TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI

SABİT MALİYETLİ ULAŞTIRMA PROBLEMLERİ VE UYGULAMASI

İbrahim Tolga ÇOŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADANA / 2016

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI

SABİT MALİYETLİ ULAŞTIRMA PROBLEMLERİ VE UYGULAMASI

İbrahim Tolga ÇOŞKUN

Danışman:Yrd.Doç. Dr.Mert DEMİRCİOĞLU
Jüri Üyesi:Prof. Dr. Erkut DÜZAKIN
Jüri Üyesi: Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÖÇKEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADANA / 2016

Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jürimiz tarafından İşletme Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd.Doç.Dr.Mert DEMİRCİOĞLU
(Danışman)

Üye: Prof.Dr.Erkut DÜZAKIN

Üye: Yrd.Doç.Dr. Mustafa GÖÇKEN

ONAY
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.
18/01/2016

Prof. Dr. Yıldırım Beyazıt ÖNAL
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 18/01/2016

İMZA

İbrahim Tolga ÇOŞKUN

ÖZET

SABİT MALİYETLİ ULAŞTIRMA PROBLEMLERİ VE UYGULAMASI

İbrahim Tolga ÇOŞKUN

Yüksek Lisans Tezi, İşletme Ana Bilim Dalı
Danışman: Yrd.Doç.Dr. Mert DEMİRCİOĞLU
Ocak 2016, 63 sayfa

İşletmelerin daha hızlı büyümelerinde ve mevcut durumda kârlarını maksimize edebilmelerinde; taşıma maliyetlerinin doğru bir şekilde hesaplanıp, en uygun dağıtımın yapılması için maliyet ve zaman düşürücü etkenler önem arzetmektedir.

Bu çalışma doğru güzergahları belirleyerek taşıma maliyetlerinin azaltılması ile ilgilidir. Çalışmada kullanılan yöntemde uygun rotaların belirlenmesi için ulaştırma problemlerinde sabit maliyetleri de ele almaktadır.

Çalışmada sabit maliyetler ve sabit maliyetli ulaştırma problemleriyle ilgili mevcut literatür incelenmiştir. Sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin çözümüne dair geliştirilen bazı algoritmalardan bahsedilmiş ve seçilen bir şirketin mevcut dağıtım planındaki maliyetler ortaya konularak, Balinski yöntemiyle ve MS Excel proğramının Solver eklentisi ile maliyetleri azaltma amaçlı dağıtım planı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sabit maliyetli ulaştırma problemleri, ulaştırma modelleri, taşıma maliyetleri, Balinski yaklaşımı

ABSTRACT

FIXED CHARGE TRANSPORTATION PROBLEMS AND APPLICATION

İbrahim Tolga ÇOŞKUN

Master Thesis, Department of Business
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mert DEMİRCİOĞLU
January 2016, 63 pages

Reducing time and cost are important factors to make optimal distribution and transportation charge are calculated correctly for drum up business and to maximize their profit in their current situation.

The metod used in this study also examines the fixed charge in order to determine the appropriateroute of transportation problems.

It is examined the literature on the fixed charge and fixed charge transportation problems. Some algorithm which are developed to solve transportation problems of fixed charge are mentioned and a selected firms cost in the correct distrubition plan are sitcted in their study. The distrubition plan to aimed reduce cost is investigated by Balinski method and solver in MS excel**.**

Keywords: Fixed charge transportation problems, transportation models, transportation costs, Balinski approach

ÖNSÖZ

Fabrikaların ve üretim merkezlerinin ürettikleri ürünlerin, talep merkezlerine dağıtımı önem arzetmektedir. Bu dağıtımın en uygun biçimde yapılarak dağıtımın yapılacağı güzergahların doğru bir biçimde belirlenmesi, taşıma maliyetlerini azaltarak şirketlere karlılık sağlayabilmesi, şirketlerin büyüyüp gelişebilmesi açısından istenilen bir durumdur.

Bu çalışmada sadece değişken maliyetlerin gözönüne alındığı standart ulaştırma modelleri ile uygun güzergahların bulunması yerine, taşıma işlemlerinin yapılmasında her güzergah için farklı olabilecek ve taşıma maliyetlerini etkileyebilecek olan sabit maliyetlerin de değişken maliyetler ile birlikte incelenmiş, üç ayrı noktada üretim yapıp bu ürünleri 24 farklı noktaya taşınmasını sağlayan bir şirkette uygulama yapılmıştır.

Bu çalışmada, yoğun akademik çalışmaları arasında zamanını ayırarak bana yol gösteren ve her aşamada yardımcı olan tez danışmanım Yar. Doç. Dr. Mert DEMİRCİOĞLU'na ilgi ve desteğinden ötürü teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmanın yürütülmesinde zaman zaman karşılaştığım zorlukların aşılmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Erkut DÜZAKIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmayı gerçekleştirdiğim dönem içerisinde, desteğini her zaman hissettiğim sevgili annem, babam ve ablama, göstermiş oldukları sabır ve özveriden dolayı şükranlarımı sunarım.

İbrahim Tolga ÇOŞKUN

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
ÖNSÖZ ..... **vi**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **x**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xi**

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1.Problem 1
1.2.Çalışmanın Amacı 2
1.3. Çalışmanın Önemi 2
1.4. Çalışmanın Yöntemi 3

BÖLÜM II

ULAŞTIRMA MODELLERİ

2.1. Tanımı 4
2.2. Ulaştırma Modellerinin Gelişim Süreci 4
2.3. Ulaştırma Modellerinde Varsayımlar 6
2.4. Ulaştırma Tablosu 9
2.7. Ulaştırma Modeli Çözüm Yöntemleri 11
2.7.1. Kuzey Batı Köşe Yöntemi 12
2.7.2. En Düşük Maliyetli Gözeler Yöntemi 16
2.7.3. Vogel'in Yaklaşım Yöntemi (Vam Metodu) 18
2.7.4. Russel Yaklaşım Yöntemi (Ram Metodu) 20
2.8. Başlangıç Çözümünü Optimal Çözüme Ulaştıran Teknikler 22
2.8.1. Atlama Taşı yöntemi (Stepping-Stone) 23
2.8.2. Modi Yöntemi (Basitleştirilmiş Dağıtım) 25
2.9. Ulaştırma Modellerinde Duyarlılık Analizi 27
2.10. Ulaştırma Modellerinde Özel Durumlar 29

2.10.1. Bozulma Durumu (Dejenerasyon) 29
2.10.2. Toplam Arz ve Toplam Talep Eşitsizliği 30
2.10.3. Dağıtımı Yasaklanmış Yollar 30
2.10.4. En Büyükleme Amaçlı Ulaştırma Modeli 30
2.11. Ulaştırma Modellerinin Çeşitleri 31
2.11.1. Atama modeli 31
2.11.2. Gezgin Satıcı 32
2.11.3. Aktarmalı Ulaştırma Problemleri 32
2.11.4. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemleri 33

BÖLÜM III

SABİT MALİYETLİ ULAŞTIRMA PROBLEMLERİ

3.1. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemi 34
3.2. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemlerinin Matematiksel Yapısı 35
3.3. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemlerinin Çözümü İçin Geliştirilen Bazı Algoritmalar 36
3.3.1. Balinski İndirgenmiş Matris Yöntemi 36
3.3.2. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemleri için Macar Algoritması 38
3.3.3. Ön Eleme Algoritması 38
3.3.4. More For Less Analizi 39
3.3.5. Dallandırma Metodu 40

BÖLÜM IV

BİR GIDA ŞİRKETİNDE UYGULAMA

4.1. Modelin Kurulması 43
4.2. Uygulama 45
4.2.1.Maliyetlerin Hesaplanması 45
4.2.2. Firmanın Mevcut Durumdaki Dağıtım Planı 51
4.2.3. Balinski Yöntemi ile Oluşturulan Dağıtım Planı 53
4.2.4. Ms Excel Solver ile Oluşturulan Dağıtım Planı 54
4.2.5. Bulgular ve Yorum 56

BÖLÜM V

SONUÇ

5.1. SONUÇ.....57
KAYNAKÇA..... 59
ÖZGEÇMİŞ 63

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Ulaştırma Tablosu 10
Tablo 2. Kuzey Batı Köşe Yöntemi 14
Tablo 3. Kuzey Batı Köşe Yöntemi 14
Tablo 4. Kuzey Batı Köşe Yöntemi 15
Tablo 5. Kuzey Batı Köşe Yöntemi 15
Tablo 6. Vam Metodu 18
Tablo 7. Vam Metodu 19
Tablo 8. Vam Metodu 19
Tablo 9. Ram Metodu 21
Tablo 10. Ram Metodu 21
Tablo 11. Ram Metodu 22
Tablo 12. Arz-Talep Merkezleri Arasındaki Mesafeler 49
Tablo 13. Dolu-Boş Maliyetler 50
Tablo 14. Değişken Ve Sabit Maliyetler 51
Tablo 15. Şirketin Kullandığı Güzergahlarda Taşıma Miktarları 52
Tablo 16. Balinski Maliyet Matrisi 53
Tablo 17. Balinski Dağıtım Tablosu 53
Tablo 18. Balinski Yönteminde Kullanılan Çekici Sayıları 54
Tablo 19. Solver Eklentisi İle Oluşturulan Dağıtım Planı 55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Ulaştırma Modeli Yapısı 7
Şekil 2. Ulaştırma Modelinin Algoritması 11
Şekil 3. Döngü Örnekleri 23
Şekil 4. Yanlış Döngü Örnekleri 25
Şekil 5. Balinski Yaklaşım Grafiği 37
Şekil 6. Ön Eleme Algoritması Örneği 39

BÖLÜM I

GİRİŞ

Tez çalışması toplam 5 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde bu çalışmanın amaç ve önemine değinilmiştir. İkinci bölümde ulaştırma modelleri ve ulaştırma problemlerinin çözüm yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Üçüncü bölümde tezin ana konusu olan sabit maliyetli ulaştırma problemleri ve bunlar için geliştirilen bazı çözüm algoritmalarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde üretim yapan ve üretilen ürünün talep merkezlerine gönderimini sağlayan ulusal bir firmanın dağıtım ağı üzerinde sabit maliyetli ulaştırma probleminin uygulaması yapılmıştır. Beşinci ve son bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve uygulama öncesi- sonrası maliyetler paylaşılmıştır.

1.1.Problem

Ulaştırma modeli, doğrusal programlamanın özel bir şeklidir. Ulaştırma Modeli, ulaştırma maliyetlerinin minimizasyonunda kullanılan matematiksel bir modeldir. Ulaştırma modelinin amacı, işletmenin elindeki üretim kaynaklarını gerekli kullanım yerlerine aktararak, toplam taşıma maliyetlerinin minumum (en az) olmasını sağlamaktır. Ulaşırma modeliyle, kaynakların üretim merkezinlerinden (fabrika), tüketim ve satış merkezlerine (depo) en az maliyetle en uygun dağıtım yapılması sağlanır (Öztürk, 2012, s. 423).

Ulaştırma modelinde, fabrikaların mevcut üretim kapasitesi ile satış bölgelerindeki tüketicilerin talepleri dikkate alınarak dağıtım işlemi yapılmaktadır. Ulaştırma modeli, her zaman için en düşük maliyetli taşıma planını sağlamayabilir. Bu model, eldeki mevcut imkanlar ve kaynaklara göre arz ve talep gözönüne alınarak minumum maliyetli taşıma yapılmasını hedefler.

Ulaştırma modeli; işlerin makinelere dağıtımı, şebeke ağı problemleri, üretim planlaması, işletmelerde kuruluş yerinin seçimi, üretim tüketim (arz-talep) merkezleri arasında optimal mal dağıtımının sağlanması gibi alanlarda sıkça kullanılmaktadır.

Bu geniş kullanım alanlarında, ulaştırma problemlerine konu olan ve bir çok işletmenin karşılaştığı sorun, maliyetlerin istenildiği ölçüde azaltılamamasıdır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi ise değişken maliyetlerin ön plana çıkıp sabit maliyetlerin gözardı edilmesidir.

Yapılan araştırmalar sonucunda; sabit maliyetlerin göz ardı edilmesi nedeniyle, maliyet minimizasyonunun ve kar maksimizasyonunun arzu edilen düzeyde olmadığı görülmüştür.

Araştırmamızın konusunda ise değişken maliyetlerle birlikte sabit maliyetler de ele alınacaktır. Seçilen işletmenin ilgili alanında sabit ve değişken maliyetler birlikte incelenecek ve maliyet minimizasyonu yapılmaya çalışılacaktır.

Sonuç olarak ta işletmenin mevcut durumu ile araştırma sonucu oluşan ulaştırma maliyetlerinin durumu karşılaştırılarak işletmeye çeşitli tavsiyelerde bulunulacaktır.

1.2.Çalışmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı; ulaştırma problemlerinin çözümünde kullanılan değişken maliyetlerin yanında, sabit maliyetleri de ele alan, sabit maliyetli ulaştırma problemlerini incelemektir.

Sadece değişken maliyetler üzerinden yapılan çözümleme işlemi yerine, sabit ve değişken maliyetlerin birarada bulunabileceği ulaştırma problemleri için uygun çözümlemeler yapılmaya çalışılacaktır. Değişken maliyetler odaklı oluşturulmuş ulaştırma planına, sabit maliyetler de eklenerek daha farklı ulaştırma planları ortaya konularak, optimal ya da optimale çok yakın sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Firmalarda ve işletmelerde karın artırılmasına yönelik, yol gösterici nitelikte bir çalışma olması amaçlanmaktadır.

1.3. Çalışmanın Önemi

Ulaştırma problemlerini ele alan, gerek ülkemizde gerek uluslararası literatüre geçmiş birçok çalışma ve uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamaların büyük bir kısmında ise sadece değişken maliyetlere göre çözümlemenin yapıldığı görülmüştür.

Uluslararası literatürde sabit maliyetler ve değişken maliyetlerle beraber sabit maliyetleri de ele alan çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, ülkemizde bu konuda çok sınırlı çalışma vardır.

Bu araştırmanın neticesinde hem sabit maliyetlerin bulunduğu ulaştırma problemlerinin teorik olarak incelenmesi ve konunun kavranması sağlanmış, hem de yapılan uygulama neticesinde firmalara özellikle taşıma maliyetlerini düşürecek bilgi sağlanmıştır. Bundan sonraki çalışmalara örnek olması ve ışık tutmasının yanında literatüre de önemli katkı sağlaması hedeflenmiştir.

1.4. Çalışmanın Yöntemi

Araştırmanın yöntemi olarak olay çalışması yöntemi tercih edilmiştir. Uygulamaya yönelik bir çalışma olduğu için olay çalışması yöntemiyle geçerli ve güvenilir verilerle araştırma güçlendirilmiştir.

Olay çalışması yöntemi ile yukarıda anlatılanlara ek olarak;

- Seçilen işletmenin belirli bir alandaki ulaştırma maliyetleri
- Ulaştırma modellemesinin ne şekilde yapıldığı
- Ulaştırma maliyetlerin hesaplanmasında değişken maliyetlerin yanında sabit maliyetlerin gözönüne alınıp alınmadığı
- Yapılan çalışmanın, ulaştırma maliyetlerinde iyileştirme sağlayıp sağlamayacağı ele alınmıştır.

Ulaştırma Modellerinin uzantısı olan sabit maliyetli ulaştırma problemleri incelenmiş olup, uygulamada ele alınan ilgili firmanın daha önceki dönemlere ait ulaştırma planındaki mevcut verilerinden, sabit maliyetlerin de dahil edildiği ve maliyetleri düşüren yeni bir ulaştırma planı oluşturulmuştur. Oluşturulan ulaştırma problemi Microsoft Office içerisinde bulunan Excel programının solver (çözücü) eklentisi ile çözülmüş olup, uygulama kısmında verilerin analizi ve çözüm yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır.

BÖLÜM II

ULAŞTIRMA MODELLERİ

2.1. Tanımı

Ulaştırma modeli, doğrusal programlama probleminin özel bir şeklidir. Bu modelde, malların kaynaklardan (fabrika gibi), hedeflere (depo gibi) taşınmasyla ilgilenilir. Buradaki amaç bir taraftan hedeflerin talep gereksinimleri ve kaynakların arz miktarları arasındaki dengenin sağlanması, diğer taraftan da herbir kaynaktan her bir hedefe yapılan taşımaların toplam maliyetini minumum kılacak taşıma miktarlarını belirlemektir. Modelde, verilen rota üzerindeki taşıma maliyetlerinin aynı rota üzerindeki taşıma miktarlarıyla doğru orantılı olduğu kabul edilmektedir(Taha, 2015, s. 163).

Ulaştırma probleminde amaç kaynaklardan hedeflere, yani üretim merkezlerinden dağıtım merkezlerine mallar dağıtılırken, bu dağıtım işlemini minimum maliyette gerçekleştirmektir. Bir bakıma, ulaştırma problemi üretim merkezlerinden dağıtım merkezlerine malların akışını optimal şekilde planlayan matematiksel bir modeldir. Amaç tüm gönderilen sevkiyatların toplam maliyetini minimum kılan miktarları ve optimal akış yolunu bulmaktır (Öztürk, 2012, s. 423).

Ulaştırma modelleri, aşağıdaki alanlarda sıkça kullanılabilir:

- Arz (üretim) ve talep (tüketim) merkezleri arasında optimal dağıtımının belirlenmesinde,
- İşlerin makinelere dağıtımında,
- Üretim planlamasında,
- Şebeke ağı problemlerinde,
- İşletmelerin kuruluş yeri seçiminde (Öztürk, 2012, s. 423).

2.2. Ulaştırma Modellerinin Gelişim Süreci

Tarihte ulaştırma modelleriyle ilgili ilk çalışma 1939 yılında L.V. Kantorovich tarafından yapılmıştır. İşlerin makinelere tahsis edilmesini ele alan bu çalışmada maliyetler, işlere ve makine dağılımlarına göre değişmektedir. Kantorovich bu tür

problemler için aslında faydalı olsa da tam olmayan bir algoritma sunmuştur. Belki de bu nedenle bu çalışması o dönemde pek dikkat çekmemiştir. 1942 yılında ulaştırma modellerinin sürekli halleri ile ilgili ve 1948 yılında yine ulaştırma modelleriyle ilgili bir çalışmaya imza atmıştır (Dantzig, 1974, s.299)

Ulaştırma modelinin bugünkü yapısına benzeyen halini ilk kez 1941 yılında Frank L. Hitchcock "Üretimin belirli sayıdaki üretim kaynağından çok sayıdaki merkezlere dağıtımı" isimli çalışmasında matematiksel modeli kurmuş ve çözüm önerisinde bulunmuştur. Konuyu daha sonra Hitchcock'un çalışmasından bağımsız olarak ve daha ayrıntılı bir şekilde 1949 yılında Tjalling C. Koopmans "Ulaştırma Sistemi'nin Optimum Kullanımı" isimli çalışmasında ele almıştır. Ulaştırma modeli ile ilgili en önemli gelişme ise George B. Dantzig'in "Ulaştırma Problemine Simpleks Yöntemin Uygulanması" isimli çalışmasının yayınlanmasından sonra gerçekleşmiştir. 1953 yılında A. Charnes ve W. W. Cooper, Dantzig'in önerdiği çözüme daha sistematik şekilde ulaşılmasını sağlayan atlama taşı yöntemini geliştirmişlerdir. 1955 yılında ise R. O. Ferguson modi yöntemini geliştirerek atlama taşı yöntemine alternatif bir çözüm getirmiştir. (Cinemre, 2004, s. 87)

> 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 Metodunu 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 dejenerasyon 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, ve 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 demiryolu 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 (Çakanel, 2008, s. 21).

2.3. Ulaştırma Modellerinde Varsayımlar

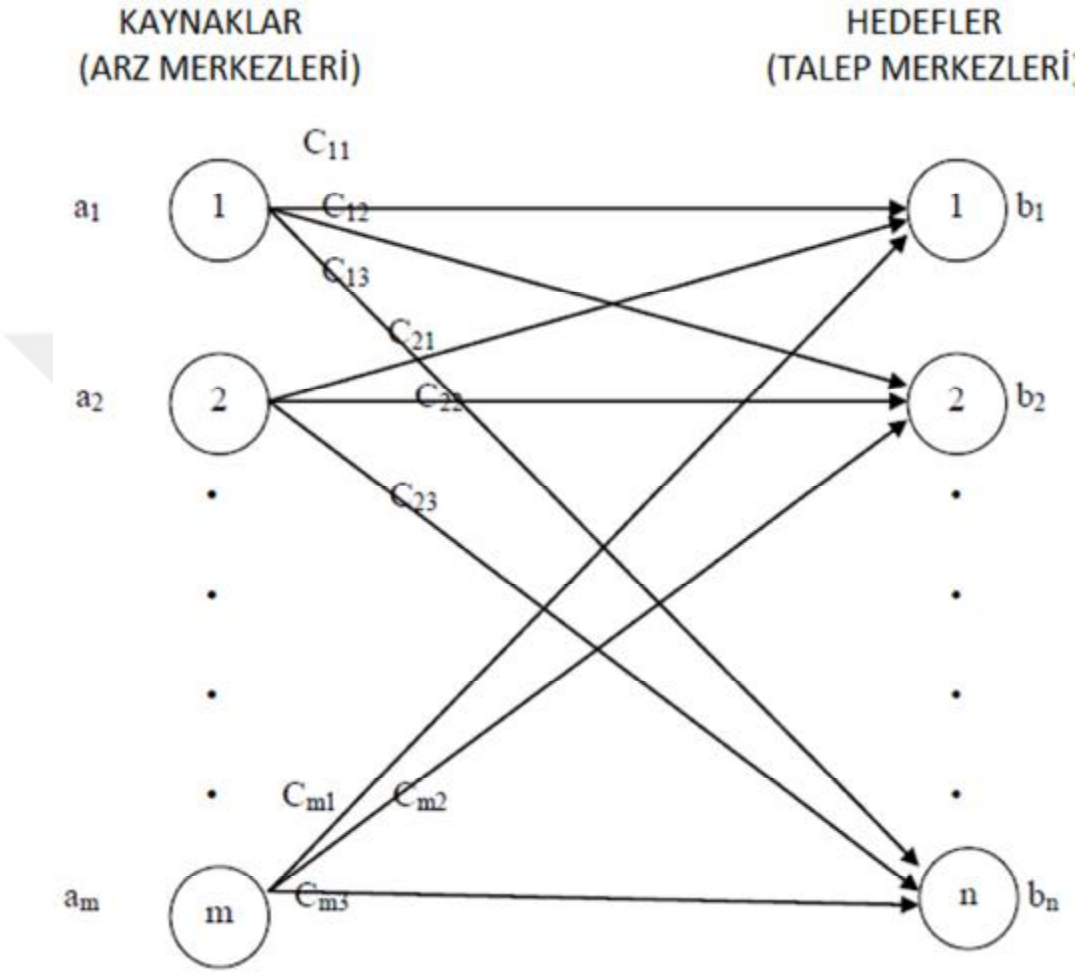
Ulaştırma modeli bir tür doğrusal programlama modeli olduğundan, doğrusal programlama modeli için kabul edilen varsayımlar ulaştırma modeli için de geçerlidir. Bu varsayımlar ise şu şekilde sıralanabilir:

- Tüm doğrusal programlama modellerinde, modeldeki tüm fonksiyonların doğrusal olması gerekmektedir. Yani modeldeki tüm değişkenler birinci dereceden olmalıdır.
- Doğrusal programlama modelini oluşturan değişkenler arasında toplanabilme özelliği vardır.
- Doğrusal programlama modelini oluşturan katsayı ve parametrelerin bilindiği ve ilgili dönem boyunca değişmediği, sabit kaldığı kabul edilmektedir. Modelin ilgili parametrelere ne ölçüde duyarlı olduğu duyarlılık analizleriyle belirlenebilir.
- Doğrusal programlama modelinde bulunan değişkenlerin değeri ya sıfır ya da sıfırdan büyük yani pozitiftir. (Doğan, 1995, s. 75).

Ayrıca bu dört varsayıma ek olarak, herhangi bir doğrusal programlama probleminin ulaştırma modeli çerçevesinde ele alınabilmesi için yerine getirilmesi gereken daha başka koşullar bulunmaktadır:

- Probleme konu olan mal ve hizmetler aynı birim cinsinden ifade edilmeli yani homojen olmalıdır.
- Belirli bir dönemde sunum merkezlerinin sunum, istem merkezlerinin istem miktarları bilinmelidir. Sunum ve istem miktarları birbirine eşit olmalı, eğer eşitlik bulunmuyorsa bu eşitlik sağlanmalıdır.
- Bir sunum merkezinden istem merkezlerine gönderilen mal miktarı bu sunum merkezinin sunum miktarına eşit olmalıdır. Aynı şekilde bir istem merkezine gönderilen toplam mal miktarı bu merkezin istemine eşit olmalıdır.
- Sunum merkezlerinden istem merkezlerine mal nakli yapılırken aktarma yapılması mümkün değildir.

- Malın taşıma maliyetleri bilinmeli ve taşıma maliyetleri taşınan miktara bağlı olarak değişmemelidir. Bu varsayım, taşınan ürün miktarı ile ulaştırma maliyetleri arasındaki ilişkinin doğrusal olduğunu da kapsamaktadır (Cinemre, 2011, s. 94).



Şekil 1. Ulaştırma modeli yapısı

Ulaştırma modelinin temel yapı ve algoritması Şekil 1'de yer almaktadır.

Modeldeki değişkenler ise şu şekildedir:

m = Üretim merkezi (kaynak) sayısı (i=1,2,…,m)

n = Tüketim merkezi (hedef) sayısı (j=1,2,…,n)

C_{ij} = i kaynağından j hedefine gönderilen malın birim taşıma maliyeti

X_{ij} = i kaynağından j hedefine gönderilen mal miktarı

a_i = i kaynağının üretim kapasitesi (arz)

b_j = j hedefinin istem miktarı (talep)

Bir problemin doğrusal programlama modelini oluştururken aşağıdaki işlemler yapılır (Öztürk, 2012, s. 34).

Karar Değişkenlerinin Belirlenmesi

Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi

Kısıtlayıcıların Belirlenmesi

İşaret Kısıtlaması (Pozitiflik Koşulu)

Bu unsurları şu şekilde açıklayabiliriz;

Karar Değişkenlerinin Belirlenmesi: Alınacak kararları betimler ve alınacak kararlara ilişkin faaliyetlerin düzeyini gösterir.

Amaç Fonksiyonu: Doğrusal programlamanın özel bir modeli olan ulaştırma modelinde de hedeflenen amaç ve bu amacı etkileyen faktörlerin matematiksel bir biçimde ifade edildiği doğrusal bir amaç fonksiyonu vardır.

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\ X_{ij}\ (i = 1,2,\dots,m)(j = 1,2,\dots,n)$$

$$Z = C_{11}X_{11} + \cdots + C_{1n}X_{1n} + C_{21}X_{21} + \cdots + C_{2n}X_{2n} + \cdots + C_{m1}X_{m1} + C_{m2}X_{m2} + \cdots + C_{mn}X_{mn}$$

m = Üretim merkezi (kaynak) sayısı (i=1,2,…,m)

n = Tüketim merkezi (hedef) sayısı (j=1,2,…,n)

C_{ij}= i kaynağından j hedefine gönderilen malın birim taşıma maliyeti

X_{ij} = i kaynağından j hedefine gönderilen mal miktarı

Amaç fonksiyonunda X'ler karar değişkenleri C'ler sabit katsayılardır. Ulaştırma modellerinde amaç fonksiyonu kar maksimizasyonunu veya maliyeti minimize etmeyi amaçlar (Günaydın, 2006, s. 24 – 25).

Kısıtlayıcı Fonksiyonlar: Üretim merkezi ya da arz noktasından, belirli tüketim merkezi ya da talep noktalarına gönderilecek ürün miktarı, üretim merkezi ya da talep noktasının kapasitesine eşit olmalıdır. Bu kısıtlara arz kısıtları denir.

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} \leq a_i$$

$$X_{11} + X_{12} + \cdots + X_{1n} = a_1$$

$$X_{21} + X_{22} + \cdots + X_{2n} = a_2$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$X_{m1} + X_{m2} + \cdots + X_{mn} = a_m$$

Her tüketim merkezinin ya da talep noktasının ürün ihtiyacının karşılanması gerekir. Bu kısıtlara da talep kısıtları denir.

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} \geq b_j$$

$$X_{11} + X_{12} + \cdots + X_{m1} = b_1$$

$$X_{21} + X_{22} + \cdots + X_{m2} = b_2$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..$$

$$X_{1n} + X_{2n} + \cdots + X_{mn} = b_n$$

Sonuçta m sayıda üretim merkezi ve n sayıda tüketim merkezi olan bir ulaştırma modelinde m + n tane kısıtlayıcı fonksiyon bulunur. (Günaydın, 2006, s. 25 – 26).

Pozitiflik Koşulu: Taşıma üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine yapıldığı için negatif değerler alamaz.

$$X_{ij} \geq 0 \ (i = 1,2, \ldots, m)(j = 1,2, \ldots, n)$$

2.4. Ulaştırma Tablosu

Arz merkezlerinin sunum miktarları, talep merkezlerinin istem miktarları ve herhangi bir arz merkezinden talep merkezine gönderim maliyetleri ulaştırma tablosu üzerinde gösterilir (Tablo 1). Birim miktarları ve maliyetleri tablolaştırmak, geliştirilen çözüm yöntemlerinin de daha pratik bir şekilde uygulanabilmesini sağlamaktadır.

Tablo 1
Ulaştırma Tablosu

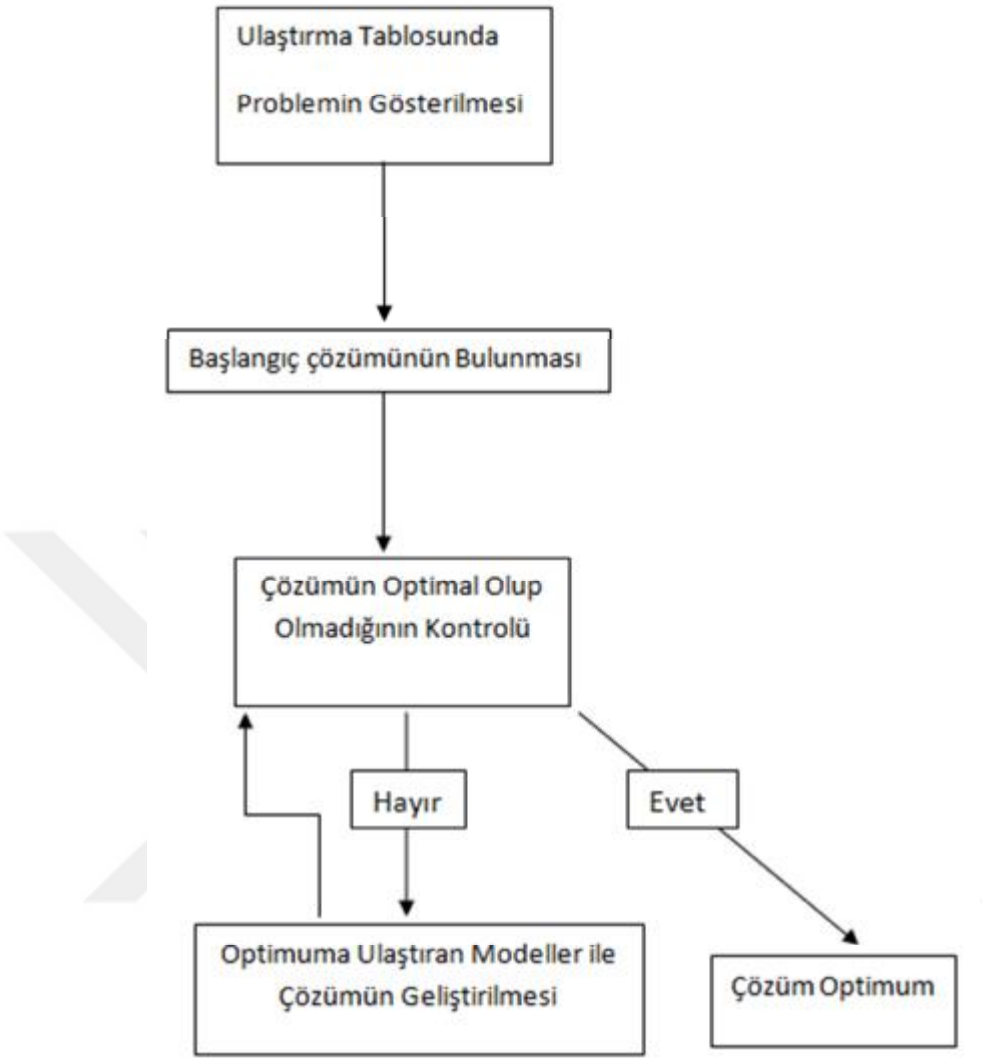
Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	...	j	...	n	Toplam Arz Miktarı
1	X_{11} c_{11}	...	X_{1j} c_{1j}	...	X_{1n} c_{1n}	a_1
...	... ...	...	... ...	...	... ...	...
i	X_{i1} c_{i1}	...	X_{ij} c_{ij}	...	X_{in} c_{in}	a_i
...	... ...	...	... ...	...	... ...	...
m	X_{m1} c_{m1}	...	X_{mj} c_{mj}	...	X_{mn} c_{mn}	a_m
Toplam Talep Miktarı	b_1	...	b_j	...	b_n	$\sum_{i=1}^{m} a_i$ / $\sum_{j=1}^{n} b_j$

Tablo1'de bulunan her özel kutucuğa göze veya hücre ismi verilir. Her hücre (i) inci arz noktasından (j) inci talep noktasına ulaştırılacak X_{ij} miktarına ve birim malın ulaştırma maliyeti C_{ij} 'ye sahiptir (Günaydın, 2006, s. 27-28).

Ulaştırma problemlerinin çözümünde uygulanan aşamalar şöyledir:

- Probleme ait verilerin başlangıç tablosunda gösterilmesi.
- Satır ve sütun gereksinimlerine uyularak temel kabul edilebilir başlangıç çözümü için dağıtım ve atamanın yapılması.
- İkinci adımda elde edilen çözümün en iyi olup olmadığının kontrol edilmesi ve temel olmayan değişkenler arasından temel değişken olarak girecek değişkenlerin bulunması.
- Çözüm en iyi değilse en iyi çözüme ulaşıncaya kadar ardışık işlemlere devam edilmesi. (Doğan, 1995, sy. 83)

Ulaştırma problemlerinin çözüm adımlarının basamakları Şekil 2'de bulunmaktadır.



Şekil 2. Ulaştırma modelinin çözüm algoritması

2.7. Ulaştırma Modeli Çözüm Yöntemleri

Ulaştırma modelinin çözümü için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler sonuca ulaşmakta doğrusal programlamanın genel çözüm metodu olan simpleks yöntemine göre daha hızlı, daha kolay ve daha etkindir.

Ulaştırma problemlerinin çözümünde modele M + N miktarı (arz ve talep merkezi sayısı) kadar değişken eklemek gerekir. Bu çözüm için gereksiz zaman ve maliyet talep eder. Bu sebeple ulaştırma problemlerinin çözümü için daha etkili yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır (Halaç, 1995, s. 550)

- Kuzeybatı köşe yöntemi
- En düşük maliyetli gözeler yöntemi
- Vogel'in yaklaşım yöntemi (Vam Metodu)
- Russell'in yaklaşım yöntemi (Ram Metodu)

Bir ulaştırma modelinin çözümünde kullanılan kavramların tanımları şöyledir (Doğan, 1995, s. 83)

- Bir ulaştırma modelinde kısıtlayıcı şartları sağlayan herhangi bir $X = x_{11}, x_{12}, \dots, x_{mn}$ vektörüne 'çözüm' denir.
- Herhangi bir çözüm arz ve talep kısıtlayıcıları ile birlikte pozitiflik koşulunda sağlıyorsa 'kabul edilebilir' bir çözümdür.
- Çözümde yer alacak temel değişkenlerin sayısı (m+n-1) e eşitse bu çözüm 'temel kabul edilebilir' çözümdür.
- 'En iyi çözüm' amaç fonksiyonunu en iyi şekilde tanımlayan bir 'temel kabul edilebilir optimal çözüm' dür.

2.7.1. Kuzey Batı Köşe Yöntemi

W.W. Cooper ve A. Charnes tarafından 1953 yılında geliştirilmiştir. R. Schlaifer ve A. Henderson tarafından bugünkü şekline gelmesi sağlanmıştır. Çözüm işlemine başlangıç tablosunun sol en üst, yani kuzeybatı köşesinden başlandığı için bu ismi almıştır. Yöntem başlangıç dağıtımını sistematik bir yaklaşım içerisinde sağladığından kolay ve anlaşılabilir olduğu gibi diğer başlangıç çözüm yöntemlerine göre çok büyük boyutlu problemlere kolaylıkla uygulanabilmektedir. Dağıtım esnasında maliyetleri göz önünde bulundurmayıp, arz ve talep kısıtlarına göre dağıtım yaptığından dolayı optimal çözümden uzak kalmakta ve optimal çözüme ulaşmak için daha fazla hesaplamayı gerektirmektedir (Halaç, 1995, s. 441).

Yöntemin çözümü için izlenecek adımlar şu şekildedir (Halaç, 1995, s. 441 – 442):

1) Problem ulaştırma tablosunda gösterilir ve başlangıç tablosunun sol üst köşesindeki göze belirlenir (Tablo 2.).

2) Birinci adımda saptanan gözeye satır ve sütun gereklerine yani arz ve talep kısıtlarına uygun olarak en yüksek miktarda dağıtım için belirli bir rakam yerleştirilir.
3) İkinci adımda yapılan dağıtım sonucunda ilgili arz merkezinin üretimi tamamen kullanılmış fakat bu gözenin ait olduğu sütunda yer alan istem merkezinin talebi tam olarak karşılanmamışsa Tablo 3.'de gösterildiği gibi aşağıya doğru inildiğinde rastlanılan ilk gözeye satır sütun gereklerine uygun olan yine en yüksek dağıtım yapılır. Bu işlem ilgili istem merkezinin talebi karşılanıncaya kadar tekrarlanır.
4) Yapılan dağıtımlarla deponun talebi karşılanmış ancak üretim merkezinin talebi karşılanmamış, üretim merkezinin ürünleri tamamıyla dağıtılmamışsa Tablo 4. deki ulaştırma tablosundaki ilk gözeden sağa doğru kayıldığında rastlanılan ilk gözeye en yüksek miktarda dağıtım yapılır ve işlem üretim merkezinin üretimi tam olarak dağıtılana kadar tekrarlanır. Diğer yandan, sol üst köşeye dağıtım yapıldıktan sonra hem satır hem sütun ihtiyacı karşılanmışsa Tablo 5.'te gösterildiği gibi ihtiyacı karşılanan satır ve sütun kaldırılarak bu gözenin sağ altına inilir ve işlemlere aynen devam edilir.

Tablo 2

Kuzey Batı Köşe Yöntemi

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	...	j	...	n	Toplam Arz Miktarı
1	X_{11} c_{11}	...	X_{1j} c_{1j}	...	X_{1n} c_{1n}	a_1
...	...	...	...	...	...	...
i	X_{i1} c_{i1}	...	X_{ij} c_{ij}	...	X_{in} c_{in}	a_i
...	...	...	...	...	...	...
m	X_{m1} c_{m1}	...	X_{mj} c_{mj}	...	X_{mn} c_{mn}	a_m
Toplam Talep Miktarı	b_1	...	b_j	...	b_n	$\sum_{i=1}^{m} a_i$ / $\sum_{j=1}^{n} b_j$

Tablo 3

Kuzey Batı Köşe Yöntemi

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	...	j	...	n	Toplam Arz Miktarı
1	X_{11} c_{11}	...	X_{1j} c_{1j}	...	X_{1n} c_{1n}	a_1
...	...	...	...	...	...	...
i	X_{i1} c_{i1}	...	X_{ij} c_{ij}	...	X_{in} c_{in}	a_i
...	...	...	...	...	...	...
m	X_{m1} c_{m1}	...	X_{mj} c_{mj}	...	X_{mn} c_{mn}	a_m
Toplam Talep Miktarı	b_1	...	b_j	...	b_n	$\sum_{i=1}^{m} a_i$ / $\sum_{j=1}^{n} b_j$

Tablo 4
Kuzey Batı Köşe Yöntemi

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	...	j	...	n	Toplam Arz Miktarı
1	X_{11} c_{11}	...	X_{1j} c_{1j}	...	X_{1n} c_{1n}	a_1
...	...	...	...	...	...	...
i	X_{i1} c_{i1}	...	X_{ij} c_{ij}	...	X_{in} c_{in}	a_i
...	...	...	...	...	...	...
m	X_{m1} c_{m1}	...	X_{mj} c_{mj}	...	X_{mn} c_{mn}	a_m
Toplam Talep Miktarı	b_1	...	b_j	...	b_n	$\sum_{i=1}^{m} a_i$ $\sum_{j=1}^{n} b_j$

Tablo 5
Kuzey Batı Köşe Yöntemi

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	...	j	...	n	Toplam Arz Miktarı
1	X_{11} c_{11}	...	X_{1j} c_{1j}	...	X_{1n} c_{1n}	a_1
...	...	...	...	...	...	...
i	X_{i1} c_{i1}	...	X_{ij} c_{ij}	...	X_{in} c_{in}	a_i
...	...	...	...	...	...	...
m	X_{m1} c_{m1}	...	X_{mj} c_{mj}	...	X_{mn} c_{mn}	a_m
Toplam Talep Miktarı	b_1	...	b_j	...	b_n	$\sum_{i=1}^{m} a_i$ $\sum_{j=1}^{n} b_j$

2.7.2. En Düşük Maliyetli Gözeler Yöntemi

Kuzey-Batı köşesi yöntemi uygun çözüm elde etmek için basit bir yöntem olmasına rağmen maliyetleri göz ardı ettiğinden başlangıç çözümü iyi bir çözüm olmayabilir (Altunkaynak & Bakır, 2003, s. 123).

En düşük maliyetli gözeler yöntemi ise maliyetler göz önüne alınarak çözüme ulaşılmaya çalışıldığından kuzey-batı köşe yöntemine göre daha maliyeti düşük sonuçlar verir (Günaydın, 2006, s. 37).

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

Diğer bir deyişle; kuzeybatı köşe yönteminde olduğu gibi kuzeybatı hücresinden başlamak yerine, en düşük birim maliyetli hücreye, arz ve talep kısıtlarını göz önüne alarak mümkün olduğunca fazla atama yapmak suretiyle başlangıç çözümü oluşturmaya başlanır (Heizer ve Render, 2004, s. 16).

Daha sonra arz ve talep miktarları ayarlanır ve ataması tamamlanan satır ya da sütun iptal edilir. Sonrasında, kalan gözeler içinden en düşük maliyetlisi bulunur ve süreç bu şekilde iptal edilmeyen bir satır ya da sütun kalıncaya kadar tekrarlanır (Taha, 2000, s.180).

Yöntemin üç yaklaşımı vardır:

- Satır Yaklaşımı
- Sütun Yaklaşımı
- Genel Yaklaşım

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

Sütun yaklaşımı: Bu yöntem için de satır yaklaşımı gibi hareket edilir. Aradaki fark, birinci satır yerine birinci sütundan başlanmasıdır. Birinci sütun gereksinimi karşılanınca sırasıyla diğer sütunlara geçilir. Satır ve sütun yaklaşımları aynı probleme uygulandığında, aynı sonuçları vermeyebilir.

Genel yaklaşım: Tablonun geneli göz önüne alınarak, en az maliyetli hücrelere dağıtım yapılması esasına dayanır. Genellikle diğer iki yaklaşıma göre daha iyi sonuçlar vermektedir (Doğan, 1995, s. 86-88).

Çözümüne ulaşmak için takip edilen basamaklar sırasıyla şu şekildedir:

- Tablodaki en az birim taşıma maliyetine sahip olan hücre, ilk dağıtım için seçilir. En az maliyetli hücrelerin birim taşıma maliyetleri eşit ve birden çok sayıda ise, en fazla atama yapılabilecek hücre seçilir. Birim taşıma maliyetleri ve arz-talep kısıtlarına göre atama yapılabilecek en fazla miktarlar da eşitse, herhangi birisi seçilebilir.
- Seçilen hücreyle ilgili arz ve talep miktarlarına uygun atama yapılır.
- Sunumu karşılanan arz merkezi veya talebi karşılanan talep merkezi ikinci dağıtım için tablodan çıkarılır ve tabloda kalan hücreler arasından en az maliyete sahip ikinci hücre dağıtım için seçilir.
- Tüm arz ve talep miktarları tamamen karşılanana kadar işlemlere devam edilir.

En düşük maliyetli gözeler yöntemi uygulanabilirliğinin kolay olması ve yöntemin çoğunlukla iyi bir başlangıç temel çözüm vermesi yöntemin avantajlarıdır. Yöntemin dezavantajı ise, rotalar belirlenirken, her dağıtım aşamasında yalnızca bir hücrenin maliyetinin dikkate alınmasıdır. Aslında maliyetlerin birbirleriyle ilişkisi ve kıyaslanması da dikkate alınmalıdır. Bu durum söyle açıklanabilir: Kimi zaman en düşük maliyete sahip hücreye yükleme yapıldığında satıra ilişkin arz kullanılmış ya da sütuna ilişkin talep karşılanmış olabiliyor. Dolayısıyla matris içinde yer alan, ilk atamadan sonraki en düşük maliyetli hücre eğer ilgili satır ya da sütunda yer alıyorsa, sıradaki yükleme bu hücreye değil, daha yüksek maliyete sahip başka bir hücreye yapılmış olmaktadır. Bu durum, düşük toplam maliyet veren en düşük maliyetli gözeler yönteminin bazen daha yüksek maliyetli sonuçlar vermesine neden olmaktadır. (Wilkes, 1989, s. 80-81)

2.7.3. Vogel'in Yaklaşım Yöntemi (Vam Metodu)

William R. Vogel tarafından 1958 yılında ileri sürülmüştür. (Doğan, 1995, sy. 90) VAM metodu, kuzey-batı köşesi yöntemi ve en düşük maliyetli gözeler yöntemlerinden daha etkili olup, çok daha iyi bir başlangıç çözümü vermekle beraber, bazı problemlerde de doğrudan optimal sonuca ulaştırmaktadır.

Vam metodu, ulaştırma tablosunda bulunan birinci öncelikli hücre yerine, ikinci öncelikli hücreye dağıtım yapıldığında oluşan birim başına kaçırılacak fırsat maliyetini saptayıp, en çok fırsat maliyetinin kaçırılmaması esasına dayanır. (Kara, 2000, sy. 181) Yöntemin çözüme ulaşmak için izlenecek basamaklar sırasıyla şu şekildedir (Cook ve Russell, 1989, s. 207):

- Problem, ulaştırma tablosunda gösterilir.
- Tablodaki her satır ve sütun ayrı ayrı incelenerek, en düşük ilk iki maliyet seçilir ve farkları alınır. Elde edilen farklar ilgili satırın en sağına, ilgili sütunun da en alt kısmına yazılır. Bu durum Tablo 6.'te görülmektedir

Tablo 6
Vam Metodu

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	2	3	Sunum miktarı	Satır pişmanlık (ceza) değerleri
1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	a_1	$min1\,c_{1i} - min2\,c_{1i}$ / c'_{1i}
2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	a_2	$min1\,c_{2i} - min2\,c_{2i}$ / c'_{2i}
3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3	$min1\,c_{3i} - min2\,c_{3i}$ / c'_{3i}
İstem Miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_t = b_t$	
Sütun pişmanlık (ceza) değerleri	$min1\,c_{j1} - min2\,c_{j1}$ / c'_{j1}	$min1\,c_{j2} - min2\,c_{j2}$ / c'_{j2}	$min1\,c_{j3} - min2\,c_{j3}$ / c'_{j3}		

En büyük pişmanlık değerine sahip satır veya sütun seçilir. Seçilen satır veya sütundaki pişmanlık değerinin bulunduğu satırdaki veya sütundaki en küçük birim taşıma maliyetli gözeye maksimum atama yapılır.

Önceki adımda yapılan atamanın bulunduğu satır veya sütun ilk ulaştırma tablosundan çıkarılarak yeni bir ulaştırma tablosu hazırlanır. Bu durum Tablo 7-8'de görülmektedir.

Tablo 7
Vam Metodu

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	2	3	Sunum miktarı	Satır pişmanlık (ceza)değerleri
1	c_{11}	c_{12} 0	c_{13}	a_1	$min1\,c_{1i} - min2\,c_{1i}$ / c'_{1i}
2	c_{21}	c_{22} b_2	c_{23}	$a_2 - b_2$	$min1\,c_{2i} - min2\,c_{2i}$ / c'_{2i}
3	c_{31}	c_{32} 0	c_{33}	a_3	$min1\,c_{3i} - min2\,c_{3i}$ / c'_{3i}
İstem Miktarı	b_1	0	b_3	$a_t = b_t$	
Sütun pişmanlık (ceza) değerleri	$min1\,c_{j1} - min2\,c_{j1}$ / c'_{j1}	$min1\,c_{j2} - min2\,c_{j2}$ / c'_{j2}	$min1\,c_{j3} - min2\,c_{j3}$ / c'_{j3}		

Tablo 8
Vam Metodu

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	3	Sunum miktarı	Satır pişmanlık (ceza) değerleri
1	c_{11}	c_{13}	a_1	$min1\,c_{1i} - min2\,c_{1i}$ / c'_{1i}
2	c_{21}	c_{23}	a_2	$min1\,c_{2i} - min2\,c_{2i}$ / c'_{2i}
3	c_{31}	c_{33}	a_3	$min1\,c_{3i} - min2\,c_{3i}$ / c'_{3i}
İstem Miktarı	b_1	b_3	$a_t = b_t$	
Sütun pişmanlık (ceza) değerleri	$min1\,c_{j1} - min2\,c_{j1}$ / c'_{j1}	$min1\,c_{j3} - min2\,c_{j3}$ / c'_{j3}		

Aynı adımlar tamamlanarak tüm arz ve talep kısıtları karşılanıncaya kadar yani, satır ve sütun gereksinimleri tamamen doyurulana kadar ardışık işlemlere devam edilir.

Özetle; VAM yöntemiyle elde edilen sonuç, kuzey-batı köşesi ve en düşük maliyetli gözeler yöntemlerine kıyasla daha düşük maliyetli olmaktadır. Optimallik testi uygulandığında daha az adımla optimum sonuca ulaşılır. Hatta bazen de direk optimum sonuca ulaşılır.

2.7.4. RAM Metodu (Russel Yaklaşım Yöntemi)

RAM yöntemi de, VAM yöntemine benzer olarak iyi bir temel başlangıç çözüme, hatta bazı problemlerde optimal çözüme çok yakın veya optimal sonuca ulaşıldığı görülür. Bu yöntem VAM yöntemine göre daha çok hesaplama işlemi içermektedir (Dantzig ve Thapa, 1997, s. 218).

Adını Russel's Approximation Method kelimelerinin ilk harflerinden alan RAM metodunun çözüm adımları şu şekildedir (Doğan, 1995, s. 94).

- Başlangıç tablosunda her satır ve sütundaki en yüksek C_{ij} katsayıları belirlenerek satır ve sütunların en sağ ve en alt kısmına yazılır (Tablo 9).
- Her göze için, o gözeye ait ve bir önceki adımda hesaplanan maksimum değerler toplanarak ilk tablodaki maliyetten çıkarılır. Hesaplanan yeni C_{ij} maliyet katsayıları ile yeni bir tablo hazırlanır.
- Bir önceki adımda hesaplanan maliyetlerin bulunduğu tablonun en yüksek maliyetli gözesi belirlenerek satır ve sütun gereklerine uygun olarak maksimum miktarda atama yapılır (Tablo 10). Maksimum maliyetli göze birden fazla ise herhangi biri seçilerek işlemlere devam edilir. Bu miktar ilgili satır-sütun toplamından düşülür (Tablo 11). Dağıtım yapılan gözeye ilişkin istem merkezinin talebi karşılanmış veya sunum merkezinin üretimi tamamen karşılanmış ya da dağıtılmışsa bir sonraki adımda ilgili satır veya sütun işleme dahil edilmez. Yeni bir tablo hazırlanıp başlangıç tablosuna dönülür.
- Düzenlenen tablolarda satır veya sütun sayısı bir oluncaya kadar 1-3 işlemleri sırayla tekrarlanır.

Tablo 9
Ram Metodu

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	2	3	Sunum miktarı	Satır maksimum değerleri
1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	a_1	$maxC_{1i}$
2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	a_2	$maxC_{2i}$
3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	a_3	$maxC_{3i}$
İstem Miktarı	b_1	b_2	b_3	$a_t = b_t$	
Sütun maksimum değerleri	$maxC_{j1}$	$maxC_{j2}$	$maxC_{j3}$		

Tablo 10
Ram Metodu

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	2	3	Sunum miktarı
1	$maxC_{1i} + maxC_{j1} - c_{11} = C'_{11}$	$maxC_{1i} + maxC_{j2} - c_{12} = C'_{12}$	$maxC_{1i} + maxC_{j3} - c_{13} = C'_{13}$	a_1
2	$maxC_{2i} + maxC_{j1} - c_{21} = C'_{21}$ a_2	$maxC_{2i} + maxC_{j2} - c_{22} = C'_{22}$ **0**	$maxC_{2i} + maxC_{j3} - c_{23} = C'_{23}$ **0**	**0**
3	$maxC_{3i} + maxC_{j1} - c_{31} = C'_{31}$	$maxC_{3i} + maxC_{j2} - c_{32} = C'_{32}$	$maxC_{3i} + maxC_{j3} - c_{33} = C'_{33}$	a_3
İstem Miktarı	b_1- a_2	b_2	b_3	$a_t = b_t$

Tablo 11
Ram Metodu

Talep(İstem) Merkezi / Arz (Sunum) Merkezi	1	2	3	Sunum miktarı	Satır maksimum değerleri
1	C'_{11}	C'_{12}	C'_{13}	a_1	$max C_{1i}$
3	C'_{31}	C'_{32}	C'_{33}	a_3	$max C_{3i}$
İstem Miktarı	$b_1 - a_2$	b_2	b_3	$a_t = b_t$	
Sütun maksimum değerleri	$max C_{j1}$	$max C_{j2}$	$max C_{j3}$		

Bütün arz (sunum) ve talep (istem) gereksinimleri karışılanana kadar işlemler devam edilir.

2.8. Başlangıç Çözümünü Optimal Çözüme Ulaştıran Teknikler

Ulaştırma problemleri için en uygun yani optimal çözüme ulaşmak için önce işe başlangıç bir çözümle ulaşılan dağıtım programında başlanır. Başlangıç çözümün optimalliğini kontrol etmek için dağıtımda kullanılmayan herhangi bir yer dağıtım programına alınarak toplam taşıma maliyetinde tasarruf sağlanabilir. Bu demektir ki, ulaştırma tablosunda kullanılmayan herhangi bir göze (hücre) veya dağıtım ağındaki yol, olabilen tasarrufu sağlayabilir, dolaysıyla bu gözden geçirilmelidir. Tasarruf sağlayacak dağıtım yerleri belirlenir ve ayrımlar bu yerlere yapılarak en düşük taşıma maliyetine ulaşılır. Bunun için genellikle iki yöntem kullanılır. Bunlar; atlama taşı yöntemi ile çoğaltan veya basitleştirilmiş dağıtım (MODİ) yöntemidir. (Öztürk, 2012, s. 441).

2.8.1. Atlama Taşı yöntemi (Stepping-Stone)

Çözümün optimal olup olmadığını belirten ve optimal değilse en iyi çözüme adım adım ulaşmayı sağlayan atlama taşı yöntemi, A.Charnes ve W.W.Cooper tarafından 1954 yılında geliştirilmiştir (Cinemre, 2011, s. 114).

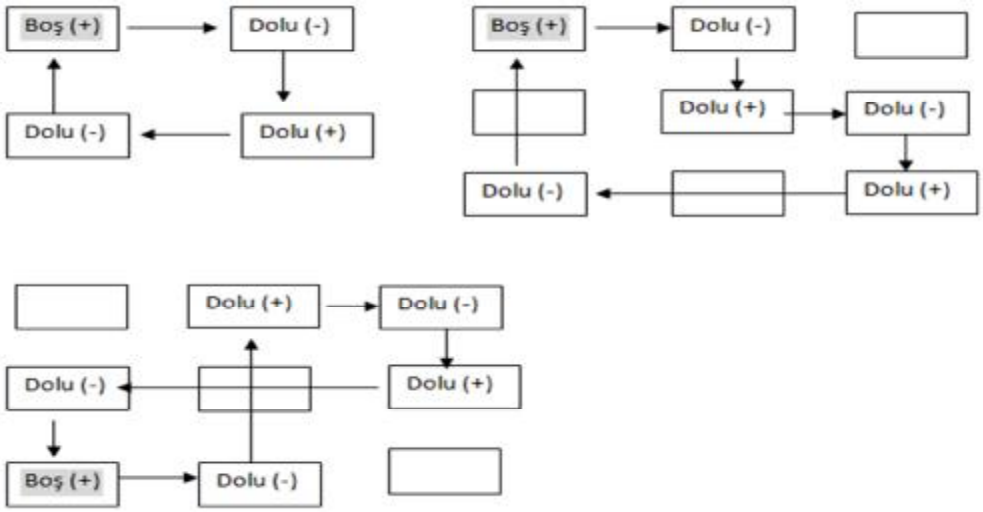
Yöntem, başlangıç çözümünde boş olan bir hücreye dağıtım yapılması halinde toplam maliyetin ne kadar artacağının veya azalacağının belirlenmesi temeline dayanır (Doğan, 1995, s. 98).

Dağıtımın yapılmadığı yani boş olan bir hücreye bir birimlik ayırım yapıldığında maliyetteki değişme miktarı veya test miktarı olan d_{ij}hesaplanır. Bu hücreye ayrım yapıldığında, hücrenin bulunduğu satır ve sütun koşullarının yani arz ve talep miktarının bozulmaması gerekir. Bu dengenin bozulmaması için, dağıtım yapılan dolu hücrelerdeki ayrımları bir birim azaltarak ya da artırarak denge sağlanmış olur (Öztürk, 2012, s. 441).

Ayırımların öncelikle nereye yapılması gerektiğini belirlerken en düşük negatif net değişim maliyeti olan hücreden başlanması gerekir. Ayrım yapılacak boş gözenin net değişim maliyeti ($d_{ij} > 0$) olursa, bu durum toplam maliyette bir tasarruf sağlamayacaktır (Öztürk, 2012, s. 442).

- Gizli maliyeti hesaplanacak boş gözenin belirlenmesi
- Belirlenen boş gözeden başlayıp yalnızca düşey ve yatay yönde ilerleyip, dolu gözelere gelindiğinde ise 90 derecelik dönüşler yapılarak başlanılan gözeye geri dönülmesi. Bu işlem döngü olarak adlandırılır. Aşağıda bazı döngü örnekleri verilmiştir (Şekil 3).

Şekil 3. Döngü örnekleri



- Belirlenen boş gözeye (+), döngüdeki her dolu gözelere sırası ile (+), (-) işaretlerinin konulması. Yukarıdaki döngülerde de görüldüğü gibi (+) ların bulunduğu satır ve sütundaki diğer dolu gözeye (-), (-) lerin bulunduğu satır ve sütundaki diğer dolu gözeye ise (+) işareti konularak arz ve talep dengesinin korunması sağlanır.
- Döngüye giren gözelere ait C_{ij} maliyetlerinin gözelerde bulunan değerlerin dikkate alınarak toplanması: toplama işlemi sonucundaki elde edilen maliyete boş gözeye ait gizli maliyet denir ve d_{ij}ile gösterilir.

Bu d_{ij} değerleri için 3 durum söz konusdur.

$d_{ij} > 0$, $d_{ij} = 0$ ve $d_{ij} < 0$

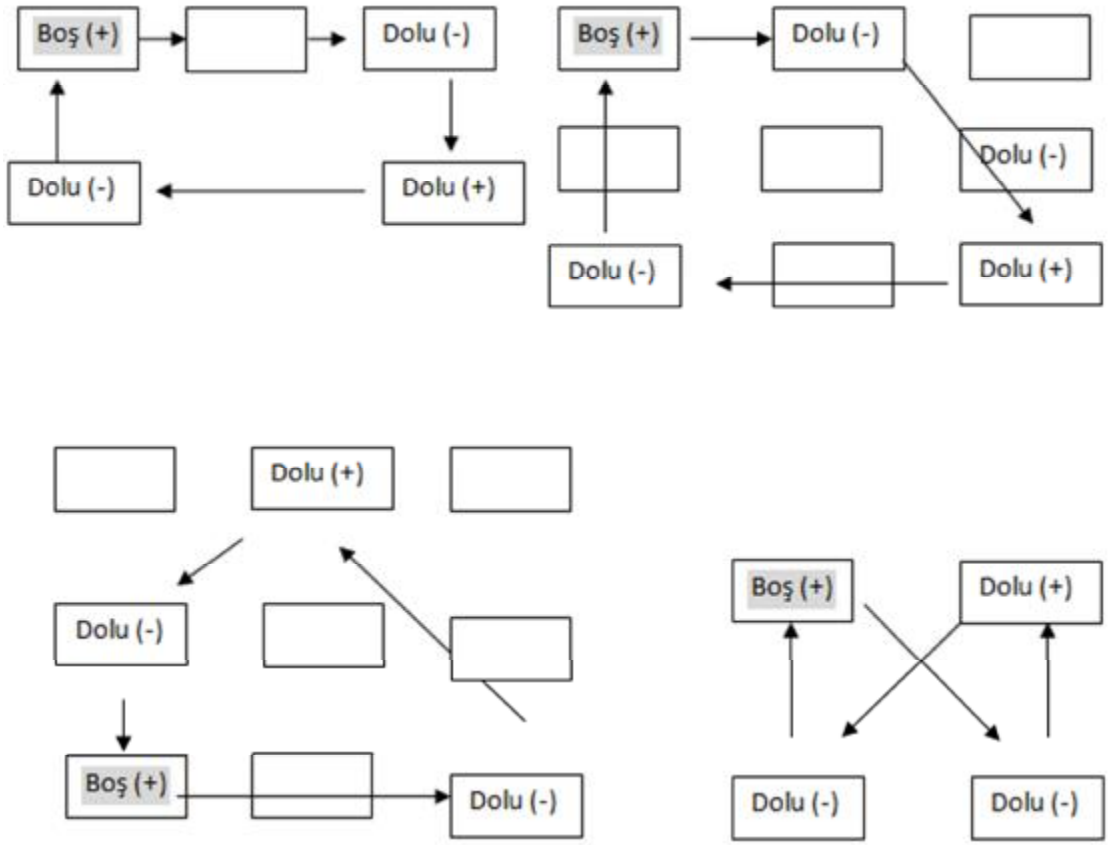
$d_{ij} > 0$ ise bu gözeye yapılacak atama maliyeti artıracağından (i,j) konumundaki göze boş bırakılır.

$d_{ij} = 0$ bu durumda ise toplam maliyette bir değişiklik olmaz fakat bu gözeye atama yapılması halinde aynı maliyeti veren farklı bir dağıtım planı oluşur. Bu durum ise alternatif optimal çözüm vardır şeklinde adlandırılır.

$d_{ij} < 0$ durumunda ise bu gözeye yapılacak atama sonrası toplam maliyette d_{ij} birimlik bir azalış söz konusu olur ve bu gözeye atama yapılmasına karar verilir (Karayalçın, 1993, s.134).

Optimal çözüme ulaşılıp ulaşılmadığını kontrol etmek için ise yukarıdaki adımların uygulandığı işlemin, bu göze dışındaki diğer tüm boş gözelere uygulanıp incelenmesi gerekmektedir. Bütün gözelerin incelenmesi sonucunda buralardaki maliyetlerin sıfırdan büyük veya sıfır olması halinde çözümün optimal olduğuna karar verilir. Fakat incelenen boş gözelerdeki d_{ij}değerlerinin yani gizli maliyetlerin sıfırdan küçük olması durumunda ise çözümün optimal olmadığına ve buradaki hücreden başlayarak yeni bir döngü sonrası bu gözenin dolu hale getirilmesi gerekir.

Yanlış döngüye dair bazı örnekler Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Yanlış döngü örnekleri

2.8.2. Modi Yöntemi (Basitleştirilmiş Dağıtım)

Bu yöntem adını, modifiye edilmiş, değiştirilmiş dağıtım kalimelerinin ingilizcesi olan “Modified distribution” kelimelerinin ilk harflerinden almaktadır.

Bu yöntem ile boş gözelerdeki gizli maliyetler döngü yapılmadan hesaplanabilmekte ve atlama taşı yöntemine göre daha hızlı sonuç alınabilmektedir (Doğan, 1995, s. 100).

R. O. Ferguson tarafından geliştirilen bu yöntem, atlama taşı yönteminin gelişmiş bir şekli olup gizli maliyetlerin hesaplanmasında kullanılan yöntem ise farklıdır. Atlama taşı metodunda, boş gözelerin her bir tek tek incelenip en az boş göze sayısı kadar döngü yapılması gerekirken, modi yöntemi ile döngü yapılmadan daha az sayıda işlem ile sonuca ulaşılabilmektedir (Cinemre, 2011, s. 118).

Ulaştırma modelinin genel formülünu primal (asıl) problem olarak kabul edip, aynı problemi dual (ikilik) olarak kabul edebiliriz. Modi yönteminin çözümü de dual problemin çözümüne dayanmaktadır. Problem dengelenmiş olarak kabul edildiğinden dengelenmemiş durum söz konusu değildir (Öztürk, 2012, s. 445).

Problemin primal modeli:

Amaç fonksiyonu : $Z_{min} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij}\ X_{ij}\ (i = 1,2,\dots,m)(j = 1,2,\dots,n)$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = a_i\ (i = 1,2,\dots,m) \text{ arz kısıtı}$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} = b_j\ (j = 1,2,\dots,n) \text{ talep kısıtı}$$

Pozitiflik koşulu : $X_{ij} \geq 0\ (i = 1,2,\dots,m)(j = 1,2,\dots,n)$

Problemin dual modeli:

Amaç fonksiyonu $Z_{max} = \sum_{i=1}^{m} a_i\ u_i + \sum_{j=1}^{n} b_j\ v_j\ (i = 1,2,\dots,m)(j = 1,2,\dots,n)$

Kısıtlayıcılar: $u_i + v_j \leq C_{ij}\ (i = 1,2,\dots,m)(j = 1,2,\dots,n)\ u_i, v_j$ negatif veya pozitif

Dual modelde bulunan u_i ve v_j değişkenleri gölge fiyat ve gölge maliyet öğesi olarak adlandırılır. Primal modelde bulunan temel değişkene karşılık gelecek dual kısıtlama da eşitlik biçiminde olacağından hesaplama $u_i + v_j = C_{ij}$ şeklinde yapılacaktır.

Ulaştırma probleminde m adet arz ve n adet talep olduğundan m+n adet denklem ve m+n adet te u_i ve v_j bulunmaktadır. Denklemi çözmek için m+n-1 tanesinin bilinmesi yeterli olur. Herhangi bir u_i veya v_j değerini sıfır kabul ederek işlemlere başlanır. Kesin kural olmamakla birlikte çoğunlukla u_1 değerini sıfır kabul edilir.

Problemin çözüm aşamaları şu şekilde olmaktadır:

- Temel çözümü bullunan ve optimallik testi uygulayacak ulaştırma tablosundaki u_i ve v_j ler için birer satır ve sütun eklenir.
- Dolu hücrelerde bulunan birim taşıma maliyetleri (C_{ij}) dikkate alınarak, $u_i + v_j = C_{ij}$ hesaplanacaktır.
- Herbir u_i değeri için $u_1, u_2, \dots, u_m$ ve v_j değerleri için de $v_1, v_2, \dots, v_n$ değerleri yazılıp $u_1 = 0$ olarak verilerek tamamı hesaplanır.

- Dolu hücreler için yapılan işlemler sonrasında hesaplanan u_i ve v_j değerlerini kullanarak boş hücrelerdeki gizli maliyetleri hesaplamak için $d_{ij} = C_{ij} - (u_i + v_j)$ formülü kullanılır.
- 4.adımda hesaplanan gizli maliyetlerin tamamı sıfır ya da sıfırdan büyükse çözüm optimaldir. Sıfırın bulunması aynı maliyette farklı bir çözümün daha olduğunu gösterir. Gizli maliyetlerde negatif değer veya değerler varsa çözümün optimal olmadığını gösterir ve 6. Adıma geçilir.
- Negatif değerler içerisinden en küçüğü seçilir, en küçük değerler birden fazla ise herhangi biri seçilir. Bu seçilen gözede önceki kısımda anlatılan atlama taşı yöntemi ile bir döngü oluşturulur.
- 6. Adımda seçilen boş hücreye, dolu hücrelerden atama yapılacak şekilde yeni bir dağıtım planı oluşturulur.
- 1-5. Adımlar tekrarlanarak gizli maliyetler negatif olmayıncaya kadar işlemler devam eder. (Öztürk, 2012, s. 445-446).

2.9. Ulaştırma Modellerinde Duyarlılık Analizi

Ulaştırma problemlerinde değişken maliyetler yani birim taşıma maliyetleri ve arz talep miktarları zamanla ve farklı durumlara göre değişebilir. Oluşan değişiklikler ise optimal olan çözümü optimallikten uzaklaştırabilir. Taşıma maliyetleri ve arz-talep miktarlarında olacak değişikliklerin optimal olan çözüme nasıl etkileyeceği ve ne ölçüde değişeceğini yorumlayabilmek için duyarlılık analizi yapılması gerekir (Öztürk, 2009, s. 484).

Ulaştırma modelleri için doğrusal programlama problemlerinin özel bir şekli olduğundan, ortaya çıkabilecek değişiklikler aşağdaki gibidir.

- ***Amaç fonksiyonundaki değişkenlerin katsayılarının değişmesi***
- ***Kısıtlayıcı fonksiyonlardaki sağ tarafta bulunan sabitlerin (arz miktarı ve talep miktarı) değişmesi***

Bu tür değişiklikler olduğunda optimal çözüm; optimalliğini korur veya optimallikten uzaklaşarak optimal çözümü elde etmek gerekebilir (Cinemre, 2011, 134).

Amaç fonksiyonundaki değişkenlerin katsayılarının değişmesi

Maliyetlerdeki duyarlılık olarak ta adlandırılır. Temel değişken olmayan yani çözümde yer almayan değişkenlerde ve temel değişken olup çözümde yer alan maliyetlerde değişiklik olduğunda, toplam maliyetin, bulunan en iyi çözüme oranla ne ölçüde değişikliğin olduğunu gösteren ve dağıtım planında ne gibi değişikliklerin olacağı görülebilir (Öztürk, 2009, s. 484).

Temel değişken olmayan hücredeki birim taşıma maliyetini ele aldığımızda, dual değişken olan $u_i \, ve \, v_j$ değerleri aynı kalır. Birim taşıma maliyeti olan C_{ij} değişirse, bunun etkileyeceği X_{ij} çözümde yer almayan değişkenin test miktarı olacaktır. $u_i + v_j \leq C_{ij}$ olduğunda optimal çözüme ulaşılıyor yani $u_i + v_j$ değeri, C_{ij} değerine eşit veya ondan küçük oluyorsa çözüm optimaldir. Kar tipi problemlerde ise bunun tam aksi, yani $u_i + v_j \geq p_{ij}$ olarak düşünülebilir (Öztürk, 2009, s. 485).

Çözümde yer alan yani temel olan bir değişkenin maliyetinin duyarlılığını bulabilimek için:

- Değişkenin maliyetini y terimi ile adlandırmak
- $u_i ve \, v_j$ değerlerini, y terimini ekleyerek hesaplamak.
- Çözümde yer almayan değişkenlerin test miktarını y terimi ile bulmak.
- y teriminin bulunduğu tüm çözümde yer almayan değişkenlerin test miktarının sıfırdan küçük ve sıfıra eşit olma durumuna göre düzenleyerek bu eşitsizliği y terimi için çözmek (Öztürk, 2009, s. 486).

Kısıtlayıcı fonksiyonlardaki sağ tarafta bulunan sabitlerin (arz miktarı ve talep miktarı) değişmesi

- Arz(sunum) miktarında değişiklik

  Doğrusal programlamadaki gölge fiyat kavramı, ulaştırma problemlerinde dual değişkenlerin $u_i ve \, v_j$ değerlerine karşılık gelmektedir. Üretim miktarında veya sunum miktarında olacak artışı ΔS_i ile gösterirsek. Toplam maliyet:

  $Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} \, X_{ij} + \Delta S_i(u_i)$ formülü ile hesaplanır.

- Talep (istem) miktarında değişiklik

  Talep miktarlarında veya tüketim miktarlarındaki azalış veya artışların maliyete etkisini v_j değeri belirler. Formülize edersek:

$Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\ X_{ij} + \Delta D_j(v_j)$ veya $Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\ X_{ij} - \Delta D_j(v_j)$ olur.

- Arz ve talep miktarlarının aynı anda değişmesi

  Aynı anda arz ve talep miktarlarının değişmesi sonrasında temel olan yani çözümde yer alan değişkenlerin değerleri de değişir. Bu durumda temel değişkenleri yeniden hesaplamak gerekmektedir.bunun için i arz merkezinin sunumu ile j talep merkezinin isteminin aynı oranda Δ kadar arttığını düşündüğümüzde yeni değişkenler aşağıdaki şekilde hesaplanır.

  X_{ij} çözümde yer alıyorsa bu değişkenin yeni değeri eski değerinden Δ kadar fazla olur.

  X_{ij} çözümde yer almıyorsa, çözümde yer almayan değişkenleri hesaplamak için öncelikle X_{ij} nin bulunduğu hücreyi baz alarak yeni bir döngü oluşturulur ve atlama taşı yönteminde anlatıldığı gibi (+), (-), (+) … şeklinde oluşturulacak döngünün i. Satırındaki (-) işaretli hücre belirlenerek sırasıyla (i,j) konumunda bulunan hücre hariç (+) işaretini alan tüm hücrelerden Δ kadar eksiltilerek, (-) işareti alan hücrelere Δ değeri kadar ekleme yapılır. Değişkenlerin yeni değerleri hesaplanır ve maliyet karşılaştırması yapılır (Cinemre, 2011, s. 140).

2.10. Ulaştırma Modellerinde Özel Durumlar

Ulaştırma problemlerinde de, doğrusal programlama problemlerine benzer olarak bazı sorunlar ve özel durumlarla karşılaşılabilmektedir. Gerçek hayatta bazı problemlerin yapısı, yukarıda anlatılan kısımlardaki gibi olmayıp koşulların bazıları değişiklik gösterdiğinden çözüme ulaşmak için karşılaşılan özel durumları giderip sonuca ulaşmak gerekir. Bu kısımda bozulma durumu(dejenerasyon), toplam arz ve toplam talebin eşitsizliği, dağıtımı yasaklanmış yollar, en büyükleme amaçlı ulaştırma modeli durumları incelenecektir.

2.10.1. Bozulma Durumu (Dejenerasyon)

Ulaştırma probleminin optimal çözümünde yer alan değişken sayısı, sütun sayısı ile satır sayısının topmanının bir eksiğine eşit olduğu durumlarda herhangi bir sorun yoktur. Fakat çözümde yeralan ve temel değişken olarak adlandırılan k sayısı için $k \neq (m + n - 1)$ oluyorsa, yani satır ve sütun sayısının toplamının 1 eksiği k sayısından farklı olma durumu dejenerasyon olarak adlandırılır.

İki tür bozulma durumu vardır.

$k > (m + n - 1)$ yanlış dağıtımın yapılması veya model kurulumunda yanlışlık yapılarak problemi yanlış formülize edilmesi halinde görülür. Çözümün gözden geçirilmesi veya modelin kontrolü ile giderilebilir.

$k < (m + n - 1)$optimal çözüme ulaşırken ya da başlangıç çözümünde görülebilir. Bu aksaklığı gidermek için; mesela $k = (m + n - 2)$ kabul edip çözüme ulaşmak için (m+n-1) şartını sağlamak için boş gözelerden birisine Ɛ (epsilon) sayısı eklenir. Ɛ sıfırdan büyük fakat sıfıra çok yakın bir sayı ya da en küçük pozitif sayı olarak adlandılırmaktadır. Boş gözelerden birine bu sayı eklendiğinde dolu göze sayısı (m+n-1) olacağından sorun giderilmiş olur. Kural olmamakla beraber genellikle en düşük maliyetli gözeye bu sayı yerleştirilir (Günaydın, 2006, s. 51).

2.10.2. Toplam Arz ve Toplam Talep Eşitsizliği

Bu tür bir problemle karşılaşıldığında; arz fazlası olması durumunda hayali bir talep merkezi, talep fazlalığı olduğunda ise hayali bir arz merkezi oluşturulur. Kısıtlayıcılarda bulunan $\leq$ işareti yerine = işareti konulup problem dengelenmelidir. Hayali arz ya da talep merkezi eklendiğinde bu noktalar üzerinden taşıma gerçekleşmeyeceği için, bu gözelerdeki birim taşıma maliyetleri sıfır olarak alınır (Cinemre, 2011, s. 129-130).

2.10.3. Dağıtımı Yasaklanmış Yollar

Ulaştırma problemlerinde, bazı durumlarda her arz merkezinden her talep merkezine dağıtım yapılamayabilir. Yol durumu, yol güvenliği, yasal engellemeler vs gibi durumlarda taşınma yapılmayacak rotadaki birim taşıma maliyeti (M) olarak kabul edilir. M sayısı çok büyük pozitif bir sayıdır. M birim taşıma maliyetini alan rota hattında yapılacak taşıma maliyetleri çok yüksek oranda arttıracağından, çözüm algoritmaları bu taşımanın yapılmasına izin vermez ve yol, otomatikman yasaklanmış olur (Günaydın, 2006, s. 49).

2.10.4. En Büyükleme Amaçlı Ulaştırma Modeli

Ulaştırma problemlerinde amaç her zaman maliyet minimizasyonu olmayabilir. Karı maksimize etmek veya ulaştırma gelirlerini maksimize etmek gibi , en büyükleme amaçlı ulaştırma problemleriyle karşılaşılabilir. Bu tür problemlerin çözümünde amaç

fonksiyonunda yer alan katsayıların işaretlerinin negatifse pozitif, pozitifse de negatif alınmasıyla ve işaretlerin değiştirilmesi yapılabilir. Ulaştırma problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler ile çözüm elde edildikten sonra optimal sonucun da işaretinin değiştirilmesi ile amaç gerçekleşmiş olur.

En büyükleme amaçlı ulaştırma problemlerinin çözümünde bir diğer yöntem ise minimizasyon amaçlı çözümlerde kullanılan en küçük maliyetli birim maliyetler yerine, hücrelerde yer alan en yüksek kara sahip birim miktarlarıyla çözüme ulaşmaktır. Mesela başlangıç çözümüne Vogel metodu ile ulaşılmak istendiğinde satır veya sütundaki en düşük iki maliyet farkı yerine en yüksek iki karın farkı alınıp, en yüksek farkın olduğu satır veya sütundaki en yüksek birim kar katsayısına sahip gözeye atama yapılır. Benzer işlemlerle tüm arz ve talep miktarları karşılanıncaya kadar işlemler sürdürülür. Optimal çözüme götüren yöntemlerde ise atlama taşı veya modi yöntemi kullanılabilir. Amaç maksimizasyon olduğu için hesaplanan değerler gizli karlar olacaktır. Gizli karların tamamı negatif veya sıfırsa optimal çözüm elde edilmiş olur (Cinemre, 2011, s. 133-134).

2.11. Ulaştırma Modellerinin Çeşitleri

Ulaştırma modellerinin atama modeli, gezgin satıcı, aktarmalı ulaştırma ve sabit maliyetli ulaştırma problemleri gibi ulaştırma modelleri üzerine kurulmuş uzantıları bulunmaktadır.

2.11.1. Atama modeli

Çeşitli kaynakların farklı görevlere en optimal şekilde dağıtımını sağlayan modeldir. İşçilerin işlere ya da işlerin makinelere tahsisinde yoğun olarak kullanılır. Bir işe bir işçi ya da bir makineye bir işçi atayarak, kaynak kullanımınının bire bir dağıtımı sağlanır.

Ulaştırma modellerindeki arz-talep dengesine benzer olarak işçi-makine dengesinin sağlandığı kabul edilir. m ile işçi sayısını n ile de makine (iş) sayısını gösterirsek m=n olarak gösterilir. Dengesizlik halinde ise yine ulaştırma modellerindeki sıfır maliyetli hayali arz ya da talep merkezi eklendiği gibi bu modelde de kukla makine eklenmesi yapılır.

C_{ij} : j işini bitirebilmek için, i işçisi tarafından istenen zaman ya da maliyettir.

İşçiler arzı, işler de talebi ifade ederse, atama modelleri de ulaştırma modellerine dönüştürülebilir. Buna göre:

Amaç= $Z_{min} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij}$

Kısıtlar: $\sum_{j=1}^{n} X_{ij}$=1 (i= 1,2,3,…,m)

$\sum_{i=1}^{n} X_{ij}$=1 (j=1,2,3,…,n) ve $X_{ij} = 0$ veya $X_{ij} = 1$

X_{ij} karar değişkeni olup, $X_{ij} = 1$ ise i işçisi j işine atanır ve $X_{ij} = 0$ ise i işçisi j işine atanmaz (Öztürk, 2009, s. 489).

2.11.2. Gezgin Satıcı

(n-1) sayıda kente ya da talep merkezine uğrayarak başladığı yere geri dönen satıcı ile ilgilenir. Amaç n adet yerden, n-1 sayıdaki yere en kısa sürede uğrayıp başlangıç noktasına geri dönülmesini sağlayacak bir plan oluşturmaktır. Dağıtım yapılan bir noktaya tekrar geri dönmek maliyeti artırıcı etki yapacağından çözümü optimal olmaktan uzaklaştırır. Dağıtım yapılan her nokta yeni bir başlangıç noktası olup, son talep merkezinin talebi de karşılandıktan sonra başlangıç noktasına dönülmesi gerekir (Öztürk, 2012, s. 487-488).

2.11.3. Aktarmalı Ulaştırma Problemleri

Ulaştırma modelleri arz merkezinden talep merkezine gönderimle ilgilenir. Fakat bazı durumlarda bu doğrudan gönderim mümkün olmamakla beraber arz merkezlerinden talep merkezlerine gönderimde arada aktarma noktaları da bulunabilmektedir. Talep merkezlerine gelen ürünün doğrudan arz merkezinden gelmediği ve arada aktarmanın yapıldığı bu modele aktarma modeli denilmektedir. Arz merkezi sadece mal gönderen yani sunan merkez, talep merkezi ise sadece malı alan merkezken, aktarma noktası hem mal alabilen hem de mal gönderebilen merkezdir. Bu tür problemlerin çözümünde ise ulaştırma problemlerinin çözüm teknikleri uygulanabilmektedir (Öztürk, 2009, s. 507).

2.11.4. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemleri

Ulaştırma problemlerinin özel bir şeklidir. Sabit maliyetler; taşıma miktarı ile orantılı olan değişken maliyetlerin yanında, taşıma miktarından bağımsız olarak ortaya çıkan ve herhangi bir rotada taşıma yapılması halinde katlanılması gereken, toplam taşıma maliyetlerinin içerisinde bulunan araç sigortası, taşıma sigortası, park garaj ücretleri, vergiler, yol-köprü geçiş ücretleri gibi kalemlerden oluşan maliyetlerdir. 3. Bölümde detaylı olarak ele alınıp anlatılacaktır.

BÖLÜM III

SABİT MALİYETLİ ULAŞTIRMA PROBLEMLERİ

3.1. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemi

Ulaştırma problemlerinde sabit maliyetler, taşınan ürünün miktarı ile ilgili olmayan, herhangi bir rota veya güzergahta taşıma faliyeti yapıldığı müddetçe ortaya çıkan maliyetlerdir. Diğer bir deyişle herhangi bir taşıma işleminde 1 birimlik mal da taşınsa, 1000 birimlik mal da taşınsa katlanılması zorunlu olan maliyetlerdir. Ulaştırmada sabit maliyetler şu şekildedir: Sermaye maliyeti, araç sigorta-kasko maliyeti, taşınanan ürün sigorta maliyeti, garaj ve park ücretleri, vergiler, şöför giderleri, lisans harçları, takip hizmetleri maliyeti (gps araç takibi) ve köprü-otoyol geçiş ücretleri olarak sayılabilir (Orhon, 1983, s. 201).

Sabit maliyetli ulaştıma problemleri ile ilgili literatüre geçmiş ilk çalışma Michel L. Balinski tarafından 1961 yılında yapılmıştır. Balinski'nin Fixed-Cost Transportation Problems (Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemleri) isimli çalışması, sonraki dönemlerde, sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin çözümüne dair birçok yeni geliştirilen algoritmalar için de kaynak olmuş ve geliştirilen çözüm yöntemleri ya bu çalışmadaki model üzerine kurulmuş ya da algoritmaların çözüm aşamalarında Balinski yöntemi kullanılmıştır.

Sabit maliyetli ulaştıma problemlerinin çözümü için önerilen algoritmalarda çoğunlukla dal-sınır metotları esas alınmıştır. Hirsch (1961) makalesinde sabit maliyetlere değinmiş, fakat bu çalışma doğrudan ulaştırma modellerini baz alan bir çalışma olmamıştır. Spielberg (1964) On The Fixed Charge Transportatıon Problem (Sabit maliyetli ulaştırma problemi üzerine) isimli makalesinde önerdiği genel iterasyon ile problem yapısını 0-1 tam sayılı programlama problemi haline dönüştürüp, doğrusal programlama yardımı ile de yasak yolların olduğu taşıma problemi haline dönüştürmüştür.

Cooper ve Drabes (1967) makalelerinde sabit maliyetli ulaştırma problemleri için doğrusal programlamada kullanılan simplex metodu yardımıyla bir çözüm geliştirmişlerdir. Hirsch ve Danzig (1968), sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin doğrusal programlama problemine indirgenebilir olduğunu optimal çözüme dair kısıtların uç noktalarda olacağını ortaya koymuşlardır. Steinberg (1970) çalışmasında Cooper ve Drabes (1967)'in çalışmasını genişleterek dal-sınır yöntemine dayalı bir

çözüm algoritması önermiştir. Gray (1971), karma tamsayılı programlama problemlerini, tamsayılı programlama dizisine ya da ulaştırma alt problemlerine ayırarak çözüm aramış ve incelenmesi gereken nokta sayısını azaltmak için; sabit maliyetlerin maksimum ve minimum olduğu sınırlar üzerinde inceleme yapmıştır. Kennington (1976), Kennington ve Unger (1976) dal-sınır tekniğine dayalı bir algoritma geliştirerek, sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin doğrusal programlama yardımıyla çözülebileceğini ortaya koymuşlardır. Robers (1976) Balinski'nin yaptığı çalışmada optimal çözüme ne kadar yakın olduğunun bilinmediğini ve alt-üst sınırların çizilmediğini belirterek komşu uç noktası tekniğini kullanarak daha hassas sonuçlar elde etmiş, uyguladığı teknik ile birçok örnekte optimal sonuca ulaşmıştır.

Walker (1976); Steinberg (1970), Cooper(1975), Denzler (1969) ‘ın Simpleks Algoritmasına dayalı yerel optimal çözümleri geliştirmiş ve ekstrem noktalardan atlayarak iki ya da üç ekstrem nokta üzerinde daha iyi bir sonuç aramıştır. Barr (1979) da yaptığı çalışma ile dal-sınır tekniğine dayalı bir çözüm önermiş, ayrıca bu çalışmayı 1981’de yaptığı çalışmada geliştirerek büyük ölçekli sabit maliyetli ulaştırma problemleri için optimizasyon modeli oluşturmuştur. Sadagapon (1982) , Murty’nin uç nokta sıralama düzenini ve Balinski yaklaşımını geliştirerek yeni bir çalışma ortaya koymuştur. Sun (1988), sezgisel yöntemler kullanarak Steinberg ve Palekar’ın araştırmalarını geliştirmiştir. Diaby (1991) orta ve büyük ölçekli problemleri çözmek için sezgisel bir yöntem geliştirmiştir. Ayrıca son yıllarda Adlakha, Kowalski ve Lev’in sabit maliyetler ve sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin çözümüne dair geliştirdikleri algoritmaları içeren çok sayıda çalışmaları olmuştur.

3.2. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemlerinin Matematiksel Yapısı

Ulaştırma problemlerinde; m (i=1,2,…,m) tedarikçi ve n (j=1,2,…,n) müşteri olmak üzere, i tedarikçisi (kaynak) tarafından sunulan her arz a_i birim ve j müşterisi (hedef) tarafından istenen her talep b_j birimdir. j müşterisine i satıcısı tarafından gönderilen malın miktarı da X_{ij} ile gösterilir. X_{ij} birimlik malın taşıma maliyeti 2 kısımdan oluşur. Birincisi taşınan ürün miktarına göre değer alan ve değişken maliyet olarak adlandırılan c_{ij}. Diğeri ise i-j güzergahında taşıma yapılması halinde ortaya çıkan ve sabit maliyet olarak adlandırılan f_{ij}. Burada amaç verilen tüm arz kısıtları doğrultusunda tüm talep kısıtlarını minumum maliyetle karşılamaktır.

Sabit maliyetli ulaştırma problemleri şu şekilde formülize edilir:

$Z_{min} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (c_{ij} x_{ij} + f_{ij} y_{ij})$

$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i \quad (i = 1,2,\dots m)$ ve $\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j \quad (j = 1,2,\dots n)$

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$$

$y_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} = 0 \\ 1 & x_{ij} > 0 \end{cases}$ ise $x_{ij} \geq 0 , i = 1,2,\dots m \quad j = 1,2,\dots n$

$a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, f_{ij} \geq 0 , i = 1,2,\dots m \quad j = 1,2,\dots n$

Yukarıda da anlatıldığı gibi; m adet arz noktasından, n adet talep noktasına arz noktası i'den, talep noktası j'ye bir birim mal gönderme maliyeti c_{ij} olarak gösterilmiştir. arz noktası i nin a_i (i=1,2,…m) birim kapasitesi ve talep noktası j lerin b_j (j=1,2,…n) birim talep olarak gösterilmiştir.Amaç en küçük toplam maliyet için rotaları ve bu rotalardaki mal miktarını belirlemektir.

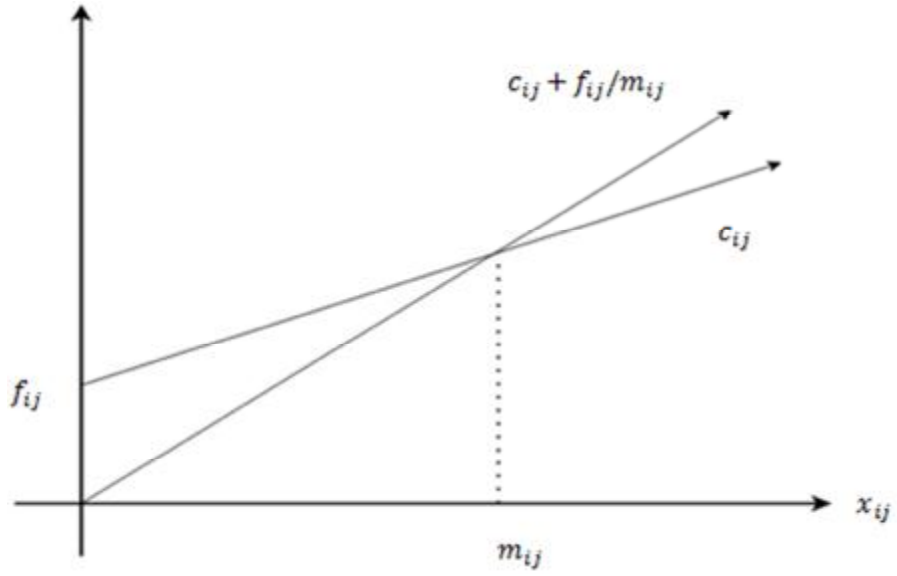
3.3. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemlerinin Çözümü İçin Geliştirilen Bazı Algoritmalar

Sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin çözümlerine dair önerilen bazı algoritmalar bulunmaktadır. Bunların bazılarında kullanılan veri seti ile ilgili olarak optimal sonuçlara ulaşılmış, bazılarında ise optimale yakın sonuçlar elde edilmiştir.

3.3.1. Balinski İndirgenmiş Matris Yöntemi

Sabit maliyetli ulaştırma problemlerini, klasik ulaştırma problemi şekline dönüştüren yöntemdir. Sabit maliyetli ulaştırma problemleri için geliştirilen çözüm yöntemlerinden Balinski doğrusal yaklaşımında, bir önceki bölümde anlatılan matematiksel yapıdaki kısıtlara ek olarak;

$x_{ij} \leq m_{ij} y_{ij} \quad m_{ij} = \min(a_i, b_j) \quad (i = 1,2,\dots m) \quad (j = 1,2,\dots n)$ ile şekil 6.'daki grafik oluşur (Balinski, 1961, 41-49).



Şekil 5. Balinski yaklaşım grafiği

Bu gevşeme altında birim taşıma maliyeti $C_{ij} = c_{ij} + f_{ij}/m_{ij}$ ile sabit maliyetli ulaştırma problemi, içinde sabit maliyetlerin de bulunduğu klasik ulaştırma problemi şekline dönüşür. Bundan sonraki süreçte ise ulaştırma problemlerinin bilinen çözüm yöntemleri uygulanır. Balinski metodunun uygulandığı bazı örneklerde optimal sonuç, bazılarında ise optimale çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Uygulanabilirliğinin kolay ve hızlı olması, optimal ya da optimale yakın sonuçlar elde edilmesi nedeniyle de sonraki geliştirilen bir çok çözüm algoritmasında kullanılmıştır.

Balinski çalışmasında sabit ve değişken maliyetlerin bir arada bulunduğu ulaştırma problemlerinde; her hücrede bulunan sabit maliyeti, o hücreye karşılık gelen arz ve talep miktarından küçük olana oranlayıp, o hücrede bulunan değişken maliyete eklenmesiyle yeni bir sayı elde etmiş ve bunu bütün hücrelere uygulamıştır. İkili değişken şeklinde; değişken ve sabit maliyetlerin bir arada bulunduğu 2 değişkenli değeri, tek değişkenli değer haline getirmiştir. Değişken maliyetli, standart ulaştırma problemi haline dönüşen problem, klasik ulaştırma problemi çözüm yöntemleri ile çözüldüğünde optimal çözümden büyük ya da eşit bir sonuç bulunur. Balinski'nin geliştirdiği bu yöntem ile birçok sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin çözümünde optimale yakın sonuçların hızlı ve basit bir şekilde elde edildiği görülmüştür. (Balinski, 1961, s. 41-54)

3.3.2. Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemleri için Macar Algoritması

Kowalski ve Lev tarafından 2007 yılında yayınlanan sabit maliyetli problemler için yeni yaklaşım isimli çalışmada, atama problemlerinde kullanılan macar algoritmasını sabit maliyetlerin olduğu matrise uygulamıştır. Örnek uygulamada hesaplama kolaylığı olması açısından $c_{ij} = 0$ olarak alınmıştır. Bu algoritmada tıpkı macar algoritmasının çözüm yönteminde olduğu gibi öncelikle her satırdaki en küçük eleman seçilip, satırdaki diğer tüm elemanlardan çıkarılmıştır. Satırların tamamı için aynı işlem uygulandıktan sonra benzer işlemler sütunlar için de yapılmış; her sütundaki en küçük değerli elemanı, diğer tüm sayılardan çıkararak yeni bir matris elde edilmiştir. Her satır ve sütundaki sayı için; $m_{ij} = \min(a_i, b_j)$ olmak üzere $C_{ij} = f_{ij}/m_{ij}$ formülü ile Balinski maliyet matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matrisin ulaştırma problemlerinin bilinen çözüm metodlarıyla çözülmesi sonucu optimal bir sonuç elde edilmiştir. Bu yöntem hızlı ve pratikdir fakat sabit maliyetler odaklı bir çalışma olup değişken maliyetlerin alacağı değerlere göre optimalden uzak sonuçlar elde edilebilir. (Kowalski & Lev, 2007, s. 75-80)

3.3.3. Ön Eleme Algoritması

Adlakha ve Kowalski tarafından 1999 'da yayınlanan on the fixed-charge transportation problem (sabit maliyetli ulaştırma problemleri üzerine) isimli çalışmada ise; ön eleme algoritmasına (pre-screening algorithm) değinilmiştir. Bu algoritmada tüm (x_{ij}, y_{ij}) dağılımı için sabit maliyetler içerisinden f_{st}^*belirlenmiş ve belirlenen bu maliyet hesaplama işlemine başlamadan önce matristen çıkarılmıştır. Sonrasında Balinski metodu ile sabit maliyetlerin değişken maliyetler üzerine dağımı yapılıp standart yöntemlerle çözülmüştür. Bulunan sonuca, başta algoritmadan çıkarılan f_{st}^*sabit maliyeti eklenmiştir. Bu yöntemde;

$Z = f_{st}^* + min \sum\sum\{c_{ij}x_{ij} + (f_{ij}y_{ij} | i \neq s, j \neq t)\}$ olmak üzere

$f_{ij} = f_{st}^*$ eğer $\sum_{i \neq s} a_i < b_t$ veya $\sum_{j \neq t} b_j < a_s$ dir.

Şekil 6.daki arz ve talep kısıtları incelendiğinde; 2. Satırdaki her hücreye mutlaka atama yapılması gerektiğinden bu hücrelerden herhangi birisi f_{st}^* olarak seçilerek sabit maliyeti en baştan 0 kabul edilir. Oluşturulan yeni sabit maliyetli ulaştırma tablosu Balinski yöntemiyle standart ulaştırma problemine dönüştürülüp çözüm yapılır. En

başta belirlenip elimine edilen f_{st}^{*} değeri ise hesaplanan çözüme eklenir (Adlakha & Kowalski, 1999).

			5
X	X	X	50
			5
20	20	20	

Şekil 6. Ön eleme algoritması örneği

3.3.4. More For Less Analizi

Adlakha ve Kowalski tarafından, Charnes ve Klingman (1971)'ın klasik TP üzerinde yaptıkları 'More For Less' paradoksunun geliştirilmesiyle oluşturulmuştur. Sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin çözümüne dair önerilen 'More For Less' paradoksunun prosedürlerine geçmeden önce, yöntemde kullanılacak olan, Absolute Points'in (kesin noktaların) bulunmasıyla ilgili bilgi verilecektir.

Kesin Noktalar (Absolute Points): Taşıma problemi matrisi içerisinde öyle bir konumdur ki; optimal çözüm ne olursa olsun ai ve bj değerleri yüklü olurlar. (q,r) nin bir lokasyon olduğunu varsayalım öyle ki ai ve bj değerlerinden bağımsız olarak optimal çözümde yer alsın. Eğer (q,r) konumu verilen bir dağıtımda yüklü değilse şayet, atlama taşı dağıtımında diğer tüm lokasyonlar bu noktadan geçer. Kesin noktalar bulunurken izlenecek adımlar şu şekildedir.

Adım 1) : k=1,2,…,m için $d_{ij}^{k} = C_{kj} - C_{ij}, (\, i \neq k \; ve \; i = 1,2,\dots,m, \; j = 1,2,\dots,n)$ hesaplanır

Adım 2) : Matriste bulunan tüm d_{ij}^{k}lar bulunduktan sonra her satırın minumum elemanı olan e_{i}^{k} lar hesaplanır. (i=1,2,…,m ve i≠j)

Adım 3) : $d_{ij}^{k^*} = d_{ij}^{k} - e_{i}^{k}$ olmak üzere $d_{ij}^{k^*}$ lar hesaplanır.

Adım 4) : $g_{j}^{k} = \sum d_{ij}^{k^*}, k = 1,2,\dots,m$ için g_{j}^{k}lar hesaplanır.

Adım 5) : 2 durum söz konusu olur.

1. Durum: $g_{j}^{k} \neq 0$ ise burada kesin nokta yoktur.
2. Durum : $g_{j}^{k} = 0$ k=q ve j=r ise (q,r) lokasyonu kesin noktadır.

Ulaştırma Problemleri için More For Less: daha az ya da aynı maliyetle daha fazla yük gönderme esasına dayanmaktadır. Sabit maliyetli ulaştırma problemleri için önerilen prosedürde tek fark, Ulaştırma problemine indirgenmiş matrise dönüştürülen Sabit maliyetli ulaştırma problemlerinde, Ulaştırma problemine indirgenmiş matris içerisinde Kesin noktaların incelenmesidir. Sabit maliyetler için More For Less prosedürü şu şekildedir.

Adım 1) : Balinski formülünü kullanarak sabit maliyetli ulaştırma problemi, ulaştırma problemine indirgenmiş matris şekline dönüştürülür.

Adım 2) : Ulaştırma problemine indirgenmiş matristeki değerlerde kesin noktalar araştırılır. Yoksa Adım 6 ya geçilir

Adım 3) : (q,r) lokasyonu kesin nokta ise, $X_{qr} = \max(a_q, b_r)$ olmak üzere en büyük atama yapılır.

Adım 4) : Satır q ve sütun r silinir.

Adım 5) :1. Adıma dönülür.

Adım 6) :Ulaştırma problemine indirgenmiş matrise, standart ulaştırma problemlerinin çözümü uygulanır.

(Adlakha, Kowalski, Vemuganti ve Lev, 2007, s. 116-127).

3.3.5. Dallandırma Metodu

Adlakha, Kowalski ve Lev tarafından 2010 yılında yapılan, sabit maliyetli ulaştırma problemleri için dallandırma metodu isimli çalışma ile ilgili tarihe kadar yapılan dallandırma ve dal-sınır metodu ile sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin çözümü için geliştirilen algoritmalara yeni bir bakış açısıyla yaklaşılmış ve uygulanan örnek için optimale yakın bir sonuç elde edilmiştir. Geliştirilen metod ise şu şekildedir:

Ulaştırma problemine indirgenmiş problemin optimal çözümünü P' olarak alalım. P' nde optimal çözümde yer alan $\{x'_{ij}\}$ ler kolaylıkla P nin mümkün çözümünde $\{x'_{ij}, y'_{ij}\}$ şekline dönüştürülebilir.

Eğer $x'_{ij} = 0$ ise $y'_{ij} = 0$ ve $x'_{ij} > 0$ ise $y'_{ij} = 1$ dir.

Ulaştırma problemine indirgenmiş problemin optimal çözümü olan $Z(P')$, Sabit maliyetli ulaştırma probleminin optimal çözüm değeri olan $Z^*(P)$'nin alt sınırıdır. Çözümde yer alan $\{x'_{ij}, y'_{ij}\}$ de $Z^*(P)$'nin üst sınırında yer alır. O halde;

$Z(P') = \sum\sum C_{ij}x'_{ij} \leq Z^*(P) \leq \sum\sum(C_{ij}x'_{ij} + f_{ij}y'_{ij})$…….(*) eşitliği sağlanır.

Kural: Sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin amaç fonksiyonu ayrık olduğundan, (*) eşitliğindeki ulaştırma problemine indirgenmiş problemin optimal çözümü en yakın aralığa yuvarlanabilir.

Adım 1). : $C_{ij} = c_{ij} + f_{ij}/m_{ij}$ formülü ile Balinski matrisi oluşturulur.

Adım 2) : Standart ulaştırma problemlemlerinin çözüm metodlarıyla çözülüp, çözümde yüklü olan x'_{ij} ler belirlenir.

Adım 3) : Dallar aşağıdaki durumlara göre kontrol edilir.

i) Eğer $\sum\sum C_{ij}x'_{ij} = \sum\sum(C_{ij}x'_{ij} + f_{ij}y'_{ij})$ ise ya da

ii) Eğer $\sum\sum C_{ij}x'_{ij} \geq$ şimdiye kadar bulunan en büyük Z. Bu durumda adımlar durdurulur ve bu dal sonlanır. Aksi durumda işlemlere devam edilir.

Tüm dallar oluştuğunda prosedür tamamlanır.

Adım 4) : $0 < x'_{ij} < m_{ij}$ olmak üzere yüklü dalları seç.

Adım 5) : Adım 4 te tüm hücreler belirlendikten sonra

$\Delta = f_{ij} - (\frac{f_{ij}}{m_{ij}})x'_{ij}) = f_{ij}(1 - x'_{ij}/m_{ij})$ hesaplanır.

$f_{ij}(1 - x'_{ij}/m_{ij})$ olan Δ değeri, sabit maliyetli ulaştırma problemleri ile ulaştırma problemine indirgenmiş problem ayrımındaki (i,j) konumunda bulunan x'_{ij}'nün sabit yüklerini temsil eder.

Adım 6) Adım 5'teki en yüksek Δ'lar arasından (s,t) hücresini seç. (Δ birden fazla ise herhangi birisi seçilir). En yüksek f_{ij}'den seçilen Δ'yı çıkar.

Oluşturulacak Y(s,t) dalı = dolu olan (s,t) dir.

Adım 7) $Z_{Ymaliyet} = f_{st}$, $Z_{Ymaliyet}$ için bulunan Y(s,t) dalı boyunca sabit maliyetler çıkarılır ve sabit maliyetli ulaştırma problemindeki $f_{st} = 0$ eşitliği sağlanır.

Adım 8) Düzeltilmiş sabit maliyetli ulaştırma problemi için 1-6 adımları tekrar edilir. N(s,t) dalı = hesaplanmayan (s,t) hücresi.

Adım 9) Sabit maliyetli ulaştırma probleminde $c_{st} = M$ olsun. (M çok büyük herhangi bir sayı)

Adım 10) Düzeltilmiş sabit maliyetli ulaştırma problemi için 1-6 adımlarını yinelenir.

Sonuç: Uygulanan metodla 6. Adımdan sonra 2 dala ayrılır. Y dalında seçilen hücreler doludur. Çıkarılan sabit maliyetler amaç fonksiyonuna $Z_{Ymaliyet}$'e eklenir ve f_{st}, o anki sabit maliyetli ulaştırma probleminde 0'a ayarlanır. N dalında seçilen hücreler, büyük sayıya karşılık gelen değerden çıkarılır. Birinci adımda Y ve N olarak

adlandırılan dallar, ikinci adımda YY, NN, NY, NN şeklinde adlandırılır. Y ve N şeklinde ayrılan dallardan Y'nin temsil ettiği dal yüklü, N'nin temsil ettiği dal ise boştur.

Dallandırma yöntemi (*) eşitliğindeki alt ve üst sınırları sağlar. Metod, sabit maliyetli ulaştırma probleminde elde edilecek doğrusal özellikleri indükleyerek verilen f_{ij} sabit değerlerini inceler ve Balinski formülü ile elde edilen optimal çözümün alt sınırlarını araştırır. Dallanma kümedeki tüm noktalardan geçerken, önerilen yöntem en az bir noktanın en küçük üst sınırda optimum olduğunu gösterir.

BÖLÜM IV

BİR GIDA ŞİRKETİNDE UYGULAMA

Uygulamada dağıtım planı incelenen firma gıda sektöründe hizmet vermektedir. Eskişehir, İzmir ve Şanlıurfa'da bulunan fabrikalarda ürettiği ürünleri, +4 sıcaklıkta taşıyabilen soğutma özelliğine sahip dorseli çekici tır araçlar ile İzmir, Balıkesir, Manisa, Denizli, Aydın, Antalya, Şanlıurfa, Adana, Gaziantep, Diyarbakır, Mardin, Van, Eskişehir, Bursa, Afyonkarahisar, İstanbul, Sakarya, Ankara, Kastamonu, Konya, Samsun, Kayseri, Trabzon ve Erzurum illeri merkezli 24 farklı talep noktasına dağıtımını gerçekleştirmektedir.

4.1. Modelin Kurulması

Klasik ulaştırma problemlerinin ve sabit maliyetli ulaştırma modellerinin matematiksel yapısı hakkında önceki bölümlerde açıklamalar yapılmıştır. Uygulamaya konu olan firmanın dağıtım maliyetlerinin saptanmasında sabit maliyetler de kullanıldığından, model çözümü öncesi kurulan ve kullanılan model ile ilgili bazı bilgilere yer verilecektir. Sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin genel yapısı aşağıdaki şekildedir.

$Z_{min}= \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (c_{ij} x_{ij} + f_{ij} y_{ij})$

$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leq a_i$ ve $\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \geq b_j \quad (i = 1,2,\dots m) \quad (j = 1,2,\dots n)$

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$$

$y_{ij}=\begin{cases} 0 & x_{ij} = 0 \\ 1 & x_{ij} > 0 \end{cases}$ ise $x_{ij} \geq 0 \, , i = 1,2,\dots m \quad j = 1,2,\dots n$

$a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, f_{ij} \geq 0 \, , i = 1,2,\dots m \quad j = 1,2,\dots n$

Dağıtımı yapılan ürünler 24'er tonluk çekicilerde taşındığından bu kısıtlarda bulunan $y_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} = 0 \\ x_{ij}/24 & x_{ij} > 0 \end{cases} \quad i = 1,2,3 \; j = 1,2,\dots 24$ sayıları için model çözümünde

$x_{ij} \leq 24 \, y_{ij}$ kısıtı kullanılmıştır. $x_{ij}/24$ değeri herhangi bir tamsayıyı geçtiğinde ise bir üst sayıya yuvarlanmaktadır.

Eskişehir, İzmir ve Şanlıurfa'da bulunan fabrikalar yani arz merkezlerinin sunumları sırasıyla , $i = 1,2,3$ olmak üzere a_1, a_2, a_3 olarak olarak gösterilmektedir.

Bu üç farbikada üretilen ürünler ise 24 talep noktasına gönderilmekte olup talep merkezlerinin istemleri $j = 1,2,\dots,24$ olmak üzere sırasıyla $b_1, b_2, b_3, \dots, b_{24}$ olarak gösterilmektedir.

c_{ij} = i arz merkezinden, j talep merkezine bir birim ürün göndermenin değişken maliyetidir.

x_{ij}= i arz merkezinden, j talep merkezine gönderilen ürün miktarıdır.

f_{ij} = i arz merkezinden, j talep merkezine ürün göndermenin sabit maliyetidir.

y_{ij} = i arz merkezinden, j talep merkezine ürün gönderilmesi halinde ortaya çıkacak sabit maliyetin katsayısıdır.

$$Z_{min}= \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{24}(c_{ij}x_{ij} + f_{ij}y_{ij})\, y_{ij} = \begin{cases} 0 & , x_{ij} = 0 \\ x_{ij}/24 & , x_{ij} > 0 \end{cases} \quad (i = 1,2,3)\ (j = 1,2,\dots,24)$$

Amaç fonksiyonunda bulunan y_{ij} katsayıları, herhangi bir i-j güzegahında taşıma yapılmaması halinde yani $x_{ij} = 0$ olması durumunda 0, i-j güzergahında taşıma yapılması halinde ise $x_{ij}/24$ olarak belirlenmiş ve sonucu bir üst tamsayıya yuvarlanmıştır. Bunun nedeni ise çekicilerin taşıma kapasitelerinin ve yasal sınırlarının 24 ton olmasıdır. Talep merkezlerinin istemlerinin 24 tonu ve katlarını geçmesi halinde yeni bir çekiciye ihtiyaç duyulacağından, artan her çekici sayısı için, o güzergahta ortaya çıkan sabit maliyetler de kullanılan çekici sayısı ile orantılı olarak artmaktadır.

Kısıtlar:

$$x_{ij} \leq 24\, y_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^{3} a_i = \sum_{j=1}^{24} b_j$$

$$\sum_{j=1}^{24} x_{ij} = a_i \quad (i = 1,2,3)$$

$$\sum_{i=1}^{3} x_{ij} = b_j \quad (j = 1,2,\dots 24)$$

$$y_{ij} = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, f_{ij} \geq 0$$

Talep Kısıtları:

$$b_j = x_{1j} + x_{2j} + x_{3j} \quad (j = 1,2,\dots 24)$$

Arz Kısıtları:

$$a_i = x_{i1} + x_{i2} + \cdots + x_{i24}\ (i = 1,2,3)$$

Amaç Fonksiyonu:

$\min Z=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\ c_{ij}x_{ij}\ +\ f_{ij}y_{ij})\ (i\ =\ 1,2,3)\ \ (j\ =\ 1,2,\dots 24)$

4.2. Uygulama

Kurulan model doğrultusunda çözüm aşamasına geçilmeden önce araçların km başına ve günlük maliyetleri belirlenmiştir. Hesaplanan maliyetler sonrasında fabrikalarla talep noktaları arasındaki mesafeler dikkate alınarak her güzergah için sabit ve değişken maliyetler tablosu oluşturulmuştur. Son olarak firmanın mevcut durumdaki dağıtım planı, Balinski yöntemi ile belirlenen dağıtım planı, MS Excel Solver eklentisi ile hesaplanan dağıtım planı belirlenmiş ve maliyetleri karşılaştırılmıştır.

4.2.1.Maliyetlerin Hesaplanması

Firmanın ürettiği ürünlerin taşınması, 24 ton kapasiteli ve termoking (soğutmalı) dorseli çekiciler tarafından sağlanmaktadır. Taşıma maliyetlerinin hesaplanmasında, çekici amortisman değeri, termoking dorse amortisman değeri, çekicinin ve soğutuculu dorsenin ortalama yakıtı, lastiklerin maliyetleri, şöför maaşları ve giderleri, aracın yıllık sigorta ve kasko bedeli, taşınan ürünün sigorta masrafları, aracın yıllık zorunlu motorlu taşıtlar vergisi, rutin yağ filtre bakım onarım giderleri, araç muayene ve egsoz emisyon ölçüm giderleri, ekstra arıza-tamir giderleri, otoyol ve köprü geçiş ücretleri, araç takip sistemi giderleri, muhasebe defter ücretleri ve diğer harçlar gibi tüm giderler kullanılmıştır. Yasal sınırlar çerçevesinde bir çekicinin şöförü 24 saat içerisinde en fazla 9 saat ve 720 km araç kullanabilmektedir. Tüm güzergahlar için maliyetlerin hesaplanmasında zaman kısıtına bağlı ve aracın katettiği yoldan bağımsız maliyetlerin oluşturulmasında 1 günde gidilebilecek 720 km ye kadar, 2 günde gidilebilecek 1440 km ye kadar ve 3 günde gidilebilecek 2160 km ye kadar olan güzargalar için ayrı ayrı maliyetler hesaplanmıştır. Üretim noktaları ile talep merkezleri arasındaki en uzak mesafe 2160 km yi geçmediğinden 4 günlük veya +2160 km için maliyet hesabı yapılmamıştır. Günlük maliyetlerin belirlenmesinde aşağıdaki giderler hesaplanmıştır.

- Çekici fiyatları
- Soğutuculu dorse fiyatları
- Araç sigorta bedeli
- Araç kasko bedeli

- Araç muayene ücreti
- Motorlu taşıtlar vergisi
- Egsoz muayene ücreti
- Ticaret odası harcı
- Muhasebe giderleri
- Şöför maaş+SSK
- Şöför günlük giderleri
- GPS araç takip sistemi giderleri
- Otopark ve paralı otoyol geçiş ücretleri

Katedilen mesafeye göre, yani kilometre bazlı oluşan maliyetlerin hesaplanmasında ise aşağıdaki giderler hesaplanmıştır.

- 24 ton, tam kapasite taşındığında aracın yakıt maliyeti
- Boş aracın ilgili güzergahta sarfettiği yakıtın maliyeti
- Soğutuculu dorse yakıt sarfiyatı
- Yağ ve filtrelerin değişim giderleri
- Olağan arıza ve giderler
- Lastik fiyatları

şeklindedir.

Detaylı olarak incelemek gerekirse;

Çekici maliyeti: 10,3 litre hacimli motor ve 450 beygir gücüne sahip çekicinin ortalama fiyatı 324.000TL dir. 10 yıllık amortisman bedeli üzerinden günlük maliyeti 88,77 TL dir.

Soğutuculu Dorse Fiyatları: soğutucu ünite ile beraber 13 metrelik dorsenin fiyatı ortalama 125.000 TL olup amortisman bedeli üzerinden günlük maliyeti 34,25 TL dir.

Araç sigorta bedeli: araç tipi modeli, sürücü yaş ve araç kullanım geçmişi ve kayıtlı olduğu ilin trafik kaza riski durumuna göre değişiklik göstermekle birlikte ortalama yıllık 3.000 TL olup, günlük maliyeti 8,22 TL dir.

Araç kasko bedeli: sigorta bedeli kriterlerine benzer olmakla birlikte yıllık ortalama gider 5.000 TL olup günlük maliyeti 13,7 TL dir.

Motorlu Taşıtlar Vergisi: 1-6 yaş aralığındaki araçlar için yıllık 3.220 TL olup günlük maliyeti 8,82 TL dir.

Egsoz muayene ücreti: 47 TL olup günlük maliyeti 0,13 TL dir.

Diğer Harçlar: Araca ait muhasebe, ticaret odası harcı ve diğer harçlar yıllık ortalama 900 TL olup günlük maliyeti 2,46 TL dir.

Şöför maaşları: ssk giderleri ile birlikte ortalama aylık 2073 TL olup günlük maliyeti 69,1 TL dir.

Şöför günlük giderler: şöförlerin yoldaki yemek masrafları ve diğer giderleri için gün başına ödenen ücret olup ortalama 50 TL dir.

Gps araç takip sistemi maliyeti: aracın uydu bağlantısı üzerinden şirket merkezince konum takibinin yapıldığı sistemin giderleridir. İlk 2 yıl için cihaz bedeli ve yazılım ücreti 520 TL ve hat tahsis ücreti 240 TL olup günlük maliyeti 1,04 TL dir.

Otopark ve diğer giderler: otopark, otoyol geçiş ücretleri ve diğer giderler rotalara göre değişkenlik göstermekle beraber ortalama günlük 40 TL dir.

Tüm yukarıda bahsedilen kalemlerin araç başına 720 km ye kadar olan günlük toplam maliyeti 318,15 TL olup sabit maliyetlerin içerisinde olup aracın bir fabrikadan bir talep noktasına gitmesindeki boş maliyetlere eklenmiştir. Benzer olarak 2 günlük ve 1440 km ye kadar olan güzergahlarda 636,30 ve 3 gün 2160 kmye kadar olan güzergahlarda ise 954,45 TL dir.

Kilometre bazlı oluşan maliyetler ise;

15.12.2015 tarihinde Türkiye'de faaliyet gösteren en büyük 3 akaryakıt dağıtım firmasının ortalama motorin fiyatları verilerine göre pompa satış fiyatı olan 3.52 TL/litre baz alınmıştır.

Çekici yakıt sarfiyatı: 24 ton yük taşıyan 6 silindirli ve 10.3 litre hacimli aracın dolu iken 100 kmde yaktığı ortalama motorin 35,4 litre olup km başına maliyeti 1,246 TL dir. Aynı özelliklerde çekicinin yük taşımazken 100 km de yaktığı ortalama motorin 25 litre olup, km başına maliyeti 0,89 TL dir.

Dorse yakıt sarfiyatı: taşınan ürünün belirli bir sıcaklıkta olmasını sağlayan, yalıtımlı ve motorin ile çalışan soğutucu üniteye sahip dorselerin yakıt sarfiyatları taşınan ürüne ve taşıma yapılan güzergahtaki hava koşullarına göre değişiklik göstermekte olup, 100km de ortalama 7,07 litre motorin tüketen dorsenin km başına maliyeti 0,249TL dir.

Yağ değişim maliyetleri: yağın sentetiklik özelliği ve aracın durumuna göre 20.000-40.000 KM de bir yağ değişimi gerekmekte olup ortalama 30.000 KM'de bir değişen yağın 36 litresi değişim işçiliği dahil 500 TL dir. Kilometre başına maliyeti ise 0,167 TL dir.

Filtre değişim maliyeti: yağ değişimi ile birlikte yapılmakta olup yağ filtresi, hava filtresi, polen filtresi ve mazot filtresinin değişiminin işçilik dahil değişim ücreti 500 TL olup, kilometre başına maliyeti ise 0,167 TL dir.

Olağan arıza ve diğer bakım giderleri: Yolların fiziksel durumlarına ve güzerghlardaki coğrafi koşullara göre araçlarda belirli zamanlarda teker bilyelerinin değişimi, fren balatalarının değişimi ve şanzıman yağının değişimi gibi bakımların yapılması gerekli olup, bu giderlerin kilometre başına maliyeti ise 0,167 TL dir.

Lastik giderleri: standart türde çekicilerde dorse dahil 12 adet lastik bulunmakta olup, bunların ortalama 120.000km de değiştirilmesi gerekmektedir. Bir lastiğin ortalama fiyatı 1.100 TL olup, toplamda 13.200 TL ve kilometre başına ise 0,11 TL lastik masrafı bulunmaktadır.

Yukarıda bahsedilen giderler özetlenecek olursa bir güzergahta boş olarak seyreden bir çekicinin km başına maliyeti, 1,0501 TL ve 24 ton yükle yüklenmiş çekicinin ise km başına maliyeti ise 1,6551 TL dir.

Tablo 12.'de Eskişehir, İzmir ve Şanlıurfa illerinde bulunan fabrikaları sırasıyla A1, A2 ve A3 olarak, İzmir, Balıkesir, Manisa, Denizli, Aydın, Antalya, Şanlıurfa, Adana, Gaziantep, Diyarbakır, Mardin, Van, Eskişehir, Bursa, Afyonkarahisar, İstanbul, Sakarya, Ankara, Kastamonu, Konya, Samsun, Kayseri, Trabzon ve Erzurum illerinde bulunan talep merkezlerini ise sırasıyla T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20, T21, T22, T23, T24 olarak adlandırıp, aralarındaki mesafeler kilometre olarak verilmiştir.

Tablo 12
Arz-Talep Merkezleri Arasındaki Mesafeler

	A1	**A2**	**A3**
T1	411	1	1249
T2	302	176	1250
T3	395	35	1233
T4	355	224	1109
T5	478	126	1232
T6	424	444	901
T7	1026	1249	1
T8	688	900	349
T9	889	1112	137
T10	1128	1425	176
T11	1214	1437	188
T12	1444	1752	546
T13	1	411	1026
T14	151	325	1177
T15	144	327	922
T16	324	564	1257
T17	176	484	1109
T18	233	579	804
T19	476	822	946
T20	338	550	705
T21	646	992	832
T22	540	848	486
T23	977	1323	804
T24	1108	1454	500

Karayolları taşıma kanununun 98.maddesi gereği azami ağırlığı 3,5 tonu aşan araçların sürücüleri 24 saat içerisinde en fazla 9 saat araç kullanabildiklerinden ve 24 saat içerisinde ortalama maksimum 720 km yol yapabildiklerinden, 720 km ye kadar olan, 1440 km ye kadar olan ve 2160 km ye kadar olan yollar için maliyet hesaplaması yapılmıştır. Yapılan birim kilometreden bağımsız olan ve gün bazlı oluşan giderler de bu bağlamda maliyet oluşumunu etkilemiştir.

Güzergahlara göre oluşan çekicilerin boş ve dolu dumlarındaki maliyetler TL cinsinden Tablo13.'de verilmiştir.

Tablo 13
Dolu-Boş Maliyetler

	Dolu maliyetler			**Boş Maliyetler**		
	A1	**A2**	**A3**	**A1**	**A2**	**A3**
T1	998.3961	319.8051	2703.52	749.7411	319.2001	1947.875
T2	817.9902	609.4476	2705.175	635.2802	502.9676	1948.925
T3	971.9145	376.0785	2677.038	732.9395	354.9035	1931.073
T4	905.7105	688.8924	2471.806	690.9355	553.3724	1800.861
T5	1109.288	526.6926	2675.383	820.0978	450.4626	1930.023
T6	1019.912	1053.014	2127.545	763.3924	784.3944	1582.44
T7	2334.433	2703.52	319.8051	1713.703	1947.875	319.2001
T8	1456.859	2125.89	895.7799	1040.619	1581.39	684.6349
T9	2107.684	2476.771	544.8987	1569.839	1804.011	462.0137
T10	2503.253	2994.818	609.4476	1820.813	2132.693	502.9676
T11	2645.591	3014.679	629.3088	1911.121	2145.294	515.5688
T12	3344.414	3854.185	1221.835	2470.794	2794.225	891.5046
T13	319.8051	998.3961	2334.433	319.2001	749.7411	1713.703
T14	568.0701	856.0575	2584.353	476.7151	659.4325	1872.268
T15	556.4844	859.3677	2162.302	469.3644	661.5327	1604.492
T16	854.4024	1251.626	2716.761	658.3824	910.4064	1956.276
T17	609.4476	1119.218	2471.806	502.9676	826.3984	1800.861
T18	703.7883	1276.453	1967	562.8233	926.1579	1480.58
T19	1105.978	1996.792	2202.025	817.9976	1499.482	1629.695
T20	877.5738	1228.455	1484.996	673.0838	895.705	1058.471
T21	1387.345	2278.159	2013.343	996.5146	1677.999	1509.983
T22	1211.904	2039.825	1122.529	885.204	1526.785	828.4986
T23	2253.333	2825.997	1967	1662.248	2025.582	1480.58
T24	2470.151	3360.965	1145.7	1799.811	2481.295	843.2

Tablo 14.'te aracın bir rotadaki azami yüklü 24 tonluk taşımasında oluşan maliyetten, aynı rotadaki aracın boş seyretme maliyeti çıkarılıp 24'e bölünmüş ve her güzergah için ayrı ayrı ton başına değişken maliyetler hesaplanmıştır. Değişken maliyetlerle beraber, bir aracın bu rotalardaki hiçbir yük taşımazken yani boş olarak seyretmesi durumundaki maliyetler de hesaplanarak sabit maliyetler tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 14
Değişken ve Sabit Maliyetler

	Ton Başına Değişken Maliyet			**Rotadaki Sabit Maliyetler**		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
T1	10.36063	0.025208	31.48521	749.7411	319.2001	1947.875
T2	7.612917	4.436667	31.51042	635.2802	502.9676	1948.925
T3	9.957292	0.882292	31.08188	732.9395	354.9035	1931.073
T4	8.948958	5.646667	27.95604	690.9355	553.3724	1800.861
T5	12.04958	3.17625	31.05667	820.0978	450.4626	1930.023
T6	10.68833	11.1925	22.71271	763.3924	784.3944	1582.44
T7	25.86375	31.48521	0.025208	1713.703	1947.875	319.2001
T8	17.34333	22.6875	8.797708	1040.619	1581.39	684.6349
T9	22.41021	28.03167	3.453542	1569.839	1804.011	462.0137
T10	28.435	35.92188	4.436667	1820.813	2132.693	502.9676
T11	30.60292	36.22438	4.739167	1911.121	2145.294	515.5688
T12	36.40083	44.165	13.76375	2470.794	2794.225	891.5046
T13	0.025208	10.36063	25.86375	319.2001	749.7411	1713.703
T14	3.806458	8.192708	29.67021	476.7151	659.4325	1872.268
T15	3.63	8.243125	23.24208	469.3644	661.5327	1604.492
T16	8.1675	14.2175	31.68688	658.3824	910.4064	1956.276
T17	4.436667	12.20083	27.95604	502.9676	826.3984	1800.861
T18	5.873542	14.59563	20.2675	562.8233	926.1579	1480.58
T19	11.99917	20.72125	23.84708	817.9976	1499.482	1629.695
T20	8.520417	13.86458	17.77188	673.0838	895.705	1058.471
T21	16.28458	25.00667	20.97333	996.5146	1677.999	1509.983
T22	13.6125	21.37667	12.25125	885.204	1526.785	828.4986
T23	24.62854	33.35063	20.2675	1662.248	2025.582	1480.58
T24	27.93083	36.65292	12.60417	1799.811	2481.295	843.2

4.2.2. Firmanın Mevcut Durumdaki Dağıtım Planı

Yukarıdaki maliyetler doğrultusunda şirketin mevcut durumda taşıma yaptığı güzergahlar, arz noktalarının sunumları ve talep merkezlerinin istemlerini gösteren dağıtım planı Tablo 15.'teki gibi olup, toplam taşıma maliyeti 91.660,2119 TLdir. Bu maliyetin hesaplanmasında Firmanın kullandığı güzergahlar olarak verilen talep merkezlerinin istem miktarları Tablo 14'te bulunan ton başına değişken maliyet

değerleri ile çarpılarak, Tablo 15'in sağ kısmında bulunan çekici sayıları ile Tablo 14'teki rotadaki sabit maliyet değerleri ile çarpılıp toplanmıştır.

Tablo 15
Şirketin Kullandığı Güzergahlarda Taşıma Miktarları

	Firmanın kullandığı güzergahlar			**Güzergahlardaki çekici sayıları**		
Talep	A1	A2	A3	A1	A2	A3
123.08	0	123.08	0	0	6	0
50.9	0	50.9	0	0	3	0
40.93	0	40.93	0	0	2	0
39.74	0	39.74	0	0	2	0
57.95	0	57.95	0	0	3	0
66.51	0	66.51	0	0	3	0
55.23	0	0	55.23	0	0	3
177.14	0	0	177.14	0	0	8
110.87	0	0	110.87	0	0	5
122.54	0	0	122.54	0	0	6
38.24	0	0	38.24	0	0	2
40.75	0	0	40.75	0	0	2
24.31	24.31	0	0	2	0	0
96.48	96.48	0	0	5	0	0
58.46	58.46	0	0	3	0	0
531.17	531.17	0	0	23	0	0
64.99	64.99	0	0	3	0	0
168.89	168.89	0	0	8	0	0
29.12	29.12	0	0	2	0	0
92.09	92.09	0	0	4	0	0
109.1	109.1	0	0	5	0	0
102.76	102.76	0	0	5	0	0
55.14	55.14	0	0	3	0	0
68.61	68.61	0	0	3	0	0
	1401.12	**379.11**	**544.77**			

4.2.3. Balinski Yöntemi ile Oluşturulan Dağıtım Planı

Belirlenen maliyetler doğrultusunda, $C_{ij} = c_{ij} + \frac{f_{ij}}{m_{ij}}$ (burada $m_{ij} = \min(a_i, b_j)$) $(i = 1,2,\dots m)$ $(j = 1,2,\dots n)$ formülü ile oluşturulan Balinski Matrisi; Tablo 16.'da ve bu matrisin Microsoft Excel'in solver eklentisiyle çözülmüş şekli de Tablo 17'de verilmiştir. Güzergahlarda kullanılan ve toplam kapasitesi maksimum 24 ton olan çekici sayıları da Tablo 18.'de verilmiş olup, bu dağıtım planındaki taşıma maliyeti ise 89.392,49TL dir.

Tablo 16.
Balinski Maliyet Matrisi

	A1	**A2**	**A3**
T1	16.45149	2.623435	47.31613
T2	20.09094	14.32153	69.79939
T3	27.86716	9.550902	78.25982
T4	26.33651	19.57476	73.27605
T5	26.20186	10.95325	64.36492
T6	22.16782	22.98356	46.50251
T7	56.88843	66.75815	5.809468
T8	23.21456	31.61735	12.66491
T9	36.56929	44.3014	7.617133
T10	43.2989	53.32403	8.544537
T11	80.57699	92.32068	18.22248
T12	97.03288	112.7401	35.6373
T13	13.1604	41.20081	96.35362
T14	8.751024	15.02489	49.07578
T15	11.65874	19.55594	50.68595
T16	9.40949	15.93397	35.37296
T17	12.17919	24.9158	55.6698
T18	9.202465	20.08381	29.03653
T19	40.09066	72.21313	79.81497
T20	15.82894	23.58646	29.26386
T21	25.41391	40.39038	34.81033
T22	22.22425	36.23782	20.31248
T23	54.77599	70.08522	47.12129
T24	54.16247	72.81528	24.88975

Tablo 17.
Balinski Dağitim Tablosu

	A1	**A2**	**A3**
T1	0	123.08	0
T2	0	50.9	0
T3	0	40.93	0
T4	0	39.74	0
T5	0	57.95	0
T6	0	66.51	0
T7	0	0	55.23
T8	68.61	0	108.53
T9	0	0	110.87
T10	0	0	122.54
T11	0	0	38.24
T12	0	0	40.75
T13	24.31	0	0
T14	96.48	0	0
T15	58.46	0	0
T16	531.17	0	0
T17	64.99	0	0
T18	168.89	0	0
T19	29.12	0	0
T20	92.09	0	0
T21	109.1	0	0
T22	102.76	0	0
T23	55.14	0	0
T24	0	0	68.61

Tablo 18
Balinski Yönteminde Kullanılan Çekici Sayıları

	A1	**A2**	**A3**
T1	0	6	0
T2	0	3	0
T3	0	2	0
T4	0	2	0
T5	0	3	0
T6	0	3	0
T7	0	0	3
T8	3	0	5
T9	0	0	5
T10	0	0	6
T11	0	0	2
T12	0	0	2
T13	2	0	0
T14	5	0	0
T15	3	0	0
T16	23	0	0
T17	3	0	0
T18	8	0	0
T19	2	0	0
T20	4	0	0
T21	5	0	0
T22	5	0	0
T23	3	0	0
T24	0	0	3

4.2.4. Ms Excel Solver ile Oluşturulan Dağıtım Planı

Tablo 14.'te verilen sabit ve değişken maliyet verileri, MS Excel Solver eklentisi ile çözümlenmiş olup, bu çözüm ile tüm arz ve talep kısıtları karşılanarak yeni bir dağıtım planı daha oluşturulmuştur. Bu çözümlemede arz-talep kısıtları, sabit maliyetler için tamsayı kısıtı ve değişken maliyete karşılık gelen aynı satır sütunda bulunan her sabit maliyet hücresi $c_{ij} \leq 24 * f_{ij}$ kısıtı ile 24'er tonluk çekici tırlarla yüklenmiştir. Farklı kısıtlama duyarlığı ve farklı tamsayı en iyi durum ölçütü yüzdesi ile

çözümlemeler yapılmıştır. Yapılan çözümlemeler ile oluşturulan yeni dağıtım planına dair veriler Tablo 19.'da yer almaktadır. Taşıma maliyetleri

minZ=$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\ c_{ij}x_{ij}\ +\ f_{ij}y_{ij})\ (i\ =\ 1,2,3)\ \ (j\ =\ 1,2,\dots 24)$

formülü ile hesaplanmış ve 89.392,49TL olarak bulunmuştur

Tablo 19
Solver Eklentisi İle Oluşturulan Dağıtım Planı

	Rotalarda ürün taşıma miktarı (ton)			**Kullanılan çekici sayıları**		
	A1	**A2**	**A3**	**A1**	**A2**	**A3**
T1	0	123.08	0	0	6	0
T2	0	50.9	0	0	3	0
T3	0	40.93	0	0	2	0
T4	0	39.74	0	0	2	0
T5	0	57.95	0	0	3	0
T6	0	66.51	0	0	3	0
T7	0	0	55.23	0	0	3
T8	68.61	0	108.53	3	0	5
T9	0	0	110.87	0	0	5
T10	0	0	122.54	0	0	6
T11	0	0	38.24	0	0	2
T12	0	0	40.75	0	0	2
T13	24.31	0	0	2	0	0
T14	96.48	0	0	5	0	0
T15	58.46	0	0	3	0	0
T16	531.17	0	0	23	0	0
T17	64.99	0	0	3	0	0
T18	168.89	0	0	8	0	0
T19	29.12	0	0	2	0	0
T20	92.09	0	0	4	0	0
T21	109.1	0	0	5	0	0
T22	102.76	0	0	5	0	0
T23	55.14	0	0	3	0	0
T24	0	0	68.61	0	0	3

4.2.5. Bulgular ve Yorum

Şirketin fabrikalarındaki arz miktarları ve talep merkezlerinin istemleri doğrultusunda mevcut dağıtım planı ortaya konulmuş olup, aylık verilere dair bu plandaki maliyetler hesaplanmıştır. Balinski yöntemiyle ve Excel çözücü ile oluşturulan yeni dağıtım planları ve bu planlarda oluşacak maliyetler de ortaya konmuştur.

Yapılan hesaplamalar sonrasında Balinski yöntemiyle ve Excel çözücü ile bulunan dağıtım planı aynı olmuştur. Şirketin dağıtım planına göre T8 olarak belirtilen Adana ili merkezli 24 tonluk 8 çekici ile yapılan 177.14 tonluk haftalık talebin tamamı A3 arz noktası olarak belirtilen Şanlıurfa ilinde bulunan fabrikadan, T24 olarak belirtilen Erzurum ili merkezli 24 tonluk 3 çekici ile yapılan 68.61 tonluk haftalık talebin tamamı A1 arz noktası olarak belirtilen Eskişehir ilindeki fabrikadan karşılanmaktadır.

Yeni oluşturulan ve hem Balinski yöntemi hem de excel çözücü ile bulunan taşıma güzergahları için T24 talep noktasının 68,61 tonluk isteminin tamamı Eskişehir yerine Şanlıurfa ilindeki fabrikadan, ayrıca T8 talep noktasının 177,14 tonluk isteminin tamamı Şanlıurfa ilindeki fabrikadan karşılanmak yerine 68,61 tonluk kısmı Eskişehir fabrikasından, 108.53 tonluk kısmı ise mevcut sistemde kullanılan Şanlıurfa ilindeki fabrikadan karşılanmaya devam edilmektedir.

Eskişehir fabrikasının 68,61 tonluk Erzurum ili merkezli gönderiminin Adana ili merkezli talep noktasına gönderilmesi ve Şanlıurfa fabrikasının Adana iline gönderdiği 177,14 tonluk gönderiminin 68,61 tonluk kısmının Erzurum iline gönderilmesi ile fabrikaların arz ve talep merkezlerinin, sunum ve istemleri denge durumu bozulmadan karşılanmaktadır.

Bulunan yeni rotalama sonucunda şirketin haftalık ürün taşıma maliyeti olan 91.660,2119 TL’nin 89.392,49 TL’ye düşürülebileceği ve 2.267,72189 TL maliyetini azaltabileceği görülmüştür.

BÖLÜM V

5.1. SONUÇ

Ulaştırma problemleri işletmelerin sıklıkla karşılaştığı problemlerdir. Üretim merkezlerinde imal edilen ve istem merkezlerine gönderilen ürünlerin taşınması işlemi, işletmeler ve şirketler açısından oldukça önemlidir. Şirketlerin rekabetçi piyasalarda tutunabilmeleri, karlılıklarını koruyabilmeleri ve karlarını artırıp daha hızlı büyüyebilmeleri için mümkün olan en kısa zamanda, en düşük maliyetlerde ve en az girdi ile; en fazla verim ve çıktı elde edebilmeleri gerekmektedir. Bu bağlamda maliyetlerde yapılabilecek en ufak tasarruf bile, uzun vadede büyük oranda karlılıklar oluşturabilmektedir.

Ulaştırma maliyetlerinin doğru hesaplanmasında, sadece kullanılan rotanın uzaklığı ve taşınan birim ürün miktarları değil, kullanılan rotalarda farklı miktarlarda olabilen ve taşınan ürün miktarından bağımsız olan sabit maliyetler de önemlidir.

Bu çalışmada ulaştırma problemlerinin bir uzantısı olan sabit maliyetli ulaştırma problemleri incelenmiş, bu problemlere dair geliştiren bazı çözüm algoritmaları verilmiştir.

Araştırmada dağıtım planı incelenen şirketin 3 fabrikasında haftalık olarak yapılan üretim miktarları ve bunların 24 ayrı noktadaki talep merkezlerine haftalık gönderimindeki maliyetler ortaya konmuştur.

Rota uzaklıklarına ve taşınan ürün miktarına bağlı olan değişken maliyetler ile, aynı rotalarda, farklı miktarlarda ürün taşınırken katlanılması zorunlu olan sabit maliyetler iki ayrı değişken şeklinde hesaplanmıştır. Toplam maliyetlerin hesaplanması sürecinde iki değişken birlikte kullanılarak daha uygun ve optimale daha yakın bir taşıma planı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Yapılan uygulamanın sonucunda; bir talep merkezinin 68,61 tonluk isteminin tamamının mevcut durumda karşılandığı fabrika yerine, aynı şirkete ait farklı bir fabrikadan karşılanmasıyla ve farklı bir talep noktasının da 177,14 tonluk talebinin karşılanmasında, talebinin tamamının bir fabrika yerine 68,61 tonluk kısmının farklı bir fabrikadan karşılanması sonucunda oluşan yeni bir dağıtım planıyla; haftalık ürün gönderiminde 2.267,72189 TL tasarruf sağlayacağı önerilmektedir.

Bu çalışmada sabit maliyetli ulaştırma problemleri için Balinski yöntemi ve Microsoft Office Excel'in Solver eklentisiyle yapılan çözümleme sonucunda, aynı

dağıtım planlı ve aynı maliyetli; fakat firmanın mevcut sisteminden daha az maliyetle taşıma yapılabilecek yeni bir dağıtım planı ortaya konulmuş olup, optimallik durumu araştırılmamıştır.

Sonraki çalışmalarda optimallik durumu da araştırılarak, daha farklı ulaştırma planları da oluşturulabilir. Daha fazla arz ve talep merkezinin bulunduğu problemler için de benzer çalışmalar yapılabilir. Son olarak sabit maliyetli ulaştırma problemlerinin çözümünde Balinski yöntemiyle ve Excel Solver eklentisiyle yapılan çözümlemeler dışında, farklı yöntemler ve programlar kullanılarak yeni ulaştırma planları oluşturulabilir.

KAYNAKÇA

Adlakha, V., Kowalski, K., Wang, S., Lev, B., Shen, W. (2014). On approximation of the fixed charge transportation problem. *OMEGA-The International Journal of Management Science,* 43, 64-70.

Adlakha, V., Kowalski, K., (2004). A simple algorithm for the source-ınduced fixed-charge transportation problem. *The Journal of the Operational Research Society,* 55(12), 1275-1280.

Adlakha, V. & Kowalski, K. (1999). On The Fixed-Charge Transportation Problem. *OMEGA-The International Journal of Management Science,* 27, 381-388.

Adlakha, V. & Kowalski, K. (2003). A Simple Heuristic For Solving Small Fixed-Charge Transportation Problems. *OMEGA-The International Journal of Management Science,* 31, 205-211.

Adlakha, V. & Kowalski, K. (2009). Alternate Solutions Analysis For Transportation Problems. *Journal of Business & Economics Research*, 7, 41-49.

Adlakha, V., Kowalski, K. & Lev, B. (2010). A Branching method for the fixed charge transportation problem. *OMEGA-The International Journal of Management Science,* 38, 393-397.

Anaç, A. S. (2011). Kargo Taşımacılığında Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliyet – Zaman Minimizasyonu Ve Tokat İli Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.

Balinski, M. L. (1961). Fixed-cost transportation problems. *Naval Research Logistics*, 8(1), 41-54.

Barr, R. S., Glover F., Klingman, D. (1981). A new optimization method for large scale fixed charge transportation problems. *Operations Research,* 29(3), 448-463.

Cinemre, N. (2004). *Yöneylem Araştırması*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.

Cinemre, N. (2011). *Yöneylem Araştırması*. İstanbul: Evrim Yayınevi.

Cook, T. & Russell, R. (1989). *Introduction to Management Science*. New Jersey: Prentice Hall

Cooper, L., & Drebes, C. (1967). An approximate solution method for the fixed charge problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, *14*(1), 101-113.

Çakanel N. (2008). Ulaştırma Modeli ile Maliyet Optimizasyonu ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli

Dantzig, G. B. & Thapa, M. N. (1997) *Linear Programming: 1: Introduction.* New York: Springer-Verlag.

Dantzig, G. B. & Thapa, M. N. (2003) *Linear Programming: 2: Theory and Extensions.* New York: Springer-Verlag.

Diaby, M. (1991). Successive linear approximation procedure for generalized fixed-charge transportation problems. *The Journal of the Operational Research Society,* 42(11), 991-1001.

Demircioğlu, M. (2009) Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım ile Çözümlenmesi Üzerine Bir Uygulama. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Doğan, İ. (1995). *Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları*. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.

Düzakın, E. (2005). *İşletme Yöneticileri için Excel ile Sayısal Karar Verme Teknikleri,* İstanbul: Kare Yayınları.

Dwyer, P. S. (1966). The direct solution of the transportation problem with reduced matrices. *Management Science,* 13(1), 76-96.

El-Sherbiny, M.M. (2012). Alternate mutation based artificial immune algorithm for step fixed charge transportation problem. *Egyptian Informatics Journal,* 13, 123-134.

Ersoy, H. (2004). Gazete Dağıtımında Ulaştırma Modelleri ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Görkey, S. (2009). Ulaştırma Modelleri ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Günaydın, D. (2006). *Türk Silahlı Kuvvetlerinde Ring Taşımacılık Faaliyetlerinin Maliyet Etkinlik Analizi ve Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Güzergâh Optimizasyonu.* Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Fanrong, X., Renan, J. (2012). Nonlinear fixed charge transportation problem by minimum cost flow-based genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering, 63, 763-778.*

Green, M. B., Cromley, R. G., Semple, R. K. (1980). The bounded transportation problem. *Economic Geography,* 56(1), 30-44.

Hallaç, O. (1983). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması),* İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım.

Heizer, J. & Render, B. (2004*). Operations Management–Transportation Models Transparency Masters To Accompany Principles Of Operations Management*. New Jersey: Prentice Hall.

Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction To Operations Research.* New York: McGraw-Hill.

Kabak, M. (2000), *Kara Kuvvetleri Akaryakıt İkmal Sistemlerinde Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliyet Optimizasyonu.* Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Kara, İ. (2000). *Doğrusal Programlama*. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.

Karayalçın, İ. (1993). *Yöneylem "Harekat" Araştırması, Operations Research, Kantitatif Karar Verme Yöntemleri*. İstanbul:Menteş Kitabevi.

Kennington, J., Unger, E. (1976). A new branch-and-bound algorithm for the fixed-charge transportation problem. *Management Science,* 22(10), 1116-1126.

Kowalski, K., Lev, B., Shen, W. & Tu, Y. (2014). A fast and simple branching algorithm for solving small scale fixed-charge transportation problem. *Operations Research Perspectives,* 1, 1-5.

Kowalski, K. & Lev, B., (2007). New Approach To Fixed Charges Problems (FCP). *International Journal of Management Science and Engineering Management,* 2, 75-80.

Kowalski, K. & Lev, B., (2008). On step fixed-charge transportation problem. *OMEGA-The International Journal of Management Science,* 36, 913-917.

Kowalski, K. (2005). On the structure of the fixed charge transportation problem. International journal of mathematical education in science and technology, 36, 879-888.

Lotfi, M.M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A genetic algorithm using priority-based encoding with new operators for fixed charge transportation problems. *Applied Soft Computing,* 13, 2711-2726.

Özkan, Ş. (2011). *Yöneylem Araştırması Nicel Karar Teknikleri.* Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Özkan, Z. (2012). Ulaştırma Modelleri Ve Çelik Kapı Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Öztürk, A. (2009). *Yöneylem Araştırması*. Bursa: Ekin Basın Yayın Dağıtım.

Öztürk, A. (2012). *Yöneylem Araştırması*. Bursa: Ekin Basın Yayın Dağıtım.

Palekar, U. S., Karwan, M. H., Zionts, S. (1990). A Branch-and-Bound Method for the Fixed Charge Transportation Problem. *Management Science*, 36(9), 1092-1105.

Safi, M.R., Razmjoo, A. (2013). Solving fixed charge transportation problem with interval parameters. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 8341-8347.

Sandrock, K. (1988). A simple algorithm for solving small, fixed-charge transportation problems. *The Journal of the Operational Research Society*, 39(5), 467-475.

Schrenk, S., Finke, G., Cung, V.D. (2011). Two classical transportation problems revisited: Pure constant fixed charges and the paradox. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 2306-2315.

Sezen. H. K. (2007). *Yöneylem Araştırması*. Bursa: Ekin Basın Yayın Dağıtım.

Taha, H. A. (2007). *Operations Research: An Introduction.* New Jersey: Prentice Hall.

Taha, H. A. (2015). *Yöneylem Araştırması*. (Çev. Baray, Ş. A. & Esnaf, Ş.). İstanbul: Literatür Yayıncılık. (Özgün çalışma, 2000).

Yakıcı Ayan, T. (2008). Sabit maliyetli ulaştırma problem için bir genetik algoritma. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10, 97-116.

Wilkes, M. (1989). *Operational Research: Analysis and Applications.* New York: McGraw-Hill.

Winston, W. L. (2004). *Operations Research Applications and Algorithms.* Canada: Thomson Learning.

http://www.shell.com.tr/products-services/on-the-road/fuels/fuel-pricing.html, 15.12.2015.

http://gm.poas.com.tr/pompafiyat/, 15.12.2015.

https://www.opet.com.tr/guncel-akaryakit-fiyatlari, 15.12.2015.

http://www.tppd.gov.tr/Sayfalar/index.html, 15.12.2015.

https://intvd.gib.gov.tr/internetvd/template.jsp?page=IVD_MENU_MTV, 15.12.2015.

http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Root/Uzakliklar.aspx, 15.12.2015.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Ad Soyad : İbrahim Tolga ÇOŞKUN

Doğum Yeri ve Tarihi : Isparta – 02.01.1986

Adres (İş) : Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü 01330 Sarıçam/ADANA

E-Posta : tcoskun@cu.edu.tr tcoskun2003@hotmail.com

EĞİTİM DURUMU

2013-2016 : Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı (Sayısal Yöntemler) Tezli Yüksek Lisans

2007-2012 : Cumhuriyet Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik Öğretmenliği

2009-2012 : Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi İktisat Bölümü (Ön Lisans)

YABANCI DİL **:** İngilizce (Orta)

Almanca (Başlangıç)

İŞ TECRÜBELERİ **:** Ağustos 2012-Mart 2014 : Yurt Yönetim Memuru Gençlik ve Spor Bakanlığı Yüksek Öğrenim Kredi ve Yurtlar Kurumu

Mart 2014 - … : Araştırma Görevlisi
Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü (Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı)