ULAŞTIRMA MODELİ İLE MALİYET OPTİMİZASYONU VE BİR UYGULAMA

Nasibe ÇAKANEL

Temmuz 2008
DENİZLİ

ULAŞTIRMA MODELİ İLE MALİYET OPTİMİZASYONU VE BİR UYGULAMA

.

Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İşletme Anabilim Dalı
Sayısal Yöntemler Bölümü

Nasibe ÇAKANEL

Danışman: Yrd.Doç.Dr.İrfan Ertuğrul

Temmuz 2008
DENİZLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

İşletme Anabilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı öğrencisi Nasibe Çakanel tarafından Yrd. Doç. Dr. İrfan Ertuğrul yönetiminde hazırlanan "Ulaştırma modeli yardımıyla maliyet optimizasyonu ve bir uygulama" başlıklı tez aşağıdaki jüri üyeleri tarafından 10 / 07 / 2008 tarihinde yapılan tez savunma sınavında başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL
Jüri Başkanı (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Arzu ORGAN
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ………….. tarih ve ………….. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Mehmet Meder
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza :

Öğrenci Adı Soyadı : Nasibe ÇAKANEL

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışmamın konusunun tespitinden itibaren tüm aşamalarında yakın ilgi ve teşviklerini esirgemeyen, çok değerli eleştirilerde bulunarak beni yönlendiren değerli hocam ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. İrfan Ertuğrul'a teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarımda büyük destek veren Ayşegül Tuş Işık'a, Finansbank Şube Müdürlerim Sn. Kevser Cantekin ve Sn. Hülya Kayaoğlu'na, tezimin uygulama esnasında yardımlarını esirgemeyen Mehmet Tosunoğlu ve Murat Tosunoğlu'na ve son olarak değerli aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

ÖZET

ULAŞTIRMA MODELİ YARDIMIYLA MALİYET OPTİMİZASYONU VE BİR UYGULAMA

Çakanel, Nasibe
Yüksek Lisans Tezi, İşletme ABD
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL

Temmuz 2008, 148 Sayfa

İşletmelerin yönetiminde en önemli süreç, karar verme sürecidir. Karar verme sürecinde ussal karar vermenin en büyük yardımcısı ise model kurmadır. Ulaştırma modeli, sunum merkezlerinden istem merkezlerine mal veya hizmet dağıtımı yapılırken bu dağıtım işleminin minimum maliyetle nasıl gerçeklenebileceğini araştıran bir doğrusal programlama tekniğidir. Bu çalışma doğrusal programlama ve doğrusal programlamanın özel bir şekli olan ulaştırma modelleri hakkında bazı teorik bilgileri, Denizli ilinde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinin dağıtım problemini ve bu dağıtımın maliyet optimizasyonunda ulaştırma modelinin uygulanabilirliğini kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal programlama, Ulaştırma modeli, Duyarlılık analizi

ABSTRACT

COST OPTIMIZATION BY THE ASSISTANCE OF TRANSPORTATION MODEL AND AN APPLICATION

Çakanel, Nasibe
Master Thesis, Business Administration ABD
Thesis Director: Ass. Prof. Dr. İrfan ERTUĞRUL

July 2008, 148 Pages

The most important period on managing the firms is the decision period. In this period the most important assistant of logical decisions is composing models. Transportation model is a linear programming technique searching for methods to realise the product and service distribution from the supply centers to the receiver centers by the minimum cost. This study includes linear programming and some theoritical information on its special method of transportation models, the distribution problem of a textile firm in the province of Denizli and the feasibility of this transportation model in cost optimization to this distribution.

Keywords : Linear programming, Transportation model, Sensitivity analysis

İÇİNDEKİLER

TABLOLAR DİZİNİ

GİRİŞ

Artan rekabet şartları içerisinde karlılıklarını korumak ve devamlılıklarını sağlamak isteyen işletmeler için maliyetlerin en aza indirilmesi kaçınılmaz bir zorunluluktur (Ergülen vd, 2005: 163). Genellikle deneyimleri doğrultusunda bu kararları veren profesyoneller, karar verme sürecinde iki faktörü öncelikle göz önünde bulundurmaktadırlar. Ya faydayı maksimize etmek isterler (örneğin, kar maksimizasyonu) ya da giderleri en aza indirgemek isterler (örneğin, maliyet minimizasyonu) (Ulucan, 2004: 59). İşletmelerin toplam maliyetleri içerisinde yer alan önemli kalemlerden olan dağıtım maliyetlerinin minimizasyonu bu açıdan özel önem arz etmekle beraber "Doğrusal Programlama" tekniği ile genişleme yatırımlarının işletmenin hangi bölüm ya da bölümlerinde yapılması gerektiğine ilişkin kesin sonuçlar alınmasına olanak vermektedir. Ayrıca genişleme, yatırımlar için en uygun olarak saptanan üretim bölümünde değişik yatırım seviyelerinin (kısmi kapasite büyüklüklerinin) işletmenin toplam kârına olan etkileri de bu yöntemle belirlenebilir (Müftüoğlu, 1978: 14).

Bu çalışmada, bir işletmenin dağıtım probleminde, optimizasyon modeli olan ulaştırma modellerinin uygulanışı gösterilmiştir. Çalışma, dört bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın *birinci bölümünde;* ulaştırma modelinin doğrusal programlamanın özel bir hali olması nedeni ile doğrusal programlama yönteminin tanımı, tarihçesi uygulanabilme şartları, matematiksel yapısı ve dayandığı varsayımlar açıklanmıştır.

İkinci bölümde; ulaştırma modeli hakkında genel bilgiler verilmiş, ulaştırma modelinin çözüm yöntemleri anlatılmıştır. Aynı bölümde modelin karşılaşabileceği, çözüm tekniğine aykırı olan özel durumlar ve diğer ulaştırma modeli çeşitleri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde; dualite, duyarlılık analizi hakkında kısa bilgi verildikten sonra ulaştırma modelinin maliyet, sunum ve istem miktarındaki duyarlılık analizleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölüm olan uygulama kısmında ise; Denizli ilinde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinin verileri dikkate alınarak ulaştırma modeli yöntemleri ile maliyet optimizasyonu sağlanmıştır.

Sonuç bölümünde ise çözümler karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

Doğrusal Programlama, kaynak dağılımıyla ilgili planlama ve karar vermede yöneticilere yardım etmek için tasarlanan ve çok kullanılan matematiksel bir tekniktir (Render, 1982: 240) .

Diğer bir değişle; doğrusal eşitlikler veya eşitsizlikler şeklinde ifade edilen belirli kısıtlayıcı koşullar altında, doğrusal bir amaç fonksiyonunu optimumlaştırmak biçiminde tanımlanmaktadır. Optimumlaştırmak, belirli bir amaca en küçük masrafla ulaşmak (minimizasyon) veya belirli kaynaklarla en büyük ürünü sağlamak (maksimizasyon) anlamına gelmektedir (Esin, 1984: 370).

Taşıma maliyetlerinin hesaplanması ve bu maliyetlerin kontrol altında tutulması, her zaman, işletmenin en önemli işlerinden ve endişe kaynaklarından birisi olmuştur. (Ergülen, 2003: 208).

1.1. DOĞRUSAL PROGRAMLAMANIN TANIMI VE TARİHÇESİ

Doğrusal Programlama ile ilgili ilk çalışmalar, 1928 yılında J.V. Neumann tarafından oyunlar teorisinin temellerinin atılmasından sonra oyun problemlerinin Doğrusal Programlama ile ilişkilendirilmesiyle başlamıştır. Von Neumann ve Morgenstern, "Oyunlar Kuramı ve Ekonomik Davranış" adlı çalışmalarında, ekonomi ile oyunlar teorisi arasındaki ilişkiyi açıklamış ve ilgiyi bu yöne çekmiştir. W.W. Leontief ise 1936 yılında yayınlanan "A.B.D.'nin Ekonomik Sisteminde Girdi-Çıktı İlişkisinin Niteliği" adlı makalesinde girdi-çıktı analizi kavramını ortaya atmıştır. Girdi-çıktı kavramı, bir endüstri sisteminin doğrusal modeli ile ilgilidir (Öğütlü, 2002: 39).

1930'lu yılların sonu ve 1940'lı yıllarda, problemlerin doğrusal programlama ile formülasyonunu ve çözümünü veren genel bir yöntem elde edilmesi konusunda pek çok çalışma yapılmıştır. 1939 yılında Sovyet matematikçisi ve ekonomisti L.V. Kantorovich, gerçek bir üretim planlaması ve organizasyonu problemini bir doğrusal programlama problemi olarak ele almıştır. 1941 yılında Hitchock ve 1947 yılında Koopmans, klasik ulaştırma problemini doğrusal programlama problemlerinin özel bir biçimi olarak incelemiştir. 1945 yılında bir ekonomist olan G. Stigler, en küçük maliyetli diyet problemini formüle etmiştir.

I. Dünya Savaşı sırasında İngiliz ve daha sonra Amerikalı araştırmacılar, askeri sorunların çözümünde doğrusal programlamayı kullanmıştır. II. Dünya Savaşı'nın sona ermesinden kısa bir süre sonra A.B.D. hava kuvvetlerinde görevli bir ekip, uygulanan matematiksel tekniklerin planlama ve bütçeleme konusundaki etkinliklerini denetlemiştir. Bu ekipte yer alan G. Dantzig, büyük organizasyonların aktivitelerinin bir doğrusal programlama problemi olarak ele alınabileceğini ve doğrusal bir amaç fonksiyonunun en küçüklenmesi ile optimal programlara ulaşılabileceğini açıklamıştır. 1947 yılı Temmuz ayında SCOOP (optimum programların bilimsel hesabı) projesi üzerinde çalışmaya başlayan aynı ekip, aynı yılın sonunda, genel bir doğrusal programlama probleminin matematiksel modelini oluşturmuş ve çözüm için Simpleks yöntemi geliştirmiştir.

1947 yılında doğrusal programlama için, simpleks algoritmasını geliştiren George Dantzig, geliştirmiş olduğu bu algoritma için tek en önemli gücü sağlamıştır.

Doğrusal programlama, 1947 yılında George B. Dantzig ve arkadaşları tarafından yazına kazandırılmıştır (Dantzig, 1997-2003: 202). Robert Dorfmen, doğrusal programlamayı firma teorisinde uygulamıştır (Dorfman vd, 1958: 22).

Doğrusal programlama; bir amacın gerçekleşme derecesini etkileyen bazı kısıtlayıcı koşulların bulunması ve bunların doğrusal eşitlik veya eşitsizlikler olarak verilmesi durumunda, bu amaca en iyi biçimde ulaşılması için kıt kaynakların en verimli biçimde kullanılmasını sağlayan bir matematik yöntemidir (Akgül, 1993: 12, Analı, 1999: 5).

İşletme açısından doğrusal programlama; para, malzeme, makine, zaman, işgücü, teçhizat gibi kaynakların çeşitli sınırlayıcı şartlar altında optimal faydayı sağlayacak şekilde kombine edilmesini sağlayan bir tekniktir. Daha genel bir tanım yapmak gerekirse, doğrusal programlama belirli ortak özellikleri bulunan problemlere uygulanan optimizasyon tekniğidir denilebilir (Kobu, 1997: 517-518).

Doğrusal Programlama (Linear Programming), 1947 yılında George B. Dantzig, ve arkadaşları tarafından yazına kazandırılmıştır (Karacabey ve Sarıaslan, 2003: 91). Robert Dorfmen, doğrusal programlamayı firma teorisinde uygulamıştır. Paul A. Samuelson, Robert M. Solow, David Gale ve daha birçok iktisatçılar ve matematikçiler, doğrusal programlama tekniğini tanıtmaya ve geliştirmeye çalışmışlardır.

Doğrusal programlama, oldukça karmaşık pratik durumlarla karşılaşıldığında hedeflerini "en iyi" şekilde karşılamak için insanlığa genel hedefleri tanımlayabilme ve detaylı kararlar için bir yol planlayabilme yetisini veren büyük devrimci bir gelişimin parçası olarak görülebilir (Dantzig, 2002: 42).

Doğrusal Programlama ile ilgilenen matematikçi, ekonomist ve planlamacılar, diğer alanlardan hızla bu alana kaymış ve çalışmaya başlamıştır. 1949 yılında doğrusal programlama konusundaki ilk sempozyum yapılmış ve sunulan bildiriler daha sonra T.C. Koopmans tarafından "Üretim ve Dağıtımın Etkinlik Analizi" adlı kitabında toplanmıştır (Tuncel, 1997: 35-36).

Türkiye'de de bu konulardaki ilk araştırmalar, askere alma ve hava savunması konularında olmuştur.

1950'li yıllardan sonra bilgisayar teknolojisi alanında meydana gelen olağanüstü gelişmeler sayesinde, doğrusal programlamanın geniş çaplı problemlere de rahatlıkla uygulanabilmesi sağlanmıştır.

1958 yılında da Earl A. Heady ve Wilferd Candler, tarımda doğrusal programlama ile maksimizasyon ve minimizasyon problemlerinin nasıl çözümlenebileceğini göstermişler, değişen üretim faktörleri ve değişen fiyatlarla optimum sonuçlara nasıl ulaşabileceğini uygulamalı örneklerle açıklamıştır (Analı, 1999: 8). Ayrıca yapmış oldukları değişikliklerle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde de yöntemin kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Bu tarihi gelişiminden de görüleceği gibi, doğrusal programlama büyük ölçüde iktisatçı ve matematikçilerin gayretleriyle bugünkü duruma gelmiştir.

1.2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİNİN KULLANILDIĞI YERLER

Doğrusal programlama, bir doğrusal eşitlik ve / veya eşitsizlik kısıt kümesini tatmin ederken bir doğrusal fonksiyonu optimize etmeye çalışır (Paksoy, 2002: 3).

İlk önceleri askeri alanda uygulanan doğrusal programlama, daha sonra endüstriyel alanda petrol, gıda, tekstil, kâğıt, kimya vb. sektörlerdeki çeşitli problemleri çözmek için kullanılmıştır. Bu sektörlerdeki doğrusal programlama uygulamaları, örneğin petrol endüstrisinde üretim, rafine, dağıtım aşamalarındaki problemlerin çözümünde ve kirlilik denetiminde, gıda sektöründe düşük maliyetli menü yapımında ve pişmiş yiyeceklerin ihtiyaç noktalarına ulaştırılmasında, ziraat ekonomisi sektöründe ise hayvan beslenmesinde rasyonel yem karışımının belirlenmesinde yer almıştır (Öğütlü, 2002: 40).

1952 ve daha sonraki yıllarda, doğrusal programlama probleminin çözümü için bilgisayar programları hazırlanmıştır. Bu sayede doğrusal programlama, büyük ölçekli problemlerde de rahatlıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar teknolojisindeki ve yazılımındaki bu hızlı gelişimin sonucunda doğrusal programlama sadece akademik bir ilgi alanı olmaktan çıkmış; endüstri, çevre, ulaştırma, enerji ve daha pek çok alandaki birçok sorunun çözümünde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Tuncel, 1997: 35-36).

Günümüzde binlerce değişkenli ve binlerce kısıtlayıcılı problemler, bilgisayar yardımıyla çözülebildiğinden, doğrusal programlamanın uygulama alanı sadece kıt kaynakların dağılımı ile sınırlı kalmamış diğer birçok alanda da önemli uygulamaları olmuştur.

Teknik ve ekonomik araştırmalarda ortaya çıkan birçok problemi doğrusal programlama yöntemleri ile çözmek mümkündür (Kale, 1967: 220).

Bu konuda aşağıdaki liste verilebilir:

- Personel programlaması
- Beslenme (diyet) problemleri
- Üretim planlaması ve envanter kontrolü
- Ulaştırma ve lojistik problemleri
- Atama problemleri
- Tarımsal planlama
- Hava kirliliğinin kontrolü
- Sermaye bütçeleme problemi
- Kısa dönemli finansal planlama
- Dinamik yatırım planlaması
- Reklam seçimi problemleri
- Portföy seçimi problemi
- Karışım problemleri

Doğrusal Programlama, endüstri haricinde ekonomik, sosyal, politik ve toplumsal sorunların çözümünde de başarılı ve yararlı sonuçlar vermiştir. Yatırım planlarının değerlendirilmesi, portföy seçimi, bütçe yapımı, finans planlaması, kazanç değerlendirme, kaynak tahsisi, politik kampanyaların planlanması, eğitim planlaması, uzun dönemli çizelgeleme, ulaştırma, kitle iletişim araçları seçimi, ağ analizi problemleri, doğrusal programlamanın kullandığı problemlerin sadece birkaçıdır (Öğütlü, 2002: 40).

Portföy seçimi problemlerinde; portföy yönetiminin tanımı ve içeriği, kapsam ve incelenen ayrıntılar açısından değişir (Bozdağ vd, 2005: 2).

Portföy, genel ekonomik koşullara ve yatırımcıların arzularına göre değişik amaçlarla oluşturulabilir. Karar vericiler çeşitli amaç ve kısıtlara göre doğrusal programlama ile portföy seçim problemlerini çözebilmektedir (Atan ve Duman, 2005: 1). Portföy yönetiminde temel amaç, alternatif yatırım amaçlarından hangilerinin portföye hangi oranlarda alınacağına ve sürekli yenilenen iktisadi durumlara göre portföyün ne zaman güncellenmesi gerektiğine karar vermektir (Bozdağ vd, 2005: 1).

İşletme, ekonomi ve muhasebe bilim dallarını da yakından ilgilendiren doğrusal programlama, yöneylem araştırmasında da en yaygın kullanılan araçlardan birisidir (Öztürk, 2004: 35-36).

Ayrıca orman kaynaklarından yararlanmanın planlaması konusunda tarife bedelinin optimizasyonu amacıyla doğrusal programlama tekniği kullanılmıştır (Daşdemir ve Güngör, 2002: 12). Doğrusal programlamanın ormancılıkta genel olarak transport sorunlarının çözümüne ilişkin kullanımı konusunda ilk araştırma, Soykan tarafından yapılmıştır (Acar vd, 2000: 384). Ormancılık üretim çalışmaları, çok sayıda değişken ve kısmen kontrol edilemeyen faktörlerin etkisi altında sürdürülür. Bu çalışmalarda mekanizasyonun seviyesi ve uygulamaya aktarımı gibi hususlar bulunmamakta, bu da üretimde miktar ve kalite kaybına neden olmaktadır. Ormancılıkta kesme-devirme, tomruklama ve kabukların soyulması sırasında oluşan giderlerin doğrusal programlama ile minimize edilmesi, insan ve makine gücü kaynaklarının daha rasyonel kullanımını gerçekleştirmiştir (Acar vd, 1999: 375).

Doğrusal programlama, mermer işletmelerinde tesiste işlenen mermer çeşitlerinden hangi mermer çeşidini ne kadar miktarda ve hangi tip ürün olarak üretilmesi gerektiğini tespit ederek fabrikanın karını maksimum yapmasını sağlamakta da kullanılmaktadır (Ayhan ve Topal, 2005: 123).

1.3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMANIN UYGULANABİLME ŞARTLARI

Karar problemlerinin çözümünde doğrusal programlama modelinin uygulanabilmesi için gerekli olan bazı temel şartlar şunlardır (Doğan, 1995):

- Amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar iyi bir şekilde tanımlanmalıdır.
- Elde seçilebilecek hareket biçimleri bulunmalıdır.
- Değişkenler kendi aralarında ilişkili olmalıdır.
- Kullanılacak kaynakların arzı sınırlı olmalıdır.
- Değişkenler arasında kurulan bağlantıların doğrusal olması gerekir.
- Doğrusal Programlamanın uygulanacağı işletme problemi kısa dönemli olmalıdır.

1.4. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİNİN MATEMATİKSEL YAPISI

Doğrusal programlama modelleri, karar uzayı, değişkenler, kısıtlar ve amaç fonksiyonu yardımı ile tanımlanmakta ve karar verme ise bilinen şartlar altında yapılmaktadır (Güneş ve Umarusman, 2005: 1).

Karar verici doğrusal programlama modeli haline getirdiği matematiksel problemin çözümüne göre kararını vermektedir. Doğrusal Programlama, birçok problemin çözümünde kullanılabildiği için Yöneylem Araştırması başlığı ile anılan planlama araçlarının en önemlisi haline gelmiştir (Güneş ve Yiğitbaşı, 2001: 4).

Çok farklı alanlarda uygulanabilir olan doğrusal karar modeli, uygun işlemlerle istenen şekle dönüştürülebilmektedir. Modelin geliştirilmesiyle, karar probleminin seçenekleri kısıtlarla ifade edilmekle birlikte bunların içerisinden hangisinin amaç fonksiyonunu en büyük veya en küçük yaptığını söylemek zordur. Çoğunlukla, matematiksel olarak kısıtların her birini sağlayan sonsuz çözüm söz konusu olup, hangisinin en iyi çözüm olduğunu bulabilmek için yeni kavram ve bilgilere ihtiyaç vardır (Yenilmez, 2001: 26).

Doğrusal Programlama problemleri ile ilgili bazı temel kavramlar aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Değişken: Problemde değişim gösteren faktörlerdir.

Karar (kontrol) değişkeni: Karar verici denetimi altında olan değişkenlerdir. Doğrusal Programlama kullanılarak amaç fonksiyonunu en iyileyen karar değişkeni değerleri saptanır.

Amaç fonksiyonu: Karar değişkenlerinin matematiksel fonksiyonudur ve sistemi tanımlamak için kullanılır. Karar vericinin isteklerini ifade etmek için kullanılır. Alacağı değer önceden belirlenemez.

Kısıt: Karar değişkenlerinin matematiksel fonksiyonudur ve sistemi tanımlamak için kullanılır. Karar vericinin elindeki olanakları ifade eden ve karar vericiyi belli koşullar altında karar vermeye yönelten matematiksel fonksiyonlardır. Bulunan çözümler mutlaka problemin kısıtlarını sağlamalıdır (Tuncel, 1997: 36).

Doğrusal Programlama modelinin formülasyonunda izlenecek aşamalar şunlardır:

- Amacın belirlenmesi,
- Karar değişkenlerinin tanımlanması,
- Amaç fonksiyonunun matematiksel olarak belirtilmesi,
- Her bir sınırlayıcı koşulla ilgili olarak açıklayıcı bilgilerin belirtilmesi,
- Birim cinsinden sınırlayıcı koşul olarak sağ taraf değerlerinin belirtilmesi,
- Her bir sınırlayıcı koşula göre denklem katsayılarının belirtilmesi,
- Sol tarafa her sınırlayıcı koşul için karar değişkenlerinin yazılması,
- Her bir sınırlayıcı koşul için karar değişkenleri katsayılarının belirtilmesi.

Karar değişkenlerini tanımlarken; kararlara ilişkin alternatif faaliyetler, çalışma etkinliğinin ölçümü, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenler göz önünde bulundurulmalıdır (Tekin, 2004: 49-50).

Doğrusal programlamanın teorik yapısında üç etkeni göz önüne almak gerekir. Bunlar; amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı koşullar ve pozitiflik koşuludur (Bircan ve Kartal, 1994: 133).

a) Amaç fonksiyonu:

Doğrusal programlama modelinde doğrusal biçimde ifade edilen bir amaç fonksiyonu vardır. Amaç fonksiyonu, kar maksimizasyonu ya da maliyet minimizasyonu şeklinde olur (Alan ve Yeşilyurt, 1994: 152).

b) Kısıtlayıcı koşullar:

Makinelerin kapasite kullanımları, işgücü, finansman, zaman sınırlılığı vb. gibi koşullar bu kısıtlayıcılara örnek olarak verilebilir (Alan ve Yeşilyurt, 1994: 152).

c) Pozitiflik koşulu:

x_J : Karar değişkenlerini (Üretim ya da maliyet miktarları gibi),

c_J : Birim kâr veya maliyet katsayısını,

b_J : Kaynak kapasitesini,

a_{iJ} : Teknik katsayısını göstermek üzere, Genel olarak bir doğrusal programlama problemin teorik yapısı,

$$z = \sum_{J=1}^{n} c_J x_J \qquad (J = 1,2,...,n) \text{ amaç fonksiyonu (max, min)}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{IJ} x_J \leq b_I \qquad (\dot{I} = 1,2,...,m) \text{ kısıtlayıcı koşullar (} \geq, = \text{de olabilir)}$$

$$x_J \geq 0 \qquad (J = 1,2,...,n) \text{ pozitiflik şartı,}$$

şeklinde gösterilebilir.

Doğrusal programlamanın teorik modelini matris notasyonu ile

C_{1N} : amaç denkleminin katsayılar satır matrisi

X_{n1} : Karar değişkenleri sütun matrisi

A_{mn} : Kısıtlayıcıların katsayılar matrisi

B_{m1} : Kapasite sütun matrisi

olmak üzere

$$\left.\begin{array}{l} z = cx \\ Ax \leq B \\ x \geq 0 \end{array}\right\} \text{ modeli,}$$

$$z = cx = [c_1, c_2, ..., c_n] \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ Amaç fonksiyonu}$$

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots\ a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots\ a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots\ a_{mn} \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \begin{array}{c} \geq \\ = \\ \leq \end{array} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix} \text{ Kısıtlayıcı koşullar}$$

$x_1, x_2, ..., x_n \geq 0$ Pozitiflik şartı şeklinde gösterilir.

Tüm kısıtları sağlayan x_1,..., x_n değişken kümesine *uygun alan* denir (Nahmias, 1997: 175).

Doğrusal Programlama problemlerinde kısıtlar ve amaç fonksiyonları, x_j değişkenlerine göre doğrusaldır. Kısıtları sağlayan x_j değerine *çözüm* ve negatif olmama kısıtları ile birlikte diğer tüm kısıtları sağlayan çözüme *uygun çözüm* denir. Bulunan çözüm amaç fonksiyonunu en iyileyen uygun çözüm ise *optimal çözüm* adını alır. Doğrusal Programlamada amaç, optimal çözüme ulaşmaktır (Tuncel, 1997: 38).

1.5. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİNİN DAYANDIĞI VARSAYIMLAR

Gerçek dünya ile ilgili karar problemlerine çözüm getirmek için kurulan doğrusal programlama modeli bu problemlerin içinde yer aldıkları ortam ve şartlar hakkında yapılan bir takım varsayımlara dayanır. Modelin getireceği çözümün doğruluğu, gerçek dünya şartlarının bu varsayımlara uygunluk derecesine bağlıdır. Doğrusal Programlama modelinin karar problemlerine uygulanma alanını belirli bir ölçüde daraltan bu varsayımlar; doğrusallık, toplanabilirlik, sınırlılık, negatif olmama, bölünebilirlik varsayımlarıdır (Özgüven, 2003: 6).

Doğrusallık Varsayımı:

Doğrusallık özelliği, en iyi değeri araştırılan amacın ve kararı etkileyen kısıtların her bir değişkene göre doğrusal olarak ifade edilebiliyor olmasıdır. Bunun anlamı her bir değişkenin amaç fonksiyonuna ve kısıta katkısının doğrudan değişkenin seviyesi ile orantılı olmasıdır (Yapıcı, 2000: 29). Bu varsayım birbirlerinden bağımsız olarak düşünülen aktivitelerle ilgilidir. Herhangi bir karar değişkeninin amaç fonksiyonuna katkısı, diğer karar değişkenlerinin değerlerinden bağımsızdır. Doğrusallık varsayımı sağlanmadığında, doğrusal olmayan programlama kullanılır. Bu varsayım, amaç fonksiyonu ve kısıtların doğrusal olması için gerekli ancak yeterli değildir.

Doğrusallık varsayımı, ürün bileşimi problemi çerçevesinde düşünülürse, üretimde ölçeğe göre sabit getiri şartlarının, piyasalarda da tam rekabet şartlarının geçerli olması anlamına gelir (Özgüven, 2003: 7). Ayrıca amaç fonksiyonu, açık bir şekilde matematiksel olarak ifade edilmelidir. Amaç fonksiyonunun doğrusal olabilmesi için karar değişkenleri x_J 'lerin birinci dereceden ve (c_J) katsayıları da sabit olmalıdır.

Toplanabilirlik Varsayımı:

Bir problem, doğrusallık varsayımının yanı sıra toplanabilirlik varsayımını da sağlıyorsa doğrusaldır. Bir problemin toplanabilirlik varsayımını sağlaması için, amaç fonksiyonu değerinin maliyetlerin ya da karın tek tek toplamına eşit olması gerekir. Herhangi bir kısıta toplam katkının da aktivite katkılarının tek tek toplamına eşit olması gerekir. Toplanabilirlik varsayımı sağlanmadığında da doğrusal olmayan programlama kullanılır.

Sınırlılık Varsayımı:

Üretim faaliyetlerinin ve üretim faktörlerinin sayısal olarak ölçülebilir nitelikte ve sınırlı olması gerekir. Sınırsız sayıda üretim faaliyetleri ile sınırsız sayıda üretim faktörünün belli bir modele konu olması mümkün değildir. Aksi takdirde çözülecek problemde yoktur (Önder, 1986: 17).

Negatif Olmama Varsayımı:

$x_i \geq 0$

$i = 1,2,3,...,n$ şartının gerçekleşebilmesi için gerçek ve suni değişkenlerin değer alması gerekir (Ferguson, 1996: 4). Çünkü doğrusal programlama modelin çözümünde yer alan değişkenlerin negatif değer almasının bir anlamı yoktur (Analı, 1999: 13).

Bölünebilirlik Varsayımı:

Fonksiyonda yer alan faaliyetler en küçük birimlerle ifade edilebilir bir karakter arz etmeli, yani bölünebilir olmalıdır. Bu varsayım çerçevesinde, karar değişkenleri tamsayılı değerlerin yanında kesirli değerler de alabilmekte, kıt kaynaklar kesirli miktarlarda kullanılabilmektedir (Analı, 1999: 13).

1.6. DUAL PROBLEMİN TANIMI

Doğrusal programlamanın en önemli iki konusu, duality (eşleklik) ve duyarlılık analizidir. Her doğrusal programlama probleminin ilişkili olduğu bir ikiz problemi vardır. Asıl doğrusal programlama problemi, primal problem olurken; diğerine yani ikizine dual problem adı verilir. Bu iki problem arasındaki ilişkiler, güçlü duality özelliği gösterirse, birinin optimal çözümü diğerinin de optimal çözümüdür (Öztürk, 2004: 201).

Doğrusal programlama teorisi, formüle edilen her problemin gerçekte primal ve dual olarak adlandırılan iki problem olduğunu ifade eder. Belirli bir doğrusal programlama problemi formüle edilirse, aynı verileri kullanan fakat dual problem olarak adlandırılan diğer doğrusal programlama problemine ulaşılır.

Genelde, bu iki problemden hangisinin primal ve hangisinin dual olarak adlandırılmasının fazla önemi yoktur. Çünkü doğrusal programlamadaki simetri özelliği nedeniyle dual problemin duali primal problemidir (Öztürk, 2004: 201).

Diğer bir değişle; her maksimizasyon modeline karşılık gelen bir minimizasyon modeli vardır ve bu modellerin her ikisinin de amaç fonksiyonlarının optimum değerleri eşittir. Aynı şekilde, her minimizasyon modeline karşılık gelen bir maksimizasyon modeli vardır ve bunların da amaç fonksiyonlarının optimum değerleri eşittir. İlk ele alınan modele primal model (veya kısaca primal), buna karşılık gelen modele de dual model (veya kısaca dual) denir.

Primal Problem:

Maximum $z = \sum_{j=1}^{N} c_j x_j$

Kısıtlayıcılar:

$\sum_{j=1}^{N} a_{ij} x_j \leq b_i \qquad \dot{I} = 1,2,...,M$

$J = 1,2,...,N$

ve

$x_j \geq 0$

Dual Problem:

Minimum $y_0 = \sum_{i=1}^{M} b_i y_i$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{i=1}^{M} a_{ij} y_i \geq c_j \quad J = 1,2,...,N$$

ve

$$y_i \geq 0 \qquad İ = 1,2,...,M$$

Yukarıda görüldüğü üzere, dual problem farklı yerlerde primal problemin tamamen aynı parametreleri kullanır. Kıyaslamanın önemini belirtmek için her iki problemi matris simgeleriyle gösterilsin. Matriste, $c = [c_1, c_2,..., c_N]$ ve

$y = [y_1, y_2,..., y_m]$ satır vektörü,

$b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_M \end{bmatrix}$ ve $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix}$ sütun vektörüdür.

Primal Problem:

$Max \; c = cx$

Kısıtlayıcılar:

$Ax \leq b$

ve

$x \geq 0$

Dual Problem:

Minimum $y_0 = yb$

Kısıtlayıcılar:

$yA \geq c$

ve

$y \geq 0$

Minimizasyon problem yukarıdaki dual probleme benzer ki, onun amaç fonksiyonu minimum, tüm kısıtlayıcıları $\geq$ yönde ve tüm değişkenleri ≥ 0 'dır.

1.7. PRİMAL VE DUAL ÇÖZÜMLER ARASINDAKİ İLİŞKİ

Maksimum primal problemi dual problem haline dönüştürüldüğünde ortaya çıkan ilişkiler şu şekilde özetlenebilir:

- Primal problem maksimum olduğunda onun dual problemi minimumdur.
- Kısıtlayıcıların yönü $(\leq)$ olan maksimum primal problemin dualinin kısıtlayıcıları ise "$\geq$"'dır. Bir anlamda primal değişkenler ≥ 0 ise ona karşılık gelen dual kısıtlayıcılarda "$\geq$" olur. Primal problemin kısıtlayıcıları $\leq$ yönde ise ona karşılık gelen dual değişkenlerin değeri ≥ 0 'dır.
- Minimum dual problemin dual değişkenlerinin (y_i) amaç kısıtlayıcıları, primal problemin kaynakları (sağ taraf parametreleri $b_1, b_2, ..., b_M$) olmaktadır.
- Minimum dual problemin kısıtlayıcı eşitsizliklerinin sağ tarafındaki parametreler, primal problemin birim kar katsayılarıdır.
- Dual problemde kısıtlayıcının katsayıları, primal problemin kısıtlayıcı katsayılarının sadece dönüşüme uğramış halidir. Yani, primal problemin ksıtlayıcı katsayılarını $[A]$ matrisi ile ifade edildiğinde, dual problemin kısıtlayıcı matrisi $[A']$ olmaktadır.

Örneğin;

$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$ ise

$[A'] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{12} & a_{22} \\ a_{13} & a_{23} \end{bmatrix}$ olur.

Burada, primal problemin kısıtlayıcılarının sol tarafındaki satır katsayıları, dual problemin kısıtlayıcı sütun katsayıları olur.

- Dual değişkenlerin sayısı, primal problemin kısıtlayıcı denklem sayısına eşittir.
- Dual problemin kısıtlayıcı sayısı ise primal problemin değişken sayısına eşittir.
- Her iki problemde yer alan değişkenler pozitif değerlidir.

1.8. DUYARLILIK ANALİZİ

Duyarlılık analizi, diğer bütün parametrelerin değerleri sabit tutulurken sadece bir parametrenin değerinin değişmesi esasına dayanır (Özgüven, 2003: 150).

İşletmecilikle uğraşanlar, katsayıların daima belirli olmayacağını söyleyebilirler. Bu ayrımda katsayıların değişim aralıklarını bulmaya çalışmaktadır ve bu işleme duyarlılık analizleri denir (Hallaç, 1983: 399).

Diğer bir değişle; doğrusal programlamanın optimum çözümü, modelin formüle edildiği andaki koşulların fotoğrafını verir. Gerçek hayatta karar ortamları ender olarak statik yapıda olur. Bunun içindir ki, doğrusal programlamanın, model parametrelerindeki değişimlerin etkisiyle optimum çözümde oluşacak değişimleri belirleme yeteneğiyle donatılmış olması gerekir. İşte bu işlemler "duyarlılık analizi" adını alır. Duyarlılık analizi, optimum çözümün dinamik davranışları üzerinde durulmasını sağlayan etkin bir hesaplama yöntemidir.

Bir doğrusal programlama problemi için verilmiş optimum çözümün, sağ taraf sabitlerinde, katsayılar matrisinde veya maliyet (fiyat) ya da kar sabitlerinde meydana gelecek değişimleri de dikkate alarak incelenmesi gerekebilir. Bu gereksinimlerin sebebi şöyle sıralanabilir:

- Yöneticiler, sadece optimum çözümle ilgilenmez, aynı zamanda sınırlayıcı koşullarda, fiyat veya maliyetlerde yahut kaynakların her mamulün birimi başına harcanan miktarlarında meydana gelecek değişimler sonunda ne olacağını da bilmek isterler.
- Yine yöneticiler, sabitler için yapılmış değişik kabullere göre optimum çözümlerin ne olacağını bilmek isterler.
- Sabitler için yapılmış olan kabullerin bir an için en iyi olduğunu kabul edilsin. Bu kez yöneticiler, öbür kabullerde yapılmış olabilecek hataların etkilerini değerlendirmek isterler.

Bütün bunlarla ilgili çalışmalar "duyarlılık analizi" adı altında yapılır (Tulunay, 1991: 407).

İKİNCİ BÖLÜM

ULAŞTIRMA MODELİ

2.1 DOĞRUSAL PROGRAMLAMANIN ÖZEL BİR HALİ OLAN ULAŞTIRMA MODELLERİNİN TANIMI, AMACI VE KULLANIM ALANLARI

Ulaştırma modeli, doğrusal programlamanın her zaman en çok ilgiyi gören ve uygulama alanı bulan alt başlığı olmuştur (Sipahioğlu, 1990: 63).

Ulaştırma modeli, ekonomik faaliyetler içerisinde yer aldığından dolayı bu faaliyetlerde tasarrufa büyük önem verilmelidir. İster sivil, ister askeri sektör açısından olsun bu geçerlidir (Güner ve Işık, 2003: 43).

Doğrusal programlamanın özel bir durumu olan ulaştırma modeli, üretim merkezlerindeki ürünlerin tüketim merkezlerine ulaştırmanın toplam maliyetini minimum yapan optimal ulaştırma (dağıtım) programını belirlemeyi amaçlar (Arıkanlı ve Ulubaş, 2004: 208). Bu modelin parametreleri, birim maliyetler, talep ve arz değerleridir (Chanas ve Kuchta, 1998: 291).

Başka bir ifadeyle; birden fazla sunum noktasından yine birden fazla istem noktasına taşıma söz konusu olduğunda, taşıma maliyetlerini en küçükleyecek taşıma güzergahının belirlenmesi “ulaştırma problemi” olarak tanımlanmaktadır. Ulaştırma probleminin çözümü yoluyla, sunum ve istem kısıtlayıcı ve özelliklerine uyacak şekilde hangi sunum merkezinden, hangi istem merkezine ne kadar taşıma yapılacağı belirlenir (Cengiz, 1985: 366).

Doğrusal programlamanın özel bir hali olan ulaştırma modeli simpleks yöntemi ile de çözülebilir. Fakat ulaştırma problemleri kendine özgü teknikleri ile çözümü simpleks çözümü ile karşılaştığında, ulaştırma modellerinin (Kotaman, 1998: 3);

- Hesaplama zamanı simpleks'e göre 100-150 kez daha hızlı,
- Bilgisayar destekli çözümlerde simpleks yöntemine göre daha az yer kaplayan ve çok geniş problemlerin çözümüne olanak sağlayan,
- Tamsayılı sonuçlar üreten bir model olduğu görülür.

Ulaştırma modelinde amaç; bir taraftan depoların talep gereksinimleri ile üretim merkezlerinin arz miktarlarında denge sağlarken, diğer taraftan da her bir üretim merkezinden her bir depoya yapılan taşımaların toplam maliyetini minimum kılacak şekilde taşıma miktarının belirlenmesidir.

Ancak, ulaştırma modeli sadece ürün taşımacılığını ilgilendiren bir problem değildir (Altıparmak ve Karaoğlan, 2005: 443).

L.R. Ford ve D.R. Fulkerson tarafından nakliye problemine ve daha genel olarak maliyet akışını da minimize etmek için ulaştırma modeli uygulanmıştır (Ford ve Fulkerson, 1962: 194).

Doğrusal programlamanın özel bir hali olan ulaştırma modeli, tarımsal arazilerin düzenlenmesi projelerinde kullanılabilir (Banger ve Şişman, 2000: 82).

Ulaştırma modeli aşağıdaki alanlarda sıkça kullanılabilir:

- İşlerin makinelere dağıtımı,

Nicelik analizi eşyaların fiziksel dağıtımı harici birçok problem için kullanılmıştır. Örneğin, bir organizasyon içinde çalışanları belirli işlere en verimli şekilde yerleştirmek için kullanılmıştır. Bu uygulamaya bazen tahsis problemi de denilmektedir (Reeb ve Leavengood, 2002: 23).

- Üretim planlaması,
- Çeşitli şebeke ağı (network) problemleri,

Ağ problemlerinde önemli bir sonuç, S_i ve D_j tam sayı olmak şartıyla ulaştırma probleminin en az bir optimal çözümü için x_{ij} 'in tam sayı olduğudur.

- İşletmelerin kuruluş yeri seçimi,

Kuruluş yeri seçimine konu olan ulaştırma modelinde en önemli özellik ise; toplam arzın toplam talepten büyük olmasıdır. Eğer toplam arzın toplam talebe eşit olduğu bir model oluşturulursa kuruluş yeri belirlenmesinde değil de, optimum dağıtım sisteminin bulunmasında kullanılmalıdır (Akkök vd, 1999: 34).

- Üretim ve tüketim merkezleri arasında optimal mal dağıtımının belirlenmesi,

Ulaştırma problemi modeli üzerinde iyileştirmelere yapılarak elde edilen modelde, mevcut stoklar ve stok noktalarına gelecekteki satın alma miktarları birleştirilmektedir. Bu birleşik stok ve ulaştırma problemi, gelecekte az bulunma durumu olan bir stokun, çok bulunduğu bir dönemde bölgeden dışarıya taşınması engelleyecektir. Yine optimal bir dağılım planı belirlemek için sadece ulaştırma maliyeti kullanılmıştır (Jacobs, 2002: 24).

Bir pazarlama işlevi olarak fiziksel dağıtım; taşıma, stok bulundurma, depolama ve değişimlere ilişkin karar değişkenlerinden oluşur. Amaç maliyetleri en azaltmaktır. Sayılan özellikleri nedeniyle dağıtım kararlarında matematik model kullanımı geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Tenekecioğlu ve Kara, 1980: 51).

2.2. ULAŞTIRMA MODELİNİN TARİHÇESİ

Ulaştırma modeli konusunda ilk makale Rus Matematikçisi L.V. Kantorovich tarafından yazılmıştır (Tunçay, 2006:55). Bu makalede üretim miktarları farklı olan makinelere işlerin dağıtım problemi ile ulaştırma modeli arasındaki yakın ilgi anlatılmıştır. Dağıtım problemlerinin formülasyonu ve çözümünde matematik kavramlarının kullanılması 1941 yılında başlamıştır. Bu tarihte F.L. Hitchcock tarafından petrol endüstrisinde nakliyat ve dağıtım maliyetlerini minimize etmek için “Ürünün Birkaç Üretim Merkezinden, Birçok Tüketim Merkezine Dağıtımı” adı altında bir eserle yayımlanmıştır (Soylu, 1997: 2). Bu çalışmayı 1947 yılında T.C. Koopmans’ın Hitchcock’tan habersiz olarak yayınladığı “Ulaştırma Sisteminin Optimum Kullanılması” adlı makalesi izlemiştir.

Ulaştırma modeli alanında büyük önem taşıyan çalışmalar birkaç yıl sonra ileri matematik bilgisine sahip olanların anlayabileceği şekle dönüşmüştür. 1953 yılında A. Charnes ve W.W. Cooper, "Kuzeybatı Köşe Yöntemi ve Atlama Taşı Metodu"nu geliştirmişlerdir (Charnes ve Cooper, 1961: 57). 1954 yılında A. Henderson ve R.Schlaifer, yönteme bazı düzeltmeler getirmiş ve 1955 yılında R.O. Ferguson tarafından "Basitleştirilmiş Dağıtım Yöntemi MODI" geliştirilmiştir. Aynı yıl, W.R. Vogel tarafından "Vogel Yaklaşım Yöntemi – VAM (Vogel's Approximation Method)" geliştirilmiş, 1963 yılında G.B. Dantzing, modelin dejenerayon durumları ve dejenerasyon durumunun ortadan kaldırılmasına ilişkin çözümleri ortaya koymuştur (Render ve Stair, 1992: 212). En son olarak da Russell tarafından geliştirilen RAM Yöntemi (Russell's Approximation Method) uygulamada kullanılmaya başlamıştır (Tekin, 1991: 81).

1955'lerden sonra H.W. Kuhn, B.A. Goller, L.R. Ford, M.L. Vidale, M.M. Flood, P.S. Dwyer gibi matematikçi ve iktisatçılar problemlerin çözümüne elverişli teknikler ve çözüm yöntemleri geliştirmişlerdir (Kuhn and Tucker, 1956: 15).

Yapılan literatür taramasında, ulaştırma problemleriyle ilgili olarak; Chen ve Wang (1997: 592-610), Balakrishnan, Natarajan, and Pangburn (2000: 297-316), Ergülen (2005: 325-342), Ulucan ve Tarım (1997: 190-197), taşımada maliyet minimizasyonu çalışmaları yapmıştır. Ayrıca Tunçbilek (2003), verimli taşımacılık yolu demir yolu çalışmasını yapmıştır (Ergülen vd, 2005: 164). Ergülen, Kazan ve Kaplan (2005), taşıma maliyetlerinin minimizasyonu için işletme maliyetlerini optimize etmişlerdir. Farklı olarak dağıtım problemleri Özel (2000: 141-145) tarafından matris denklemlerinin iki indisli düzlemsel dağıtım problemine uygulaması olarak ele alınmış, problemin matris denklemleri cinsinden formülasyonu yapılmıştır (Şafak, 2000: 107-112).

2.3. ULAŞTIRMA MODELİNDE KABUL EDİLEN VARSAYIMLAR

Genel Varsayımlar

Ulaştırma modeli bir tür doğrusal programlama modeli olması nedeniyle doğrusal programlama modeli için benimsenen kuralların tümü ulaştırma modeli için de geçerlidir (Özkan, 2003: 162).

<u>*Doğrusallık varsayımı:*</u>

Ulaştırma modeli, nakliye masrafının nakledilen birim sayısı ile doğru orantılı olduğunu varsayar.

Doğrusal programlamada faaliyet unsurları ile sistemin çıktıları arasındaki ilişkiler doğrusaldır, başka bir ifade ile eğer çıktı miktarı iki misline çıkarılmak istenirse faaliyet unsurlarının miktarını da iki misline çıkarmak gerekmektedir.

<u>*Negatif olmama (non-negativity) varsayımı:*</u>

Doğrusal programlama modelinin çözümünde yer alan değişkenlerin eksi değer almasının uygulama da bir anlamı olmadığından, gerçek (real), gevşek (slack) ve suni (artifical) değişkenlerin negatif değer almama şartı konur.

<u>*Toplanabilirlik (addivity) varsayımı:*</u>

Bir sistemin toplam çıktısı, teker teker faaliyetlerin çıktılarına eşitse sistemin toplanabilirlik özelliğinin olduğu kabul edilir.

<u>*Amaç fonksiyonunun doğrusal olduğu varsayımı:*</u>

Ulaştırma modeli, ulaştırma maliyetlerinin minimizasyonunda kullanılan matematiksel bir tekniktir (Ertuğrul ve Aytaç, 2006: 1).

Projelenen bir doğrusal programlamayı uygulayabilmek için her şeyden önce ulaşılmak istenen amacın, maliyetlerin minimize ya da karın maksimize edilmesi gibi ifade edilmesi gerekir. Ayrıca amaç fonksiyonundaki x_i 'ler birinci dereceden olmalı ve katsayıları c_i 'lerde birer sabit olarak yazılabilmelidir. Bu takdirde,

$Z_{\max} = c_1x_1 + c_2x_2 + ... + c_nx_n$ ya da (min) şeklinde amaç fonksiyonu olarak yazılabilecektir.

Ulaştırma Modeline Özgü Varsayımlar ve Matematiksel Olarak Gösterilmesi

Ulaştırma modeline uygun varsayımlar ise şunlardır (Tor, 1991: 46);

a) Bütün faaliyet düzeylerinin aynı mal birimi ile ifade edilmesi yani, malın homojen olması gerekir.

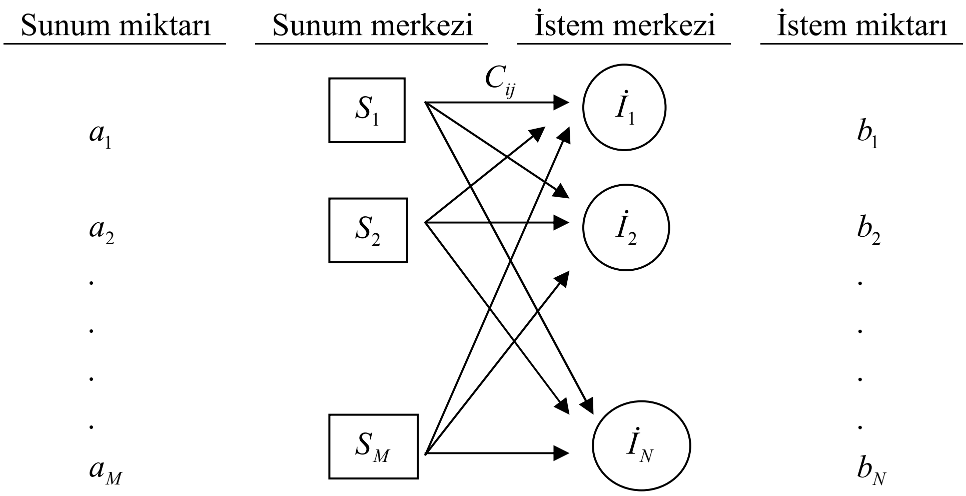
b) Üretim merkezlerinin toplam kapasiteleri ile boşaltma yerlerinin toplam taleplerinin birbirine eşit olması gerekir.

c) Üretim merkezlerinin ve boşaltma yerlerinin kendi aralarında ya da boşaltma yerlerinden üretim merkezlerine taşıma işleminin olmaması,

d) Kısıtlayıcı fonksiyonlar kümesinde yer alan karar değişkenlerinin katsayılarının bir veya sıfır olması veya buna indirgenmesi gerekir.

2.4. ULAŞTIRMA MODELİNİN MATEMATİKSEL OLARAK GÖSTERİLMESİ

Bu varsayımlar altında (M) sunum merkezine ve (N) istem merkezine sahip bir ulaştırma problemi Şekil 2.1.'de şema olarak gösterilmiştir



Şekil 2.1. Sunum-İstem şeması

Ulaştırma modelinin matematiksel olarak ifadesi pratik açıdan gerekli olmamakla birlikte kantitatif bir model yapmak ve genel yapının öğrenilmesi bakımından matematiksel biçime sokmak gerekir.

Ulaştırma problemi doğrusal programlama problemi gibi ifade edilir. Üç unsurdan oluşur. Bunlar (Kabak, 2000: 7);

1) Amaç fonksiyonu

2) Kısıtlayıcı fonksiyonlar

a) Sunum kısıtlayıcıları

b) İstem kısıtlayıcıları

3) Pozitiflik koşulu

Amaç fonksiyonu:

Modelde hedeflenen amaç ve bu amacı etkileyen faktörlerin matematiksel biçimde ifade edildiği doğrusal bir fonksiyondur. Ulaştırma modelinde amaç fonksiyonu genelde maliyet minimizasyonu veya karın maksimizasyonu şeklinde olur.

$$Z = c_{11}.x_{11} + c_{12}.x_{12} + ... + c_{1N}.x_{1N}$$

$$+ c_{21}.x_{21} + c_{22}.x_{22} + ... + c_{2N}.x_{2N}$$

$$\dots$$

$$c_{M1}.x_{M1} + c_{M2}.x_{M2} + ... + c_{MN}.x_{MN}$$

Kısıtlayıcı fonksiyonu:

a) Sunum kısıtlayıcıları: Üretim merkezinden tüketim merkezine gönderilecek ürün miktarı, üretim kapasitesinin sağlayabileceği miktarlar içinde olmalıdır. Bu kısıtlara sunum kısıtları denir.

$$x_{11} + x_{12} + ... + x_{1N} = a_1$$

$$x_{21} + x_{22} + ... + x_{2N} = a_2$$

$$\dots$$

$$x_{M1} + x_{M2} + ... + x_{MN} = a_M$$

b) İstem kısıtlayıcıları: Her tüketim merkezinin ihtiyacı karşılanmalıdır. Bu kısıtlara, istem kısıtları denir.

$$x_{11} + x_{21} + ... + x_{N1} = b_1$$

$$x_{12} + x_{22} + ... + x_{M2} = b_2$$

$$\dots$$

$$x_{1N} + x_{2N} + ... + x_{MN} = b_N$$

Pozitiflik koşulu:

Üretim merkezinden tüketim merkezlerine bir sunum yapıldığı veya yapılmadığı (karar değişkeni sıfıra eşit) durumlarda da karar değişkenleri negatif değer alamaz.

$$x_{IJ} > 0$$

Ulaştırma probleminin genel matematik modeli şöyledir:

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{\min} = \sum_{I=1}^{M} \sum_{J=1}^{N} c_{IJ} . x_{IJ} (i = 1,2,...M_{I} J = 1,2,...N)$$ (Nagi, 1998: 8).

Kısıtlar:

a) Sunum kısıtları:

$\sum_{I=1}^{M} x_{IJ} = a_T$ $\quad \dot{I} = 1,2,...M$ olmak üzere (a) Sunum miktarı

b) İstem kısıtları:

$\sum_{J=1}^{N} x_{IJ} = b_T$ $\quad j = 1,2,...N$ olmak üzere (b) İstem miktarı

$$\sum_{J=1}^{N} x_{\dot{I}J} = b_T = \sum_{\dot{I}=1}^{M} x_{IJ} = a_T$$

Pozitiflik koşulu: $x_{IJ} \geq 0$

Modelde geçen matematiksel kavramların tanımları şöyledir:

Z = Toplam sistem maliyeti

$c_{\dot{I}J}$ = Bir birim malın ulaştırma maliyeti

$x_{\dot{I}J}$ = $(\dot{I}J)$ hücresine dağıtılan miktar

N = Sunum merkezi miktarı

M = İstem merkezi miktarı

a_T = Toplam sunum miktarı

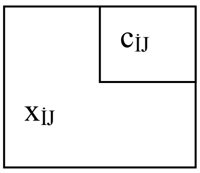
b_T = Toplam istem miktarı

Ulaştırma problemlerinin standart gösterimi ulaştırma tablosu ile olur (Winston, 1994).

Ulaştırma tablosu (Tablo 2.1) modelin kendisine has algoritmasının kullanımına olanak sağlamaktadır.

Tablo 2.1. Ulaştırma tablosu

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	**1**	**…**	**J**	**…**	**N**	**Sunum miktarı**
1	x_{11} c_{11}	… …	x_{1J} c_{1J}	… …	x_{1N} c_{1N}	a_1
…	… …	… …	… …	… …	… …	**…**
İ	$x_{\dot{I}1}$ $c_{\dot{I}1}$	… …	$x_{\dot{I}J}$ $c_{\dot{I}J}$	… …	$x_{\dot{I}N}$ $c_{\dot{I}N}$	$a_{\dot{I}}$
…	… …	… …	… …	… …	… …	**…**
M	x_{M1} c_{M1}	… …	x_{MJ} c_{MJ}	… …	x_{MN} c_{MN}	a_M
İstem Miktarı	b_1	…	b_J	…	b_N	$a_T = b_T$



Tabloda bulunan her özel kutucuğa "göze veya hücre" ismi verilir. Her hücre (İ)'inci sunum merkezinden, (J)'inci istem merkezine ulaştırılacak $x_{\dot{I}J}$ miktarına ve bir birim malın ulaştırma maliyeti (İJ'ye sahiptir) (Kotaman, 1998: 7).

2.5. DENGELİ VE DENGESİZ ULAŞTIRMA MODELLERİ

Ulaştırma problemi, yöneylem araştırmasında iyi bilinen bir optimizasyon problemidir (Liu ve Yang, 2007: 879).

Genel ulaştırma modellerinde, tüm üretim merkezlerinde üretilen ürünlerin toplam sunumu, tüketim merkezlerinin toplam istemine eşit olduğu kabul edilir. Bu durumda ulaştırma modeli dengelenmiş olur.

$$\sum_{i=1}^{M} a_{\dot{I}} = \sum_{j=1}^{N} b_J \quad \text{(Singh, 2004: 7)}$$

Gerçek uygulamalı problemlerde bu dengelenmiş durum olmayabilir. Bu durum iki türlü olarak ortaya çıkar.

- Toplam sunum miktarının, toplam istem miktarından büyük olduğu durumlar:

$$\sum_{J=1}^{N} x_{\dot{I}J} = b_T < \sum_{\dot{I}=1}^{M} x_{\dot{I}J} = a_T$$

Bu tip problemlerde toplam sunum miktarı, toplam istem miktarından fazla ise, fazla olan miktarın tüketimi için bütün birim taşıma maliyetleri "sıfır" olan yapay (kukla) bir istem merkezi yaratılır. Bu istem merkezinin istem miktarı arasındaki fark alınarak belirlenir ve ulaştırma tablosunun en sağına sütun olarak eklenir. Bu durum Tablo 2.2'de görülmektedir.

Tablo 2.2. Sunum miktarının, istem miktarından büyük olduğu ulaştırma tablosu

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	**1**	**…**	**J**	**…**	**N**	**Yapay İstem merkezi**	**Sunum miktarı**
1	c_{11}	…	c_{1J}	…	c_{1N}	0	a_1
…	…	…	…	…	…	0	…
İ	$c_{\dot{I}1}$	…	$c_{\dot{I}J}$	…	$c_{\dot{I}N}$	0	$a_{\dot{I}}$
…	…	…	…	…	…	0	…
M	c_{M1}	…	c_{MJ}	…	c_{MN}	0	a_M
İstem miktarı	b_1	…	b_J	…	b_N	$a_T * b_T$	$a_T = b_T$

- Toplam sunum miktarının, toplam istem miktarından küçük olduğu durumlar:

$$\sum_{J=1}^{N} x_{İJ} = b_T > \sum_{İ=1}^{M} x_{İJ} = a_T$$

Problemi dengelemek için sisteme, bütün birim taşıma maliyetleri "sıfır" olan yapay (kukla) bir sunum merkezi kurulur. Bu sunum merkezinin sunum miktarı da, toplam sunum ve istem miktarları arasındaki fark bulunarak belirlenir. Ulaştırma tablosunun en altında, satır olarak eklenir. Bu durum Tablo 2.3'te görülmektedir.

Probleme simpleks yöntemi uygulanırsa problemi dengelemeye gerek yoktur.

Tablo 2.3. Sunum miktarının istem miktarından küçük olduğu ulaştırma tablosu

İstem merkezi / Sunum merkezi	**1**	**…**	**J**	**…**	**N**	**Sunum miktarı**
1	c_{11}	…	c_{1J}	…	c_{1N}	a_1
…	…	…	…	…	…	**…**
İ	$c_{İ1}$	…	$c_{İJ}$	…	$c_{İN}$	$a_İ$
…	…	…	…	…	…	**…**
M	c_{M1}	…	c_{MJ}	…	c_{MN}	a_M
Yapay Sunum Merkezi	0	0	0	0	0	$b_T - a_T$
İstem Miktarı	b_1	…	b_J	…	b_N	$a_T = b_T$

2.6. ULAŞTIRMA MODELİNDE BAŞLANGIÇ ÇÖZÜMÜ BULMAK İÇİN GELİŞTİRİLEN GENEL TEKNİKLER

Ulaştırma problemlerinin çözüm yöntemlerinde ve değerlendirilmesinde kullanılan bazı temel kavramlar vardır.

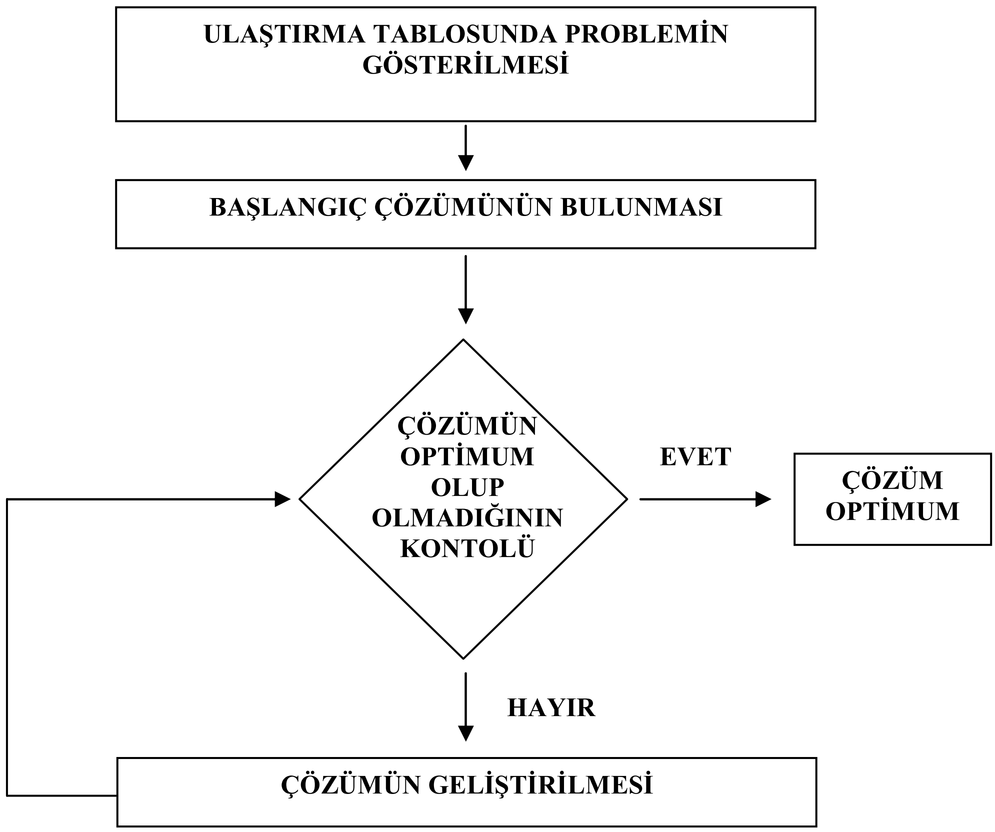
Kavramların tanımları şöyledir (Kabak, 2000: 11):

- Ulaştırma modelinde istem sunum kısıtlarını sağlayan herhangi bir $x = x_{11},\ x_{12},..., x_{MN}\ (\dot{I} = 1,2,3,..., N_{\dot{I}J} = 1,2,3,..., N)$ vektörüne "çözüm" denir.
- Çözüm, istem ve sunum kısıtları ile birlikte pozitiflik koşulunu da sağlıyorsa " kabul edilebilir" bir çözümdür.
- Eğer kabul edilebilir çözümdeki temel değişken (değer alan karar değişkeni) sayısı $(M + N - 1)$'e eşitse, çözüm "temel kabul edilebilir" çözümdür.
- En iyi çözüm ise, temel kabul edilebilir çözümler arasında amaç fonksiyonunu en iyileyen çözümdür.

Ulaştırma probleminin çözümünde genel olarak aşağıda belirtilen dört aşama uygulanır (Özgen, 1976: 62) (Tablo 2.4):

- Çözülmesi istenen sonuçlara ilişkin verilerin "başlangıç tablosu" ile gösterilmesi
- "Temel uygun çözümün" elde edilebilmesi için satır ve sütun gereklerini birer sınırlayıcı koşul sayarak gerekli dağıtım işleminin yapılması
- En uygun çözümün elde edilip edilmediğinin saptanması
- En uygun çözüm elde edilinceye kadar ardışık işlemlere devam edilmesi.

Tablo 2. 4. Ulaştırma modelinin algoritması



Ulaştırma problemleri, ulaşım simpleks yönteminin bir uygulamasını kullanarak çözümlenir (Bjorkman vd, 1999: 3).

Ulaştırma modelinde kabul edilen varsayımların basitleştirici özelliklerinden faydalanarak, simplekse nazaran çözüm prosedürünü basitleştirici özel çözüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu, çözüm tekniklerinin kullanılması zaman ve emekte tasarruf sağlayacaktır. Ancak ulaştırma modeliyle ilgili varsayımlar, doğrusal programlama ile ilgili varsayımlardan daha sınırlayıcı olduğu için bütün ulaştırma problemlerini simpleks ile çözümlemek mümkün olduğu halde, simpleks ile çözümlenen her doğrusal programlama problemini ulaştırma modeli çözüm teknikleriyle çözümleme mümkün değildir.

Ulaştırma problemlerinin çözümünde modele $M+N$ miktarı kadar değişken eklemek gerekir. Bu çözüm için gereksiz zaman ve maliyet talep eder. Bu sebeple ulaştırma problemlerinin çözümü için daha etkili yöntemler geliştirilmiştir (Hallaç, 1978: 554). Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

- Kuzeybatı köşe yöntemi
- En düşük maliyetli gözeler yöntemi
- Vogel'in yaklaşım yöntemi (VAM Yöntemi)
- Russell'in yaklaşım yöntemi (RAM Yöntemi)

Kuzeybatı Köşe Yöntemi (Nortwest Corner Rule)

G.B. Dantzig tarafından teklif edilen ve A. Charnes ile W.W.Cooper tarafından isimlendirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem başlangıç tablosunun sol üst köşesinden başlayarak gerekli miktarların (pozitif değerlerin) tablodaki gözelere nasıl dağıtılacağını göstermektedir. Bu dağıtım işleminde, tablonun satır ve sütunlarına ilişkin sınırlayıcı koşullar göz önünde bulundurularak gerekli miktarlar yerleştirilmektedir (Hiller ve Lieberman, 1970: 180).

Bu yöntemde dağıtım, maksimize veya minimize edilerek amaç fonksiyonu ile ilgili kârlar veya maliyetler göz önüne alınmadan planlanır.

Arz ve talep baskısına tabi olarak üst sol köşedeki hücreye mümkün olduğunca çok tahsis edilir. Sonraki bitişik makul hücreye mümkün olduğunca çok tahsis edilir ve 2.adım tüm kenar gereksinimleri karşılanana kadar tekrarlanır (www.baskent.edu.tr-/~kilter).

Yöntemin çözümüne ulaşmakta izlediği basamaklar sırasıyla şöyledir (Hallaç, 1983: 431).

1) Problem ulaştırma tablosunda gösterilir.

2) Tablonun sol üst köşesindeki hücre dağıtım için seçilir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5. Kuzeybatı köşe yöntemi -1-

İstem merkezi / Sunum merkezi	1	…	J	…	N	Sunum miktarı
1	c_{11}	$\dots$	c_{1J}	$\dots$	c_{1N}	a_1
…	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	…
İ	$c_{İ1}$	$\dots$	$c_{İJ}$	$\dots$	$c_{İN}$	$a_İ$
…	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	…
M	c_{M1}	$\dots$	c_{MJ}	$\dots$	c_{MN}	a_M
İstem miktarı	b_1	$\dots$	b_J	$\dots$	b_N	$a_T = b_T$

3) Seçilen hücrenin;

a) İlgili sunum miktarı, istem miktarından büyükse, istem miktarının tamamı hücreye atanır. Doyurulmuş olan sütun ikinci dağıtım planı için tablodan çıkarılır ve dağıtım için x_{12} hücresi seçilir (Tablo 2.6).

Tablo 2.6. Kuzeybatı köşe yöntemi -2-

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	**1**	**…**	**J**	**…**	**N**	**Sunum miktarı**
1	c_{11} b_1	…	c_{1J}	…	c_{1N}	a_1
…	… 0	…	…	…	…	**…**
İ	$c_{\dot{I}1}$ 0	…	$c_{\dot{I}J}$	…	$c_{\dot{I}N}$	$a_{\dot{I}}$
…	… 0	…	…	…	…	**…**
M	c_{M1} 0	…	c_{MJ}	…	c_{MN}	a_M
İstem miktarı	0	…	b_J	…	b_N	$a_T = b_T$

b) İstem miktarı, sunum miktarından büyük ise sunum miktarı olduğu gibi hücreye atanır. Doyurulmuş ve dağıtım için x_{21} hücresi seçilir (Tablo 2.7).

Tablo 2. 7. Kuzeybatı köşe yöntemi -3-

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	**1**	**…**	**J**	**…**	**N**	**Sunum miktarı**
1	c_{11} a_1	…	c_{1J}	…	c_{1N}	a_1
…	…	…	…	…	…	**…**
İ	$c_{\dot{I}1}$	…	$c_{\dot{I}J}$	…	$c_{\dot{I}N}$	$a_{\dot{I}}$
…	…	…	…	…	…	**…**
M	c_{M1}	…	c_{MJ}	…	c_{MN}	a_M
İstem miktarı	$b_1 - a_1$	…	b_J	…	b_N	$a_T = b_T$

4) Bütün sunum ve istem miktarları tamamen duyurulana kadar ardışık işlemlere devam edilir.

En Düşük Maliyetli Gözeler Yöntemi

Kuzeybatı Köşe yöntemi maliyetleri göz önüne almadığından başlangıç temel olurlu çözüm, maliyeti yüksek olan bir çözüm olabilir ve en iyi çözümün bulunması için çok sayıda işlem gerekebilir. Bu durumla karşılaşmamak için kullanılabilecek olan en düşük maliyet yönteminde en düşük taşıma maliyeti olan hücreye atama yapılır (www.ilkertopcu.net).

En düşük maliyetli gözeler yöntemi ile kuzeybatı köşe yöntemi arasındaki tek fark, giriş değişkenlerinin seçimindedir. Burada, strateji diğer kalan tüm hücreler arasında en küçük c_{ij} değerine sahip olan hücreyi, giriş hücresi olarak seçmektir (Uchit, 2006: 14).

Diğer bir değişle; kuzeybatı köşe yönteminde olduğu gibi kuzeybatı kutusuyla başlamak yerine, en düşük birim maliyetli kutuya mümkün olduğunca fazla atama yapmak suretiyle başlangıç çözümü oluşturmaya başlanır (Heizer ve Render, 2004: 16).

Daha sonra arz ve talep miktarları ayarlanır ve yapacağı atama tamamlanan satır ya da sütun iptal edilir. Ardından, iptal edilmemiş kutular içinden en düşük maliyetlisi bulunur ve süreç bu şekilde iptal edilmeyen bir satır ya da sütun kalıncaya kadar tekrarlanır (Taha, 2000: 180). Yöntemin üç yaklaşımı vardır:

- Satır Yaklaşımı
- Sütun Yaklaşımı
- Genel Yaklaşım

<u>*Satır yaklaşımı:*</u>

Dağıtım işlemi ilk satırdan başlanıp aşağıya doğru satır ve sütun gereksinimleri dikkate alınarak her satırın en düşük maliyetli gözesine veya gözelerine mümkün olan en üst miktarlarda yapılır. Dağıtım yapılacak ürün (kalan veya başlangıçta olan) miktar itibariyle dağıtım maliyeti eşit olan birden fazla gözeye dağıtılabiliyorsa sütun numarası küçük olan tercih edilir. Sunum merkezinin ürünü tamamen dağıtılamadıysa, o satırdaki en düşük ikinci maliyetli gözeye dağıtım yapılır. Sunum merkezinin ürünleri tükenene kadar aynı işlem yapılır ve bir alt satıra geçilir. Her işlemde mutlaka satır ve sütun gereklerine dikkat edilmelidir (Kabak, 2000: 17).

Sütun yaklaşımı:

Bu yöntemde de tıpkı satır yaklaşımı gibi hareket edilir. Aradaki tek fark, birinci satır yerine birinci sütundan başlanmasıdır. Ayrıca ucuz maliyetli satır ve sütun yaklaşımlarıyla elde edilen başlangıç çözümleri aynı taşıma maliyetini vermeyebilir.

Genel yaklaşım:

Tablonun geneli düşünülerek, en az maliyetli hücrelere dağıtım yapılması esasına dayanır. Kesin olmamakla birlikte, diğer iki yaklaşıma göre daha iyi sonuçlar vermektedir (Doğan, 1995: 86-88).

Yaklaşımın çözümüne ulaşmak için takip ettiği basamaklar sırasıyla şöyledir:

- Genel tablodaki en az birim taşıma maliyetine sahip olan hücre dağıtım için seçilir. Seçim esnasında iki veya daha fazla en az maliyete sahip hücre varsa, en fazla dağıtım miktarını kabul edebilecek hücre seçilir. Eğer en az maliyete sahip hücrelerin birim taşıma maliyetleri ayrı ise herhangi biri seçilir.
- Seçilen hücreyle ilgili sunum ve istem miktarlarına uygun dağıtım yapılır.
- Doyurulan sunum merkezi (satır) veya istem merkezi (sütun), ikinci dağıtım için tablodan çıkarılır ve tablodaki en az maliyete sahip ikinci hücre dağıtım için seçilir.
- Sütun sunum ve istem miktarları tamamen doyurulana kadar ardışık işlemlere devam edilir.

Vogel Yaklaşım Yöntemi (VAM-Vogel's Approximation Method)

İngilizce adının baş harflerinin birleşmesinden doğan VAM metodu, William R. Vogel tarafından 1958'de ileri sürülmüştür. Vogel'in yaklaşım metodu, optimum çözüme en yakın başlangıç çözümünü vermektedir. Bu nedenle VAM metodu ile elde edilen başlangıç çözümü bazı hallerde yaklaşık bir optimum sonuç olarak kabul edilmekte olduğundan bu metoda "Vogel'in Yaklaşım Metodu" adı verilmektedir (Analı, 1999: 45).

Bu yöntemde en küçük maliyetli hedefe göndermeme cezası konu edilir. Bu ceza, her sütun ve satırdaki en küçük iki maliyet arasındaki farktır. Tüm sütunlar ve satırlar için cezalar bulunduktan sonra en büyük cezalı satır ya da sütun seçilerek bu satır ya da sütundaki sunum ya da isteme göre en küçük maliyetli hücreye gönderme gerçekleştirilir. En büyük ceza değeri aynı olan satır ya da sütun sayısı birden fazla ise en küçük maliyetli hücreye gönderme gerçekleştirilir (Gümüşoğlu ve Tüfek, 2000: 225).

Yöntemin çözüme ulaşmak için takip ettiği basamaklar sırasıyla şöyledir (Cook ve Russell, 1989: 207):

- Problem, ulaştırma tablosunda gösterilir.
- Tablodaki her satır ve sütun için en düşük maliyet ve sonraki en düşük maliyetler seçilir. Seçilen maliyetlerin birbirinden farkının mutlak değerleri alınarak, ilgili satır ve sütunların yanlarına yazılır. Bu durum Tablo 2.8'de görülmektedir.

Tablo 2.8. Vogel yaklaşım yöntemi -1-

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	**1**	**2**	**3**	**Sunum miktarı**	**Satır pişmanlık değerleri**	
1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	a_1	$\min_1 c_{1i} - \min_2 c_{1i}$	c'_{1i}
2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	a_2	$\min_1 c_{2i} - \min_2 c_{2i}$	c'_{2i}
3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3	$\min_1 c_{3i} - \min_2 c_{3i}$	c'_{3i}
İstem Miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_T = b_T$		
Sütun pişmanlık değeri	$\min_1 c_{J1} - \min_2 c_{J1}$	$\min_1 c_{J2} - \min_2 c_{J2}$	$\min_1 c_{J3} - \min_2 c_{J3}$			
	c'_{J1}	c'_{J2}	c'_{J3}			

- En büyük pişmanlık değerine sahip satır veya sütun seçilir. Bu seçim esnasında en büyük pişmanlık değerine sahip satır veya sütun değeri birden fazla olabilir. Bu durumda, en büyük pişmanlık değerlerine sahip olan satır ve sütunlardaki en küçük birim taşıma maliyetine sahip hücre dağıtım için seçilir.

- Yeni bir ulaştırma tablosu hazırlanarak, yeniden satır ve sütun pişmanlık değerleri hesaplanır. Bu durum Tablo 2.9'da görülmektedir.

Tablo 2.9. Vogel yaklaşım yöntemi -2-

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	**1**	**3**	**Sunum miktarı**	**Satır pişmanlık değerleri**	
1	c_{11}	c_{13}	a_1	$\min_1 c_{1\dot{I}} - \min_2 c_{1\dot{I}}$	$c'_{1\dot{I}}$
2	c_{21}	c_{23}	$a_2 = b_2$	$\min_1 c_{2\dot{I}} - \min_2 c_{2\dot{I}}$	$c'_{2\dot{I}}$
3	c_{31}	c_{33}	a_3	$\min_1 c_{3\dot{I}} - \min_2 c_{3\dot{I}}$	$c'_{3\dot{I}}$
İstem miktarı	b_1	b_3	$a_T = b_T$		
Sütun pişmanlık değeri	$\min_1 c_{J1} - \min_2 c_{J1}$	$\min_1 c_{J3} - \min_2 c_{J3}$			
	c'_{J1}	c'_{J3}			

- Satır ve sütun gereksinimleri tamamen doyurulana kadar ardışık işlemlere devam edilir.

Bu yöntemin zayıf tarafı ise, bazı dağıtım problemlerinde optimuma yakın bir çözüm sağlamasıdır. Bu durumda optimallik kontrolünün Kuzeybatı Köşe yöntemi ve MODI yöntemleri ile yapılması gerekmektedir (Daşdemir ve Güngör, 2002: 6).

Russell'in Yaklaşım Yöntemi (RAM)

En son olarak da Russell tarafından geliştirilen RAM Yöntemi (Russell's Approximation Method) uygulamada kullanılmaya başlamıştır (Tekin, 1991: 81).

Yöntem "sıra veya sütun en küçüğü" kullanım yöntemi olarak da adlandırılır (Öztürk, 1994: 126).

Vogel'in yaklaşım yöntemine benzer bir çözüm tekniği kullanılır. Yöntemin çözümüne ulaşmak için kullandığı basamaklar sırasıyla şöyledir:

- Problem, ulaştırma tablosunda gösterilir.
- Her satır veya sütuna ait en büyük birim taşıma maliyetleri seçilerek, tabloda satır ve sütun maksimumları olarak belirtilir. Bu durum Tablo 2.10'da görülmektedir.

Tablo 2.10. Russell'in yaklaşım yöntemi -1-

İstem merkezi / Sunum merkezi	1	2	3	Sunum miktarı	Satır maksimumları
1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	a_1	$\max c_{1İ}$
2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	a_2	$\max c_{2İ}$
3	c_{31}	c_{32}	C_{33}	a_3	$\max c_{3İ}$
İstem miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_T = b_T$	
Sütun pişmanlık değeri	$\max c_{J1}$	$\max c_{j2}$	$\max c_{j3}$		

- Boş bir tablo hazırlanarak, her hücrenin ilk tablodaki birim taşıma maliyeti, ilgili satır ve sütun maksimumlarının toplamından çıkarılarak, yeni birim taşıma maliyetleri olarak tabloya yerleştirilir. Yeni oluşturulan tablodaki en yüksek birim taşıma maliyetine sahip hücreye dağıtım yapılır. Bu durum Tablo 2.11'de görülmektedir.

Tablo 2.11. Russell'in yaklaşım yöntemi -2-

İstem merkezi / Sunum merkezi	1	2	3	Sunum miktarı
1	$\max c_{1i} + \max c_{J1} - c_{11} = c'_{11}$	$\max c_{1i} + \max c_{2} - c_{12} = c'_{12}$	$\max c_{1i} + \max c_{J3} - c_{13} = c'_{13}$	a_1
2	$\max c_{2i} + \max c_{J1} - c_{21} = c'_{21}$ a_2	$\max c_{2i} + \max c_{J2} - c_{22} = c'_{22}$ 0	$\max c_{2i} + \max c_{J3} - c_{23} = c'_{23}$ 0	**0**
3	$\max c_{3i} + \max c_{J1} - c_{31} = c'_{31}$	$\max c_{3i} + \max c_{J2} - c_{32} = c'_{32}$	$\max c_{3i} + \max c_{J3} - c_{33} = c'_{33}$	a_3
İstem miktarı	$b_1 - a_2$	b_2	b_3	$a_T = b_T$

- Gereksinimi doyurulmuş olan satır veya sütun tablodan çıkarılarak yeni bir tablo hazırlanır. Bu durum Tablo 2.12'de görülmektedir.

Tablo 2.12. Russell'in yaklaşım yöntemi -3-

İstem merkezi / Sunum merkezi	1	2	3	Sunum miktarı	Satır maksimumları
1	c'_{11}	c'_{12}	c'_{13}	a_1	$\max c_{1İ}$
3	c'_{31}	c'_{32}	c'_{33}	a_3	$\max c_{3İ}$
İstem miktarı	$b_1 - a_2$	b_2	b_3	$a_T = b_T$	
Sütun pişmanlık değeri	$\max c_{J1}$	$\max c_{j2}$	$\max c_{j3}$		

- Bütün satır ve sütun gereksinimleri doyurulana kadar ardışık işlemlere devam edilir.

2.7. BAŞLANGIÇ ÇÖZÜMÜNÜ OPTİMUMA ULAŞTIRAN TEKNİKLER

Başlangıç çözümleri oluşturacak başka pek çok yöntem bulunabilir. Bu yöntemin çözümleri açısından farklılıklar mevcuttur. Genelde iş ve kalite arasında mükemmel bir denge elde etmek zordur. Aslında bu çok da istenen bir şey olmayabilir, çünkü bir başlangıç çözümün üretilmesi, problemin çözümünde sadece ilk aşamadır. Diğer bir deyişle, en sonunda önemli olan bir problemi çözerken yapılan toplam iştir (Uchit, 2006: 15). Bu nedenle de, bu çalışmada diğer yöntemlerin detaylı bir incelemesi yapılmayacaktır.

Başlangıç çözümün geliştirilmiş çözümüne optimal çözüm denir (Cooray, 2007: 4).

Başlangıç dağıtımında kullanılmayan herhangi bir gözeye tahsisat yapılarak tasarruf sağlanıp sağlanmadığına bakılır. Sağlanan tasarruf, başlangıçtaki çözümün optimal olmadığını gösterir. Başlangıçta dağıtımda yer almayan bütün gözeler bu şekilde incelenir. Tasarruf sağlayacak dağıtım yerleri belirlenerek, dağıtımlar buralara yapılıp ve en düşük maliyetli dağıtım programına ulaşılır. Bunun için genellikle iki yöntem kullanılır:

- Atlama Taşı Yöntemi (Stepping-Stone)
- MODI Yöntemi (Modified Distribution)

Atlama Taşı Yöntemi (Stepping-Stone)

1954 yılında W.W. Cooper ve A. Charnes tarafından, Dantzig'in 1947 yılında geliştirdiği, basitleştirilmiş simpleks yöntemi üzerinde çalışmalar yapılarak geliştirilmiştir.

Başlangıç temel uygun çözümünden hareketle en iyi çözüme erişilmesinde kullanılan bu yöntemde temelde olmayan her değişken için temelde olan değişkenler kullanılarak bir yörünge çizilir. Yörünge çizilirken saat yönünde en kısa bir yol takip edilmesine dikkat edilmelidir (Hoşcan, 1988: 8).

Atlama taşı yönteminde, başlangıç uygun çözümde yer almayan temel olmayan değişkenlerden herhangi birine dağıtım yapıldığında, toplam taşıma maliyetindeki değişim miktarı hesaplanmaktadır.

Bu maliyetlerin hesaplaması için aşağıdaki adımlar izlenir (Karayalçın, 1993: 134):

- Gizli maliyeti hesaplanacak boş göze belirlenir.
- Gizli maliyeti hesaplanacak gözeden başlayıp, sadece yatay ve dikey doğrultularda ilerleyebilen, dolu gözelerde 90 derecelik dönüşler yapabilen, sonunda tekrar aynı boş gözeye gelen çevrimler yazılır (Çevrimin yönü sadece dolu gözelerde değişebilir).
- İşlem yapılırken seçilen boş gözenin maliyeti önüne (+), dönüş yapılan dolu gözelerin maliyetlerinin önüne sırasıyla (-), (+), (-) işaretleri konulur.
- Çevrime giren gözelere ait maliyetler $(c_{İJ})$, işaretleri dikkate alınarak toplanır. Bu işlem boş gözenin gizli maliyetini $(d_{İJ})$ verir. Gizli maliyet üç durumda olabilir:
  - $(d_{İJ}) > 0$ ise, boş gözenin doldurulması toplam maliyeti artırır, boş gözenin boş kalmasına karar verilir.
  - $(d_{İJ}) < 0$ ise, boş gözenin doldurulması toplam maliyeti azaltacağından boş göze, dolu hale getirilir. Gizli maliyet hesaplanırken dolaşılan gözelerdeki en az dağıtım miktarı olan optimum miktar çevrimde maliyetlerine (+) işaret konulan gözelere ilave edilir, maliyetlerine (-) işaret konulan gözelere eksiltilir. Böylece satır ve sütun toplam miktarı değişmemesi sağlanmış olur.
  - $(d_{İJ}) = 0$ ise, boş gözeye ürün dağıtımı maliyeti değişmeyecektir. Fakat bu durum dağıtım planı için alternatifler olduğunu gösterir.
- Her boş gözenin gizli maliyeti hesaplanmalıdır. Eğer bütün gizli maliyetler $(d_{İJ})$ sıfıra eşit veya büyükse çözüm, en iyi çözümdür. Kaç tane $d_{İJ}$ değeri sıfıra eşitse, o kadar alternatif dağıtım planı vardır. Bu planlarda maliyetler eşittir.
- Eğer gizli maliyetlerden $(d_{İJ})$ sıfırdan küçük olan varsa; dağıtım yapılacak göze, negatif maliyetlerinden mutlak değerce en büyük maliyete sahip gözedir.
- Bu gözeye dağıtım yapıldıktan sonra, yeni tabloda oluşan boş gözelerin gizli maliyetleri hesaplanır. İşlemler, boş gözelerin tamamının gizli maliyetleri sıfır veya daha büyük olana kadar devam ettirilir. Eğer alternatif dağıtım planları da

bulunacaksa, gizli maliyetleri sıfır olan gözelere de aynı işlemler yapılır. Bu durumda ulaşılan çözüm en iyi çözüm, maliyet de en düşük maliyet olur.

Atlama taşı yöntemi çevrimine örnek; Tablo 2.13 ve Tablo 2.14'te görülmektedir.

Tablo 2.13. Atlama taşı yöntemi çevrim örneği (X_{34})

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	D_1	D_2	D_3	D_4	**Toplam sunum**
F_1	c_{11} x_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{14} x_{14}	a_1
F_2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{24}	a_2
F_3	c_{31} x_{31}	c_{32}	c_{33}	c_{34} X	a_3
F_4	c_{41}	c_{42}	c_{43}	c_{44}	a_4
Toplam istem	b_1	b_2	b_3	b_4	$a_T = b_T$

Tablo 2.14. Atlama taşı yöntemi çevrim örneği (X_{22})

İstem merkezi / Sunum merkezi	D_1	D_2	D_3	D_4	**Toplam sunum**
F_1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{14}	a_1
F_2	c_{21}	c_{22} X	c_{23}	c_{24} x_{24}	a_2
F_3	c_{31}	c_{32} x_{32}	c_{33}	c_{34} x_{34}	a_3
F_4	c_{41}	c_{42}	c_{43}	c_{44}	a_4
Toplam istem	b_1	b_2	b_3	b_4	$a_T = b_T$

MODI Yöntemi (Modified Distribution)

Atlama taşı yönteminde, yolların saptanması ve izlenmesi yorucu ve hata yaptırıcı olduğundan MODI yöntemi adı altında, işlem sayısı az olmamakla beraber, çok basit olan bir yol daha geliştirilmiştir (Karayalçın, 1993: 138).

Metodun en belirgin özelliği verilen ölçümlerin ve problemi açıklamada kullanılan bilginin aynı birimle ifade edilmeleridir. Miktarı olması gereken bu birime standart birim denir (Akalın, 1979: 334).

MODI yöntemi, araştırmacıyı her hücrenin değerlemesini ayrı ayrı yapmaktan kurtaran ve bu değerlemeleri simultane olarak yapmayı sağlayan bir optimalite test yoludur (Serper, 1974: 37).

Bu yöntem ile "atlama taşı yöntemi" arasındaki en önemli fark ilmeklerin çizildiği safhada ortaya çıkmaktadır. Atlama taşı yönteminde önce bütün boş hücreler için ilmekler teşkil olunur, sonra her bir boş hücre için net masraf değişimleri tespit olunur. Bunu en yüksek masraf değişimine sahip hücrelerin tespiti izler. Nihayet bu hücreye ait ilmek çizilir.

MODI yöntemi doğrusal programlardaki dual problemin çözümünden hareket eder.

Problemin Primal Modeli:

1) Amaç Fonksiyonu:

$$Minimum\ Z = \sum_{i=1}^{M} . \sum_{j=1}^{N} \quad c_{İJ} . x_{İJ} \ \ (i = 1,2,...,M, \ \ j = 1,2,...,N)$$

2) Kısıtlayıcı Fonksiyonlar:

a) Sunum Kısıtlayıcıları:

$$\sum_{J=1}^{N} x_{İJ} = a_İ \ \ (İ = 1,2,3,...,M)$$

b) İstem Kısıtlayıcıları:

$$\sum_{İ=1}^{M} x_{İJ} = b_J \ \ (J = 1,2,3,...,N) \quad \sum_{J=1}^{N} x_{İJ} = a_İ = \sum_{İ=1}^{M} x_{İJ} = b_J$$

3) Pozitiflik Koşulu:

$x_{İJ} \geq 0 \quad i = 1,2,3,...,M$

$j = 1,2,3,...,N$

Problemin Dual Modeli:

1) Amaç Fonksiyonu:

$$\max Y = \sum_{İ=1}^{M} a_İ u_İ + \sum_{J=1}^{N} b_J v_J \ \ (İ = 1,2,3,...,M, \ \ J = 1,2,...,N)$$

2) Kısıtlayıcı Fonksiyonlar:

$u_İ + v_J \leq c_{İJ} \quad (İ = 1,2,3,...,M, \ \ J = 1,2,3,...,N)$ (Tudorascu, 2005: 10)

3) $u_İ$ *ve* v_J değişkenleri pozitif veya negatif değerler alabilir.

Primal modelde $(M + N)$ tane kısıtlayıcı fonksiyon olduğundan, dual modelde (m+n) tane değişken olacaktır. Dual modeldeki değişkenlerden $u_İ$'ler sunum kısıtlayıcılarına, v_J'ler istem kısıtlayıcılarına karşılık vardır. Ayrıca dual ulaştırma modelinde m adet sıra ve n adet sütun olduğuna göre $(M + N)$ adet denklem var demektir.

Ancak bu denklemlerden $(M+N-1)$ tanesini belirlenerek herhangi bir çözüm bulunmamaktadır. Buna göre $u_İ$ veya v_J değerlerinden birinin değeri sıfır olarak kabul edilmektedir (Hillier ve Lieberman, 1974: 128). Genellikle $u_İ$'e sıfır değeri verilmektedir. Sonrasında dolu hücreler yani temel değişkenler için $u_İ + v_J = c_{İJ}$ veya $-c_{İJ} + u_İ + v_İ = 0$ olarak kabul edilmek şartı ile $u_İ$ veya v_J değerleri hesaplanmaktadır. Boş hücrenin yani temel olmayan değişkenlerin test miktarları $u_İ + v_J - c_{İJ}$ bağıntısına göre hesaplanmaktadır. Bu bağıntı $d_{İJ} = u_İ + v_J - c_{İJ}$ şeklinde de ifade edilebilmektedir. Test miktarı olan $d_{İJ}$'nin ifade ettiği gibi bu miktar net değişim maliyetidir. Temel olmayan değişkenlerden birinin test miktarı pozitif ise buna karşılık olan hücreye ayrım yapılarak toplam maliyet azaltılabilmektedir.

Diğer taraftan birden fazla temel olmayan değişkenin test miktarı pozitif ise ayrım, en yüksek pozitif değerli temel değişkene yapılmaktadır. Eğer tüm temel olmayan değişkenlerin test miktarları değerleri sıfıra eşit veya sıfırdan küçük ise hesaplanan başlangıç temel çözüm, optimal çözüm olmaktadır (Öztürk, 2002: 136).

2.8. ULAŞTIRMA MODELİNDEKİ ÖZEL DURUMLAR

Şu ana kadar çeşitli özelliklerini belirtip çözümlemeye çalışılan ulaştırma problemi genellikle "özel ulaştırma problemi" olarak isimlendirilmektedir. Bu tip problemlerde amaç; belirli bir malın minimum masrafla dağılımını sağlamaktır. Bu amaçla formüle edilen bir modelde kabul edilen varsayımların karşılaşılan her problem için geçerli olmayışı çözüm işlemlerinde ve modelin formülasyonun da özel durumlar yaratmaktadır. Bu özel durumlar şöyle sıralanabilir:

Dağıtım Yapılması Yasaklanmış Yollar

Ulaştırma modelinde her bir sunum merkezinden, her bir istem merkezine dağıtım yapılabileceği varsayımı vardır. Ancak pratikte bunun her zaman gerçekleşmesi imkansızdır.

Çünkü bazı depolardan (sunum merkezi) bazı pazarlara (istem merkezi) ulaşım ya mümkün değildir ya da çok pahalıdır. Bu tip durumlarda çok büyük bir pozitif sayı olan “M” sayısı birim taşıma maliyeti olarak sisteme sokulur (Tulunay, 1991: 378). Çözüm simpleks yöntemindeki “M” yöntemi ile aynı anlama gelmektedir. Bu gözeye yapılacak bir birimlik tahsis bile taşıma maliyetini aşırı derecede artıracağından, ulaştırma modeli çözüm yöntemleri otomatik olarak bu gözenin kullanılmamasını garantileyecektir.

Tablo 2.15’de c_{22} ve c_{34} birim maliyetlerinin bulunduğu hücrelerin birim maliyetleri “M” gibi büyük bir pozitif sayı olduğundan bu gözeye dağıtımda bulunulmaz. Yani gözenin bulunduğu yerden geçen sunum-istem yolu yasaklanmıştır.

Tablo 2.15. Yasaklanmış yollar

İstem merkezi / Sunum merkezi	1	2	3	4	Sunum miktarı
1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{14}	a_1
2	c_{21}	M	c_{23}	c_{24}	a_2
3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	M	a_3
4	c_{41}	c_{42}	c_{43}	c_{44}	a_4
İstem miktarı	b_1	b_2	b_3	b_4	$a_T = b_T$

Dağıtım- Kabul Miktarı Sınırlandırılmış Yollar

Gerçek hayatta problem çözümlerinde bazı sunum merkezlerinde bazı istem merkezlerine belirli yollardan dağıtılacak ürünlere sınırlama getirilebilir. Bu gibi durumlarda problem hemen başlangıç çözüm tekniklerinden biriyle çözülememektedir.

Üst Limit Dağıtım-Kabul Miktarı Belirtilmiş Yollar:

Bazı sebeplerden dolayı bir veya birden fazla gözenin dağıtım kabul miktarından üst sınır konulmuş olabilir. Bu sınır, o gözenin kabul edebileceği maksimum ürün seviyesini gösterir. Bu durumda çözüme geçmeden önce yapılacak işlemler sırasıyla şöyledir (Kotoman, 1998: 25):

1) Problem ulaştırma tablosunda gösterilir. Bu durum Tablo 2.16'da görülmektedir.

Tablo 2.16. Üst limit miktarı belirtilmiş yollar -1-

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	**J**	**K**	**L**	**Sunum miktarı**
A	c_{11} x_{11}	c_{12}	c_{13}	a_1
B	c_{21}		c_{23}	a_2
C	c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3
İstem miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_T = b_T$

2) Üst limit dağıtım kabul miktarı belirtilmiş olan hücrenin bulunduğu sütunun aynısı, paralel olarak yanına yaratılır. Yaratılan bu sütundaki hücrelerin birim taşıma maliyetleri, esas sütundakilerin aynısı olur. Sadece yaratılan sütundaki üst limit dağıtım-kabul miktarı belirtilmiş olan hücrenin birim taşıma maliyeti olarak "M" atanır ve bu hücreye yapılacak dağıtım yasaklanmış olur.

Yaratılan sütunun istem miktarı, esas sütunun istem miktarından, belirtilen üst limit miktarı çıkartılarak belirlenir. Esas sütun istem miktarı da belirtilen üst limit miktarı olarak belirlenir. Bu durum Tablo 2.17'de görülmektedir.

Tablo 2.17. Üst limit miktarı belirtilmiş yollar -2-

İstem merkezi / Sunum merkezi	J1	J2	K	L	Sunum miktarı
1	c_{11}	M	c_{12}	c_{13}	a_1
2	c_{21}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	a_2
3	c_{31}	c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3
İstem miktarı	L_1	$L_1 - b_1$	b_2	b_3	$a_T = b_T$

Alt limit dağıtım-kabul miktarı belirtilmiş yollar:

Bazı sebeplerden dolayı, bir veya birden fazla hücre için kabul edilebilir alt sınırlar belirtilmiş olabilir. Bu, ilgili gözenin modelin çözümünde sahip olmak istediği minimum miktar anlamına gelir. Gözenin alt sınırı, "s" olsun. Çözümden önce sırasıyla aşağıdaki işlemler yapılır (Kabak, 2000: 36).

1. Problemin ulaştırma tablosunda gösterilir.
2. Alt sınır konulan hücrenin bulunduğu satır ikiye bölünür. Yani bir satır ilave edilir. İlk satır $F_{İ}, F_{İİ}$ olarak adlandırılır.
3. $F_{İİ}$ satırının sunum miktarı gözenin alt sınır (s) değeri olur. $F_{İİ}$ satırında, alt satır olan gözenin maliyeti aynı, aynı satırdaki diğer gözenin maliyetleri M olur.
4. $F_{İ}$ satırının taşıma maliyetleri aynı kalır. $F_{İ}$ satırının sunu orijinal satır sunum miktarından, göze alt sınırının çıkarılmasıyla bulunur.
5. Çözüm yöntemlerindeki diğer adımlar uygulanır.

Alt ve üst limit dağıtım-kabul miktarı:

Belirtilmiş yollar:

Bir gözenin dağıtım kabul miktarında aynı anda alt ve üst sınır varsa iki çözüm yöntemi aynı anda uygulanır. Gözenin üst sınırı "k", alt sınırı "s" olursa, problem aşağıdaki tablolarda (Tablo 2.18, 2.19, 2.20, 2.21. 2.22) olduğu şekilde ifade edilir.

Tablo 2.18. Dağıtım kabul miktarına alt sınır konulmuş yollar

İstem merkezi / Sunum merkezi	D_1	D_2	D_3	Sunum miktarı
F_1	c_{11} x_{11}	c_{12}	c_{13}	a_1
F_2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	a_2
F_3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3
İstem miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_T = b_T$

Tablo 2.19. Dağıtım kabul miktarına alt sınır konulmuş yollar

İstem merkezi / Sunum merkezi	D_1	D_2	D_3	Sunum miktarı
F_1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	$a_1 - 5$
F_{11}	c_{11}	M	M	5
F_2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	a_2
F_3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3
İstem miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_T = b_T$

Tablo 2.20. Dağıtım kabul miktarında alt ve üst sınır konulmuş yollar

İstem merkezi / Sunum merkezi	D_1	D_2	Sunum miktarı
F_1	c_{11}	c_{12}	a_1
F_2	c_{21}	c_{22}	a_2
İstem miktarı	b_1	b_2	$a_T = b_T$

Tablo 2.21. Dağıtım kabul miktarında alt ve üst sınır konulmuş yollar

İstem merkezi / Sunum merkezi	D_1	D_{11}	D_2	Sunum miktarı
F_1	M	c_{11}	c_{12}	a_1
F_2	c_{21}	c_{21}	c_{22}	5
İstem miktarı	$b_1 - k$	k	b_2	$a_T = b_T$

Tablo 2.22. Dağıtım kabul miktarında alt ve üst sınır konulmuş yollar

İstem merkezi / Sunum merkezi	D_1	D_{11}	D_2	Sunum miktarı
F_1	M	c_{11}	c_{12}	$a_1 - 5$
F_{11}	M	c_{11}	c_{12}	5
F_2	C_{21}	C_{21}	C_{22}	a_2
İstem miktarı	$b_1 - k$	k	b_3	$a_T = b_T$

Sınırlandırılmış Sunum ve İstem Miktarı

Sınırlandırılmış sunum miktarı:

Sunum miktarını artırarak veya azaltarak, maliyetteki değişimleri, son bulunan optimal çözüm üzerinden incelenebilir. Bunun için yapılacak işlemler şunlardır (Lapin, 1994: 594-596):

- Problemin optimal çözümü Tablo 2.23'deki gibi gösterilir.

Tablo 2.23. Sonuç üzerindeki sunum miktarının değişimi -1- Optimal Çözüm Tablosu

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	**J**	**K**	**L**	**Sunum miktarı**
A	x_{11} c_{11}	c_{12}	x_{13} c_{13}	a_1
B	c_{21}	x_{23} c_{22}	x_{23} c_{23}	a_2
C	x_{31} c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3
İstem miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_T = b_T$

L_1: Sunum miktarındaki değişim aralığı, $a_1 < L_1 \leq 3a_1$ olsun.

- İlgili sunum merkezinin belirtilen miktardaki değişimi satır olarak ilgili sunum merkezinin altına yaratılır. Yaratılan sunum merkezinin hücrelerinin birim taşıma maliyetleri esas sunum merkezinin hücrelerinin birim taşıma maliyetleri ile aynı olur. Bu durumda problemin "dengeli olma" varsayımı da gerçeklemek için tabloya yapay bir istem merkezi yaratılır ve istem miktarı olarak da değişim miktarı atanır. Esas sunum merkezinin, yapay istem merkezi ile kesiştiği hücreye taşıma maliyeti olarak "M" atanır. Tablo 2.24'de görülmektedir.

Tablo 2.24. Sonuç üzerindeki sunum miktarının değişimi -2-

İstem merkezi / Sunum merkezi	J	K	L	Yapay sistem merkezi	Sunum miktarı
A1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	M	a_1
A2	c_{11}	c_{12}	c_{13}	0	$2\,a_1$
B	c_{21}	c_{22}	c_{23}	0	a_2
C	c_{31}	c_{32}	c_{33}	0	a_3
İstem miktarı	b_1	b_2	b_3	**2** a_1	$a_T = b_T$

- Problem yeniden geliştirilerek optimal çözüm aranır.

<u>*Sınırlandırılmış istem miktarı:*</u>

Bu durumda amaç, optimal çözüm üzerinden istem miktarının artırılması sonucu maliyetteki değişikliğin ne olacağını bulmaktır. Yapılacak işlemler sırasıyla şöyledir:

1) Problemin optimal çözümü Tablo 2.25'deki gibi gösterilir.

Tablo 2. 25. Sonuç üzerindeki istem miktarının değişimi -1- Optimal çözüm tablosu.

İstem merkezi / Sunum merkezi	J	K	L	Sunum miktarı
A	x_{11} c_{11}	c_{12}	x_{13} c_{13}	a_1
B	c_{21}	x_{23} c_{22}	x_{23} c_{23}	a_2
C	x_{31} c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3
İstem miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_T = b_T$

L_2: İstem değişim miktarı, $b_1 \le L_2 \le 3b_2$ olsun.

- İlgili istem merkezinin belirtilen miktardaki değişimi sütun olarak ilgili istem merkezinin yanına yaratılır. Yaratılan istem merkezinin hücrelerinin birim taşıma maliyetleri esas istem merkezinin hücrelerinin birim taşıma maliyetleri ile aynı olur. Bu durumda problemin "dengeli olma" varsayımı da gerçekleşmek için tabloya yapay bir istem merkezi yaratılır ve istem miktarı olarak da belirtilen değişim miktarı atanır. Esas istem merkezinin, yapay istem merkezi ile kesiştiği hücreye de birim taşıma maliyeti olarak "M" atanır. Bu durum Tablo 2.26'da görülmektedir.

Tablo 2.26. Sonuç üzerindeki istem miktarının değişimi -2-

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	**J1**	**J2**	**K**	**L**	**Sunum miktarı**
A	c_{11}	c_{11}	c_{12}	c_{13}	a_1
B	c_{21}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	a_2
C	c_{31}	c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3
Yapay sunum merkezi	M	0	0	0	$2b_1$
İstem miktarı	b_1	$2b_1$	b_2	b_3	$a_T = b_T$

- Problemin yeniden geliştirilerek optimal çözüm aranır.

Bozulma Durumu ve Çözümü

Ulaştırma probleminin herhangi bir kademesinde, depo sayısı ile pazar sayısı toplamının bir eksiği kadar değişken bulunuyorsa, bilinen işlemler normal olarak uygulanabilmektedir. Ulaştırma modeli ile ilgili bazı problemlerin çözümünde özel durumlarla karşılanması olağandır. Bu özel durumlardan en önemlisi çözüm güçlükleri yaratan, çözümün herhangi bir safhasında karşılaşılan bozulma durumudur.

Atlama taşı yöntemini bir ulaştırma problemine uygulamak için, kullanılan nakliye yollarının sayısı için bir kurala uymak gerekir: Herhangi (ilk veya sonraki) bir çözümdeki dolu karelerin sayısı, tablodaki satır ve sütun sayısı toplamının bir eksiğine eşit olmalıdır. Bu kurala uymayan çözümlere bozulma denir (Balakrishnan vd, 2006: 64).

Bir dağıtım probleminin çözümünde, bir işlemden sonra çözüm tablolarının periyodik olarak tekrarlanmasına veya en iyi çözüme ulaşmadan önce aynı sonuçların defalarca bulunmasına bozulma denir. Bozulmanın iki sebebi olabilir (Kabak, 2000: 43).

- İşlemlerde yapılan matematiksel hata
- Problem tipinden oluşan hata

İşlemlerde oluşan hata, işlemlerin gözden geçirilmesi ve hatanın bulunup düzeltilmesiyle giderilir. Problem tipinden oluşan hata, başlangıç çözümde temel değişkenlerin sayısın $(M+N-1)$ 'den farklı olmasından kaynaklanır. Bu iki şekilde ortaya çıkar.

Çözümün herhangi bir aşamasında atama yapılan temel değişken sayısının $(M+N-1)$ *den büyük olması:*

Bu durum sadece başlangıç planında yaşanır. Problemin hatalı modellenmesi veya başlangıç dağıtım planının yanlış yapılmasından kaynaklanır. Çözüm için modelin doğru şekilde kurulması gerekir.

Çözümün herhangi bir aşamasında atama yapılan temel değişken sayısının $(M+N-1)$ *den küçük olması:*

Bu durumda dolu göze sayısı, işlemler için yetersiz kalmaktadır. Bu tür bozulma, 'başlangıç dağıtım planında' veya 'çözümün herhangi bir kademesinde' rastlanılabilir. Bu tür bozulmanın giderilebilmesi için özel işlemler gerekmektedir. Bu işlemlere iki şekilde rastlanabilir:

Başlangıç dağıtım planındaki bozulma:

Bozulmayı gidermek için gerekli miktarda sıfıra yakın olanı, "ε" değeri boş gözeye atanır. Bu ekleme başlangıç tablosunda basamak şeklinde olacak biçimde yapılmalıdır.

"ε" değerli taşların, problem yönünden herhangi bir anlamı yoktur. Bunlar sadece bozulma problemin çözümünde kullanılan matematiksel araçlardır. (Soylu, 1997: 32)

Tablo 2.27'de problemin optimumluk kontrolünün yapılabilmesi için bir boş gözeye atama yapmaya gerek vardır ve x_{23} değişkenine değer atanmalıdır. Bu işlemden sonra optimumluk kontrolü yapılabilir veya alternatif bir dağıtım planı hesaplanabilir.

Tablo 2.27. Başlangıç dağıtım planında bozulma

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	D_1	D_2	D_3	**Sunum miktarı**
F_1	30	20		**50**
F_{11}		20	ε	**20**
F_2			30	**30**
İstem miktarı	30	40	30	**100** **100**

Çözümün diğer kademelerinde bozulma:

Bu durumda yapılacak işlemler, bozulma başlangıç dağıtım planında bulunma haline benzemektedir.

Dejenere çözümü optimallik kontrolü yapılabilir duruma getirmek için, [$(M + N - 1)$ - (dejenere çözümdeki dolu göze sayısı)] kadar "ε" eklenir.

"ε" miktarı, simpleks yöntemindeki yapay değişken gibidir. Atanması esnasında şu noktaya önem verilmelidir. Nerede dual değişkenleri hesaplayabilme zorluğu çekiliyorsa, bu zorluğu en kolay giderebilecek boş gözeye atama yapılmalıdır. Eğer boş göze arasında bir seçim yapmak söz konusu ise en küçük maliyete sahip gözeye bu yapay değişken atanmalıdır (Öztürk, 1994: 142).

En Büyükleme Tipi Ulaştırma Modeli

En büyükleme tipi (maksimizasyon) problemler, en küçükleme (minimizasyon) probleminde olduğu gibi ulaştırma algoritmasına göre çözülür. Fakat bu tip problemlerde maliyetler yerine "kar" amaç fonksiyonunu oluşturduğundan dolayı çözüm esnasında ele alınan değerler farklılaşır. Bunu gidermek için, bütün katsayılar

(-1) ile çarpılarak, karlar negatif kayıplar olarak işlem gördürülür (Öztürk, 1994: 151). Herhangi bir negatif değerli fonksiyonun en küçüklenmesi bu fonksiyonun en büyüklenmesine eşittir.

Eş Maliyetli Farklı Çözümler

Çözümün herhangi bir kademesinde, boş gözelere ait değerlendirme puanları arasında sıfır varsa ve bu değer esas alınarak işlem yapılıyorsa, maliyetlerdeki azalma sıfır olacağından, eş maliyetli farklı bir çözüm elde edilecektir. Değerlendirmesi sıfır olan boş gözeye problemin optimum çözümünde rastlanmışsa, bu problemin aynı değeri veren (eş maliyetli) farklı (alternatif) optimum çözümleri bulunabilinecektir (Tulunay, 1994: 349).

2.9. ULAŞTIRMA MODELİNİN DİĞER ÇEŞİTLERİ

Standart ulaştırma modelinin 1941 yılında geliştirilmesinden bu yana, araştırmacılar standart ulaştırma modeline bağlı ve benzer, yeni problemler bu problemlere uyan uygun model ve çözüm algoritmaları geliştirmişlerdir. Bu modeller standart ulaştırma modelinin uzantıları olup birkaç noktada farklılık taşırlar (Soylu, 1997: 32). Bu modeller şunlardır:

- Genelleştirilmiş ulaştırma problemi
- Kapasitelendirilmiş ulaştırma problemi
- Karışık kısıtlı ulaştırma problemi
- Sabit yüklü ulaştırma problemi
- Tek kaynaklı ulaştırma problemi
- Temel köşegen ulaştırma problemi
- Tesis yerleşim ulaştırma problemi
- Zamanı azaltan ulaştırma problemi
- Maliyet/ Zaman eğimli ulaştırma problemi
- İki kriterli ulaştırma problemi
- Çok amaçlı ulaştırma problemi
- Çok boyutlu ulaştırma problemi
- Doğrusal olmayan ulaştırma problemi
- Geniş ölçekli ulaştırma problemi

- Atama problemi (Macar yöntemi)
- Gezgin satıcı problemi
- Üretim programlaması
- Aktarma problemi

Genelleştirilmiş Ulaştırma Problemi

1963 yılında George B. Dantzig ve Hadley tarafından, standart ulaştırma probleminin dual modellemesine dayanarak geliştirilmiştir. Optimum çözüm ise 1964 yılında Balos, Ivanescu, Loure ve Eisman tarafından ortaya konulmuştur. Modelin standart modelden temel farkı, karar değişken katsayılarının değişken olmasıdır.

Model, genelde üretim alanında özellikle işlerin makinelere tahsisinde kullanılmaktadır.

Problemin örneğe bağlı modeli aşağıdaki gibidir:

$i = 1,2,3,...,M$ adet farklı malzeme ve her makinenin belirtilen periyotla $a_İ$ kadar çalışma süresi vardır. Ayrıca $J = 1,2,3,...,N$ adet farklı ürün ve her ürün için belirtilen periyotla bu kadar üretilmesi gerekliliği vardır. Her ürün $c_{İJ}$ maliyetiyle ve $d_{İJ}$ süresi ile mal olmaktadır. Problem (i) ürününün (j) makinesinde belirtilen zaman periyodu içerisinde maliyeti minimize edecek şekilde ne kadar üretilmesi gerektiğini araştırır.

Amaç Fonksiyonu:

$$\min Z = \sum_{İ=1}^{M} \sum_{J=1}^{N} c_{İJ} . x_{İJ}$$

Kısıtlar:

1) Sunum Kısıtları:

$$\sum_{i=1}^{M} d_{İJ} x_{İJ} \pm s_İ = a_İ \quad (i = 1,2,3,...,M)$$

2) İstem Kısıtları:

$$\sum_{j=1}^{N} x_{İJ} = b_İ \qquad (J = 1,2,3,...,N)$$

Pozitiflik Koşulu:

$x_{İJ} \geq 0 \qquad s_İ \geq 0 \qquad d_{İJ} \geq 0$

Kapasitelendirilmiş Ulaştırma Problemi

1963 yılında George B. Dantzig ve Hadley tarafından "Kapasitelendirilmiş Ulaştırma Problemi" ortaya konmuştur (Hadley, 1962: 24). 1966'da Simarad, 1970'de Sping ve Thrall ve 1975'de Wagmer tarafından geliştirilmiştir.

Modelin standart modelden farkı, diğer kısıtlara ek olarak dağıtım miktarlarına da belirli bir limitle kısıtlama getirmesinden kaynaklanmaktadır.

Amaç Fonksiyonu:

$$\min Z = \sum_{İ=1}^{M} \sum_{J=1}^{N} c_{İJ}.x_{İJ}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{J=1}^{M} x_{İJ} = a_İ \qquad (i = 1,2,3,...,M)$$

$$\sum_{İ=1}^{N} x_{İJ} = b_J \qquad (J = 1,2,3,...,N)$$

$$0 \leq x_{İJ} \leq h_{İJ}$$

Pozitiflik Koşulu:

$x_{İJ} \geq 0$

Modeldeki $h_{İJ}, (İJ)$ noktasındaki dağıtımı yapılacak miktarın o andaki şartlara göre limitini belirler. Model, özellikle nakliyat alanında belli kapasiteyle ulaştırma yapılan ürünlerin dağıtımı esnasında kullanılır.

Karışık Kısıtlı Ulaştırma Problemi

Model, 1977 yılında Klingman ve Russell tarafından geliştirilmiştir.

Modelin standart modelden farkı; istem ve sunum miktarlarının eşitsizliğine dayanmasından kaynaklanır. Problemde M sunum merkezi, $S_İ$ sunum miktarları olmak üzere $S_İ(İ \in I, İ = 1,2,...,M)$ ki I_1, I_2, I_3 olarak üç kümeye bölünür, $S_İ(İ \in I_1)$ en az

$a_İ$ miktarı kadar dağıtım yapabilir, $S_İ(İ \in I_2)$ tam olarak $a_İ$ kadar dağıtım yapabilir, $S_İ(İ \in I_3)$ en fazla $a_İ$ kadar dağıtım yapabilir. N istem merkezi D_J istem miktarları olmak üzere $D_J(J \in J, J = 1,2,...,N)$ ki J_1, J_2, J_3 olarak üç kümeye bölünür; $D_J(J \in J_1)$ en az b_J kadar istekte bulunabilir, $D_J(J \in J_2)$ tam olarak b_J kadar istekte bulunabilir, $D_J(J \in J_3)$ en az b_J kadar istekte bulunabilir.

Amaç Fonksiyonu:

$İ \in I \sum J \in J \sum c_{İJ} x_{İJ}$

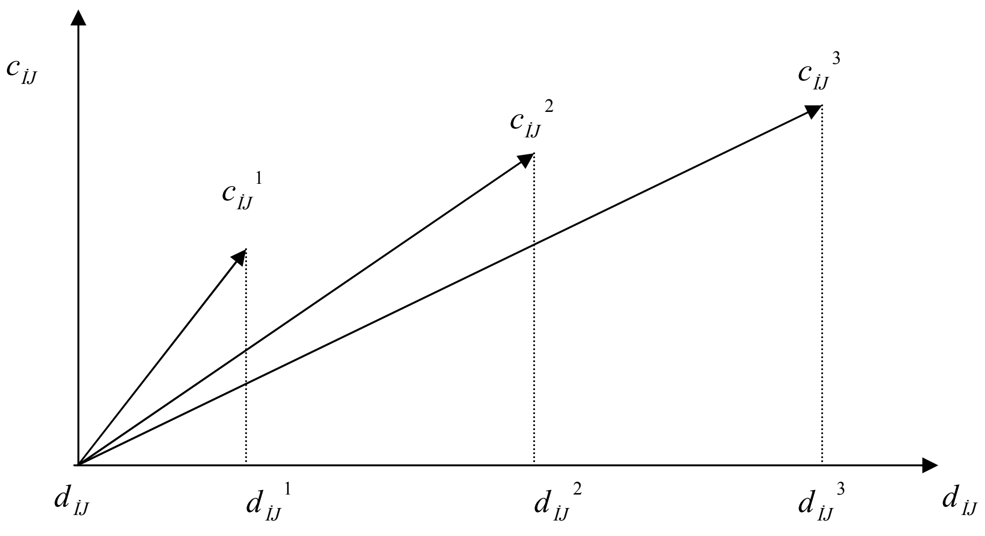
Kısıtlar:

$J \in J \sum x_{İJ} \geq a_İ İ \in I_1 = (1,2,3,...,M_1)$ $\quad$ $İ \in I \sum x_{İJ} \geq b_J J \in J_1 = (1,2,3,...,N_1)$

$J \in J \sum x_{İJ} = a_İ İ \in I_2 = (1,2,3,...,M_2)$ $\quad$ $İ \in I \sum x_{İJ} = b_J J \in J_2 = (1,2,3,...,N_2)$

$J \in J \sum x_{İJ} = a_İ İ \in I_3 = (1,2,3,...,M_3)$ $\quad$ $İ \in I \sum x_{İJ} = b_J J \in J_3 = (1,2,3,...,N_3)$

Tablo 2.28. Maliyet dağıtım tablosu



$d_{İJ}^0 =$ olmak üzere, $d_{İJ}^1, d_{İJ}^2, d_{İJ}^3, ..., d_{İJ}^k, ..., d_{İJ}^r \leq \infty$

$d_{İJ}^{k-1} < d_{İJ}^{k} \ (k = 1,2,3,...,r)$

$d_{İJ}^{k-1} < x_{İJ} < d_{İJ}^{k}$

$c_{İJ}^{k} > c_{İJ}^{k+1}$

Amaç Fonksiyonu:

$$Z_{\min} = \sum_{\dot{I}=1}^{M} \sum_{J=1}^{N} c_{\dot{I}J} . x_{\dot{I}J}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{\dot{I}=1}^{M} x_{\dot{I}J} = a_{\dot{I}} \qquad (\dot{I} = 1,2,3,...,M)$$

$$\sum_{\dot{I}=J}^{M} x_{\dot{I}J} = b_{J} \qquad (J = 1,2,3,...,N)$$

Pozitiflik koşulu:

$$0 < x_{\dot{I}J} \leq d_{\dot{I}J} (\dot{I} = 1,2,3,...,M;\ J = 1,2,3,...,N)$$

$$c_{\dot{I}J} = \begin{cases} d_{\dot{I}J}{}^{0} = 0 \ \ ve \ \ d_{\dot{I}J}{}^{0} \leq x_{\dot{I}J} < d_{\dot{I}J}{}^{1} \ ise; & c_{\dot{I}J}{}^{1} \\ d_{\dot{I}J}{}^{1} \leq x_{\dot{I}J} < d_{\dot{I}J}{}^{1} \ ise; & c_{\dot{I}J}{}^{1} \\ \cdots & \cdots \\ \cdots & ... \\ d_{\dot{I}J}{}^{k-1} \leq x_{\dot{I}J} < d_{\dot{I}J}{}^{1} \ ise; & c_{\dot{I}J}{}^{k} \\ \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \\ d_{\dot{I}J}{}^{r-1} \leq x_{\dot{I}J} < d_{\dot{I}J}{}^{r} \ \leq \infty \ ise; & c_{\dot{I}J}{}^{r} \end{cases}$$

$d_{\dot{I}J}{}^{1} =$ Miktar birim aralıkları olup, $(c_{\dot{I}J}{}^{*})$'nin tanımladığı noktanın miktar kısıtlarını belli eder.

$(c_{\dot{I}J}{}^{*})$, $(\dot{I})$'inci sunum merkezinden, (J)'inci istem merkezine ulaştırılan miktarın maliyetidir. Bu maliyet, ulaştırılan $x_{\dot{I}J}$ miktarının değişmesine bağlı olarak değişmektedir ve $C_{\dot{I}J}{}^{k}, d_{\dot{I}J}{}^{I} (I, I = 1,2,3,...,k,...,r)$ birim aralığındaki en az maliyeti temsil etmektedir.

Sabit Yüklü Ulaştırma Problemi

Model; 1961 yılında Balinski, 1968 yılında Marty tarafından geliştirilmiştir. Çözüm algoritması Grey, tarafından ortaya konulmuştur. Model, daha sonraları Kennington ve Unger tarafından geliştirilmiş, Spielberg, Moore, Jarvis, yine

Kennington ve Unger tarafından uygulanmıştır. 1981 yılında Glever, Barr ve Klingman, model için dal sınır tekniğini geliştirmiştir.

Modelde her gözeye sabit bir miktar $(f_{İJ})$ atanmaktadır. $f_{İJ}$ modele, $c_{İJ}$ *ve* $x_{İJ}$ ile birlikte girer. Modelde ayrıca, $İJ$ noktasındaki dağıtım miktarını kontrol eden, $y_{İJ}$ değeri mevcuttur. Eğer $y_{İJ}$ pozitif ise $İJ$ noktasına dağıtım yapılabilir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\sum_{İ=1}^{M} \sum_{J=1}^{N} (c_{İJ}.x_{İJ} + f_{İJ}.y_{İJ})$$

Kısıtlar:

1) Sunum Kısıtları:

$$\sum_{İ=J}^{M} x_{İJ} = a_i \qquad (i = 1,2,3,...,M)$$

2) İstem Kısıtları:

$$\sum_{J=1}^{N} x_{İJ} = b_İ \qquad (j = 1,2,3,...,N)$$

Pozitiflik koşulu:

$$0 \le xij \le M_{İJ}.y_{ij} \qquad M_{İJ} = \min(a_i b_j) \qquad y_{İJ} = \begin{pmatrix} 1, x_{İJ} > 0 \ \ ise \\ 0, x_{İJ} = 0 \ \ ise \end{pmatrix}$$

Tek Kaynaklı Ulaştırma Problemi

Model; 1976 yılında Balachandran, 1971'de Christofides ve Eilon, 1977'de Ross ve Solond, 1980'de Magelhout ve Thompson tarafından geliştirilmiştir.

Toplam ulaşım maliyetini en aza indirgeme (minimizasyon) problemi, literatür-de genellikle tek kaynaklı doğrusal ulaşım modeli olarak ele alınır (Nikolic, 2006: 125-133).

Modelde bütün istem miktarları tek bir sunum merkezinden karşılanmaktadır.

Model tesis yerleşimi ve tekel ürünlerinin dağıtımı alanında kullanılmaktadır.

Temel Köşegen Ulaştırma Problemi

Bazı problem çözümlerinde dağıtım, ulaştırma tablosunun kuzeybatı köşesinden güneydoğu köşesine çizilen çizginin üzerindeki gözelerde toplanır. Çizginin alt ve üstünde kalan gözelerin maliyetleri çok büyük olduğundan dağıtım sadece çizgi üzerindeki gözelere yapılır, diğer gözeler yasaklanmış yol olarak düşünülür. Bu durum Tablo 2.29'da görülmektedir. Gerçekte problemler, yollardan, boru hatlarından, iletişim ve teknolojiden kaynaklanan maliyetler yüzünden bu hale gelir. Bu çeşit problemlerin dağıtım prensibi aşağıdaki gibidir:

$$|i-j| \leq 1 \Rightarrow c_{IJ} = c_{IJ} \ ve \ x_{IJ} = x_{IJ}$$

$$|i-j| > 1 \Rightarrow C_{IJ} = M \ ve \ X_{IJ} = 0$$

Tablo 2.29. Temel köşegen ulaştırma problemi

İstem merkezi / **Sunum merkezi**	D_1	D_2	D_3	**Sunum miktarı**
F_1	c_{11}	c_{12}	M	a_1
F_2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	a_2
F_3	M	c_{32}	c_{33}	a_3
İstem miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_T = b_T$

Tesis Yerleşim Problemi

Tesis yerleşim problemi, G.B. Dantzig tarafından teklif edilen ve A. Charnes ile W.W.Cooper tarafından isimlendirilmiş bir yöntemdir (Charnes ve Cooper, 1961: 57).

Tesis Yerleşim Problemi, üretim ve dağıtım ağının tasarımı, dağıtılmış veri ve iletişim tasarımı, banka, sağlık, itfaiye gibi servis operasyonlarının tasarımı, elektrik iletim hatlarının tasarımı ve e-ticarette siparişleri karşılamada servis tasarımında önemli rol arz etmektedir (Türkbey ve Yiğit, 2003: 46).

Problemde sunum merkezlerinin yerleşim yerleri, kapasite dağıtım bölgeleri yer alır. Maliyet olarak zaman veya uzaklıklar alınır (Kabak, 2000: 60). Çözümde optimum maliyeti gerektiren yerleşim planı seçilir.

Zamanı Azaltan Ulaştırma Problemi

Model, 1971 yılında Garfinkel ve Rao tarafından geliştirilmiştir. Model, özellikle askeri birliklerin harekat bölgelerine sevk süresini azaltmak amacıyla kullanılır. Modelde maliyetin yerini zaman karar değişkenlerinin katsayıları almıştır.

Maliyet/Zaman Eğimli Ulaştırma Problemi

Model, 1977 yılında Gliksman ve Berger tarafından geliştirilmiştir. Amaç dağıtım tamamını maliyetleri de minimize ederek en aza indirgemektir. Model sadece zamanı minimize etmekle ilgilenmez, maliyet-zaman arasındaki ilişkiyi de ele alır.

İki Kriterli Ulaştırma Problemi

Model, 1979 yılında Angia ve Nair tarafından geliştirilmiştir. Problemde iki amaç fonksiyonu mevcuttur. Çözümde aralarında doğrusal ilişki bulunan her iki amaç fonksiyonuda en iyilenmeye çalışılır.

Çok Amaçlı Ulaştırma Problemi

Model, 1973 yılında Lee ve Moore tarafından geliştirilmiştir. Problemde ikiden fazla amaç fonksiyonu vardır. Aralarında doğrusal ilişki bulunan amaç fonksiyonları birlikte en iyilenmeye çalışılır.

Çok Boyutlu Ulaştırma Problemi

Model, 1962 yılında Haley tarafından geliştirilmiş olup temelinde dual değişken metodu vardır.

Standart ulaştırma probleminde, maliyet ve dağıtım miktarı olmak üzere iki boyut vardır. Bu modelde farklı olan, üçüncü bir boyutun eklenmesidir. Bu boyut; marka, ulaştırma sistemi, teknik özellik vb. olabilir.

Üçüncü boyut (k) olmak üzere ($k = 1,2,3,...,p$) sunum merkezlerinden istem merkezlerine dağıtılacak ürünler vardır. Çözüm algoritmasının özellikleri şunlardır:

- Başlangıç kabul edilebilir çözüm dağıtımı $[M.N.p-(M-1).(N-1).p]$ gözeye olmalıdır.
- Her zaman başlangıç kabul edilebilir çözüm bulunmayabilir.
- Çözüm, bütün kısıtları içeriyor olabilir, fakat pozitiflik koşulu her zaman sağlanmayabilir.

Doğrusal Olmayan Ulaştırma Problemi

Model, 1956 yılında Vidaler tarafından grafiksel olarak geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu, doğrusal ve birinci dereceden değildir, sürekli ve artan bir özelliğe sahiptir.

Geniş Ölçekli Ulaştırma Problemi

Model, 1962 yılında Williams tarafından geliştirilmiştir. Büyük ulaştırma problemlerine yönelik olup, problemleri parçalayarak veya birbirlerine bağlı alt modeller oluşturarak çözmeyi esas almıştır. Her bölüm sadece kendini ilgilendiren modeli optimum kılmaya çalışır. Bununla beraber bazen kaynak paylaşımı konusunda merkezi otoritenin koordinasyonu gerekir (Kabak, 2000: 62).

Atama Problemi

Yöneylem Araştırması'nda en çok tanınan problemlerden biri "atama" (Assignment) problemidir (Öner ve Ülengin, 2003: 73-79).

Model, Macar Matematikçi Koening ve Egervery tarafından geliştirilmiş, çözüm algoritması 1956 yılında Khun ve Flood tarafından ortaya konmuştur.

Atama modelleri, bölünemez yapıdaki kaynakların (insan, makine, araç, bina...) faaliyetlere (görev, rota...) optimal atamaları ile uğraşır. Bu aynı zamanda iş çevrim probleminin modellenmesi için de uygun bir yöntemdir (Burkard ve Butkovic, 2003: 415-429). Gerçek hayatta bu problemin pek çok uygulama alanları vardır; makinelere işlerin atanması, satış temsilcilerin bölgelere atanması gibi. Atama probleminde yapılması gereken (M) adet görev vardır. Bu görevleri yapmaları içinde (m) ayrı adet görev vardır. Bu görevleri yapmaları içinde (M) ayrı kişi bulunmaktadır. Herhangi bir ($\dot{I}$) kişisinin (J) görevine verilmesi durumunda ($c_{\dot{I}J}$) maliyeti doğar. Her göreve mutlaka bir kişinin verilmesi ve bir kişinin sadece tek bir göreve atanması koşuluyla en küçük toplam maliyetle bir görevlendirme planı yapılması istenir. Diğer bir deyişle, fonksiyonun durumuna göre kaynaklar, maksimum veya minimum yapılarak etkinlik artırılıp bire bir dağıtım sağlamaktır (Erciyes ve Gencer, 2005: 8).

Yalın bir yapıya sahip olması nedeni ile kendine özgü çözüm yordamı ile çözümlenir.

Bu problemin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir:

$$X_{İJ} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ Eğer } İ \text{.kişi } J \text{. göreve atanacaksa} \\ 0 \text{ Eğer } İ \text{. kişi } J \text{. göreve atanmayacaksa} \end{array} \right\}$$

$$\min \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} c_{İJ} . x_{İJ} \text{ (Terlaky, 2004: 72)}$$

$$\sum_{i=1}^{M} x_{İJ} = 1 \quad (İ = 1,2,3,...,M)$$

$$\sum_{J=1}^{N} x_{İJ} = 1 \quad (j = 1,2,3,...,N)$$

$x_{İJ} = 0$ veya 1 (Bertsekas ve Castanon, 1989: 4).

Atlama probleminin çözümü birçok değişik yolla elde edilebilir. Bunlar (Öner ve Ülengin, 2003: 73-79):

- Klasik çözüm yöntemleri
- Özel çözüm yöntemleri
- Macar çözüm yöntemi
- Geliştirilen çözüm yöntemi

Klasik çözüm yöntemleri; klasik çözüm yöntemlerinde kısıtlara uyan tüm alternatifler belirlenerek aralarında en küçük maliyete sahip olan seçilirse çözüm elde edilmiş olur. Ancak atama problemlerinde (M) uygun geçerli çözüm bulunmaktadır. Problemin büyüklüğü (M) arttıkça, uygun geçerli çözüm sayısı çok büyük bir hızla artacaktır (Öner ve Ülengin, 2003: 73-79).

Klasik çözüm yöntemleri artan hafıza gereksinimi ve yüksek dejenereasyon hali nedeniyle, işlem süresiyle karşı karşıyadır.

<u>Özel çözüm yöntemleri;</u> Klasik çözüm yöntemlerinden farklı, ancak onların özelliklerini kullanan yöntemlerdir.

<u>Macar çözüm yöntemleri;</u> Macar çözüm yöntemi (Hungarian Method) neredeyse atama problemi ile adı birlikte anılacak kadar tanınan ve çok daha etkin olan bir yöntemdir.

L.R. Ford ve D.R. Fulkerson tarafından nakliye problemine ve daha genel olarak maliyet akışını da minimize etmek için uygulandı (Frank, 2004: 4).

Atama probleminin Macar yöntemi ile çözümünde aşağıdaki adımlar izlenir (Kabak, 2000: 62);

1) Fırsat maliyetleri tablosu hazırlanır.

- Her sütundaki en küçük maliyet değeri, o sütunun bütün elemanlarından çıkarılarak bulunan farklarla bir tablo oluşturulur.
- Birinci kademede elde edilen fırsat maliyetleri tablosunun her satırındaki en küçük değer, o satırdaki bütün değerlerden çıkarılarak "toplam fırsat maliyetleri tablosu" elde edilir. "0" olan gözeler işlerin atanabileceği makineleri gösterir.

2) Birebir eşleşme kuralı sağlanamadıysa toplam fırsat maliyetleri yeniden düzenlenir.

- En az sayıda doğru parçası kullanılarak tabloda "0" değer taşıyan satır ve sütunlar çizilir.
- Çizilmemiş satır ve sütunlarda bulunan elemanlardan en küçük olanı seçilir ve bu değer bütün çizilmemiş değerlerden çıkarılır.
- Seçilmiş bulunan söz konusu en küçük değer herhangi iki doğrunun kesiştiği yerdeki sayıya eklenir. Böylece fırsat maliyetleri tablosu yeniden düzenlenmiş olur. Atama planının kontrolü için ikinci adım tekrar uygulanır.

<u>Geliştirilen çözüm yöntemi;</u> Macar yönteminin ruhuna da uygun olacak şekilde, maliyet matrisinin üzerinden ayrılmadan işlemleri daha sade ve kolay anlaşılabilir bir yöntem üzerinde çalışılmıştır (Öner ve Ülengin, 2003: 73-79).

Gezgin Satıcı Problemi

Model, 1956 yılında Urden tarafından geliştirilmiştir. Problem, tabloda çözülmektedir. Fakat çözüm yöntemi standart ulaştırma problemindeki gibi değildir.

Gezgin satıcı problemi, başladığı noktaya tekrar dönmek şartı ile n adet şehri ziyaret eden bir satıcının toplam mesafeyi minimize edecek yolu seçimidir.

Gezgin satıcı problemi için uygulanabilen algoritmalar şunlardır: Sistematik arama yöntemi, tam sayılı programlama, dinamik programlama, dallanma yöntemi.

Uygulanacak yöntem problemin ifadesine göre değişir (Kabak, 2000: 64).

Üretim Programlaması

Ulaştırma yöntemleri, ulaştırma ile doğrudan ilgisi bulunmayan bazı işletme problemlerine de uygulanabilmektedir. Bazı işletmeler iki türlü maliyet unsuru ile karşı karşıyadır. Bunlardan birisi, üretim; diğeri ise, stoklama maliyetidir. Buna göre işletme, üretimi toplam maliyeti minimum kılacak şekilde her dönem için programlamak ister. Problem ulaştırma problemi tablosu kullanılarak çözülür.

Aktarma Problemi

Taşıma problemlerinde amaç, üretim merkezlerinden üretilen ürünlerin tüketim merkezlerine doğrudan ve en ucuz maliyetle gönderilmesini sağlamaktır. Bu hesaplamalar yapılırken, ürünlerin taşıma merkezlerine aktarmasız olarak veya doğrudan gönderilmesi göz önünde bulundurulmaktadır. Ancak bazı durumlarda ürünlerin tüketim merkezlerine gönderilmesi daha uygun olacaktır. Bu tip aktarma noktalarının kullanıldığı problemler, aktarma problemleri olarak adlandırılmaktadır (Tabuk, 2006: 52).

Sunum noktası, sadece ürün sunar; istem noktası da, sadece ürün talep edebilir. Aktarma noktası diğer noktalardan hem ürün alabilen, hem de ürün gönderebilen noktadır. Aktarma probleminin optimum çözümüne ulaştırma probleminde kullanılan çözüm teknikleri ile ulaşılır (Kabak, 2000: 64).

2.10. ULAŞTIRMA MODELİNDE DUYARLILIK ANALİZİ

Her doğrusal programın bir duali mevcuttur. Ulaştırma modeli, doğrusal programlamanın özel bir hali olduğundan, onunda duali mevcuttur. Problemin ilk şekline "esas" (primal) ulaştırma modeli adı verilirse, esas ve dual modellerin çözümleri arasında çok yakın bir ilgi vardır; birisinin optimum çözümü bilindiği takdirde diğerinin çözümünü bulmak kolaydır. Ayrıca dualite, gölge fiyat analizinde önemlidir ve doğrusal programlamada sınırlama denklemleri matrisinin sıra ve sütun sayısı farklı ise problemin dualini çözmek daha kolay olmaktadır.

Dual çözüm ulaştırma modeline L.R.Ford ve D.R. Fulkerson tarafından uygulanmıştır. Ulaştırma modelinin duali yazılmak istendiği zaman çözümü kolaylaştır-maya yarayan “ilave sınırlama”yı (additional constraint) eklemek gereksizdir. Bu çözüm vasıtalarını kullanmadan dualin çözümünü hemen bulmak mümkündür.

Ulaştırma modelinde dualin çözümü esas modelin çözümünden oldukça farklıdır. Ulaştırma modelinde dualite daha çok çözüm zamanının kısaltılması bakımından önemlidir. Nitekim Ford-Fulkerson, Dantzig ile birlikte 20*20’lik bir ulaştırma matrisinin çözümünde Ford-Fulkerson hesaplama metodu (Ford-Fulkerson Algorithm) kullanmışlar ve söz konusu problem MODI metoduyla ve elle bir saatte çözülebildiği halde, bu yöntemle yarım saatte çözmüşlerdir. Daha büyük çaptaki problemlerde zamandan tasarruf daha fazla olabileceği söylenebilir; ama bu husus kesinleşmiş değildir. Eğer bu iddia geçerli olursa, Ford-Fulkerson hesaplama metodunun ulaştırma probleminin çözümünde basamak metodunun yerini alacağı ifade edilmektedir (Analı, 1999: 57).

Ulaştırma modellerinde optimal çözüme karşılık gelen sonsuz sayıda dual çözüm bulunur. Bunlar arasında belirli koşulları sağlayan yalnız iki tanesi, arz ve talep merkezlerinin kapasiteleriyle ilgili pozitif ve negatif gölge fiyatları açıklamak için kullanılabilir (Çelikoğlu ve Moralı, 2000: 171).

Ulaştırma modeli için post-optimalite analizle ilgili çalışmalar ise çeşitli yaklaşımlarla geliştirilmiştir. Bu yaklaşımları toplu halde inceleyen Arsham ve parametrik programlamayla değişimlerin etkilerini araştıran Srinivasan ve Thompson tarafından yapılan çalışmalarda da maliyet parametrelerine ilişkin duyarlılık analizlerinin anlatıldığı, fakat arz ve talep kapasiteleriyle ilgili duyarlılık analizi kısmının ele alınmadığı dikkati çekmektedir (Çelikoğlu ve Moralı, 2000: 172).

Doğrusal programlamada sağ taraf parametreleri için duyarlılık analizi, tüm parametreler aynı kalırken sağ taraf parametrelerinden yalnız birinin hangi aralıkta değişmesiyle optimal çözümde bulunan temel değişkenlerin yeni optimal çözümde yine temel değişken olarak yer alacağının belirlenmesidir. Dolayısıyla sağ taraf parametrelerinden yalnız biri duyarlılık sınırları içinde değiştiğinde dual çözüm aynı kalır.

Doğrusal programlama modellerinin özel bir biçimi olan dengeli ulaştırma problemlerinde sağ taraf parametreleri için duyarlılık analizi, arz ya da talep kapasitelerinden yalnız birinde yapılacak değişikliğin hangi sınırlar içinde kaldığında optimal ulaştırma planının ve dolayısıyla dual çözümün aynı kalacağının belirlenmesidir.

m arz merkezi, n talep merkezi ile tanımlanan bir dengeli ulaştırma probleminde optimal çözümün bulunduğunu ve dual çözümün elde edildiğini varsayalım. Arz veya talep kapasitelerinden (a_i veya b_j değerlerinden) yalnız birinde yapılacak bir değişiklik, sistemde arz fazlasına ya da talep fazlasına neden olur. Arz fazlasına neden olan değişiklikler a_i’de artış veya b_j’de azalış ile talep fazlasına neden olan değişiklikler ise a_i’de azalış veya b_j’de artış ile ortaya çıkar.

Arz fazlasına neden olacak yalnız bir kapasite değişikliği olduğunda, bu değişim eğer duyarlılık sınırları içinde kalıyorsa u_i ve v_j değerleri aynı kalır. Ayrıca kukla talep merkezine ilişkin dual değişken v_k ile gösterilirse, dual çözümde

$$u_i + v_k \leq 0 \quad i = 1,2,...,M$$

koşulunun ve bunlardan en az birinin eşitlik biçiminde sağlanması gerekir. Bu koşulun eşitlik biçiminde sağlandığı arz merkezi S_p olsun. Bu durumda,

$$u_p = \max\{u_1, u_2, ..., u_N\}$$

olur. Bunun anlamı şöyle açıklanabilir: arz fazlasına neden olacak kapasite değişikliği, S_p arz merkezinin kapasitesinin sonuna kadar kullanılmasıyla sonuçlanır. Dolayısıyla S_p arz merkezinin kapasitesi ile ilgili duyarlılık üst sınırı sonsuzdur.

Bu açıklamaya dayanarak, arz kapasitesindeki artışlara ve talep kapasitelerindeki azalışlara ilişkin duyarlılık sınırları, S_p arz merkezinin kapasitesine ilişkin kısıtı çıkartarak elde edilen doğrusal programlama probleminde yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre saptanır.

Benzer şekilde, talep fazlasına neden olacak yalnız bir kapasite değişikliği olduğunda, kukla talep merkezine ilişkin dual değişken u_k ile gösterilirse, değişikliğin duyarlılık sınırları içinde kalması için dual çözümün

$$u_k + v_j \leq 0 \quad j = 1,2,\ldots,N$$

koşullarını ve bunlardan en az birini eşitlik biçiminde sağlanması gerekir. Bu durumda,

$$v_q = \max\{v_1, v_2, \ldots, v_N\}$$

ise, D_q talep merkezinin kapasitesinin duyarlılık üst sınırının sonsuz olmasına dayanarak, talep fazlasına neden olan arz kapasitesindeki azalışlara ve talep kapasitelerindeki artışlara ilişkin duyarlılık sınırları D_q talep merkezinin kapasitesine ilişkin kısıtı çıkartarak elde edilen doğrusal programlama problemlerinde yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre saptanır.

Sonuç olarak dengeli ulaştırma problemlerinde a_i ve b_j ile gösterilen sağ taraf parametreleri için duyarlılık analizinin aşamaları şöyle sıralanabilir:

1. Aşama: Optimal çözümü ve dual çözümü bulunur.

2. Aşama: $u_p = \{u_1, u_2, \ldots, u_M\}$ olan S_p arz merkezine ilişkin kapasite kısıtını $\left(\sum_{j=1}^{N} x_{pi} = a_p\right)$ çıkartarak elde edilen doğrusal programlama probleminin sağ taraf parametreleri için duyarlılık analizinden a_i'ler için üst sınırları ve b_j'ler için alt sınırları alınır.

3. Aşama: $v_q = \max\{v_1, v_2, \ldots, v_N\}$ olan D_q talep merkezine ilişkin kapasite kısıtını $\left(\sum_{i=1}^{M} x_{iq} = b_q\right)$ çıkartarak elde edilen doğrusal programlama probleminin sağ taraf parametreleri için duyarlılık analizinden a_i'ler için alt sınırları ve b_j'ler için üst sınırları alınır.

<u>*4. Aşama:*</u> İkinci ve üçüncü aşamadaki sonuçları birleştirilir.

Birim taşıma maliyetleri ile istem ve sunum miktarları zaman içinde koşullara göre değişebilir. Bu verilerin değişmesi de, bulunan optimum çözümü değiştirir. Ulaştırma modelinin statik sonuçlarının daha iyi yorumlanmasında ve eldeki verilerin değişikliklere bağlı olarak optimum çözümün nasıl değişeceğinin belirlenmesinde duyarlılık analizleri kullanılır ve modelin 3 tip duyarlılık analizi vardır (Kabak, 2000: 10).

- Maliyetlerdeki duyarlılık analizi
    - a-Temel olmayan değişkenlerin duyarlılık analizi
    - b-Temel değişkenlerin duyarlılık analizi
- Sunum miktarındaki duyarlılık analizi
- İstem miktarındaki duyarlılık analizi

Maliyetlerdeki Duyarlılık Analizi

Temel olmayan değişkenler ve temel olan değişkenlerin birim taşıma maliyetleri veya probleme etki eden diğer maliyetler değiştiğinde, bulunan optimum çözümün toplam maliyetinin ne miktarda değişiklik göstereceği ve bulunan optimal dağıtımın ne yönde değişeceği sorularına duyarlılık analizi ile cevap verilir.

Temel olmayan değişkenlerin, gözenin birim taşıma maliyetinin duyarlılığında dual değişkenlerin değerleri yani $u_i \; ve \; v_j$ aynı kalır. Eğer birim taşıma maliyeti (c_{IJ}) değişirse, bundan etkilenecek x_{IJ} temel olmayan değişkenin test miktarı artacaktır. $u_i + v_j - c_{IJ} \leq 0$ olduğunda optimum çözüme ulaşılıyor, yani her c_{IJ} değeri $u_i + v_j$ değerine eşit olduğu ya da ondan büyük olduğu sürece bulunan çözüm optimumdur. Kar tipi problemlerin duyarlılığını ele alırken maliyet tipi problemlerin tam karşıtı düşünülür. Geri çözümün optimal olması $u_i + v_j - p_{IJ} \geq 0$ optimaldir (Öztürk, 2004: 378-379).

Temel değişkenin maliyetindeki duyarlılığı belirlemek için aşağıdaki adımlar izlenir (Öztürk, 2004: 380):

- Duyarlılığı belirlenecek temel değişkenin maliyeti bir terim ile tanımlanır, bu genelde y terimidir.
- Dual değişkenleri yani u_I ve v_j değerleri y terimine bağlı olarak tekrar hesaplanır.
- Temel olmayan değişkenlerin test miktarları y terimi ile belirlenir.
- y terimini içeren tüm temel olmayan değişkenlerin test miktar ifadeleri sıfıra eşit ve sıfırdan küçük olma koşuluna göre düzenlenir. Bu eşitsizlikler y için çözümlenir. Yani y teriminin olabileceği aralık bulunur.

y terimi, koşullar sağlanarak bulunan aralıkta değiştiği sürece geçerli çözüm optimum kalır, y terimi bu aralığın dışına çıkarsa, mevcut çözümün optimumluğu bozulur.

Bu durumda optimum çözüm için model tekrar kurulup çözülmelidir.

Sunum Miktarındaki Duyarlılık Analizleri

Modeldeki dual değişkenlerin u_I ve v_j değerleri, doğrusal programlamadaki gölge fiyat kavramına karşılık gelir. Sunum miktarındaki değişiklik DS_i ile gösterilirse, bu değişiklik ile toplam maliyetin ne olacağı formül yardımıyla bulunur (Öztürk, 2004: 382).

$$\sum_{I=1}^{M} \sum_{J=1}^{N} c_{IJ}.x_{IJ} \pm DS_I.(u_i)$$

DS_i = Sunum miktarındaki değişiklik

u_I = İlgili sunum merkezinin dual değeri

Sunum merkezi miktarının artması durumunda formülde (+) işaret, azalmasında (-) işaret kullanılır.

İstem Miktarındaki Duyarlılık Analizi

Tüketim merkezlerinin yani istem merkezlerinin tüketim miktarındaki artış ve azalışların toplam maliyet üzerindeki etkisini v_j değerleri belirler. İstem merkezi tüketim miktarındaki değişim AD ile gösterilirse, bu değişiklik ile toplam maliyetin ne olacağı formül yardımıyla bulunur.

$$\sum_{i=1}^{M} \sum_{J=1}^{N} c_{İJ} x_{İJ} \pm AD_j (v_j)$$

AD_j = Sunum miktarındaki değişiklik

v_j = İlgili sunum merkezinin dual değeri

İstem merkezi miktarının artması durumunda formülde (+) işaret, azalmasında (-) işaret kullanılır.

Sunum ve istem miktarları aynı anda değişebilir. Böyle bir değişmenin toplam maliyetteki etkisi;

$$\sum_{İ=1}^{M} \sum_{J=1}^{N} c_{İJ} .x_{İJ} \pm DS_İ .(u_i) \pm AD_j .(v_j) \text{ olur.}$$

$u_İ$ *ve* v_j değerleri eksi olduğunda istem ve sunum miktarındaki artışlar toplam maliyeti düşürür. Bu da istem ve sunum koşullarını sağlamak amacı ile tüm temel değişkenlerde yapılacak yeni dağıtımın maliyetlerde azaltıcı etkisi olduğunu gösterir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ULAŞTIRMA MODELİNİN BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE UYGULAMASI

3.1. UYGULAMANIN TEORİK ESASLARI

Bu bölümde Denizli'deki bir tekstil işletmesinde ulaştırma modeli yardımıyla maliyet minimizasyonu sağlanmıştır.

Varsayımların Tartışılması

Ülkemiz tekstil ihracatına ulaştırma modelinin uygulanarak optimum dağıtım düzeninin bulunabilmesi için doğrusal programlamanın dayandığı varsayımların modelimizde de geçerli olması gerekir. Bunlar;

- Amaç fonksiyonunun doğrusal ve kantitatif olarak ifade edilmesi,
- Kaynakların sınırlı olması,
- Değişkenlerin birbirleri ile içten ilişkili olması,
- Değişkenlerin doğrusal eşitlik ya da eşitsizlikler halinde ifade edilebilmesi,
- Değişkenlerin negatif değer almaması,
- Veri ve faaliyetlerin aynı ölçü birimi ile ifade edilebilmesidir.

Bunlar doğrusal programlamanın genel varsayımlarıdır. Bu genel varsayımlar karşılansa bile problemin "ulaştırma modeli" olarak formüle edilebilmesi için aşağıdaki özel varsayımlarda problemde geçerli olmasıdır. Bunlar;

- Değişkenlerin katsayılarının 1 ya da 0 olması,
- Taşınan malların homojen olması,
- Her üretim noktasında yüklenecek ve her tüketim noktasında boşaltılacak miktarın kesin olarak bilinmesi,
- Toplam sevk edilecek miktarın toplam talep miktarına eşit olması,

- Her yükleme noktasından her boşaltma yerine kadar birim taşıma maliyetlerinin bilinmesidir.

Genel varsayımlar

a) Amaç fonksiyonunun doğrusal ve kantitatif olarak ifade edilmesi

Tekstil ihracatında amaç; ülke ekonomisini olumlu yönde doğrudan etkileyecek olan döviz girdisini yükseltmek şirket bazında da minimum maliyet ve maksimum kar çerçevesinde şirketin ihracat pazarını ve karını arttırmaktır.

Taşınan mal miktarıyla toplam taşıma gideri arasında doğru orantılı bir ilişki vardır ve bunun doğrusallığı birim taşıma giderinin taşınan miktara göre değişip değişmediğine bağlıdır. Birim taşıma giderlerini sabit kabul ettiğimizden, doğrusal bir ilişkinin olduğu söylenebilir.

b) Kaynakların sınırlı olması

Şirket ancak kapasiteleri ölçüsünde ihracat yapabilirler, ülkelerde ancak ihtiyaçları kadar ithalat yaparlar.

c) Değişkenlerin birbirleriyle içten ilişkili olması

Burada anlatılmak istenen; bir kaynağın belli bir amaca yöneltilmesiyle diğer kullanım alanlarından vazgeçilmesi, diğer bir ifade ile bir kaynağın bir alternatif kullanış imkanının mevcut olmasıdır. Örneğin; A ülkesi X şirketinden ithalat yaptığı takdirde, X şirketinin diğer ülkelere yapacağı ihracat azalmakta, böylece X şirketinin diğer ülkelere ihracatında A ülkesine yapılan ihracat miktarı kadar bir kullanma olanağından vazgeçilmektedir. Bu özelliğinden ötürü doğrusal programlama tekniği en düşük maliyetli alternatifleri bularak çözümü optimuma yaklaştırmaktadır.

d) Değişkenlerin doğrusal eşitlikler ya da eşitsizlikler halinde ifade edilebilmesi

İthalatçı ülkelerin talepleri ve şirketlerin tekstil ürünleri ile şirketlerden ülkelere ihraç edilecek miktarlar arasında çarpım ya da üssel bir ilişki söz konusu olmadığından kapasite ve sınırlama denklemlerini doğrusal eşitlik ya da eşitsizlikler halinde ifade etmek mümkündür.

e) Değişkenlerin negatif değer almaması

Doğrusal programlamanın önemli matematiksel gereklerinden birisi, değişkenlerin hiçbirinin çözümlerde negatif değer almamasıdır.

f) Veri ve faaliyetlerin aynı ölçü birimi ile ifade edilebilmesi

Bir probleme doğrusal programlama modelinin uygulanabilmesi için, veri ve faaliyetlerin aynı ölçü birimleriyle ifade edilmesi gerekir.

Özel varsayımlar

a) Değişkenlerin katsayılarının "Bir" ya da "Sıfır" olması

Doğrusal eşitlik ya da eşitsizlikler halinde ifade edilen değişkenlerin katsayıları "bir" den farklı olduğu takdirde ulaştırma metodunun uygulanması mümkün değildir. Taşıma araçlarında bölünebilirlik tama yakın olduğundan katsayıların "bir"e ya da "sıfır" a eşit olduğu kabul edilmiştir.

b) Taşınan malın homojen olması

Doğrusal programlama şeklinde ifade edilen probleme ulaştırma modelinin uygulanabilmesi için taşınan malın homojen olması gerekir. Tekstil ürünleri tek bir ölçü birimi ve tek bir kalem altında homojen mal olarak dikkate alınmıştır.

c) Her tüketim noktasında yüklenecek ve her tüketim noktasında boşaltılacak miktarın kesin olarak bilinmesi

Bu çalışmada bu husus şirketin toplam ihracat üretimleri ve ülkelerin toplam ithalat taleplerinin kesin olarak bilinmesi anlamına gelmektedir.

d) Toplam sevk edilecek miktarın toplam talep miktarına eşit olması

Şirketin ihracata ayırdıkları toplam miktar ile ülkelerin toplam ihracat taleplerinin birbirine eşitlenmesini ifade eder.

e) Her üretim noktasından her tüketim noktasına kadar olan uzaklık için birim taşıma maliyetlerinin bilinmesi

Şirketin ülkelere yapacağı ihracatın her bir ülke bazında birim taşıma maliyeti bilinmektedir (Analı, 1999: 86-89).

Modelleme İhtiyacı

Tekstil ihracatımızın ulaştırma modelini tasarlamaktaki amacı; minimum taşıma maliyeti, maksimum kazanç ilişkisini sağlayabilmektir.

Ayrıca hazırlanan modelin sistemi mümkün olduğu kadar iyi temsil etmesi, çözüm zamanının oldukça kısa olması matematiksel programlama modelinde aranan diğer özelliklerdendir.

Sistemin tasarımında yatırım işletme ve dağıtım maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmış ve matematiksel programlama modeli bu amaca göre hazırlanmıştır.

Modellenen problem, kısaca belirli sayıda kaynaktan belirli sayıda talep merkezine taşınacak tekstil ürünlerinin en ucuz maliyetle gerçekleştirilebilmesi olarak ifade edilebilir. Her üretim merkezinin yıllık ihracat kapasitesi, her talep merkezinin yıllık ithalat ihtiyacı ve üretim merkezleri ile talep merkezleri arasındaki birim taşıma maliyetleri bilinmektedir.

Uygulamada 1986 yılında ilk üretimine, Gümüşler-Denizli tesislerinde havlu ve bornoz üretimi ile başlayan bir tekstil işletmesi ele alınmıştır. Bu işletme Türkiye'de 1996 yılında şömil iplikten dokunmuş arkası kaplamalı döşemelik kumaş üretimi ile döşemelik kumaş endüstrisi içinde yerini almıştır. Kurulduğu günden itibaren dünyadaki tüm yenilik ve organizasyonları takip edip kendi oluşturduğu vizyonla, yüksek üretim kapasitesi ve kalite ile hem yurtiçinde hem de yurt dışında tam ve zamanında hizmet anlayışı, en iyi fiyat, en yüksek kalite ile müşterilerini memnun etmeyi ilke benimsemiştir. Bu tekstil işletmesi 14.000 m^2 kapalı alan üzerinde kurulu fabrikasındaki iplik, çözgü, kaplama ve tamamı bilgisayar kontrollü tezgahlardan oluşan dokuma salonu üniteleriyle merkez ve fabrikada çalışan, toplam 373 kişilik kadrosu ile 2.200.000 metre döşemelik kumaş üretimi gerçekleştirmektedir.

Bu tekstil işletmesinin satışlarının %45'lik kısmını İsrail, Polonya, Bileşik Arap Emirlikleri, İngiltere ve Rusya'ya ihraç etmektedir.

Kuruluşundan itibaren havlu-bornoz üretimini bu tekstil işletmesi adı ile yurtdışına pazarlayan işletme 2003 yılında havlu ve bornoz faaliyetlerini iştiraki olarak kurulan başka bir tekstil işletmesi adı altında faaliyetini sürdürmeye başlamıştır. İştiraki olarak kurulan bu tekstil işletmesi kapasitesinin tamamını yurtdışına ihraç etmektedir.

Ayrıca 1995 yılında bu tekstil işletmesi ikinci bir iştiraki işletme kurmuş olup bu işletmede şönil iplik üretimi yapan, üretiminin %40'nı kendi işletmesine, %40'nı yurt içine, %20'sini de Belçika ve İspanya'ya ihraç etmektedir.

Tekstil ürünleri ihracat rakamları incelendiğinde, bu sektörün en büyük ihracat kalemini oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu rakamlar toplam ihracatın %23'ünü, sanayi ürünleri ihracatının ise %47'sini oluşturmaktadır. Tekstil sektörünün sanayi üretimindeki payı, yerli bir ürün olan pamuğun değerlendirilmesiyle, %28 oranında gerçekleşmektedir (T.C. Atina Büyükelçiliği, 2007: 10).

Bugün iplik sektörünün yaşadığı başlıca sorunlar AB'nin iç pazarının birleşmesi sonucu ulusal kotaların iptal edilmesi, Çok Taraflı Elyaf Anlaşması'nın iptal edilmesi ve genel olarak uluslararası ticaretin serbestleşmesi, ayrıca Türkiye'nin AB ile gümrük birliği yapmış olmasıdır(T.C. Atina Büyükelçiliği, 2007: 10).

Bugün iplik üretiminde yaklaşık 750.000-800.000 arası mil kullanıldığı tahmin edilirken, bu rakam 1980'lerin başında 1.500.000 civarındaydı. Ancak bugün kullanılan millerin büyük bir çoğunluğu modern teknolojiye sahip, yüksek devirlerle çalışmaktadır (T.C. Atina Büyükelçiliği, 2007: 10).

Ülkemiz gerek hazır giyim gerek ev tekstili sanayisinde diğer tüm sanayi dallarında olduğu gibi kendini ispatlamıştır. Batı standartlarında üretim kalitesi ve kapasitesine ulaşmıştır. Tekstil sektörünün rekabet durumunu etkileyen başlıca faktörler; işçilik maliyetleri, teknik üretim teçhizatı, insan kaynaklarının kalitesi, özellikle hammaddelere ilişkin para birimi pariteleri (pamuk bir borsa ürünü olup, fiyatı uluslar arası bazda belirlenmektedir), iplik kalitesi, teslimatlarda zaman konusunda verilen sözün tutulması ve modanın değişmesidir.

Çalışmamızda Denizli ilinde faaliyet gösteren ve ihracat yapan bu tekstil işletmesinin üretmiş olduğu kumaşın gümrük merkezlerinden ülkelere dağıtım problemine, ulaştırma modelinin uygulanışı gösterilmiştir.

Bu çalışmadaki amaç, elde edilen bilgiler doğrultusunda ve kurulan ulaştırma modeli yardımıyla tekstil işletmesinin yıllık kumaş ihracatının taşıma maliyetini minimize etmektir. Kurulan model sonucunda mevcut taşıma planına göre ulaştırma maliyetinde bir düşüş sağlayan yeni bir taşıma planı oluşturulmuştur.

1) Tekstil İşletmesinin Dağıtım Problemi İçin Gerekli Veriler

Bu işletmede üç farklı yükleme sistemi ile taşıma yapılmaktadır.
Bunlar;

- Gemi Yüklemeleri
- Uçak Yüklemeleri
- Tır Yüklemeleri

Gemi Yüklemeleri: İki çeşit yükleme yapılmaktadır. Bunlar Full Konteynır ve Parsiyal Konteynırdır.

- Full konteynır da, konteynır limandan fabrikaya getirilir ve fabrikada yükleme yapılır.
- Parsiyal konteynır da ise; malların limana ambarlarla gönderimi yapılır.

Uçak Yüklemeleri: İki çeşit yükleme yapılmaktadır. Bunlar Hava Kargo ve Ekspres Kargo'dur.

- Hava Kargo'da, mallar havaalanına ambarlarla gönderilir. Gümrükleme yapılarak gönderim yapılır.
- Ekspres Kargo'da ise; mallar uluslararası kurye şirketleri tarafından fabrikadan alınır ve gümrüksüz yurtdışına ihraç edilir.

Tır Yüklemeleri: Yüklemelerin kara yolu ile gönderimi yapılması durumudur. Hangi taşıma yöntemi ile gönderileceği ihracat yapılacak olan ülkenin isteği doğrultusunda belirlenmektedir.

Uygulamada yalnızca kara yolu ile yapılan ihracat ele alınmış olup, gemi ve uçak ile yükleme yapılan ülkeler dikkate alınmamıştır.

Bu tekstil işletmesi, ürettiği kumaşları İstanbul, İzmir ve Denizli illerindeki gümrüklerden ihracat yaptığı ülkelere dağıtım yapmaktadır. Nakliye şirketi hangi şehirde ise; genelde oradan gümrükleme yapılır. İstanbul gümrükten İspanya'ya, Denizli gümrükten Hollanda'ya ve İzmir gümrükten de Romanya'ya gönderim yapılamamaktadır. Bu o şehirlerde nakliye şirketinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum da ülkelere göre değişkendir. Ülkelerin belirlenen kumaş ihtiyaçları ve gümrük çıkışları Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Ülkelerin kumaş ihtiyaçları ve gümrük çıkışları

Ülkeler	**Yapılan ihracat sayısı (adet)**	**Sipariş (metre)**	**İzmir gümrükten gönderilen kumaş (metre)**	**İstanbul gümrükten gönderilen kumaş (metre)**	**Denizli gümrükten gönderilen kumaş (metre)**
Almanya	16	14.000	12.500	6.700	7.800
İngiltere	13	28.590	16.500	12.200	11.340
İspanya	35	118.750	42.560	0	31.000
Polonya	56	30.000	21.300	10.300	17.600
Finlandiya	20	2.290	7.800	570	4.230
İsrail	44	12.300	4.950	1.130	9.660
Hollanda	22	16.200	9.800	9.980	0
İran	5	82.400	3.820	28.700	32.970
Romanya	8	20.600	0	17.600	6.320
Amerika	9	17.200	11.530	9.540	10.380
TOPLAM	**228**	**342.330**	**130.760**	**96.720**	**131.300**

İşletmenin gümrük merkezlerinden ülkelere yapılan ihracatın 2007 yılı birim taşıma maliyetleri (EUR) Tablo 3.2'deki gibidir.

İzmir, İstanbul ve Denizli gümrüklerinin toplam birim taşıma maliyetleri, aynı şehirlerdeki toplam taşıma maliyetlerinin ülkelerin talep ettikleri kumaş miktarına bölünmesiyle bulunmuştur.

Verilen bilgiler doğrultusunda işletmenin gümrük merkezilerinden ülkelere ihraç edilen kumaşların ulaştırma tablosu Tablo 3.3.'teki gibidir.

Tablo 3.2. Ülkelerin 2007 yılı birim taşıma maliyetleri

Ülkeler	İzmir gümrüğün toplam taşıma maliyeti (EUR)	İstanbul gümrüğün toplam taşıma maliyeti (EUR)	Denizli gümrüğün toplam taşıma maliyeti (EUR)	İzmir gümrüğün toplam birim taşıma maliyeti (EUR)	İstanbul gümrüğün toplam birim taşıma maliyeti (EUR)	Denizli gümrüğün toplam birim taşıma maliyeti (EUR)
Almanya	1.500	1.550	1.330	0,107	0,111	0,095
İngiltere	1.450	1.390	1.890	0,051	0,049	0,066
İspanya	20.000	0	22.344	0,168	0	0,188
Polonya	2.500	2.000	2.800	0,083	0,067	0,093
Finlandiya	520	410	450	0,227	0,179	0,200
İsrail	1.300	690	1.200	0,106	0,056	0,097
Hollanda	1.570	1.500	0	0,097	0,093	0
İran	9.200	9.350	10.000	0,111	0,113	0,121
Romanya	0	3.200	3.300	0	0,155	0,160
Amerika	1.000	985	1.150	0,058	0,057	0,067

Tablo 3.3. İşletmenin gümrük merkezleri ile ülkelere ihracatının birim taşıma maliyetleri

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 x_{11}	0,049 x_{12}	M x_{13}	0,067 x_{14}	0,179 x_{15}	0,056 x_{16}	0,093 x_{17}	0,113 x_{18}	0,155 x_{19}	0,057 $x_{1\,10}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 x_{21}	0,051 x_{22}	0,168 x_{23}	0,083 x_{24}	0,227 x_{25}	0,106 x_{26}	0,097 x_{27}	0,111 x_{28}	M x_{29}	0,058 $x_{2\,10}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 x_{31}	0,066 x_{32}	0,188 x_{33}	0,093 x_{34}	0,200 x_{35}	0,097 x_{36}	M x_{37}	0,121 x_{38}	0,160 x_{39}	0,067 $x_{3\,10}$	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	358.780 342.330

Problemin uygun çözümü varsa; toplam istem toplam sunumdan fazla olamaz. Bu problemin uygun çözümü vardır. Çünkü $\sum_{i=1}^{3} ai \geq \sum_{j=1}^{10} bj$ 'dir.

İstanbul gümrükten: İspanya'ya ihraç yapılmamaktadır. Nakliye şirketi hangi şehirde ise genelde oradan gümrük yapılır. Bu durum da ülkelere göre değişkendir. İstanbul gümrükten Almanya, İngiltere, Polonya, Finlandiya, İsrail, Hollanda, İran, Romanya, Amerika'ya, İzmir gümrükten; Almanya, İngiltere, İspanya, Polonya, Finlandiya, İsrail, Hollanda, İran ve Amerika'ya, Denizli gümrükten ise Almanya, İngiltere, İspanya, Polonya, Finlandiya, İsrail, İran, Romanya ve Amerika'ya ihraç edilmektedir. Söz konusu bu gümrükler ile ülkeler arasında dağıtım yapma olanağının olmaması, bu ulaştırma probleminin çözümüne sınırlamalar getirmektedir.

İşletmenin İstanbul'daki gümrük ile İspanya; İzmir Gümrük ile Romanya; Denizli Gümrük ile de Hollanda arasında ihracatın olmaması **(**$x_{13} = 0$**,**$x_{29} = 0$**,** $x_{37} = 0$**)** istenir.

Bu ulaştırma probleminin çözümü için, söz konusu yollarda taşıma maliyeti çok büyük pozitif bir sayı (M) olarak alınır. Çözüm, simpleks yöntemindeki M yöntemi ile aynı anlama gelmektedir. Bu şekilde çözümde bu gözelerin boş kalacağı yani atama yapılmayacağı garantilenmiş olur.

2) İşletmenin Dağıtım Problemi İçin Ulaştırma Modelinin Kurulması

Maliyetler toplamının doğrusal olduğu varsayılarak, ulaştırma problemi doğrusal programlama modeli gibi ifade edilebilir. Üç gümrük merkezi ve on ihracat yapılan ülkelerle ulaştırma problemi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

Minimum z = $0{,}111\, x_{1\,1} + 0{,}049\, x_{1\,2} + M\, x_{1\,3} + 0{,}067\, x_{1\,4} + 0{,}179\, x_{1\,5} + 0{,}056\, x_{1\,6} + 0{,}093\, x_{1\,7} + 0{,}113\, x_{1\,8} + 0{,}155\, x_{1\,9} + 0{,}057\, x_{1\,10} + 0{,}107\, x_{2\,1} + 0{,}051\, x_{2\,2} + 0{,}168\, x_{2\,3} + 0{,}083\, x_{2\,4} + 0{,}227\, x_{2\,5} + 0{,}106\, x_{2\,6} + 0{,}097\, x_{2\,7} + 0{,}111\, x_{2\,8} + M\, x_{2\,9} + 0{,}058\, x_{2\,10} + 0{,}095 x_{3\,1} + 0{,}066\, x_{3\,2} + 0{,}188\, x_{3\,3} + 0{,}093\, x_{3\,4} + 0{,}200\, x_{3\,5} + 0{,}097\, x_{3\,6} + M\, x_{3\,7} + 0{,}121\, x_{3\,8} + 0{,}160\, x_{3\,9} + 0{,}067\, x_{3\,10}$

Kısıtlayıcılar

$$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{110} \leq 96.720$$

$$x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{210} \leq 130.760$$

$$x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{38}+x_{39}+x_{310} \leq 131.300$$

$$x_{11}+x_{21}+x_{31} \geq 14.000$$

$$x_{12}+x_{22}+x_{32} \geq 28.590$$

$$x_{13}+x_{23}+x_{33} \geq 118.750$$

$$x_{14}+x_{24}+x_{34} \geq 30.000$$

$$x_{15}+x_{25}+x_{35} \geq 2.290$$

$$x_{16}+x_{26}+x_{36} \geq 12.300$$

$$x_{17}+x_{27}+x_{37} \geq 16.200$$

$$x_{18}+x_{28}+x_{38} \geq 82.400$$

$$x_{19}+x_{29}+x_{39} \geq 20.600$$

$$x_{110}+x_{210}+x_{310} \geq 17.200$$

$$x_{İJ} \geq 0 \;\; (İ = 1,2,3;\; J = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10)$$

Bu model WinQSB paket programı kullanılarak çözülmüş ve kullanılan kaynaklar ile tek bir optimal çözüm karar vericiye sunulmuştur. Bu durumda minimum taşıma maliyeti,
z = 41.521,52 EUR'dir.

Ulaştırma problemlerinde, toplam sunumun toplam isteme eşit olduğu kabul edilerek problem dengelenir. Gerçek uygulamalarda, denge durumu olmayıp sunum miktarı istemden az veya çok olabilir.

Ulaştırma tekniklerinin uygulanabilmesi için problem, dengelenmiş duruma getirilmelidir. Bu nedenle probleme kukla sunum veya istem merkezi eklenir. Bu uygulamada, probleme kukla istem merkezi eklenmiştir. Kukla sunum merkezine hiç ürün gönderilmeyeceği için, maliyeti 0'dır.

$$\sum_{İ=1}^{3} a_İ - \sum_{J=1}^{10} b_J = 358.780 - 342.330 = 16.450$$

Toplam sunum miktarı, toplam istem miktarından 16450 birim daha fazladır. Sunum fazlası olan 16450 birimlik hayali bir istem merkezi, kukla istem merkezi olarak yaratılır ve ulaştırma matrisinde ek bir sütun olarak gösterilir. Bu durum, Tablo 3.4’te görülmektedir.

WinQSB paket programıyla bulunan optimal çözüm değerleri ve kullanılan kaynaklar Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4. İşletmenin dengelenmiş ulaştırma tablosu

Ülkeler / Gümrük merkezleri	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Yapay ülke** (D_{11})	**Sunum**
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $x_{1\,1}$	0,049 $x_{1\,2}$	M $x_{1\,3}$	0,067 $x_{1\,4}$	0,179 $x_{1\,5}$	0,056 $x_{1\,6}$	0,093 $x_{1\,7}$	0,113 $x_{1\,8}$	0,155 $x_{1\,9}$	0,057 $x_{1\,10}$	0 $x_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $x_{2\,1}$	0,051 $x_{2\,2}$	0,168 $x_{2\,3}$	0,083 $x_{2\,4}$	0,227 $x_{2\,5}$	0,106 $x_{2\,6}$	0,097 $x_{2\,7}$	0,111 $x_{2\,8}$	M $x_{2\,9}$	0,058 $x_{2\,10}$	0 $x_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 $x_{3\,1}$	0,066 $x_{3\,2}$	0,188 $x_{3\,3}$	0,093 $x_{3\,4}$	0,200 $x_{3\,5}$	0,097 $x_{3\,6}$	M $x_{3\,7}$	0,121 $x_{3\,8}$	0,160 $x_{3\,9}$	0,067 $x_{3\,10}$	0 $x_{3\,11}$	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

3.2. İŞLETMENİN DAĞITIM PROBLEMİ İÇİN KURULAN ULAŞTIRMA MODELİNİN ÇÖZÜLMESİ

Toplam taşıma maliyetinde ilk adım, başlangıç çözümünün elde edilmesidir. Çözümlerin temel kabul edilebilir olması gerekmektedir. Buda her çözümün sonunda $(M+N-1)$ adet değişken olması anlamına gelmektedir. Problemde 3 sunum merkezi, 11 istem merkezi bulunmaktadır. Sonuçta temel kabul edilebilir çözümlerin $(3+11-1)=13$ adet çözüm değişkenine sahip olması gerekmektedir. Normalde 10 adet sunum merkezi olmasına rağmen problemi dengele-mek için ulaştırma tablosunda yapay bir sunum merkezi yaratılmıştır.

Problem başlangıç çözüm teknikleri ile çözüldükten sonra ortaya çıkan çözümlerin teknikleri ile çözüldükten sonra ortaya çıkan çözümlerin "atlama taşı yöntemi" veya "MODI yöntemi" yardımıyla optimal olması sağlanmaktadır.

Problemin başlangıç çözümleri şu yöntemlere göre yapılmıştır.

- Kuzeybatı köşe yöntemi
- En düşük maliyetli gözeler yöntemi
- Vogel'in yaklaşım yöntemi (VAM yöntemi)
- Russell'in yaklaşım yöntemi (RAM yöntemi)

Kuzeybatı Köşe Yöntemi

Dört yöntemden en basit olan kuzeybatı köşe yönteminde; ulaştırma tablosunun sol üst köşesindeki gözeye (X_{11}) birinci sunum merkezindeki ürünler, birinci istem merkezi miktarı içerisinde olabildiğince tahsis edilir.

Çözümde Kuzeybatı köşedeki (X_{11}) gözesine en fazla 14000 m. kumaş dağıtılabilir. X_{11}= 14.000 atanmasından sonra birinci sütun doyurulmuş olur. Dağıtıma X_{21} gözesiyle devam edilir. X_{21} = 28590 atanması ile de ikinci sütun doyurulmuş olur. Dağıtım kurallara göre yapıldığında karar değişkenleri aşağıdaki değerleri alır.

$x_{1\,1}$ = 14.000 metre

$x_{1\,2}$ = 28.590 metre

$x_{2\,3}$ = 118.750 metre

$x_{1\,4}$ = 30.000 metre

$x_{1\,5}$ = 2.290 metre

$x_{1\,6}$ = 12.300 metre

$x_{1\,7}$ = 9.540 metre

$x_{2\,7}$ = 6.660 metre

$x_{2\,8}$ = 5.350 metre

$x_{3\,8}$ = 77.050 metre

$x_{3\,9}$ = 20.600 metre

$x_{3\,10}$ = 17.200 metre

$x_{3\,11}$ = 16.450 metre

Çözümde (M + N - 1 = 11+ 3 - 1 = 13) on üç karar değişkenine değer atanmış olduğundan, çözüm temel kabul edilebilir çözümdür.

Amaç fonksiyonu değeri;

Minimum z = (14.000 * 0,111) + (28.590 * 0,049) + (118.750 * 0,168) + (30.000 * 0,067) + (2290 * 0,179) + (12.300 * 0,056) + (9.540 * 0,093) + (6.660 * 0,097) + (5.350 * 0,111) + (77.050 * 0,121) + (20.600 * 0,160) + (17.200 * 0,067) + (16.450 * 0)

= 41.912,16 EUR

Kuzeybatı köşe yöntemine göre problemin çözümü Tablo 3.5'te görülmektedir.

Tablo 3.1. Kuzeybatı köşe yöntemine göre çözümü

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 14.000	0,049 28.590	M	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 9.540	0,113	0,155	0,057	0	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 118.750	0,083	0,227	0,106	0,097 6.660	0,111 5.350	M	0,058	0	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095	0,066	0,188	0,093	0,200	0,097	M	0,121 77.050	0,160 20.600	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16450	358.780 358.780

En Düşük Maliyetli Gözeler Yöntemi

Bu yöntemde üç yaklaşım mevcuttur (Doğan, 1995: 85).

- Satır Yaklaşımı
- Sütun Yaklaşımı
- Genel Yaklaşım

Genel yaklaşımda bütün tablo dikkate alınarak en düşük maliyetli göze seçilir ve buraya dağıtım yapılır. Kalanlardan en düşük maliyetli ikinci göze seçilerek dağıtım yapılır. Bütün satır ve sütun ihtiyaçları karşılanıncaya kadar işlem devam eder. Yapay istem veya sunum merkezin hücre birim maliyetleri "0" olduğu için ilk hücre buradan seçilir. Hücre seçilirken aynı satır veya sütundaki hücrelerin maliyetlerinin büyük olduğu göze seçilir. Böylece bundan sonraki dağıtımların düşük maliyetli gözelere daha çok yapılması sağlanmış olur.

Problemimizde en düşük maliyetli ("0" maliyetli) gözeler yapay istem merkezi gözeleridir. $X_{2\ 11}$ gözesine 16.450 metre dağıtım yapılır. Sütun doymuştur. Satır ve sütun miktarları dikkate alınarak işleme devam edilir. Yapılan iterasyonlar sonucunda karar değişkenleri aşağıdaki değerleri alır.

$x_{2\ 11}$ = 16.450 metre

$x_{1\ 2}$ = 28.590 metre

$x_{1\ 6}$ = 12.300 metre

$x_{1\ 10}$ = 17.200 metre

$x_{1\ 4}$ = 30.000 metre

$x_{1\ 7}$ = 8.630 metre

$x_{3\ 1}$ = 14.000 metre

$x_{2\ 7}$ = 7.570 metre

$x_{2\ 8}$ = 82.400 metre

$x_{3\ 9}$ = 20.600 metre

$x_{2\ 3}$ = 24.340 metre

$x_{3\ 3}$ = 94.410 metre

$x_{3\ 5}$ = 2.290 metre

Amaç fonksiyonu değeri;

Minimum z = (28.590 * 0,049) + (30.000 * 0,067) + (12300 * 0,056) + (8630 * 0,093) + (17.200 * 0,057) + (24.340 * 0,168) + (7.570 * 0,097) + (82.400 * 0,111) + (16.450 * 0) + (14.000 * 0,095) + (94.410 * 0,188) + (2.290 * 0,200) + (20.600 * 0,160)

= 42.685,59 EUR

En düşük maliyetli gözeler yöntemine göre problemin çözümü Tablo 3.6'da görülmektedir.

Tablo 3.2. En düşük maliyetli gözeler yöntemine göre çözümü

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111	0,049 28.590	M	0,067 30.000	0,179	0,056 12.300	0,093 8.630	0,113	0,155	0,057 17.200	0	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 24.340	0,083	0,227	0,106	0,097 7570	0,111 82400	M	0,058	0 16.450	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066	0,188 94.410	0,093	0,200 2.290	0,097	M	0,121	0,160 20.600	0,067	0	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Vogel'in Yaklaşım Yöntemi (VAM Yöntemi)'ne Göre Çözümü

Vogel yaklaşım yönteminde en az maliyetli hedefleri seçmemekten doğan ek giderler hesaplanır. Bu giderlere pişmanlık veya ceza adı verilir. Aşağıdaki adımlar izlenir (Analı, 1999: 46);

- Ulaştırma tablosundaki her bir satır ve sütun için ayrı ayrı en düşük maliyetli iki göze belirlenir.
- Her bir satır ve sütundaki en küçük iki maliyetten, küçük olan büyük olanından çıkarılır. Her bir satır ve sütun için hesaplanan bu değerler, tabloya ilave edilen satır ve sütunlara yazılır.
- İlave satır ve sütundaki en büyük değer yani en kötü ceza belirlenir. Bu belirlenen cezanın karşısındaki satır veya sütunda yer alan en küçük maliyetli gözeye olabildiğince dağıtım yapılır. Doyuma ulaşan satır veya sütun tablodan kaldırılır.
- İlk üç adım satır veya sütun bire inene kadar devam ettirilir. Son satır veya sütunda en düşük maliyetli gözeden başlanarak dağıtım yapılır ve başlangıç çözüm elde edilir.

Çözümün sonuna kadar iterasyonlara devam edilir. Yapılan iterasyonlar sonucunda karar değişkenleri aşağıdaki değerleri alır.

$x_{1\,2}$ = 28.590 metre

$x_{1\,4}$ = 30.000 metre

$x_{1\,5}$ = 2.290 metre

$x_{1\,6}$ = 12.300 metre

$x_{1\,7}$ = 4.150 metre

$x_{1\,9}$ = 19.390 metre

$x_{2\,3}$ = 118.750 metre

$x_{2\,7}$ = 12.050 metre

$x_{3\,1}$ = 14.000 metre

$x_{3\,8}$ = 82.400 metre

$x_{3\,9}$ = 1.250 metre

$x_{3\,10}$ = 17.200 metre

$x_{3\,11}$ = 16.450 metre

Amaç fonksiyonu değeri;

Minimum z = (28.590 * 0,049) + (30.000 * 0,067) + (2.290 * 0,179) + (12.300 * 0,056) + (4.150 * 0,093) + (19.390 * 0,155) + (118.750 * 0,168) + (12.050 * 0,097) + (14.000 * 0,095) + (82.400 * 0,121) + (1.250 * 0,160) + (17.200 * 0,067) + (16.450 * 0)

= 41.672,67 EUR

Vogel yaklaşım yöntemine göre problemin çözümü Tablo 3.7'de görülmektedir.

Tablo 3.3. Vogel'in yaklaşım yöntemi (VAM yöntemi)'ne göre çözümü

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111	0,049 28.590	M	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 4.190	0,113	0,155 19.350	0,057	0	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 118.750	0,083	0,227	0,106	0,097 12.010	0,111	M	0,058	0	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066	0,188	0,093	0,200	0,097	M	0,121 82.400	0,160 1.250	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Russell'in yaklaşım yöntemi (RAM yöntemi)' ne göre çözümü

Bu yöntemi kullanarak çözüm için sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanır (Analı, 1999: 48);

- Başlangıç tablosuna bir satır ve bir sütun eklenir. Satır ve sütunlardaki en büyük maliyetler bu yeni satır ve sütuna yazılır.
- Boş bir tablo çizilerek yeni maliyetler hesaplanır. Gözelerin yeni maliyeti, gözeye karşılık gelen yeni satır ve sütundaki maliyetlerin toplamından, orijinal göze maliyetinin çıkarılması ile bulunur. ($c_{1\ 1\ yeni} = c_{1\ j\ max} + c_{1\ i\ max} - c_{1\ 1\ orjinal}$)
- Yeni oluşturulan tabloda en yüksek maliyetli gözeye dağıtım yapılır. Doyuma ulaşan satır veya sütun yok sayılarak, tekrar başlangıç tabloya gidilir.
- Tabloda satır veya sütun sayısı bire inene kadar ilk üç adım tekrarlanır. Tek satır / sütun kalınca dağılımlar yapılarak çözüme ulaşılır.

Çözümün sonuna kadar iterasyonlara devam edilir. Yapılan iterasyonlar sonucunda karar değişkenleri aşağıdaki değerleri alır.

$x_{1\ 7}$ = 16.200 metre

$x_{1\ 8}$= 59.920 metre

$x_{1\ 9}$ = 20.600 metre

$x_{2\ 3}$ = 118.750 metre

$x_{2\ 10}$ = 12.010 metre

$x_{3\ 1}$ = 14.000 metre

$x_{3\ 2}$ = 28.590 metre

$x_{3\ 4}$ = 30.000 metre

$x_{3\ 5}$ = 2.290 metre

$x_{3\ 6}$ = 12.300 metre

$x_{3\ 8}$ = 22.480 metre

$x_{3\ 10}$ = 5.190 metre

$x_{3\ 11}$ = 16.450 metre

Amaç fonksiyonu değeri;

Minimum z = (16.200 * 0,093) + (59.920 * 0,113) + (20600 * 0,155) + (118.750 * 0,168) + (12.010 * 0,058) +(14.000 * 0,095) + (28.590 * 0,066) + (30.000 * 0,093) + (2.290 * 0,200) + (12.300 * 0,097) +(22.480 * 0,121) + (5.190 * 0,067) + (16.450 * 0)

= 42.842,99 EUR

Russell'in yaklaşım yöntemine göre problemin çözüm Tablo 3.8'de görülmektedir.

Tablo 3.4. Russell'in yaklaşım yöntemi (RAM yöntemi)' ne göre çözümü

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay Ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111	0,049	M	0,067	0,179	0,056	0,093 16.200	0,113 59.920	0,155 26.600	0,057	0	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 118.750	0,083	0,227	0,106	0,097	0,111	M	0,058 12.010	0	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 28.590	0,188	0,093 30.000	0,200 2.290	0,097 12.300	M	0,121 22.480	0,160	0,067 5.190	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Tablo 3.5. Başlangıç çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Gümrük \ Yöntem		Kuzeybatı köşe yöntemi	En düşük maliyetli gözeler yöntemi	VAM yöntemi	Russell yöntemi
İstanbul gümrük	Almanya	14.000			
	İngiltere	28.590	28.590	28.590	
	Polonya	30.000	30.000	30.000	
	Finlandiya	2.290		2.290	
	İsrail	12.300	12.300	12.300	
	Hollanda	9.540	8.630	4.150	16.200
	İran				59.920
	Romanya			19.390	20.600
	Amerika		17.200		
İzmir gümrük	Almanya				
	İngiltere				
	İspanya	118.750	24.340	118.750	118.750
	Polonya				
	Finlandiya				
	İsrail				
	Hollanda	6.660	7.570	12.050	
	İran	5.350	82.400		
	Amerika				12.010
Denizli gümrük	Almanya		14.000	14.000	14.000
	İngiltere				28.590
	İspanya		94.410		
	Polonya				30.000
	Finlandiya		2.290		2.290
	İsrail				12.300
	İran	77.050		82.400	22.480
	Romanya	20.600	20.600	1.250	
	Amerika	17.200		17.200	5.190

YÖNTEM	MALİYET
Kuzeybatı köşe yöntemi	41.912,16
En düşük maliyetli gözeler yöntemi	42.685,59
VAM yöntemi	41.672,67
Russell yaklaşımı yöntemi	42.842,99

Tablo 3.9'da görüldüğü gibi, VAM yöntemi en düşük maliyetli, Russell yöntemi en yüksek maliyetli dağıtım planını vermiştir.

Ulaşılan sonuçların tamamı temel kabul edilebilir başlangıç çözümleridir. Optimumluk testi için en uygun çözümler bulunmalıdır.

3.3. EN UYGUN ÇÖZÜMÜN BULUNMASI

En uygun çözümün bulunması için kullandığımız iki yöntem vardır (Karayalçın, 1993: 133):

1. Atlama taşı yöntemi
2. MODI yöntemi

Atlama Taşı Yöntemi ile En Uygun Çözümün Bulunması

Atlama taşı yöntemi her boş hücrenin değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Çözüme başlangıç yöntemlerinde olduğu gibi iterasyonlar vasıtasıyla ulaşılır. Yöntem optimal çözümün bulunması esasına VAM yöntemiyle ulaşılan sonucun değerlendirilmesi için kullanılacaktır.

Probleme ait hesaplamalar VAM başlangıç çözüm yöntemi sonuçlarından yola çıkarak hazırlanmıştır.

Minimum z = (28590 * 0,049) + (30000 * 0,0,067) + (2290 * 0,179) + (12300 * 0,056) + (16200 * 0,093) + (7340 * 0,057) + (118750 * 0,168) + (12010 * 0,111) + (14000 * 0,095) + (70390 * 0,121) + (20600 * 0,160) + (9860 * 0,067) + (16.450 * 0)

= 41.521,52 EUR

Atlama taşı yöntemine göre problemin optimal çözümü Tablo 3.10-3.24'te görülmektedir.

Tablo 3.1. Atlama Taşı Yöntemi -1-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $d_{1\,1}$	0,049 28.590	M $d_{1\,3}$	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 4.190	0,113 $d_{1\,8}$	0,155 19.350	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $d_{2\,1}$	0,051 $d_{2\,2}$	0,168 118.750	0,083 $d_{2\,4}$	0,227 $d_{2\,5}$	0,106 $d_{2\,6}$	0,097 12.010	0,111 $d_{2\,8}$	M $d_{2\,9}$	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14..000	0,066 $d_{3\,2}$	0,188 $d_{3\,3}$	0,093 $d_{3\,4}$	0,200 $d_{3\,5}$	0,097 $d_{3\,6}$	M $d_{3\,7}$	0,121 82.400	0,160 1.250	0,067 17.200	0 16.450	131.300
												358.780
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780

Devamı arkada

Tablo 3.2. Atlama Taşı Yöntemi -2-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 d_{11}	0,049 28.590	M d_{13}	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 4.190	0,113 d_{18}	0,155 19.350	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 d_{21}	0,051 d_{22}	0,168 118.750	0,083 d_{24}	0,227 d_{25}	0,106 d_{26}	0,097 12.010	0,111 d_{28}	M d_{29}	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 d_{32}	0,188 d_{33}	0,093 d_{34}	0,200 d_{35}	0,097 d_{36}	M d_{37}	0,121 82.400	0,160 1.250	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

Tablo 3.3. Atlama Taşı Yöntemi -3-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Yapay ülke** (D_{11})	**Sunum**
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $d_{1\,1}$	0,049 28.590	M $d_{1\,3}$	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 4.190	0,113 $d_{1\,8}$	0,155 19.350	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $d_{2\,1}$	0,051 $d_{2\,2}$	0,168 118.750	0,083 $d_{2\,4}$	0,227 $d_{2\,5}$	0,106 $d_{2\,6}$	0,097 12.010	0,111 $d_{2\,8}$	M $d_{2\,9}$	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 $d_{3\,2}$	0,188 $d_{3\,3}$	0,093 $d_{3\,4}$	0,200 $d_{3\,5}$	0,097 $d_{3\,6}$	M $d_{3\,7}$	0,121 82.400	0,160 1.250	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

Tablo 3.4. Atlama Taşı Yöntemi -4-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 d_{11}	0,049 28.590	M d_{13}	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 4.190	0,113 d_{18}	0,155 19.350	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 d_{21}	0,051 d_{22}	0,168 118.750	0,083 d_{24}	0,227 d_{25}	0,106 d_{26}	0,097 12.010	0,111 d_{28}	M d_{29}	0,058 $d_{2\,10}$	0	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 d_{32}	0,188 d_{33}	0,093 d_{34}	0,200 d_{35}	0,097 d_{36}	M d_{37}	0,121 82.400	0,160 1.250	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

$d_{1\,1} = c_{1\,1} - c_{1\,9} + c_{3\,9} - c_{3\,1} = 0{,}111 - 0{,}155 + 0{,}160 - 0{,}095 = 0{,}021$

$d_{1\,8} = c_{1\,8} - c_{1\,9} + c_{3\,9} - c_{3\,8} = 0{,}113 - 0{,}155 + 0{,}160 - 0{,}121 = -0{,}003$

$d_{1\,10} = c_{1\,10} - c_{3\,10} + c_{3\,9} - c_{1\,9} = 0{,}057 - 0{,}067 + 0{,}160 - 0{,}155 = -0{,}005$

$d_{1\,11} = c_{1\,11} – c_{3\,11} + c_{3\,9} - c_{1\,9} = 0 - 0 + 0{,}160 - 0{,}155 = 0{,}005$

$d_{2\,1} = c_{2\,1} - c_{2\,7} + c_{1\,7} - c_{1\,9} + c_{3\,9} - c_{3\,1} = 0{,}107 - 0{,}097 + 0{,}093 - 0{,}155 + 0{,}160 - 0{,}095$
$= 0{,}013$

$d_{2\,2} = c_{2\,2} - c_{1\,2} + c_{1\,7} - c_{2\,7} = 0{,}051 - 0{,}049 + 0{,}093 - 0{,}097 = -0{,}002$

$d_{2\,4} = c_{2\,4} - c_{1\,4} + c_{1\,7} - c_{2\,7} = 0{,}083 - 0{,}067 + 0{,}093 - 0{,}097 = 0{,}012$

$d_{2\,5} = c_{2\,5} - c_{1\,5} + c_{1\,7} - c_{2\,7} = 0{,}227 - 0{,}179 + 0{,}093 - 0{,}097 = 0{,}044$

$d_{2\,6} = c_{2\,6} - c_{1\,6} + c_{1\,7} - c_{2\,7} = 0{,}106 - 0{,}056 + 0{,}093 - 0{,}097 = 0{,}046$

$\mathbf{d_{2\,8} = c_{2\,8} - c_{2\,7} + c_{1\,7} - c_{1\,9} + c_{3\,9} - c_{3\,8} = 0{,}111 - 0{,}097 + 0{,}093 - 0{,}155 + 0{,}160 - 0{,}121}$
$\mathbf{= -0{,}009}$

$d_{2\,10} = c_{2\,10} - c_{2\,7} + c_{1\,7} - c_{1\,9} + c_{3\,9} - c_{3\,10} = 0{,}058 - 0{,}097 + 0{,}093 - 0{,}155 + 0{,}160 - 0{,}067$
$= -0{,}008$

$d_{2\,11} = c_{2\,11} - c_{2\,7} + c_{1\,7} - c_{1\,9} + c_{3\,9} - c_{3\,11} = 0 - 0{,}097 + 0{,}093 - 0{,}155 + 0{,}160 – 0 = 0{,}001$

$d_{3\,2} = c_{3\,2} - c_{1\,2} + c_{1\,9} - c_{3\,9} = 0{,}066 -0{,}049 + 0{,}155 -0{,}160 = 0{,}012$

$d_{3\,3} = c_{3\,3} - c_{2\,3} + c_{2\,7} - c_{1\,7} + c_{1\,9} - c_{3\,9} = 0{,}188 - 0{,}168 + 0{,}097 - 0{,}093 + 0{,}155 - 0{,}160 –$
$0 = 0{,}019$

$d_{3\,4} = c_{3\,4} - c_{1\,4} + c_{1\,9} - c_{3\,9} = 0{,}093 - 0{,}067 + 0{,}155 - 0{,}160 = 0{,}021$

$d_{3\,5} = c_{3\,5} - c_{1\,5} + c_{1\,9} - c_{3\,9} = 0{,}200 - 0{,}179 + 0{,}155 - 0{,}160 = 0{,}016$

$d_{3\,6} = c_{3\,6} - c_{1\,6} + c_{1\,9} - c_{3\,9} = 0{,}097 - 0{,}056 + 0{,}155 - 0{,}160 = 0{,}036$

Tablo 3.5. Atlama taşı yöntemi geliştirilen çözüm -1-

Gümrük merkezleri \ Ülkeler	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $d_{1\,1}$	0,049 28.590	M $d_{1\,3}$	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 ***16.200*** ~~4.190~~	0,113 $d_{1\,8}$	0,155 ***7.340*** ~~19.350~~	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $d_{2\,1}$	0,051 $d_{2\,2}$	0,168 118.750	0,083 $d_{2\,4}$	0,227 $d_{2\,5}$	0,106 $d_{2\,6}$	0,097 ~~12.010~~ ***0***	0,111 ***12.010*** $\cancel{d_{2\,8}}$	M $d_{2\,9}$	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 $d_{3\,2}$	0,188 $d_{3\,3}$	0,093 $d_{3\,4}$	0,200 $d_{3\,5}$	0,097 $d_{3\,6}$	M $d_{3\,7}$	0,121 ~~82.400~~ ***70.390***	0,160 ~~1.250~~ ***13.260***	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

Tablo 3.6. Atlama taşı yöntemi -5-

Gümrük merkezleri \ Ülkeler	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Yapay ülke** (D_{11})	**Sunum**
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 d_{11}	0,049 28.590	M d_{13}	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 d_{18}	0,155 7.340	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 d_{21}	0,051 d_{22}	0,168 118.750	0,083 d_{24}	0,227 d_{25}	0,106 d_{26}	0,097 0	0,111 12.010	M d_{29}	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 d_{32}	0,188 d_{33}	0,093 d_{34}	0,200 d_{35}	0,097 d_{36}	M d_{37}	0,121 70.390	0,160 13.260	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

Tablo 3.7. Atlama taşı yöntemi -6-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $d_{1\,1}$	0,049 28.590	M $d_{1\,3}$	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 $d_{1\,8}$	0,155 7.340	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $d_{2\,1}$	0,051 $d_{2\,2}$	0,168 118.750	0,083 $d_{2\,4}$	0,227 $d_{2\,5}$	0,106 $d_{2\,6}$	0,097 0	0,111 12.010	M $d_{2\,9}$	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 $d_{3\,2}$	0,188 $d_{3\,3}$	0,093 $d_{3\,4}$	0,200 $d_{3\,5}$	0,097 $d_{3\,6}$	M $d_{3\,7}$	0,121 70.390	0,160 13.260	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Tablo 3.8. Atlama taşı yöntemi -7-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $d_{1\,1}$	0,049 28.590	M $d_{1\,3}$	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 $d_{1\,8}$	0,155 7.340	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $d_{2\,1}$	0,051 $d_{2\,2}$	0,168 118.750	0,083 $d_{2\,4}$	0,227 $d_{2\,5}$	0,106 $d_{2\,6}$	0,097 0	0,111 12.010	M $d_{2\,9}$	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 $d_{3\,2}$	0,188 $d_{3\,3}$	0,093 $d_{3\,4}$	0,200 $d_{3\,5}$	0,097 $d_{3\,6}$	M $d_{3\,7}$	0,121 70.390	0,160 13.260	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

Tablo 3.9. Atlama taşı yöntemi -8-

Gümrük merkezleri \ Ülkeler	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 d_{11}	0,049 28.590	M d_{13}	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 d_{18}	0,155 7.340	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 d_{21}	0,051 d_{22}	0,168 118.750	0,083 d_{24}	0,227 d_{25}	0,106 d_{26}	0,097 0	0,111 12.010	M d_{29}	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 d_{32}	0,188 d_{33}	0,093 d_{34}	0,200 d_{35}	0,097 d_{36}	M d_{37}	0,121 70.390	0,160 13.260	0,067 17.200	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

$d_{1\,1} = c_{1\,1} - c_{1\,9} + c_{3\,9} - c_{3\,1} = 0{,}111 - 0{,}155 + 0{,}160 - 0{,}095 = 0{,}021$

$d_{1\,8} = c_{1\,8} - c_{1\,9} + c_{3\,9} - c_{3\,8} = 0{,}113 - 0{,}155 + 0{,}160 - 0{,}121 = -0{,}003$

$\mathbf{d_{1\,10} = c_{1\,10} - c_{3\,10} + c_{3\,9} - c_{1\,9} = 0{,}057 - 0{,}067 + 0{,}160 - 0{,}155 = -0{,}005}$

$d_{1\,11} = c_{1\,11} - c_{3\,11} + c_{3\,9} - c_{1\,9} = 0 - 0 + 0{,}160 - 0{,}155 = 0{,}005$

$d_{2\,1} = c_{2\,1} - c_{2\,8} + c_{3\,8} - c_{3\,1} = 0{,}107 - 0{,}111 + 0{,}121 - 0{,}095 = 0{,}022$

$d_{2\,2} = c_{2\,2} - c_{1\,2} + c_{1\,9} - c_{3\,9} + c_{3\,8} - c_{2\,8} = 0{,}051 - 0{,}049 + 0{,}155 - 0{,}160 + 0{,}121 - 0{,}111$
$= 0{,}007$

$d_{2\,4} = c_{2\,4} - c_{1\,4} + c_{1\,9} - c_{3\,9} + c_{3\,8} - c_{2\,8} = 0{,}083 - 0{,}067 + 0{,}155 - 0{,}160 + 0{,}121 - 0{,}111$
$= 0{,}021$

$d_{2\,5} = c_{2\,5} - c_{2\,8} + c_{3\,8} - c_{3\,9} + c_{1\,9} - c_{1\,5} = 0{,}227 - 0{,}111 + 0{,}121 - 0{,}160 + 0{,}155 - 0{,}179$
$= 0{,}053$

$d_{2\,6} = c_{2\,6} - c_{2\,8} + c_{3\,8} - c_{3\,9} + c_{1\,9} - c_{1\,6} = 0{,}106 - 0{,}111 + 0{,}121 - 0{,}160 + 0{,}155 - 0{,}056$
$= 0{,}055$

$d_{2\,7}=c_{2\,7}-c_{2\,8}+c_{3\,8}-c_{3\,9}+c_{1\,9}-c_{1\,7} = 0{,}097-0{,}111+0{,}121-0{,}160+0{,}155-0{,}093=0{,}009$

$d_{2\,10} = c_{2\,10} - c_{2\,8} + c_{3\,8} - c_{3\,10} = 0{,}058 - 0{,}111 + 0{,}121 - 0{,}067 = 0{,}001$

$d_{2\,11} = c_{2\,11} - c_{2\,8} + c_{3\,8} - c_{3\,11} = 0 - 0{,}111 + 0{,}121 - 0 = 0{,}01$

$d_{3\,2} = c_{3\,2} - c_{1\,2} + c_{1\,9} - c_{3\,9} = 0{,}066 - 0{,}049 + 0{,}155 - 0{,}160 = 0{,}012$

$d_{3\,3} = c_{3\,3} - c_{2\,3} + c_{2\,8} - c_{3\,8} = 0{,}188 - 0{,}168 + 0{,}111 - 0{,}121 = 0{,}01$

$d_{3\,4} = c_{3\,4} - c_{1\,4} + c_{1\,9} - c_{3\,9} = 0{,}093 - 0{,}067 + 0{,}155 - 0{,}160 = 0{,}021$

$d_{3\,5} = c_{3\,5} - c_{1\,5} + c_{1\,9} - c_{3\,9} = 0{,}200 - 0{,}179 + 0{,}155 - 0{,}160 = 0{,}016$

$d_{3\,6} = c_{3\,6} - c_{1\,6} + c_{1\,9} - c_{3\,9} = 0{,}097 - 0{,}056 + 0{,}155 - 0{,}160 = 0{,}036$

Tablo 3.10. Atlama taşı yöntemi geliştirilen çözüm -2-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Kukla ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $d_{1\,1}$	0,049 28.590	M $d_{1\,3}$	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 $d_{1\,8}$	0,155 ~~7.340~~ ***0***	0,057 $\cancel{d_{1\,10}}$ ***7340***	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $d_{2\,1}$	0,051 $d_{2\,2}$	0,168 118.750	0,083 $d_{2\,4}$	0,227 $d_{2\,5}$	0,106 $d_{2\,6}$	0,097	0,111 12.010	M $d_{2\,9}$	0,058 $d_{2\,10}$	0,107 0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 $d_{3\,2}$	0,188 $d_{3\,3}$	0,093 $d_{3\,4}$	0,200 $d_{3\,5}$	0,097 $d_{3\,6}$	M $d_{3\,7}$	0,121 70.390	0,160 ~~13.260~~ ***20600***	0,067 ~~17.200~~ ***9860***	0,095 0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Tablo 3.11. Atlama taşı yöntemi -9-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $d_{1\,1}$	0,049 28.590	M $d_{1\,3}$	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 $d_{1\,8}$	0,155 0	0,057 $d_{1\,10}$	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $d_{2\,1}$	0,051 $d_{2\,2}$	0,168 118.750	0,083 $d_{2\,4}$	0,227 $d_{2\,5}$	0,106 $d_{2\,6}$	0,097	0,111 12.010	M $d_{2\,9}$	0,058 $d_{2\,10}$	0,107 0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 $d_{3\,2}$	0,188 $d_{3\,3}$	0,093 $d_{3\,4}$	0,200 $d_{3\,5}$	0,097 $d_{3\,6}$	M $d_{3\,7}$	0,121 70.390	0,160 20.600	0,067 9.860	0,095 0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

Tablo 3.12. Atlama taşı yöntemi -10-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Yapay ülke** (D_{11})	**Sunum**
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 d_{11}	0,049 28.590	M d_{13}	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 d_{18}	0,155	0,057 7.340	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 d_{21}	0,051 d_{22}	0,168 118.750	0,083 d_{24}	0,227 d_{25}	0,106 d_{26}	0,097	0,111 12.010	M d_{29}	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 d_{32}	0,188 d_{33}	0,093 d_{34}	0,200 d_{35}	0,097 d_{36}	M d_{37}	0,121 70.390	0,160 20.600	0,067 9.860	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

Tablo 3.13. Atlama taşı yöntemi -11-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Yapay ülke** (D_{11})	**Sunum**
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $d_{1\,1}$	0,049 28.590	M $d_{1\,3}$	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 $d_{1\,8}$	0,155	0,057 7.340	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $d_{2\,1}$	0,051 $d_{2\,2}$	0,168 118.750	0,083 $d_{2\,4}$	0,227 $d_{2\,5}$	0,106 $d_{2\,6}$	0,097	0,111 12.010	M $d_{2\,9}$	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 $d_{3\,2}$	0,188 $d_{3\,3}$	0,093 $d_{3\,4}$	0,200 $d_{3\,5}$	0,097 $d_{3\,6}$	M $d_{3\,7}$	0,121 70.390	0,160 20.600	0,067 9.860	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

Tablo 3.14. Atlama taşı yöntemi -12-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Yapay ülke** (D_{11})	**Sunum**
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 $d_{1\,1}$	0,049 28.590	M $d_{1\,3}$	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 $d_{1\,8}$	0,155	0,057 7.340	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 $d_{2\,1}$	0,051 $d_{2\,2}$	0,168 118.750	0,083 $d_{2\,4}$	0,227 $d_{2\,5}$	0,106 $d_{2\,6}$	0,097	0,111 12.010	M $d_{2\,9}$	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 $d_{3\,2}$	0,188 $d_{3\,3}$	0,093 $d_{3\,4}$	0,200 $d_{3\,5}$	0,097 $d_{3\,6}$	M $d_{3\,7}$	0,121 70.390	0,160 20.600	0,067 9.860	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 358.780

Devamı arkada

Tablo 3.15. Atlama taşı yöntemi -13-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum
İstanbul gümrük (S_1)	0,111 d_{11}	0,049 28.590	M d_{13}	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113 d_{18}	0,155	0,057 7.340	0 $d_{1\,11}$	96.720
İzmir gümrük (S_2)	0,107 d_{21}	0,051 d_{22}	0,168 118.750	0,083 d_{24}	0,227 d_{25}	0,106 d_{26}	0,097	0,111 12.010	M d_{29}	0,058 $d_{2\,10}$	0 $d_{2\,11}$	130.760
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066 d_{32}	0,188 d_{33}	0,093 d_{34}	0,200 d_{35}	0,097 d_{36}	M d_{37}	0,121 70.390	0,160 20.600	0,067 9.860	0 16.450	131.300
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358.780 / 358.780

Devamı arkada

$d_{1\,1} = c_{1\,1} - c_{1\,10} + c_{3\,10} - c_{3\,1} = 0{,}111 - 0{,}057 + 0{,}067 - 0{,}095 = 0{,}026$

$d_{1\,8} = c_{1\,8} – c_{1\,10} + c_{3\,10} – c_{3\,8} = 0{,}113 – 0{,}057 + 0{,}067 - {,}0{,}121 = 0{,}002$

$d_{1\,9} = c_{1\,9} - c_{1\,10} + c_{3\,10} - c_{3\,9} = 0{,}155 - 0{,}057 + 0{,}067 - 0{,}160 = 0{,}005$

$d_{1\,11} = c_{1\,11} – c_{3\,11} + c_{3\,10} - c_{110} = 0 - 0 + 0{,}067 - 0{,}057 = 0{,}010$

$d_{2\,1} = c_{2\,1} - c_{2\,8} + c_{3\,8} - c_{3\,1} = 0{,}107 - 0{,}111 + 0{,}121 - 0{,}095 = 0{,}022$

$d_{2\,2} = c_{2\,2} - c_{1\,2} + c_{1\,10} – c_{3\,10} + c_{3\,8} - c_{2\,8} = 0{,}051 - 0{,}049 + 0{,}057 - 0{,}067 + 0{,}121 - 0{,}111$
$= 0{,}002$

$d_{2\,4} = c_{2\,4} - c_{1\,4} + c_{1\,10} – c_{3\,10} + c_{3\,8} - c_{2\,8} = 0{,}083 - 0{,}067 + 0{,}057 - 0{,}067 + 0{,}121 - 0{,}111$
$= 0{,}016$

$d_{2\,5} = c_{2\,5} - c_{1\,5} + c_{1\,10} – c_{3\,10} + c_{3\,8} - c_{2\,8} = 0{,}227 - 0{,}179 + 0{,}057 - 0{,}067 + 0{,}121 - 0{,}111$
$= 0{,}048$

$d_{2\,6} = c_{2\,6} - c_{1\,6} + c_{1\,10} – c_{3\,10} + c_{3\,8} - c_{2\,8} = 0{,}106 - 0{,}056 + 0{,}057 - 0{,}067 + 0{,}121 - 0{,}111$
$= 0{,}05$

$d_{2\,7} = c_{2\,7} - c_{1\,7} + c_{1\,10} – c_{3\,10} + c_{3\,8} - c_{2\,8} = 0{,}097 - 0{,}093 + 0{,}057 - 0{,}067 + 0{,}121 - 0{,}111$
$= 0{,}004$

$\mathbf{d_{2\,10} = c_{2\,10} – c_{3\,10} + c_{3\,8} – c_{2\,8} = 0{,}058 - 0{,}067 + 0{,}121 – 0{,}111 = 0{,}001}$

$d_{2\,11} = c_{2\,11} – c_{3\,11} + c_{3\,8} – c_{2\,8} = 0 – 0 + 0{,}121 - 0{,}111 = 0{,}010$

$d_{3\,2} = c_{3\,2} - c_{1\,2} + c_{1\,10} - c_{3\,10} = 0{,}066 - 0{,}049 + 0{,}057 - 0{,}067 = 0{,}007$

$d_{3\,3} = c_{3\,3} - c_{2\,3} + c_{2\,8} – c_{3\,8} = 0{,}188 - 0{,}168 + 0{,}111 - 0{,}121 = 0{,}010$

$d_{3\,4} = c_{3\,4} - c_{1\,4} + c_{1\,10} - c_{3\,10} = 0{,}093 - 0{,}067 + 0{,}057 - 0{,}067 = 0{,}016$

$d_{3\,5} = c_{3\,5} - c_{1\,5} + c_{1\,10} - c_{3\,10} = 0{,}200 - 0{,}179 + 0{,}057 - 0{,}067 = 0{,}011$

$d_{3\,6} = c_{3\,6} - c_{1\,6} + c_{1\,10} - c_{3\,10} = 0{,}097 - 0{,}056 + 0{,}057 - 0{,}067 = 0{,}031$

MODI Yöntemi İle En Uygun Çözümün Bulunması

MODI yöntemi ile incelenen problemde amaç, toplam maliyeti minimize etmeyi gerektirmektedir.

MODI yöntemi, atlama taşı yöntemine oranla hesaplama işlemi ve optimuma ulaşma bakımından daha kolaydır. MODI yönteminde boş gözelerin gizli maliyetleri çevrim yapılmadan hesaplanır. Bu yöntemde boş gözelerin değerlendirilmesi, gölge maliyetlerle gerçekleştirilir. Yöntemde ulaştırma maliyetinin gönderme u_i ve alma v_j maliyetlerinden oluştuğu varsayılır. Bu değişkenler dual değişkenlerdir. Buradan MODI yönteminin dual problemin çözümüne dayandığı çıkarılabilir.

Ulaştırma probleminin duali şu şekilde formüle edilir:

<u>Primal Problem</u>:

Minimum z=$\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} c_{ij} x_{ij}$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = a_i \qquad a = 1,2,...,M$$

$$\sum_{i=1}^{M} x_{ij} = b_j \qquad J = 1,2,...,N$$

$$x_{İJ} \geq 0 \quad İ = 1,2,...,M \text{ ve } J = 1,2,...,N$$

<u>Dual Problem:</u>

Maksimum y=$\sum_{i=1}^{M} a_i u_i + \sum_{j=1}^{N} b_j v_j$

Kısıtlayıcılar:

$$U_1 + V_1 \leq c_{İJ} \qquad İ = 1,2,...,M$$

$$J = 1,2,...,N$$

Burada $U_İ$ ve V_J gölge maliyetlerdir. Dolu hücreler için gönderme ve alma maliyetleri toplamının birim ulaştırma maliyetine eşit olduğu kabul edilir. Yani $C_{İJ} = U_i + V_J$'dir. Gönderme ve alma maliyetlerinden birine rastgele sıfır değeri verilerek her sütun ve satır için gönderme ve alma gölge maliyetleri hesaplanır. Daha sonra boş hücreler dikkate alınarak çözümün iyileştirilip iyileştirilemeyeceği incelenir. Bir boş hücre için gönderme ve alma maliyetlerinin toplamı, bu hücre için gerçek maliyeti aşıyorsa bu hücreye bir birim göndermekle maliyetlerde tasarruf sağlanmış olur.

Problemimize ait hesaplamalar VAM başlangıç çözüm yöntemi sonuçları alına-rak yapılmıştır.

Minimum z = (28590 * 0,049) + (30000 * 0,0,067) + (2290 * 0,179) + (12300 * 0,056) + (16200 * 0,093) + (7340 * 0,057) + (118750 * 0,168) + (12010 * 0,111) + (14000 * 0,095) + (70390 * 0,121) + (20600 * 0,160) + (9860 * 0,067) + (16.450 * 0)

= 41.521,52 EUR

MODI yöntemine göre problemin optimal çözümü Tablo 3.25-3.30'da görülmektedir.

Tablo 3.16. MODI yöntemi -1-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Yapay ülke** (D_{11})	**Sunum**	
İstanbul gümrük (S_1)	0,111	0,049 28.590	M	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 4.190	0,113	0,155 19.350	0,057	0	96720	U_1
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 118.750	0,083	0,227	0,106	0,097 12.010	0,111	M	0,058	0	130760	U_2
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066	0,188	0,093	0,200	0,097	M	0,121 82.400	0,160 1.250	0,067 17.200	0 16.450	131300	U_3
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358780 358780	
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}		

$x_{1\,2}$: $U_1 + V_2 = C_{12} = 0{,}049$

$x_{1\,4}$: $U_1 + V_4 = C_{14} = 0{,}067$

$x_{1\,5}$: $U_1 + V_5 = C_{15} = 0{,}179$

$x_{1\,6}$: $U_1 + V_6 = C_{16} = 0{,}056$

$x_{1\,7}$: $U_1 + V_7 = C_{17} = 0{,}093$

$x_{1\,9}$: $U_1 + V_9 = C_{19} = 0{,}155$

$x_{2\,3}$: $U_2 + V_3 = C_{23} = 0{,}168$

$x_{2\,7}$: $U_2 + V_7 = C_{27} = 0{,}097$

$x_{3\,1}$: $U_3 + V_1 = C_{31} = 0{,}095$

$x_{3\,8}$: $U_3 + V_8 = C_{38} = 0{,}121$

$x_{3\,9}$: $U_3 + V_9 = C_{39} = 0{,}160$

$x_{3\,10}$: $U_3 + V_{10} = C_{3\,10} = 0{,}067$

$x_{3\,11}$: $U_3 + V_{11} = C_{3\,11} = 0$

$U_1 = 0$ değeri verilerek dual değişkenlerin değerleri bulunur:

$V_2 = 0{,}049$

$V_4 = 0{,}067$

$V_5 = 0{,}179$

$V_6 = 0{,}056$

$V_7 = 0{,}093$

$V_9 = 0{,}155$

$V_3 = 0{,}164$

$U_2 = 0{,}004$

$U_3 = 0{,}005$

$V_1 = 0{,}090$

$V_8 = 0{,}116$

$V_{10} = 0{,}062$

$V_{11} = -0{,}00$

Temel olmayan değişkenlerin yani boş hücrelerin test miktarları:

$D_{1\,1} = U_1 + V_1 - C_{11} = 0 + 0{,}090 – 0{,}111 = -0{,}021$

$D_{1\,8} = U_1 + V_8 - C_{18} = 0 + 0{,}116 – 0{,}113 = 0{,}003$

$D_{1\,10} = U_1 + V_{10} - C_{1\,10} = 0 + 0{,}062 – 0{,}057 = 0{,}005$

$D_{1\,11} = U_1 + V_{11} – C_{1\,11} = 0 - 0{,}005 – 0 = -0{,}005$

$D_{2\,1} = U_2 + V_1 – C_{21} = 0{,}004 + 0{,}090 – 0{,}107 = -0{,}013$

$D_{2\,2} = U_2 + V_2 – C_{22} = 0{,}004 + 0{,}049 – 0{,}051 = 0{,}002$

$D_{2\,4} = U_2 + V_4 – C_{24} = 0{,}004 + 0{,}067 – 0{,}083 = -0{,}012$

$D_{2\,5} = U_2 + V_5 – C_{25} = 0{,}004 + 0{,}179 – 0{,}227 = -0{,}044$

$D_{2\,6} = U_2 + V_6 – C_{26} = 0{,}004 + 0{,}056 – 0{,}106 = -0{,}046$

$\mathbf{D_{2\,8} = U_2 + V_8 – C_{28} = 0{,}004 + 0{,}116 – 0{,}111 = 0{,}009}$

$D_{2\,10} = U_2 + V_{10} – C_{2\,10} = 0{,}004 + 0{,}062 – 0{,}058 = 0{,}008$

$D_{2\,11} = U_2 + V_{11} – C_{2\,11} = 0{,}004 – 0{,}005 – 0 = -0{,}001$

$D_{3\,2} = U_3 + V_2 – C_{32} = 0{,}005 + 0{,}049 – 0{,}066 = -0{,}012$

$D_{3\,3} = U_3 + V_3 – C_{33} = 0{,}005 + 0{,}164 – 0{,}188 = -0{,}019$

$D_{3\,4} = U_3 + V_4 – C_{34} = 0{,}005 + 0{,}067 – 0{,}093 = -0{,}021$

$D_{3\,5} = U_3 + V_5 – C_{35} = 0{,}005 + 0{,}179 – 0{,}200 = -0{,}016$

$D_{3\,6} = U_3 + V_6 – C_{36} = 0{,}005 + 0{,}056 – 0{,}097 = -0{,}036$

çözüm optimal değildir!

Tablo 3.17. MODI yöntemi geliştirilen çözüm -1-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Yapay ülke (D_{11})	Sunum	
İstanbul gümrük (S_1)	0,111	0,049 28.590	M	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 ***16.200*** ~~4.190~~	0,113	0,155 ***7340*** ~~19.350~~	0,057	0	96720	U_1
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 118.750	0,083	0,227	0,106	0,097 ***0*** ~~12.010~~	0,111 ***12.010***	M	0,058	0	130760	U_2
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066	0,188	0,093	0,200	0,097	M	0,121 ***70390*** ~~82.400~~	0,160 ***13260*** ~~1.250~~	0,067 17.200	0 16.450	131300	U_3
												358780	
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358780	
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}		

Tablo 3.1. MODI yöntemi -2-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Yapay ülke** (D_{11})	**Sunum**	
İstanbul gümrük (S_1)	0,111	0,049 28.590	M	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113	0,155 7.340	0,057	0	96720	U_1
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 118.750	0,083	0,227	0,106	0,097	0,111 12.010	M	0,058	0	130760	U_2
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066	0,188	0,093	0,200	0,097	M	0,121 70.390	0,160 13.260	0,067 17.200	0 16.450	131300	U_3
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358780 358780	
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}		

$x_{1\,2}$: $U_1 + V_2 = C_{12} = 0{,}049$

$x_{1\,4}$: $U_1 + V_4 = C_{14} = 0{,}067$

$x_{1\,5}$: $U_1 + V_5 = C_{15} = 0{,}179$

$x_{1\,6}$: $U_1 + V_6 = C_{16} = 0{,}056$

$x_{1\,7}$: $U_1 + V_7 = C_{17} = 0{,}093$

$x_{1\,9}$: $U_1 + V_9 = C_{19} = 0{,}155$

$x_{2\,3}$: $U_2 + V_3 = C_{23} = 0{,}168$

$x_{2\,8}$: $U_2 + V_8 = C_{28} = 0{,}111$

$x_{3\,1}$: $U_3 + V_1 = C_{31} = 0{,}095$

$x_{3\,8}$: $U_3 + V_8 = C_{38} = 0{,}121$

$x_{3\,9}$: $U_3 + V_9 = C_{39} = 0{,}160$

$x_{3\,10}$: $U_3 + V_{10} = C_{3\,10} = 0{,}067$

$x_{3\,11}$: $U_3 + V_{11} = C_{3\,11} = 0$

$U_1 = 0$ değeri verilerek dual değişkenlerin değerleri bulunur:

$V_2 = 0{,}049$

$V_4 = 0{,}067$

$V_5 = 0{,}179$

$V_6 = 0{,}056$

$V_7 = 0{,}093$

$V_9 = 0{,}155$

$V_3 = 0{,}173$

$U_2 = -0{,}005$

$U_3 = 0{,}005$

$V_1 = 0{,}090$

$V_8 = 0{,}116$

$V_{10} = 0{,}062$

$V_{11} = -0{,}005$

Temel olmayan değişkenlerin yani boş hücrelerin test miktarları:

$D_{11} = U_1 + V_1 - C_{11} = 0 + 0{,}090 – 0{,}111 = -0{,}021$

$D_{18} = U_1 + V_8 - C_{18} = 0 + 0{,}116 – 0{,}113 = 0{,}003$

$\mathbf{D_{1\ 10} = U_1 + V_{10} - C_{1\ 10} = 0 + 0{,}062 – 0{,}057 = 0{,}005}$

$D_{1\ 11} = U_1 + V_{11} – C_{1\ 11} = 0 - 0{,}005 – 0 = -0{,}005$

$D_{21} = U_2 + V_1 – C_{21} = -0{,}005 + 0{,}090 – 0{,}107 = -0{,}022$

$D_{22} = U_2 + V_2 – C_{22} = -0{,}005 + 0{,}049 – 0{,}051 = -0{,}007$

$D_{24} = U_2 + V_4 – C_{24} = -0{,}005 + 0{,}067 – 0{,}083 = -0{,}021$

$D_{25} = U_2 + V_5 – C_{25} = -0{,}005 + 0{,}179 – 0{,}227 = -0{,}053$

$D_{26} = U_2 + V_6 – C_{26} = -0{,}005 + 0{,}056 – 0{,}106 = -0{,}055$ çözüm optimal değildir!

$D_{27} = U_2 + V_7 – C_{27} = -0{,}005 + 0{,}093 – 0{,}097 = -0{,}009$

$D_{2\ 10} = U_2 + V_{10} – C_{2\ 10} = -0{,}005 + 0{,}062 – 0{,}058 = -0{,}001$

$D_{2\ 11} = U_2 + V_{11} – C_{2\ 11} = -0{,}005 – 0{,}005 – 0 = -0{,}010$

$D_{32} = U_3 + V_2 – C_{32} = 0{,}005 + 0{,}049 – 0{,}066 = -0{,}012$

$D_{33} = U_3 + V_3 – C_{33} = 0{,}005 + 0{,}173 – 0{,}188 = -0{,}010$

$D_{34} = U_3 + V_4 – C_{34} = 0{,}005 + 0{,}067 – 0{,}093 = -0{,}021$

$D_{35} = U_3 + V_5 – C_{35} = 0{,}005 + 0{,}179 – 0{,}200 = -0{,}016$

$D_{36} = U_3 + V_6 – C_{36} = 0{,}005 + 0{,}056 – 0{,}097 = -0{,}036$

Tablo 3.1. MODI yöntemi geliştirilen çözüm -2-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Kukla ülke** (D_{11})	**Sunum**	
İstanbul gümrük (S_1)	0,111	0,049 28.590	M	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113	0,155 ***0*** ~~7.340~~	0,057 ***1340***	0	96720	U_1
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 118.750	0,083	0,227	0,106	0,097	0,111 12.010	M	0,058	0	130760	U_2
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066	0,188	0,093	0,200	0,097	M	0,121 70.390	0,160 ***20600*** ~~13.260~~	0,067 ***9860*** ~~17.200~~	0 16.450	131300	U_3
												358780	
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358780	
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}		

Tablo 3.1. MODI yöntemi -3-

Ülkeler / Gümrük merkezleri	Almanya (D_1)	İngiltere (D_2)	İspanya (D_3)	Polonya (D_4)	Finlandiya (D_5)	İsrail (D_6)	Hollanda (D_7)	İran (D_8)	Romanya (D_9)	Amerika (D_{10})	Kukla ülke (D_{11})	Sunum	
İstanbul gümrük (S_1)	0,111	0,049 28.590	M	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113	0,155	0,057 7.340	0	96720	U_1
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 118.750	0,083	0,227	0,106	0,097	0,111 12.010	M	0,058	0	130760	U_2
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066	0,188	0,093	0,200	0,097	M	0,121 70.390	0,160 20.600	0,067 9.860	0 16.450	131300	U_3
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358780 358780	
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}		

$x_{1\,2}$: $U_1 + V_2 = C_{12} = 0{,}049$

$x_{1\,4}$: $U_1 + V_4 = C_{14} = 0{,}067$

$x_{1\,5}$: $U_1 + V_5 = C_{15} = 0{,}179$

$x_{1\,6}$: $U_1 + V_6 = C_{16} = 0{,}056$

$x_{1\,7}$: $U_1 + V_7 = C_{17} = 0{,}093$

$x_{1\,10}$: $U_1 + V_{10} = C_{1\,10} = 0{,}057$

$x_{2\,3}$: $U_2 + V_3 = C_{23} = 0{,}168$

$x_{2\,8}$: $U_2 + V_8 = C_{28} = 0{,}111$

$x_{3\,1}$: $U_3 + V_1 = C_{31} = 0{,}095$

$x_{3\,8}$: $U_3 + V_8 = C_{38} = 0{,}121$

$x_{3\,9}$: $U_3 + V_9 = C_{39} = 0{,}160$

$x_{3\,10}$: $U_3 + V_{10} = C_{3\,10} = 0{,}067$

$x_{3\,11}$: $U_3 + V_{11} = C_{3\,11} = 0$

$U_1 = 0$ değeri verilerek dual değişkenlerin değerleri bulunur:

$V_2 = 0{,}049$

$V_4 = 0{,}067$

$V_5 = 0{,}179$

$V_6 = 0{,}056$

$V_7 = 0{,}093$

$V_{10} = 0{,}057$

$V_3 = 0{,}168$

$U_2 = 0$

$U_3 = 0{,}010$

$V_1 = 0{,}085$

$V_8 = 0{,}111$

$V_9 = 0.150$

$V_{11} = -0{,}010$

Temel olmayan değişkenlerin yani boş hücrelerin test miktarları:

$D_{11} = U_1 + V_1 - C_{11} = 0 + 0{,}085 – 0{,}111 = -0{,}026$

$D_{18} = U_1 + V_8 - C_{18} = 0 + 0{,}111 – 0{,}113 = -0{,}002$

$D_{1\,9} = U_1 + V_9 - C_{1\,9} = 0 + 0{,}150 – 0{,}155 = -0{,}005$

$D_{1\,11} = U_1 + V_{11} – C_{1\,11} = 0 - 0{,}010 – 0 = -0{,}010$

$D_{21} = U_2 + V_1 – C_{21} = 0 + 0{,}085 – 0{,}107 = -0{,}022$

$D_{22} = U_2 + V_2 – C_{22} = 0 + 0{,}049 – 0{,}051 = -0{,}002$

$D_{24} = U_2 + V_4 – C_{24} = 0 + 0{,}067 – 0{,}083 = -0{,}016$

$D_{25} = U_2 + V_5 – C_{25} = 0 + 0{,}179 – 0{,}227 = -0{,}048$

$D_{26} = U_2 + V_6 – C_{26} = 0 + 0{,}056 – 0{,}106 = -0{,}050$

$D_{27} = U_2 + V_7 – C_{27} = 0 + 0{,}093 – 0{,}097 = -0{,}004$

$D_{2\,10} = U_2 + V_{10} – C_{2\,10} = 0 + 0{,}057 – 0{,}058 = -0{,}001$

$D_{2\,11} = U_2 + V_{11} – C_{2\,11} = 0 – 0{,}010 – 0 = -0{,}010$

$D_{32} = U_3 + V_2 – C_{32} = 0{,}010 + 0{,}049 – 0{,}066 = -0{,}007$

$D_{33} = U_3 + V_3 – C_{33} = 0{,}010 + 0{,}168 – 0{,}188 = -0{,}010$

$D_{34} = U_3 + V_4 – C_{34} = 0{,}010 + 0{,}067 – 0{,}093 = -0{,}016$

$D_{35} = U_3 + V_5 – C_{35} = 0{,}010 + 0{,}179 – 0{,}200 = -0{,}011$

D36 = U3 + V6 – C36 = 0,010 + 0,056 – 0,097 = -0,031

Tablo 3.10. MODI yöntemi ile ulaşılan optimal çözüm tablosu

Ülkeler / Gümrük merkezleri	**Almanya** (D_1)	**İngiltere** (D_2)	**İspanya** (D_3)	**Polonya** (D_4)	**Finlandiya** (D_5)	**İsrail** (D_6)	**Hollanda** (D_7)	**İran** (D_8)	**Romanya** (D_9)	**Amerika** (D_{10})	**Kukla ülke** (D_{11})	**Sunum**	
İstanbul gümrük (S_1)	0,111	0,049 28.590	M	0,067 30.000	0,179 2.290	0,056 12.300	0,093 16.200	0,113	0,155	0,057 7.340	0	96720	U_1
İzmir gümrük (S_2)	0,107	0,051	0,168 118.750	0,083	0,227	0,106	0,097	0,111 12.010	M	0,058	0	130760	U_2
Denizli gümrük (S_3)	0,095 14.000	0,066	0,188	0,093	0,200	0,097	M	0,121 70.390	0,160 20.600	0,067 9.860	0 16.450	131300	U_3
İstem	14.000	28.590	118.750	30.000	2.290	12.300	16.200	82.400	20.600	17.200	16.450	358780 358780	
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}		

Bu uygulamanın optimal çözümü WinQSB programıyla çözülmüş ve tablosu Tablo 3.31'de görülmektedir.

Tablo 3.11. WinQSB programı yardımıyla ulaştırma modelinin optimal çözümü

	From	To	Shipment	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	Source 1	Destination 2	28.590	0,05	1.400,91	0
2	Source 1	Destination 4	30.000	0,07	2.010	0
3	Source 1	Destination 5	2.290	0,18	409,91	0
4	Source 1	Destination 6	12.300	0,06	688,8	0
5	Source 1	Destination 7	16.200	0,09	1.506,60	0
6	Source 1	Destination 10	7.340	0,06	418,38	0
7	Source 2	Destination 3	118.750	0,17	19.950	0
8	Source 2	Destination 8	12.010	0,11	1.333,11	0
9	Source 3	Destination 1	14.000	0,09	1.330	3,73E-09
10	Source 3	Destination 8	70.390	0,12	8.517,19	0
11	Source 3	Destination 9	20.600	0,16	3.296	3,73E-09
12	Source 3	Destination 10	9.860	0,07	660,62	0
13	Source 3	Unused_Supply	16.450	0	0	0
	Total	Objective	Function	Value =	41.521,52	

SONUÇ

Bu çalışma, teorik ve uygulama olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın teorik kısmında, ilk olarak ulaştırma modellerini açıklayabilmek için gerekli olan konular ve kavramlar üzerinde durulmuştur. Daha sonra konuya ilişkin bir uygulama çalışması sunulmuştur.

Kumaş ihracatını minimum maliyetle yapmak isteyen işletme, bu hedefine ulaştırma modelleri yardımıyla ulaşmıştır.

Bu amaçla yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki verilere ulaşılmıştır.

Bu işletmenin kumaş ihracatının minimum maliyeti:

Minimum z = (28590 * 0,049) + (30000 * 0,0,067) + (2290 * 0,179) + (12300 * 0,056) + (16200 * 0,093) + (7340 * 0,057) + (118750 * 0,168) + (12010 * 0,111) + (14000 * 0,095) + (70390 * 0,121) + (20600 * 0,160) + (9860 * 0,067) + (16.450 * 0)

= 41.521,52 EUR'dur.

Bu işletme dağıtımı en az maliyetle yapabilmek için;

İstanbul gümrükten; İngiltere'ye 28.590 m., Polonya 30.000 m., Finlandiya 2.290 m., İsrail 12.300 m., Hollanda 16.200 m., Amerika'ya da 7.340 m. kumaş ihracatı etmelidir.

İzmir gümrükten; İspanya'ya 118.750 m., İran'a da 12.010 m. kumaş ihraç etmelidir.

Denizli gümrüğünden ise; Almanya'ya 14.000 m., İran'a 70.390 m., Romanya-ya 20.600 m., Amerika'ya da 9.860 m. kumaş ihraç etmelidir.

Dağıtım sonuçları bu işletmenin maksimum kapasite ile üretimi sonucu kabul edilebilecek ihracat planına uygundur.

Ülkelerin kumaş istemleri göz önüne alındığında bu isteklerin karşılandığı görülmektedir. Bu işletmede amaçlanan ülkelerin işletmeden istedikleri kumaşların en az maliyetle hangi gümrükten gönderimini yapacağını belirlemesidir.

Ulaşılan optimal çözüm tablosuna göre işletme;

İstanbul gümrükten;

Minimum z = (28590 * 0,049) + (30000 * 0,0,067) + (2290 * 0,179) + (12300 * 0,056) + (16200 * 0,093) + (7340 * 0,057) = 6.434,60

Yani 6.434,60 EUR'ya

İzmir gümrükten;

Minimum z = (118750 * 0,168) + (12010 * 0,111) = 21.283,11

Yani 21.283,11 EUR'ya

Denizli gümrükten;

Minimum z = (14000 * 0,095) + (70390 * 0,121) + (20600 * 0,160) + (9860 * 0,067) = 13.803,81

Yani 13.803,81 EUR'ya karşılayacaktır.

Şayet işletme ülkelerin isteklerini klasik yolla karşılasaydı;

İstanbul gümrükten;

z = (14.000 * 0,111) + (12.300 * 0,056) + (16.200 * 0,093) + (54.220 * 0,113) = 14.446,154

Yani 14.446,154 EUR'ya

İzmir gümrükten;

z = (18.000 * 0,051) + (112.760 * 0,168) = 19.861,68

Yani 19.861,68 EUR'ya

Denizli gümrükten;

z = (10.590 * 0,066) + (5.990 * 0,188) + (30.000 * 0,093) + (2.290 * 0,200) + (28.180 * 0,121) + (20.600 * 0,160) + (17.200 * 0,067)
= 12.931,24

Yani 12.931,24 EUR'ya karşılanacak ve toplam;

Ztop = 47.239,07 EUR harcayacaktı.

Bu durumda kumaş ihracat işlemini ulaştırma modeli yardımıyla yapmakla;

Z kar = 47.239,07 - 41.521,52 = 5.717,55 EUR kar etmiş olmaktadır.

Elde edilen kar, büyük bir tekstil işletmesinin on ülkeye ve sadece tırla yükleme yapıldığı dağıtımdan oluşmaktadır. Bu miktarın önemi, diğer ülkeler ve diğer yükleme yöntemleri dikkate alındığında daha iyi anlaşılmaktadır.

Çalışmanın sonucuna göre, ulaştırma modelleri ile ekonomik yönüyle günümüz işletmelerinde taşıma maliyetlerinin daha alt seviyelerde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

Her model gibi ulaştırma modeli de bazı varsayımlardan hareket etmektedir. Modelin verdiği sonuçlar, yapılan varsayımların geçerlilik ve parametrelerin tayinindeki isabet derecesine göre güvenilir olacaktır. Model kurulurken taşıma işleminin sadece karayolu ile yapıldığı varsayılmıştır. Oysa kumaş ihracatı bugün denizyolu ve hava yolu gibi vasıtalarla da taşınmaktadır. Bu karmaşık taşıma işlemleri ile kumaş ihracatının taşıma maliyeti katsayılarını tespit etmenin güçlüğü göz önüne alınarak ve araştırma konusu problemi modelin formülasyonuna da uydurmak bakımından böyle bir kabul yapılmıştır. Dolayısı ile uygulama sonucunda elde edilen sonuçlar, problemi uygulayabilme olarak değerlendirilmelidir.

Şunu hemen belirtmek yerinde olur ki, ulaştırma modellerinin uygulandığı alanlarda elde edilen sonuçlar mutlak, değişmez sonuçlar değildirler. Gerek varsayımların kabulü sırasında yapılan soyutlamalar gerekse verilerin toplandığı dönemle, modelin uygulanacağı dönemin birbirinden farklı olması gibi nedenlerle, ulaştırma modelinin verdiği sonuçlar bir eğilimi göstermekten başka anlam taşımazlar.

Bu tip kantitatif yaklaşımların yöneticilere en önemli yararı, karar almada verileri daha detaylı bir şekilde incelemesi, alınabilecek çeşitli kararları birbiriyle karşılaştırabilmesi, çeşitli alternatifleri bir arada görebilmesi ve çok sayıda alternatifler içinde en uygun olanını seçmesinde yardımcı olmasındadır.

Karar vericiler, kararlarını asla bir kritere dayanarak vermezler. Aksi takdirde bu başarısızlığı kaçınılmaz kılar. Problemde işin sadece maliyet boyutu dikkate alınmıştır. Başarı için müşteri memnuniyeti, güven boyutu, hızlı teslimat ve benzeri kriterler de bilimsel olarak araştırılmalı ve karar verilmelidir.

Ulaştırma modelinin, sistemin çıktılarının en iyilenmesinin yanında, en iyi çıktıyı veren girdi bileşiminin belirlenmesine ve optimal bir sistemin tasarlanmasına yardımcı olduğu görülmektedir. Çözümün başarısı, modelin sistemi yansıtmadaki başarısına bağlıdır. Elbette bu da modeli oluşturan parametrelerin belirlenmesini son derece önemli hale getirir.

Sonuçları inceledikten sonra sunulacak çözüm önerisi şudur:

İşletmenin ulaştırma giderlerini yeterince dikkate alarak bir planlama yapmadıkları görülmüştür. Bu konuda profesyonel kadrolar kullanarak daha iyi bir planlamayla bu fazla maliyetleri azaltabilecektir. Çünkü tekstil sektöründe karşılanamayan ve artan bir ivme gösteren ihracat söz konusudur. Malınız çok iyi bir kaliteye sahip olsa dahi ihtiyacı olan yerde, mümkün olan en kısa zamanda, hasara uğramadan ulaştırılamazsa gerçek değerini bulamamaktadır.

KAYNAKLAR

Acar H., Gül ve Topalak, (1999). *Ormancılıkta Üretim Çalışmalarında Mekanizasyon İhtiyacının Doğrusal Programlama Yoluyla Belirlenmesi*, KTÜ Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

Acar H., Gül ve Gümüş, (2000). *Bölmeden Çıkarma Çalışmalarında Toplam Maliyetin Minimizasyonu İçin Doğrusal Programlama Kullanımı*, KTÜ Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

Akalın S. (1979). *Yöneylem Araştırması*, Ege Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları, Bornova.

Akgül A.(1993). *Sistem Tasarımı ve Optimizasyonu Ders Notları* - 1.

Akkök A., Aydın ve Selman, (1999). *Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi* Araştırma Projesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Ocak.

Alan, M. A. ve Yeşilyurt, C., (1994). *Doğrusal Programlama Problemlerinin Excel ile Çözümü*, Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 5, Sayı 1.

Altıparmak, F. ve Karaoğlan, İ., (2005). *Konkav Maliyetli Ulaştırma Problemi İçin Genetik Algoritma Tabanlı Sezgisel Bir Yaklaşım*, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt.20, No:4.

Analı İ. (1999). *Ulaştırma Modeli ve Türk Tekstil Sektöründeki Dış Ticaret Sermaye Şirketlerinin İhracatlarının Ulaştırma Modeli Yardımıyla Optimizasyonu*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı Yöneylem Araştırması Bilim Dalı, İstanbul.

Arıkanlı, A. ve Ulubaş, B., (2004). *Yönetim Fonksiyonları ve Yönetici Davranışları*, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ankara.

Atan, M. ve Duman, S., (2005). *Konno ve Yamazaki Portföy Modelinin Doğrusal Programlama Yardımıyla Çözümlemesi*, Gazi Üniversitesi, İ.İ.B.F. Ekonometri Bölümü, Ankara.

Ayhan, M. ve Topal, E., (2005). *Doğrusal Programlama Kullanılarak Mermer Fabrikalarının Üretim Optimizasyonu*, Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır.

Balakrishnan A., Natarajan H. P. and Pangburn M. S., (2000). *Optimizing Delivery Fees For a Network of Distributors Manufacturıng and Service Operations Management.*

Balakrishnan A., Render and Stair, (2006). *Managerial Desicion Modeling With Spread Heets, 2nded*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Banger, G. ve Şişman, A., (2000). *Kırsal Alan Düzenlemelerinde Yöneylem Araştırması Tekniklerinin Uygulanması*.

Bertsekas, D.P. and Castanon, D.A., (1989). *The Auctıon Algorıthm For The Transportation Problem,* February.

Bircan H. (1994). *Doğrusal Programlama Tekniği ile Kapasite Planlaması Yaklaşımı ve Çimento İşletmesinde Bir Uygulama*, Cumhuriyet Üniversitesi İ.İ.B.F. İşletme Bölümü.

Bjorkman M., Dotzauer E. and Holmstrom K., (1999). *The Tomlab Opera Toolbox For Linear And Discrete Optimization Advanced Modeling and Optimization* Volume 1 , Number 2 , Center for Mathematical Modeling Departman Of Mathematical And Physics Malardalen University , P.O. Box 883,SE -72123 Vasteras, Sweden.

Burkard, R. E. and Butkovic, P., (2003). *Max Algebra And The Linear Assignment Problem* Math Program. , Ser. B98 : 415-429 January 27.

Cengiz N. (1985). *Ulaştırma Modeli ve Bir Uygulama*, Cilt 3, Sayı 2, Kasım.

Chanas, S. and Kuchta, D., (1998). *Fuzzy Integer Transportation Problem*, Fuzzy Sets and Systems.

Charnes, A. and Cooper, W.W., (1961). *Management models and industrial applications of linear programming*, New York : J. Wiley.

Chen, M. and Wang, W., (1997). *A Linear Programming Model for İntegrated Steel Production and Distribution Planning*, International Journal of Operations and Production Management.

Cook, T. and Russell, R., (1989). *Introduction to Management Science*, 2. Edition, New Jersey, Prentice Hall Inc.

Cooray T.M.J.A. (2007). *Operation research, Transportation Models* Department of Mathematics , Faculty of Engineering University of Moratuwa Sri Lanka , 19 February .

Çelikoğlu C. C. ve Maraşlı N. (2000). *Ulaştırma Modellerinde Duyarlılık Analizi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 2, Sayı 4.

Dantzig G. B. (1963). *Linear programming and extensions* / by George B. Dantzig– Princeton N.J. : Princeton University Press.

Dantzig G. B. (1997-2003). *Linear programming* / George B. Dantzig, Mukund N. Thapa. – New York: Springer.

Dantzıg G. B. (2002). *Linear Programming" depaartment of management science And engineering*, Stanford University, Stanford, California, Vol.50, No 1, January-February .

Daşdemir, İ. ve Güngör, E., (2002). *Çok Boyutlu Karar Verme Metodları ve Ormancılıkta Uygulama Alanları*, EKÜ Bartın Orman Fakültesi, Bartın, Cilt 4.

Doğan İ. (1995). *Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları*, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

Doğan İ. (1995). *Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları*, Bilim Teknik Yayınevi, Eskişehir, s.5-7.

Dorfman, R. vd. (1958). *Linear programming and economic analysis*, New York : McGraw-Hill Book.

Erciyes, E. ve Gencer, C., (2005). *İl Jandarma Komutanlıklarında Jandarma Astsubayların Atanması İçin Karar Destek Sistemi*.

Ergülen A. (2003). *Gıda Ürünlerinin Kara Yolu ile Taşınmasında Maliyet Minimizasyonu*, Bir Tamsayılı Doğrusal Programlama Uygulaması, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt.22, Sayı.2.

Ergülen A. (2005). *İşletmelerin Dağıtım Stratejilerinin Oluşturulması Modeli: Dağıtım Koşullarının Ağır Olduğu Türkiye deki Doğu ve Kuzey İlleri Üzerine Örnek Bir Uygulama*, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19(1).

Ergülen A., Kazan H. ve Kaplan M.,(2005), *İşletmelerde Dağıtım Sistemi Maliyetleri Minimizasyonu İçin Çözüm Modeli: Bir Firma Uygulaması*, S.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi).

Ertuğrul, İ. ve Aytaç, E., (2006). *Ulaştırma Optimizasyonunda Atlama Taşı Yönteminin Bulanık Verilerle Değerlendirilmesi*, Yöneylem Araştırması/ Endüstri Mühendisliği, XXVI. Ulusal Kongresi, Kocaeli Üniversitesi, İzmit.

Esin A. (1984). *Yöneylem araştırmalarında Yararlanılan Karar Yöntemleri*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2. Basım, Yayın No:41.

Frank A. (2004). *On Kuhn's Hungarian Method a Tribute From Hungary* Egervary Research Group on Combinatorial Optimization Hungary, October.

Ferguson T. S. (1996). *Linear Programming*.

Ford L, R. and Fulkerson, D. R., (1962). *Flows in Networks, Princeton*, Princeton University Pres.

Gümüşoğlu, Ş., Tüfek, H. H., (2000). *Sayısal Yöntemler Yönetsel Yaklaşım Yenilenmiş 3.Baskı*, Beta Kitabevi, Kasım, İstanbul.

Güner, E. ve Işık, F. (2003). *Lojistik Sistemde Yer Alan Ulaştırma Hizmetinde Bir Model Uygulaması*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 5, Sayı 1.

Güneş, M. ve Umarusman, N., (2005). *Bulanık Doğrusal Programlama Algoritmalarında Bulandırma İşlemlerinin Hedef Programlama ile Belirlenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İ.İ.B.F. Ekonometri Bölümü, Buca/İzmir.

Güneş, Yiğitbaşı, (www.ceterisparibus.net/kongre/cukurova-5htm)

Hadley G. (1962). *Linear programming*, Addison-Wesley Pub. Co

Hadley G. (1964). *Nonlinear and dynamic programming*, Addison-Wesley Pub.

Hallaç O. (1978). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)*, Arpaz Matbaacılık, İstanbul.

Hallaç O. (1983). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırma) 4. Baskı*, Alfa Basm Yayım Dağıtım, İstanbul.

Heizer and Render (2004). *Operations Management–Transportation Models* Transparency Masters To Accompany Principles Of Operations Management, by prentice Hall , Inc., Upper Saddle River, N.J.

Hillier, F. S. and Lieberman, G. S., (1974). *Operations Research and Edition San Francisco*, Holden Day Inc.

Hillier, F. S. ve Lieberman, G. J. (1970), *Introduction to Operation Research, Helden – Day Inc.*, San Francisco, California.

Hoşcan Y. (1988). *Ulaştırma Modelleri ve Çözümü İçin Geliştirilen Paket Program,* T.C. Anadolu Üniversitesi Eğitim Sağlık ve Bilimsel Araştırma Çalışmaları Vakfı Yayınları, No:66, Eskişehir.

Jacobs N. (2002). *Optimization Opportunities in the Purchasing and Distribution of Wheat in South Africa* , Departmen of Logistics University of Stellenbosch , 8 October.

Kabak M. (2000). *Kara Kuvvetleri Akaryakıt İkmal Sistemlerinde Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliyet Optimizasyonu*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı, Yöneylem Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kale H. (1967). *Doğrusal Programlama Usullerinin Arazi ve Büro Çalışmalarına Uygulanması*, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.

Kara, İ. ve Tenekecioğlu, B., (1980). *Pazarlama Kararlarında Yöneylem Araştırması*, ESADER, Cilt 16, Sayı 1, Ocak.

Karacabey, A. ve Sarıaslan, H. (2003). *İşletmelerde Sayısal Analizler*, Turhan Kitabevi, Ankara.

Karayalçın İ. (1993). *Yöneylem "Harekat" Araştırması, Operations Research, Geliştirilmiş 3. Baskı*, Menteş Kitabevi, İstanbul.

Karayalçın İ. (1993). *Kantitatif planlama ve Karar Verme Yöntemleri*, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi, Menteş Kitapevi, 3. Baskı, Ocak.

Kartal Z. (1994). Bayburt Meslek Yüksek Okulu, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1.

Kobu B. (1997). *İşletme Matematiği*, Avcıol Basım Yayın, 6. Baskı, İstanbul.

Kotaman S. (1998). *Silahlı Kuvvetlerde İkmal Sistemlerinin Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliye Olarak Minimizasyonu*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kuhn, H.W. and Tucker, A.W., (1956). *Linear inequalities and related systems*, Princeton, N.J. : Princeton University Press.

Lapin L. (1994). *Quantitative Methods for Business Decisions With Cases*, Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 3. Edition, San Diego.

Leavengood, S. and Reeb, J., (2002). *Transportation Problem: a special case for Linear Programming Problems* Performance Excellence in the Wood Products Industry Operation Research , June.

Liu, L. and Yang, L., (2007). *Fuzzy Fixed Charge Solid Transportation Problem and Algorithm*, Applied Soft Computing.

Müftüoğlu T. (1978). *İşletme İktisadi Açısından Sanayi İşletmelerinde Üretim Kapasitesi*, Ankara Üniversitesi Yayın No: 422.

Nagi R. (1998). *Special Topics in Production Systems: Networks, Routing and Logistics* Department of Industrial Engineering University at Buffalo (Suny).

Nagi R. (1998). *Production Planning and Control Supply Chain Management* Department of Industrial Engineering University of Buffalo.

Nahmias S. (1997). *Production and Operations Analysis*, Chicago= Mc Graw Hill.

Nikolic N. (2006). *Total Time Minimizing Transportation Problem* Yugoslov Journal of Operations Research , Belgrad University , December, Sayı:1.

Öğütlü, A.S. (2002). *Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Yem Karışım Problemine Uygulanması (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, s. 39-40.

Önder H. H. (1986). *Ulaştırma Modelinin Türkiye Şeker Fabrikalarında Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Şubat.

Öner, A.ve Ülengin, F., (2003). *İTÜ İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*, Maçka, Cilt 2, Sayı 1, İstanbul, Şubat.

Özel M. (2000). *İki İndisli Düzlemsel Dağıtım Probleminin Matris Denklemleriyle İncelenmesi*, DEÜ Müh. Fak. Fen ve Müh.Dergisi.

Özgen H. (1976). *İmalat Sanayi İşlerinde Doğrusal Ulaştırma Yöntemi ile Üretim Planlama ve Kontrol (Global Bir Yaklaşım)*, Adana İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayını, Adana.

Özgüven C. (2003). *Doğrusal Programlama ve Uzantıları*, Detay Yayıncılık, Ankara, Eylül.

Özkan M. M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama*, Ekin Kitabevi, Bursa.

Öztürk A. (2004). *Yöneylem Araştırması*, 9. Baskı, Ekin Kitabevi, Bursa.

Paksoy T. (2002). *Bulanık Küme Teorisi ve Doğrusal Programlamada Kullanımı: Karşılaştırmalı Bir Analiz*, Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya.

Render B. (1982). *Quantitative Analysis For Management*, Boston, Allyn and Bacon, Inc.

Serper Ö. (1974). *Doğrusal Ulaştırma Programlaması (İdeal Çözüm ve Uygulama),* Bursa: İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları, No:8.

Singh R. (2004). Lecture *Transportation Problem*.

Sipahioğlu A. (1990). *Toplam Maliyet-Darboğaz Tabanlı Ulaştırma Problemleri İçin Bir Algoritma*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Dalında Yüksek Lisans Tezi, Şubat.

Soylu M. Y. (1997). *Ulaştırma modelleri Kıyaslanması ve Bowman'ın Üretim Programlaması İçin Ulaştırma Problemlerine Bir İşletme Uygulaması*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı, Yöneylem Araştırması Bilim Dalı, İstanbul.

Şafak S. (2000). *Dağıtım Probleminin Optimallik Koşullarının İncelenmesi*, DEÜ Müh.Fak. Fen ve Müh.Dergisi

Şenol, A., Bozdağ ve Duman (2005). *Minimoks Portföy Modeli İle Markowitz Ortalama Varyans Portföy Modelinin Karşılaştırılması*, Gazi Üniversitesi İ.İ.B.F. Ekonometri Bölümü, Ankara.

Tabuk M. (2006). *Taşıma Problemlerinde Çözüm Önerileri*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Taha Hamdy. A. (2000). *Operations Research an Introduction, University of Arkansas, Faye Heville*, (Çeviren ve Uyarlayanlar; Boray Ş.A. ve Esnaf Ş.(2000) Yöneylem Araştırması, Eylül, İstanbul.

Tarım, A. ve Ulucan, A. (1997), *Petrol Ürünlerinin Deniz Yoluyla Taşınmasında Maliyet Minimizasyonu: Petrol Ofisi İçin Karışık Tamsayı Programlama Uygulaması*, Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.

T.C.Atina Büyükelçiliği Ticaret Müşavirliği (2007), *Yunanistan Hazır Giyim – Tekstil Ürünleri Sektörü*, Haziran, Atina

Tekin, M. (1991). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri*, Konya.

Tekin M. (2004). *Sayısal Yöntemler*, Konya, s.49-50.

Terlaky T. (2004). *Discrete Optimization Hungarian Method Assignment Problem* Department of Computing and Software Mc Master University, Hamilton, Ontario, Canada ,January.

Topcu İ., *Yöneylem Araştırmasının Temelleri*, Ders Notları. (www.ilkertopcu.net)

Tor F. O. (1991). *Doğrusal Programlama ve Benzin Dağıtımının Ulaştırma Modeli Yardımı ile Optimizasyonu*, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Ankara.

Toraman A. (1976). *Ulaştırma ve Türkiye'de Buğday Ürünü Yöresel Denge Analizi*, Atatürk Üniversitesi Yayınları, No: 463, Erzurum.

Tudorascu A. D.(2005). *Optimal Mass Transportation methods for Gradient Flows in the Weak Topology, Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Mathematical Sciences*, Department of Mathematical Sciences Carnegie Mellon University, May 11.

Tulunay Y. (1994). *Matematik Programlama ve İşletme Uygulamaları*, 3. Baskı, Renk İş Matbaası, İstanbul.

Tuncel, S. Ö., (1997). *Bulanık Doğrusal Programlama (Basılmamış Bilim Uzmanlığı Tezi)*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.35-36,38.

Tunçay N.Ö. (2006) *Karışım ve Taşıma Maliyetlerinin Minimizasyonunda Doğrusal Programlamanın Kullanılması ve Bir Maden İşletmesi İçin Uygulama Çalışması*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Balıkesir Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Şubat, Balıkesir.

Türkbey, O. ve Yiğit, V. (2003). *Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metotlarla Yaklaşım*, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 18, No.4.

Uchit P. (2006). *Solving The Classic Transportation Problem With The Geographic* Information Science, Summer.

Ulucan A. (2004). *Yöneylem Araştırması İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme*, Hacettepe Üniversitesi, Siyasal Kitabevi, Ağustos.

Winston, W.L. (1994). *Operations Research: Applications and Algorithms*, Duxbury Pres, California.

Yapıcı N. (2000). *Bulanık Doğrusal Programlamaya Sinir Ağları Yaklaşımı (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Yenilmez K. (2001). *Bulanık Doğrusal Programlama Problemleri için Yeni Çözüm Yaklaşımları ve Duyarlılık Analizi (Basılmamış Doktora Tezi)*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

ÖZGEÇMİŞ

Nasibe Çakanel, 1983 yılında Denizli'nin Kale ilçesinde doğdu. Lise eğitimini Denizli Lisesi - Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde yapmış olup 2000 yılında mezun olmuştur. Lisans eğitiminin ilk 2 yılını Pamukkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme bölümünde yapmış olup, bölüm 1.liğiyle yatay geçiş yaparak 2004 yılında Eskişehir Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme bölümünden mezun oldu.

2004 yılında Finansbank Bayramyeri Şubesi İşletme Bankacılığı Uzman Yardımcısı olarak başladığı görevinde 2005 yılında yine aynı şubede Bireysel Bankacılık Müşteri Hizmetleri Yetkilisi olarak devam etti. 2006 yılından 2007 Temmuz ayına kadar Finansbank Bireysel Bankacılık Bireysel Portföy Yetkilisi olarak görev yapmış olup 2007 Temmuz ayından bu yana da Finansbank Denizli Kredi Kolay Şubesinde Bireysel Portföy Yetkilisi olarak çalışmaya devam etmektedir.