000000
G	310.0000	0.000000
Y	120.0000	0.000000
KONS	24.00000	0.000000
KMAX	15.00000	0.000000

KTA	0.3000000	0.000000
KAMAX	28800.00	0.000000
V	0.6705456	0.000000
KS	2711.000	0.000000
D1	25.00000	-2280.000
I1	5.000000	0.000000
M1	19.00000	0.000000
D2	0.000000	-2280.000
J1	19.00000	0.000000
L1	5.000000	0.000000
E1	0.000000	-3192.000
H1	7.000000	0.000000
M2	19.00000	0.000000
E2	2.000000	-3192.000
J2	19.00000	0.000000
K1	7.000000	0.000000
F1	2.000000	-840.0000
I2	5.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
F2	0.000000	-840.0000
H2	7.000000	0.000000
L2	5.000000	0.000000
KKA	10.32000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	65064.00	1.000000
2	0.000000	0.000000

3	0.000000	24.00000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	11400.00
9	0.000000	336.0000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	336.0000
12	0.000000	912.0000
13	0.000000	240.0000
14	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.000000
16	0.000000	3000.000
17	0.000000	0.000000
18	3145.000	0.000000
19	4.380000	0.000000
20	9.180000	0.000000

EK 3. Konserve türü için kullanılan mevcut kutu boyutlarının 40'lık HC (high cube) konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 12030;
L= 2350 ;
H= 2690;
C= 85 ;
ky = 140;
TK= 60 ;
ka= 710 ;

u=375 ;
g=280 ;
y=145 ;

KONS = 12 ;
Kmax = 14 ;
Kta = 0.114;
KAmax = 28570 ;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);
k1= @FLOOR (H/g);
k2= @FLOOR (H/g);
l1= @FLOOR (H/u);
l2= @FLOOR (H/u);
m1= @FLOOR(H/y);
m2= @FLOOR (H/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              39696.00
  Objective bound:                              39696.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                    11
  Nonlinear variables:                 0
  Integer variables:                   8

  Total constraints:                   7
  Nonlinear constraints:               0

  Total nonzeros:                     19
  Nonlinear nonzeros:                  0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	39696.00	0.000000
W	12030.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2690.000	0.000000
C	85.00000	0.000000
KY	140.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	710.0000	0.000000
U	375.0000	0.000000
G	280.0000	0.000000
Y	145.0000	0.000000
KONS	12.00000	0.000000
KMAX	14.00000	0.000000
KTA	0.1140000	0.000000

KAMAX	28570.00	0.000000
V	0.6622730	0.000000
KS	3308.000	0.000000
D1	13.00000	-1296.000
I1	6.000000	0.000000
M1	18.00000	0.000000
D2	17.00000	-1344.000
J1	16.00000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
E1	0.000000	-1728.000
H1	8.000000	0.000000
M2	18.00000	0.000000
E2	0.000000	-1728.000
J2	16.00000	0.000000
K1	9.000000	0.000000
F1	0.000000	-648.0000
I2	6.000000	0.000000
K2	9.000000	0.000000
F2	0.000000	-672.0000
H2	8.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
KKA	8.520000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	39696.00	1.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	12.00000

4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	2808.000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	1428.000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	3264.000
15	0.000000	0.000000
16	0.000000	936.0000
17	0.000000	0.000000
18	3630.000	0.000000
19	5.366000	0.000000
20	8.728000	0.000000

EK 4. Toplam konserve sayısına (TKONS) göre 1.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 20'lik kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 5898 ;
L= 2350;
H= 2390;
C= 55 ;
ky = 90;
TK= 60 ;
ka= 170 ;

u=280 ;
g=390 ;
y=240 ;

KONS= 48 ;
Kmax = 12 ;
Kta = 0.102;
KAmax = 24800 ;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA = (KONS* ka) /1000 ;
TKONS = KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);
k1= @FLOOR (H/g);
k2= @FLOOR (H/g);
l1= @FLOOR (H/u);
l2= @FLOOR (H/u);
m1= @FLOOR(H/y);
m2= @FLOOR (H/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
```

```
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              56160.00
  Objective bound:                              56160.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                      9
  Nonlinear variables:                  0
  Integer variables:                    6

  Total constraints:                    7
  Nonlinear constraints:                0

  Total nonzeros:                      19
  Nonlinear nonzeros:                   0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	56160.00	0.000000
W	5898.000	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2390.000	0.000000
C	55.00000	0.000000
KY	90.00000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	170.0000	0.000000
U	280.0000	0.000000
G	390.0000	0.000000

Y	240.0000	0.000000
KONS	48.00000	0.000000
KMAX	12.00000	0.000000
KTA	0.1020000	0.000000
KAMAX	24800.00	0.000000
V	0.9256551	0.000000
KS	1170.000	0.000000
D1	0.000000	-3456.000
I1	8.000000	0.000000
M1	9.000000	0.000000
D2	0.000000	-3456.000
J1	9.000000	0.000000
L1	8.000000	0.000000
E1	0.000000	-2592.000
H1	6.000000	0.000000
M2	9.000000	0.000000
E2	3.000000	-2592.000
J2	9.000000	0.000000
K1	6.000000	0.000000
F1	21.00000	-2304.000
I2	8.000000	0.000000
K2	6.000000	0.000000
F2	0.000000	-2304.000
H2	6.000000	0.000000
L2	8.000000	0.000000
KKA	8.160000	0.000000
Row	Slack or Surplus	Dual Price

1	56160.00	1.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	48.00000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	6048.000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	864.0000
12	0.000000	1296.000
13	0.000000	8064.000
14	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.000000
16	0.000000	0.000000
17	0.000000	0.000000
18	18.00000	0.000000
19	3.738000	0.000000
20	15133.46	0.000000

EK5. Toplam konserve sayısına (TKONS) göre 2.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 40'lik kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 12035 ;
L= 2350;
H= 2393;
C= 75 ;
ky = 110;
TK= 60 ;
ka= 430 ;

u=285 ;
g=285 ;
y=390 ;

KONS= 27 ;
Kmax = 15 ;
Kta = 0.300;
KAmax = 28800 ;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA = (KONS* ka) /1000 ;
TKONS = KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);
k1= @FLOOR (H/g);
k2= @FLOOR (H/g);
l1= @FLOOR (H/u);
l2= @FLOOR (H/u);
m1= @FLOOR(H/y);
m2= @FLOOR (H/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              54432.00
  Objective bound:                              54432.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                    9
  Nonlinear variables:                0
  Integer variables:                  6

  Total constraints:                  7
  Nonlinear constraints:              0

  Total nonzeros:                    19
  Nonlinear nonzeros:                 0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	54432.00	0.000000
W	12035.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2393.000	0.000000
C	75.00000	0.000000
KY	110.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	430.0000	0.000000
U	285.0000	0.000000
G	285.0000	0.000000
Y	390.0000	0.000000
KONS	27.00000	0.000000
KMAX	15.00000	0.000000
KTA	0.3000000	0.000000

KAMAX	28800.00	0.000000
V	0.9436006	0.000000
KS	2016.000	0.000000
D1	0.000000	-1296.000
I1	8.000000	0.000000
M1	6.000000	0.000000
D2	0.000000	-1296.000
J1	6.000000	0.000000
L1	8.000000	0.000000
E1	0.000000	-1296.000
H1	8.000000	0.000000
M2	6.000000	0.000000
E2	42.00000	-1296.000
J2	6.000000	0.000000
K1	8.000000	0.000000
F1	0.000000	-1728.000
I2	8.000000	0.000000
K2	8.000000	0.000000
F2	0.000000	-1728.000
H2	8.000000	0.000000
L2	8.000000	0.000000
KKA	11.61000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	54432.00	1.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	27.00000
4	0.000000	0.000000

5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	9072.000
12	0.000000	6804.000
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.000000
16	0.000000	0.000000
17	0.000000	0.000000
18	65.00000	0.000000
19	3.090000	0.000000
20	4789.440	0.000000

EK6. Toplam konserve sayısına (TKONS) göre 3.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 40'lik HC (high cube) konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 12030 ;
L= 2350;
H= 2690;
C= 85 ;
ky = 140;
TK= 60 ;
ka= 710 ;

u=230 ;
g=315 ;
y=480 ;

KONS= 18 ;
Kmax = 14 ;
Kta = 0.114;
KAmax = 28570 ;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA = (KONS* ka) /1000 ;
TKONS = KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);
k1= @FLOOR (H/g);
k2= @FLOOR (H/g);
l1= @FLOOR (H/u);
l2= @FLOOR (H/u);
m1= @FLOOR(H/y);
m2= @FLOOR (H/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              36000.00
  Objective bound:                              36000.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                    9
  Nonlinear variables:                0
  Integer variables:                  6

  Total constraints:                  7
  Nonlinear constraints:              0

  Total nonzeros:                    19
  Nonlinear nonzeros:                 0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	36000.00	0.000000
W	12030.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2690.000	0.000000
C	85.00000	0.000000
KY	140.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	710.0000	0.000000
U	230.0000	0.000000
G	315.0000	0.000000
Y	480.0000	0.000000
KONS	18.00000	0.000000
KMAX	14.00000	0.000000
KTA	0.1140000	0.000000
KAMAX	28570.00	0.000000

V	0.9145845	0.000000
KS	2000.000	0.000000
D1	0.000000	-900.0000
I1	10.00000	0.000000
M1	5.000000	0.000000
D2	0.000000	-792.0000
J1	4.000000	0.000000
L1	11.00000	0.000000
E1	0.000000	-630.0000
H1	7.000000	0.000000
M2	5.000000	0.000000
E2	0.000000	-576.0000
J2	4.000000	0.000000
K1	8.000000	0.000000
F1	25.00000	-1440.000
I2	10.00000	0.000000
K2	8.000000	0.000000
F2	0.000000	-1386.000
H2	7.000000	0.000000
L2	11.00000	0.000000
KKA	12.78000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	36000.00	1.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	18.00000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000

6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	3600.000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	4500.000
14	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.000000
16	0.000000	0.000000
17	0.000000	0.000000
18	30.00000	0.000000
19	1.106000	0.000000
20	2782.000	0.000000

EK7. Konteynırın verimliliğine (V) göre 1.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 20'lik kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= V ;

Data:
W= 5898 ;
L= 2350;
H= 2390;
C= 55 ;
ky = 90;
TK= 60 ;
ka= 170 ;

u=170 ;
g=335 ;
y=150 ;

KONS= 10 ;
Kmax = 12 ;
Kta = 0.102;
KAmax = 24800 ;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA = (KONS* ka) /1000 ;
TKONS = KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);
k1= @FLOOR (H/g);
k2= @FLOOR (H/g);
l1= @FLOOR (H/u);
l2= @FLOOR (H/u);
m1= @FLOOR(H/y);
m2= @FLOOR (H/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              0.9892204
  Objective bound:                              0.9892204
  Infeasibilities:                               0.000000
  Extended solver steps:                                0
  Total solver iterations:                              0

  Model Class:                                       MILP

  Total variables:                  9
  Nonlinear variables:              0
  Integer variables:                6

  Total constraints:                7
  Nonlinear constraints:            0

  Total nonzeros:                  19
  Nonlinear nonzeros:               0
```

Variable	Value	Reduced Cost
V	0.9892204	0.000000
W	5898.000	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2390.000	0.000000
C	55.00000	0.000000
KY	90.00000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	170.0000	0.000000
U	170.0000	0.000000
G	335.0000	0.000000
Y	150.0000	0.000000
KONS	10.00000	0.000000
KMAX	12.00000	0.000000
KTA	0.1020000	0.000000

KAMAX	24800.00	0.000000
KS	3836.000	0.000000
D1	0.000000	-0.5028623E-01
I1	13.00000	0.000000
M1	15.00000	0.000000
D2	1.000000	-0.5415440E-01
J1	15.00000	0.000000
L1	14.00000	0.000000
E1	0.000000	-0.2707720E-01
H1	7.000000	0.000000
M2	15.00000	0.000000
E2	0.000000	-0.2707720E-01
J2	15.00000	0.000000
K1	7.000000	0.000000
F1	0.000000	-0.2346691E-01
I2	13.00000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
F2	37.00000	-0.2527205E-01
H2	7.000000	0.000000
L2	14.00000	0.000000
KKA	1.700000	0.000000
TKONS	38360.00	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.9892204	1.000000
2	0.000000	1.000000
3	0.000000	0.2578781E-03

4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.1335809
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.3610293E-02
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.3868171E-02
15	0.000000	0.6679043E-01
16	0.000000	0.000000
17	0.000000	0.000000
18	13.00000	0.000000
19	10.19800	0.000000
20	17887.53	0.000000

EK8. Konteynırın verimliliğine (V) göre 2.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 40'lik kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= V ;

Data:
W= 12035 ;
L= 2350;
H= 2393;
C= 75 ;
ky = 110;
TK= 60 ;
ka= 430 ;

u=210 ;
g=135 ;
y=390 ;

KONS= 6 ;
Kmax = 15 ;
Kta = 0.300;
KAmax = 28800 ;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);
k1= @FLOOR (H/g);
k2= @FLOOR (H/g);
l1= @FLOOR (H/u);
l2= @FLOOR (H/u);
m1= @FLOOR(H/y);
m2= @FLOOR (H/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              0.9605906
  Objective bound:                              0.9605906
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                   9
  Nonlinear variables:               0
  Integer variables:                 6

  Total constraints:                 7
  Nonlinear constraints:             0

  Total nonzeros:                   19
  Nonlinear nonzeros:                0
```

Variable	Value	Reduced Cost
V	0.9605906	0.000000
W	12035.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2393.000	0.000000
C	75.00000	0.000000
KY	110.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	430.0000	0.000000
U	210.0000	0.000000
G	135.0000	0.000000
Y	390.0000	0.000000
KONS	6.000000	0.000000
KMAX	15.00000	0.000000

KTA	0.3000000	0.000000
KAMAX	28800.00	0.000000
KS	5880.000	0.000000
D1	86.00000	-0.1078214E-01
I1	11.00000	0.000000
M1	6.000000	0.000000
D2	0.000000	-0.1078214E-01
J1	6.000000	0.000000
L1	11.00000	0.000000
E1	0.000000	-0.1666331E-01
H1	17.00000	0.000000
M2	6.000000	0.000000
E2	2.000000	-0.1666331E-01
J2	6.000000	0.000000
K1	17.00000	0.000000
F1	0.000000	-0.3054940E-01
I2	11.00000	0.000000
K2	17.00000	0.000000
F2	0.000000	-0.3054940E-01
H2	17.00000	0.000000
L2	11.00000	0.000000
KKA	2.580000	0.000000
TKONS	35280.00	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.9605906	1.000000
2	0.000000	1.000000

3	0.000000	0.1633658E-03
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.8429673E-01
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.5554436E-02
12	0.000000	0.1960389E-02
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.000000
16	0.000000	0.1545440
17	0.000000	0.000000
18	5.000000	0.000000
19	12.12000	0.000000
20	11865.60	0.000000

EK9. Konteynırın verimliliğine (V) göre 3.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 40'lik HC (high cube) konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= V ;

Data:
W= 12030 ;
L= 2350;
H= 2690;
C= 85 ;
ky = 140;
TK= 60 ;
ka= 710 ;

u=145 ;
g=230 ;
y=200 ;

KONS= 2 ;
Kmax = 14 ;
Kta = 0.114;
KAmax = 28570 ;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);
k1= @FLOOR (H/g);
k2= @FLOOR (H/g);
l1= @FLOOR (H/u);
l2= @FLOOR (H/u);
m1= @FLOOR(H/y);
m2= @FLOOR (H/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              0.9532124
  Objective bound:                              0.9532124
  Infeasibilities:                               0.000000
  Extended solver steps:                                0
  Total solver iterations:                              0

  Model Class:                                       MILP

  Total variables:                    9
  Nonlinear variables:                0
  Integer variables:                  6

  Total constraints:                  7
  Nonlinear constraints:              0

  Total nonzeros:                    19
  Nonlinear nonzeros:                 0
```

Variable	Value	Reduced Cost
V	0.9532124	0.000000
W	12030.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2690.000	0.000000
C	85.00000	0.000000
KY	140.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	710.0000	0.000000
U	145.0000	0.000000
G	230.0000	0.000000
Y	200.0000	0.000000
KONS	2.000000	0.000000
KMAX	14.00000	0.000000

KTA	0.1140000	0.000000
KAMAX	28570.00	0.000000
KS	10868.00	0.000000
D1	41.00000	-0.1824330E-01
I1	16.00000	0.000000
M1	13.00000	0.000000
D2	0.000000	-0.1736622E-01
J1	11.00000	0.000000
L1	18.00000	0.000000
E1	0.000000	-0.1140206E-01
H1	10.00000	0.000000
M2	13.00000	0.000000
E2	0.000000	-0.1061269E-01
J2	11.00000	0.000000
K1	11.00000	0.000000
F1	0.000000	-0.1543664E-01
I2	16.00000	0.000000
K2	11.00000	0.000000
F2	13.00000	-0.1578747E-01
H2	10.00000	0.000000
L2	18.00000	0.000000
KKA	1.420000	0.000000
TKONS	21736.00	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.9532124	1.000000
2	0.000000	1.000000

3	0.000000	0.8770817E-04
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.2052371E-01
8	0.000000	0.4674846E-01
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.1140206E-01
16	0.000000	0.5753656E-01
17	0.000000	0.000000
18	0.000000	0.000000
19	12.46600	0.000000
20	11898.49	0.000000

EK 10. İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte 1.konserve türü için kullanılan mevcut kutu boyutlarının 20'lik kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 5898 ;
L= 2350;
H= 2390;
C= 55 ;
ky = 90;
TK= 60 ;
ka= 170 ;

u=340 ;
g=230 ;
y=190 ;

KONS=48 ;
Kmax = 12 ;
Kta = 0.102;
KAmax = 24800 ;

k1=7;
k2=7;
l1=7;
l2=7;
m1=7;
m2=7;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA = (KONS* ka) /1000 ;
TKONS = KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              104160.0
  Objective bound:                              104160.0
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                    9
  Nonlinear variables:                0
  Integer variables:                  6

  Total constraints:                  7
  Nonlinear constraints:              0

  Total nonzeros:                    19
  Nonlinear nonzeros:                 0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	104160.0	0.000000
W	5898.000	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2390.000	0.000000
C	55.00000	0.000000
KY	90.00000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	170.0000	0.000000
U	340.0000	0.000000
G	230.0000	0.000000
Y	190.0000	0.000000
KONS	48.00000	0.000000
KMAX	12.00000	0.000000

KTA	0.1020000	0.000000
KAMAX	24800.00	0.000000
K1	7.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
M1	7.000000	0.000000
M2	7.000000	0.000000
V	0.9733063	0.000000
KS	2170.000	0.000000
D1	0.000000	-2016.000
I1	6.000000	0.000000
D2	0.000000	-4032.000
J1	12.00000	0.000000
E1	0.000000	-3360.000
H1	10.00000	0.000000
E2	0.000000	-4032.000
J2	12.00000	0.000000
F1	0.000000	-2016.000
I2	6.000000	0.000000
F2	31.00000	-3360.000
H2	10.00000	0.000000
KKA	8.160000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	104160.0	1.000000
2	0.000000	0.000000

3	0.000000	48.00000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	10416.00
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	8.000000	0.000000
13	3.738000	0.000000
14	6871.460	0.000000

EK 11. İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte 2.konserve türü için kullanılan mevcut kutu boyutlarının 40'lık kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 12035 ;
L= 2350;
H= 2393;
C= 75 ;
ky = 110;
TK= 60 ;
ka= 430 ;

u=450 ;
g=310 ;
y=120 ;

KONS=24 ;
Kmax = 15 ;
Kta = 0.300;
KAmax = 28800 ;

k1=7;
k2=7;
l1=7;
l2=7;
m1=7;
m2=7;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              65016.00
  Objective bound:                              65016.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                    9
  Nonlinear variables:                0
  Integer variables:                  6

  Total constraints:                  7
  Nonlinear constraints:              0

  Total nonzeros:                    19
  Nonlinear nonzeros:                 0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	65016.00	0.000000
W	12035.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2393.000	0.000000
C	75.00000	0.000000
KY	110.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	430.0000	0.000000
U	450.0000	0.000000
G	310.0000	0.000000
Y	120.0000	0.000000
KONS	24.00000	0.000000
KMAX	15.00000	0.000000

KTA	0.3000000	0.000000
KAMAX	28800.00	0.000000
K1	7.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
M1	7.000000	0.000000
M2	7.000000	0.000000
V	0.6700509	0.000000
KS	2709.000	0.000000
D1	0.000000	-840.0000
I1	5.000000	0.000000
D2	20.00000	-3192.000
J1	19.00000	0.000000
E1	0.000000	-1176.000
H1	7.000000	0.000000
E2	0.000000	-3192.000
J2	19.00000	0.000000
F1	0.000000	-840.0000
I2	5.000000	0.000000
F2	1.000000	-1176.000
H2	7.000000	0.000000
KKA	10.32000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	65016.00	1.000000
2	0.000000	0.000000

3	0.000000	24.00000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	168.0000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	3360.000
11	0.000000	0.000000
12	5715.000	0.000000
13	4.380000	0.000000
14	30.42000	0.000000

EK 12. İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte 3.konserve türü için kullanılan mevcut kutu boyutlarının 40'lık HC (high cube) konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 12030 ;
L= 2350;
H= 2690;
C= 85 ;
ky = 140;
TK= 60 ;
ka= 710 ;

u=375 ;
g=280 ;
y=145 ;

KONS=12 ;
Kmax = 14 ;
Kta = 0.114;
KAmax = 28570 ;

k1=7;
k2=7;
l1=7;
l2=7;
m1=7;
m2=7;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA = (KONS* ka) /1000 ;
TKONS = KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              39648.00
  Objective bound:                              39648.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                      9
  Nonlinear variables:                  0
  Integer variables:                    6

  Total constraints:                    7
  Nonlinear constraints:                0

  Total nonzeros:                      19
  Nonlinear nonzeros:                   0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	39648.00	0.000000
W	12030.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2690.000	0.000000
C	85.00000	0.000000
KY	140.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	710.0000	0.000000
U	375.0000	0.000000
G	280.0000	0.000000
Y	145.0000	0.000000
KONS	12.00000	0.000000
KMAX	14.00000	0.000000

KTA	0.1140000	0.000000
KAMAX	28570.00	0.000000
K1	7.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
M1	7.000000	0.000000
M2	7.000000	0.000000
V	0.6614722	0.000000
KS	3304.000	0.000000
D1	0.000000	-504.0000
I1	6.000000	0.000000
D2	29.00000	-1344.000
J1	16.00000	0.000000
E1	0.000000	-672.0000
H1	8.000000	0.000000
E2	0.000000	-1344.000
J2	16.00000	0.000000
F1	0.000000	-504.0000
I2	6.000000	0.000000
F2	1.000000	-672.0000
H2	8.000000	0.000000
KKA	8.520000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	39648.00	1.000000
2	0.000000	0.000000

3	0.000000	12.00000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	84.00000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	2436.000
11	0.000000	0.000000
12	3765.000	0.000000
13	5.366000	0.000000
14	43.26400	0.000000

EK 13. İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte toplam konserve sayısına (TKONS) göre 1.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 20'lik kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 5898 ;
L= 2350;
H= 2390;
C= 55 ;
ky = 90;
TK= 60 ;
ka= 170 ;

u=280 ;
g=335 ;
y=240 ;

KONS=40 ;
Kmax = 12 ;
Kta = 0.102;
KAmax = 24800 ;

k1=7;
k2=7;
l1=7;
l2=7;
m1=7;
m2=7;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
```

```
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              54600.00
  Objective bound:                              54600.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                      9
  Nonlinear variables:                  0
  Integer variables:                    6

  Total constraints:                    7
  Nonlinear constraints:                0

  Total nonzeros:                      19
  Nonlinear nonzeros:                   0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	54600.00	0.000000
W	5898.000	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2390.000	0.000000
C	55.00000	0.000000
KY	90.00000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	170.0000	0.000000
U	280.0000	0.000000
G	335.0000	0.000000
Y	240.0000	0.000000
KONS	40.00000	0.000000
KMAX	12.00000	0.000000

KTA	0.1020000	0.000000
KAMAX	24800.00	0.000000
K1	7.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
M1	7.000000	0.000000
M2	7.000000	0.000000
V	0.9276330	0.000000
KS	1365.000	0.000000
D1	0.000000	-2240.000
I1	8.000000	0.000000
D2	0.000000	-2520.000
J1	9.000000	0.000000
E1	0.000000	-1960.000
H1	7.000000	0.000000
E2	3.000000	-2520.000
J2	9.000000	0.000000
F1	21.00000	-2240.000
I2	8.000000	0.000000
F2	0.000000	-1960.000
H2	7.000000	0.000000
KKA	6.800000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	54600.00	1.000000
2	0.000000	0.000000

3	0.000000	40.00000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	5880.000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	840.0000
12	18.00000	0.000000
13	5.098000	0.000000
14	15378.77	0.000000

EK 14. İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte toplam konserve sayısına (TKONS) göre 2.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 40'lik kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 12035 ;
L= 2350;
H= 2393;
C= 75 ;
ky = 110;
TK= 60 ;
ka= 430 ;

u=360 ;
g=285 ;
y=280 ;

KONS=24 ;
Kmax = 15 ;
Kta = 0.300;
KAmax = 28800 ;

k1=7;
k2=7;
l1=7;
l2=7;
m1=7;
m2=7;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
```

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

```
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              56448.00
  Objective bound:                              56448.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                      9
  Nonlinear variables:                  0
  Integer variables:                    6

  Total constraints:                    7
  Nonlinear constraints:                0

  Total nonzeros:                      19
  Nonlinear nonzeros:                   0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	56448.00	0.000000
W	12035.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2393.000	0.000000
C	75.00000	0.000000
KY	110.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	430.0000	0.000000
U	360.0000	0.000000
G	285.0000	0.000000
Y	280.0000	0.000000
KONS	24.00000	0.000000
KMAX	15.00000	0.000000

KTA	0.3000000	0.000000
KAMAX	28800.00	0.000000
K1	7.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
M1	7.000000	0.000000
M2	7.000000	0.000000
V	0.9983574	0.000000
KS	2352.000	0.000000
D1	0.000000	-1008.000
I1	6.000000	0.000000
D2	0.000000	-1344.000
J1	8.000000	0.000000
E1	0.000000	-1344.000
H1	8.000000	0.000000
E2	0.000000	-1344.000
J2	8.000000	0.000000
F1	0.000000	-1008.000
I2	6.000000	0.000000
F2	42.00000	-1344.000
H2	8.000000	0.000000
KKA	10.32000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	56448.00	1.000000
2	0.000000	0.000000

3	0.000000	24.00000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	7056.000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	275.0000	0.000000
13	4.380000	0.000000
14	3821.760	0.000000

EK 15. İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte toplam konserve sayısına (TKONS) göre 3.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 40'lık HC (high cube) konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= TKONS ;

Data:
W= 12030 ;
L= 2350;
H= 2690;
C= 85 ;
ky = 140;
TK= 60 ;
ka= 710 ;

u=230 ;
g=315 ;
y=340 ;

KONS=12 ;
Kmax = 14 ;
Kta = 0.114;
KAmax = 28570 ;

k1=7;
k2=7;
l1=7;
l2=7;
m1=7;
m2=7;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA = (KONS* ka) /1000 ;
TKONS = KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;
```

```
! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              32004.00
  Objective bound:                              32004.00
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                    9
  Nonlinear variables:                0
  Integer variables:                  6

  Total constraints:                  7
  Nonlinear constraints:              0

  Total nonzeros:                    19
  Nonlinear nonzeros:                 0
```

Variable	Value	Reduced Cost
TKONS	32004.00	0.000000
W	12030.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2690.000	0.000000
C	85.00000	0.000000
KY	140.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	710.0000	0.000000
U	230.0000	0.000000
G	315.0000	0.000000
Y	340.0000	0.000000

KONS	12.00000	0.000000
KMAX	14.00000	0.000000
KTA	0.1140000	0.000000
KAMAX	28570.00	0.000000
K1	7.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
M1	7.000000	0.000000
M2	7.000000	0.000000
V	0.8638823	0.000000
KS	2667.000	0.000000
D1	36.00000	-840.0000
I1	10.00000	0.000000
D2	0.000000	-504.0000
J1	6.000000	0.000000
E1	3.000000	-588.0000
H1	7.000000	0.000000
E2	0.000000	-504.0000
J2	6.000000	0.000000
F1	0.000000	-840.0000
I2	10.00000	0.000000
F2	0.000000	-588.0000
H2	7.000000	0.000000
KKA	8.520000	0.000000

Row Slack or Surplus Dual Price

1	32004.00	1.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	12.00000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	1.000000
6	0.000000	252.0000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	3024.000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	5.366000	0.000000
14	5543.122	0.000000

EK 16. İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte konteynırın verimliliğine (V) göre 1.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 20'lik kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= V ;

Data:
W= 5898 ;
L= 2350;
H= 2390;
C= 55 ;
ky = 90;
TK= 60 ;
ka= 170 ;

u=115 ;
g=335 ;
y=150 ;

KONS=5 ;
Kmax = 12 ;
Kta = 0.102;
KAmax = 24800 ;

k1=7;
k2=7;
l1=7;
l2=7;
m1=7;
m2=7;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
```

```
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              0.9585860
  Objective bound:                              0.9585860
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                             0

  Model Class:                                      MILP

  Total variables:                    9
  Nonlinear variables:                0
  Integer variables:                  6

  Total constraints:                  7
  Nonlinear constraints:              0

  Total nonzeros:                    19
  Nonlinear nonzeros:                 0
```

Variable	Value	Reduced Cost
V	0.9585860	0.000000
W	5898.000	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2390.000	0.000000
C	55.00000	0.000000
KY	90.00000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	170.0000	0.000000
U	115.0000	0.000000
G	335.0000	0.000000
Y	150.0000	0.000000
KONS	5.000000	0.000000

KMAX	12.00000	0.000000
KTA	0.1020000	0.000000
KAMAX	24800.00	0.000000
K1	7.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
M1	7.000000	0.000000
M2	7.000000	0.000000
KS	5495.000	0.000000
D1	0.000000	-0.2442257E-01
I1	20.00000	0.000000
D2	0.000000	-0.1831693E-01
J1	15.00000	0.000000
E1	0.000000	-0.8547900E-02
H1	7.000000	0.000000
E2	3.000000	-0.1831693E-01
J2	15.00000	0.000000
F1	37.00000	-0.2442257E-01
I2	20.00000	0.000000
F2	0.000000	-0.8547900E-02
H2	7.000000	0.000000
KKA	0.8500000	0.000000
TKONS	27475.00	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.9585860	1.000000

2	0.000000	1.000000
3	0.000000	0.1744469E-03
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.4518176E-01
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.3663386E-02
12	3.000000	0.000000
13	11.04800	0.000000
14	19568.76	0.000000

EK 17. İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte konteynırın verimliliğine (V) göre 2.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 40'lık kuru yük konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= V ;

Data:
W= 12035 ;
L= 2350;
H= 2393;
C= 75 ;
ky = 110;
TK= 60 ;
ka= 430 ;

u=360 ;
g=285 ;
y=280 ;

KONS=24 ;
Kmax = 15 ;
Kta = 0.300;
KAmax = 28800 ;

k1=7;
k2=7;
l1=7;
l2=7;
m1=7;
m2=7;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              0.9983574
  Objective bound:                              0.9983574
  Infeasibilities:                               0.000000
  Extended solver steps:                                0
  Total solver iterations:                              0

  Model Class:                                       MILP

  Total variables:                    9
  Nonlinear variables:                0
  Integer variables:                  6

  Total constraints:                  7
  Nonlinear constraints:              0

  Total nonzeros:                    19
  Nonlinear nonzeros:                 0
```

Variable	Value	Reduced Cost
V	0.9983574	0.000000
W	12035.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2393.000	0.000000
C	75.00000	0.000000
KY	110.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	430.0000	0.000000
U	360.0000	0.000000
G	285.0000	0.000000
Y	280.0000	0.000000
KONS	24.00000	0.000000
KMAX	15.00000	0.000000
KTA	0.3000000	0.000000

KAMAX	28800.00	0.000000
K1	7.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
M1	7.000000	0.000000
M2	7.000000	0.000000
KS	2352.000	0.000000
D1	0.000000	-0.1782781E-01
I1	6.000000	0.000000
D2	6.000000	-0.2377041E-01
J1	8.000000	0.000000
E1	0.000000	-0.2377041E-01
H1	8.000000	0.000000
E2	1.000000	-0.2377041E-01
J2	8.000000	0.000000
F1	0.000000	-0.1782781E-01
I2	6.000000	0.000000
F2	35.00000	-0.2377041E-01
H2	8.000000	0.000000
KKA	10.32000	0.000000
TKONS	56448.00	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.9983574	1.000000
2	0.000000	1.000000
3	0.000000	0.4244717E-03

4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.1039956
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.1782781E-01
11	0.000000	0.2971302E-02
12	165.0000	0.000000
13	4.380000	0.000000
14	3821.760	0.000000

EK 18. İstiflemeyle ilgili verilerin ele alınmasıyla birlikte konteynırın verimliliğine (V) göre 3.konserve türü için bulunan en iyi alternatifin 40'lık HC (high cube) konteynırına indirgenmiş modelle yerleştirilmesinin LINGO'da modellenmesi ve elde edilen sonuçlar

```
Model:
Max= V ;

Data:
W= 12030 ;
L= 2350;
H= 2690;
C= 85 ;
ky = 140;
TK= 60 ;
ka= 710 ;

u=145 ;
g=230 ;
y=340 ;

KONS=4 ;
Kmax = 14 ;
Kta = 0.114;
KAmax = 28570 ;

k1=7;
k2=7;
l1=7;
l2=7;
m1=7;
m2=7;

End Data

!CALCULATIONS;
V= (KS*u*g*y) / (L*W*H) ;
KS= d1* i1*m1 + d2*j1*l1 + e1*h1*m2 + e2*j2*k1 + f1*i2*k2 + f2*h2*l2 ;
KKA =  (KONS* ka) /1000 ;
TKONS  =  KONS*KS ;

h1= @FLOOR (L/g) ;
h2= @FLOOR(L/g);
i1= @FLOOR (L/u);
i2 = @FLOOR(L/u);
j1 = @FLOOR(L/y);
j2= @FLOOR(L/y);

! CONSTRAINTS ;
 d1*g + d2*g + e1*u + e2*u + f1*y + f2*y <= W ;
KKA + Kta <= Kmax ;
(KKA + Kta)* KS <= KAmax;


! INTEGER NUMBERS ;
@GIN (d1) ;
@GIN(d2) ;
```

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

```
@GIN (e1) ;
@GIN(e2);
@GIN (f1) ;
@GIN(f2);
END
```

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              0.8725560
  Objective bound:                              0.8725560
  Infeasibilities:                               0.000000
  Extended solver steps:                                0
  Total solver iterations:                              0

  Model Class:                                       MILP

  Total variables:                      9
  Nonlinear variables:                  0
  Integer variables:                    6

  Total constraints:                    7
  Nonlinear constraints:                0

  Total nonzeros:                      19
  Nonlinear nonzeros:                   0
```

Variable	Value	Reduced Cost
V	0.8725560	0.000000
W	12030.00	0.000000
L	2350.000	0.000000
H	2690.000	0.000000
C	85.00000	0.000000
KY	140.0000	0.000000
TK	60.00000	0.000000
KA	710.0000	0.000000
U	145.0000	0.000000
G	230.0000	0.000000
Y	340.0000	0.000000
KONS	4.000000	0.000000
KMAX	14.00000	0.000000

KTA	0.1140000	0.000000
KAMAX	28570.00	0.000000
K1	7.000000	0.000000
K2	7.000000	0.000000
L1	7.000000	0.000000
L2	7.000000	0.000000
M1	7.000000	0.000000
M2	7.000000	0.000000
KS	5852.000	0.000000
D1	46.00000	-0.1669964E-01
I1	16.00000	0.000000
D2	0.000000	-0.6262364E-02
J1	6.000000	0.000000
E1	10.00000	-0.1043727E-01
H1	10.00000	0.000000
E2	0.000000	-0.6262364E-02
J2	6.000000	0.000000
F1	0.000000	-0.1669964E-01
I2	16.00000	0.000000
F2	0.000000	-0.1043727E-01
H2	10.00000	0.000000
KKA	2.840000	0.000000
TKONS	23408.00	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.8725560	1.000000
2	0.000000	1.000000

3	0.000000	0.1491039E-03
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.1043727E-01
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.4801145E-01
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	11.04600	0.000000
14	11283.19	0.000000

Kaynakça

Baltacıoğlu, E., Moore, J.T. ve Hill, R.R.Jr.(2006) The distributor's three dimensional pallet packing problem: A human intelligence based heuristic approach. *International Journal of Operational Research, 1*(3), 249-266.

Birgin, E.G., Martinez, J.M. ve Ronconi, D.P. (2005) Optimizing the packing of cylinders into a rectangular container: A nonlinear approach. *European Journal of Operational Research*, *160*(1), 19-33.

Bischoff, E. ve Dowsland, E.B. (1982) The application of the micro to product design and distribution. *European Journal of Operational Research*, *33*, 271-280

Bortfeldt, A., Gehring, H. ve Mack, D. (2003) A parallel tabu search algorithm for solving the container loading problem. *Parallel Computing, 29*(5), 641-662.

Brucker, P. (2004) *Scheduling algorithms* (4th ed.) Berlin: Springer.

Carnieri, C., Mendoza, G.A. ve Gavinho, L.G. (1994) Solution procedures for cutting lumber into furniture parts. *European Journal of Operational Research, 73*(3), 495-501.

Chen, C.S., Lee, S.M. ve Shen, Q.S.(1995) An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Operational Research, 80*(1), 68-76

Chien, C.F. ve Deng, J.F. (2004) A container packing support system for determining and visualizing container packing patterns. *Decision Support Systems, 37*(1), 23-34

Chien, C.F. ve Wu, W.T. (1998) A recursive computational procedure for container loading. *Computers and Industrial Engineering*, *35*(1-2), 319-322.

Dyckhoff, H. (1990) A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research, 44*, 145-159

Dyckhoff, H. ve Finke, U. (1992) *Cutting and packing in productin and distribution:A typology and bibliography*. New York: Physica-Verlag Heidelberg.

Eley, M. (2002) Solving container loading problems by block arrangement. *European Journal of Operational Research, 141*(2), 393-409.

Eley, M. (2003) A bottleneck assignment approach to the multiple container loading problem. *OR Spectrum, 25*(1), 45-60.

Erol, D. (1990) *Giyotinle kesmede iki boyutlu dilme probleminin çözümü için yordamsal bir yaklaşım*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.

Fasano, G. (2008) MIP-based heuristic for non-standard 3d-packing problems.*4OR: A Quarterly Journal of Operations Research*, *6*(3), 291-310.

Gehring, M., Menscher, K. ve Meyer, M. (1990) A computer based heuristic for packing pooled shipment containers. *European Journal of Operational Research*, *44*, 277-288

George, J.A., George, J.M. ve Lamar, B.W. (1995) Packing different-sized circles into a rectangular container. *European Journal of Operational Research*, *84*(3), 693-712

George, J.A. ve Robinson, D.F. (1980) A heuristic for packing boxes into a container. *Computers and Operations Research*, *7*(3), 147-156

Gilmore, P.C. ve Gomory, R.E. (1961) A linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations Research*, *9*(6), 849-859.

Gilmore, P.C. ve Gomory, R.E. (1965) Multistage cutting stock problems of two and more dimensions. *Operations Research*, *13* (1), 94-120

Golden, B.L. (1976) Approaches to the cutting stock problem. *AIIE Transactions*, *8*(2), 265-274.

Gradisar, M., Kljajic, M., Resinovic, G. ve Jesenko, J. (1999) A sequential heuristic procedure for one-dimensional cutting. *European Journal of Operational Research*, *114*, 557-568

Grdadisar, M., Resinovic, G. ve Kljajic, M. (2002) Evaluation of algorithms for one-dimensional cutting. *Computers&Operations Research*, *29*,1207-1220.

Haessler, R.W. ve Sweeney, P.E. (1991) Cutting stock problems and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, *54*(2), 141-150.

Haessler, R.W. ve Talbot, F.B. (1990) Load planning for shipments of low density products.*European Journal of Operational Research*, *44*(2), 289-299.

Han, C.P., Knott. K. ve Egbelu. P.J. (1989) A heuristic approach to the three dimensional cargo loading problem. *International Journal of Production Research*, *27*(5), 757-774.

Hifi, M. (2004) Exact algorithms for unconstrained three dimensional cutting problems: A comparative study. *Computers and Operations Research*, *31*(5), 657-674.

Holthaus, O. (2002) Decomposition approaches for solving the integer one dimensional cutting stock problem with different types of standard lengths. *European Journal of Operational Research*, *141*(2), 295-312.

Hopper, E. ve Turton, B.C.H. (2001) A review of the application of meta-heuristic algorithms to 2D strip packing problems. *Artificial Intelligence Review*, *16*, 257-300

Lodi, A., Martello, S. ve Monaci, M. (2002a) Two dimensional packing problems: A survey. *European Journal of Operational Research*, *141*(2), 241-252.

Lodi, A., Martello, S. ve Vigo, D. (2002b) Recent advances on two dimensional bin packing problems. *Discrete Applied Mathematics*, *123*(1-3), 379-396.

Lodi, A., Martello, S. ve Vigo, D. (2002c) Heuristic algorithms for the three dimensional bin packing problem. *European Journal of Operational Research*, *141*(2), 410-420.

Martello, S., Pisinger, D. ve Vigo, D. (2000) The three dimensional bin packing problem. *Operations Research, 48*(2), 256-267

Martello, S. ve Toth, P. (1990) *Kanapsack problems: Algorithms and computer implementations.* New York: John Wiley & Sons.

Medinoğlu, E. (2009) *An efficient way of single and multiple containers loading by resizing the boxes.* Unpublished M.Sc Thesis. İzmir: Dokuz Eylül University.

Mohanty, B.B., Mathur, K. ve Ivancic, N.J. (1994) Value considerations in three dimensional packing : A heuristic procedure using the fractional knapsack problem. *International Journal of Operational Research, 74*(1), 143-151

Nepomuceno, N., Pinheiro, P. ve Coelho, A.L.V. (2007) Tackling the container loading problem: A hybrid approach based on integer linear programming and genetic algorithms. *Evolutionary computation in combinatorial optimization, 4446,* 154-165.

Osogami, T. ve Okano, H. (1999) Local search algorithms for the bin packing problem and their relationship to various construction heuristics. *Journal of Heuristics, 9,* 29-49

Pisinger, D. (2002) Heuristics for the container loading problem. *European Journal of Operational Research. 141*(2), 382-392.

Sweeney, P.E. ve Haessler R.W. (1990) One dimensional cutting stock decisions for rolls with multiple quality grades. *European Journal of Operations Research, 44*, 224-231

Sweeney, P.E. ve Paternoster, E.R. (1992) Cutting and packing problems: A categorized, application-orientated research bibliography. *Journal of Operations Research Society, 43*(7), 691-706.

Takahara, S. (2005) Loading problem in multiple containers and pallets using strategic search. *Modeling decisions for artificial intelligence, 3558*, 543-587.

Terno, J., Scheithauer, G., Sommerweib, U. ve Reihme, J. (1995) An efficient approach for the multi pallet loading problem. *European Journal of Operational Research, 84*, 681-692

Vance, P.H., Barnhart, C., Johnson, E.L. ve Nemhauser, G.L. (1994) Solving binary cutting stock problems by coloumn generation and branch and bound. *Computational Optimization and Applications, 3*(2), 111-130.

Wascher, G., Haubner, H. ve Schumann, H. (2007) An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research, 183,* 1109-1130

Wu, Y., Li, W., Goh, M. ve Souza, R. D. (2010) Three dimensional bin packing problem with variable bin height. *European Journal of Operational Research, 202*, 347-355.

Yavuz, Y. (2005) *Üç boyutlu stok kesme probleminin matematiksel programlama teknikleri ile çözümü ve mermer endüstrisinde bir uygulama.* Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi.

Yeung, L.H.W. ve Tang, W.K.S. (2005) A hybrid genetic approach for container loading in logistics industry. *IEEE, Nisan sayısı , 52*(2) 617-627.

www.nakliyerehberim.com/asya%20konteyner%20ebatboyutlar.htm (Erişim tarihi: 15.04.2012)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ