

**T.C.
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**TÜRKİYE DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE ULAŞTIRMA MODELİ İLE
MALİYET OPTİMİZASYONU VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Behiye ÖZKAN**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Rehile ASKERBEYLİ**

**Karabük
HAZİRAN/2019**

**T.C.
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**TÜRKİYE DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE ULAŞTIRMA MODELİ İLE
MALİYET OPTİMİZASYONU VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Behiye ÖZKAN**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Rehile ASKERBEYLİ**

**Karabük
HAZİRAN/2019**

İÇİNDEKİLER




İÇİNDEKİLER	1
TEZ ONAY SAYFASI.....	3
DOĞRULUK BEYANI.....	4
ÖNSÖZ.....	5
ÖZ.....	6
ABSTRACT	8
ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ.....	10
ARCHIVE RECORD INFORMATION.....	11
KISALTMALAR	12
ARAŞTIRMANIN KONUSU.....	13
ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ	13
ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ	14
ARAŞTIRMANIN PROBLEMİ.....	14
EVREN VE ÖRNEKLEM	14
KAPSAM VE SINIRLILIKLAR/KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER	14
1. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ	16
1.1. Demir Çelik Sektörüne Genel Bakış	16
1.2. Demir Çelik Ürünleri ve Kullanıldığı Sektörler.....	17
1.3. Dünyada Demir Çelik Sektörü	19
1.4. Türkiye Demir Çelik Sektörü.....	22
1.4.1. Türkiye’de Ham Çelik Üretimi ve Nihai Ürün Tüketimi.....	25
2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE ULAŞTIRMA MODELİ.....	27
2.1. Doğrusal Programlama Modeli.....	27
2.1.1. Doğrusal Programlamamın Tanımı ve Tarihçesi.....	27
2.1.2. Doğrusal Programlamamın Uygulanma Şartları ve Varsayımları ...	28
2.1.3. Doğrusal Programlamamın Matematiksel Gösterimi	30
2.1.3.1. Karar Değişkenlerinin Tanımlanması	30
2.1.3.2. Amaç Fonksiyonunun Oluşturulması.....	31
2.1.3.3. Kısıtların Belirlenmesi	31

2.1.4.	Doğrusal Programlama Modelinin Uygulandığı Alanlar	32
2.1.5.	Doğrusal Programlama Modelinin Çözüm Yöntemleri	33
2.1.5.1.	Grafik Çözüm Yöntemi	34
2.1.5.2.	Simpleks Çözüm Yöntemi	35
2.2.	Ulaştırma Problemi Modeli	38
2.2.1.	Ulaştırma Modelinin Tanımı ve Tarihçesi	38
2.2.2.	Ulaştırma Modelinin Matematiksel İfadesi	40
2.2.3.	Ulaştırma Modelinin Çözüm Tekniği ve Şartları	44
2.2.4.	Başlangıç Çözüm Yöntemleri	49
2.2.4.1.	Kuzeybatı Köşe Yöntemi	49
2.2.4.2.	En Az Maliyetli Hücreler Yöntemi	53
2.2.4.3.	Vogel Yaklaşımı Metodu (VAM) Yöntemi	53
2.2.4.4.	Russell Yaklaşımı Metodu Yöntemi (RAM) Yöntemi	57
2.2.5.	Ulaştırma Modelinde Optimal Çözüm Yöntemleri	60
2.2.5.1.	Atlama Taşı Yöntemi	61
2.2.5.2.	MODI Yöntemi	63
3.	ULAŞTIRMA MODELİ İLE MALİYET OPTİMİZASYONU VE ALTER DEMİR ÇELİK END. SAN. TİC. A.Ş. UYGULAMASI	65
3.1.	Alter Demir Çelik End. San. Tic. A.Ş. Hakkında Genel Bilgi	65
3.2.	Ulaştırma Modelinin Demir-Çelik Sektörüne Uygulanması	65
3.2.1.	Problemin VAM Yöntemi İle Çözümü	69
3.2.2.	Problemin Simpleks Yöntemi İle Çözülmesi	91
3.2.3.	Kur Dalgalanmasının İle Problemin Yeniden İncelenmesi	94
	SONUÇ	99
	KAYNAKÇA	101
	GRAFİKLER LİSTESİ	106
	TABLolar LİSTESİ	107
	ŞEKİLLER LİSTESİ	109
	EKLER	110
	ÖZGEÇMİŞ	111

TEZ ONAY SAYFASI

Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Behiye ÖZKAN'a ait "TÜRKİYE DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE ULAŞTIRMA MODELİ İLE MALİYET OPTİMİZASYONU VE UYGULAMASI" adlı bu tez çalışması Tez Kurulumuz tarafından İŞLETME Yüksek Lisans programı tezi olarak oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

	Akademik Unvanı, Adı ve Soyadı	İmzası
Tez Kurulu Başkanı	:Doç.Dr. Hüseyin KARMELİKLİ	
Danışman Üye	:.Doç.Dr. Rehile ASKERBEYLİ	
Üye	:Dr.Öğr.Üyesi Metin KILIÇ	

Tez Sınavı Tarihi: 18.07.2019

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı herhangi bir yola tevessül etmeden yazdığımı, araştırmamı yaparken hangi tür alıntıların intihal kusuru sayılacağını bildiğimi, intihal kusuru sayılabilecek herhangi bir bölüme araştırmamda yer vermediğimi, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserlere metin içerisinde uygun şekilde atıf yapıldığını beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak ahlaki ve hukuki tüm sonuçlara katlanmayı kabul ederim.

Adı Soyadı: Behiye ÖZKAN

İmza

: 

ÖNSÖZ

İşletmelerin karlarını maksimize etmesi yolunda önemli bir değişken maliyet olan ulaştırma maliyetlerini, minimize etmek amacıyla bu tezin çalışmalarına başlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ulaştırma maliyetlerinin yüksek olduğu demir çelik sektöründe faaliyet gösteren Alter Demir Çelik Endüstri Sanayi Ticaret A.Ş. verilerinden yararlanılarak bu tez çalışması yapılmıştır.

Tezin konu seçiminden son bitiş anına kadar her zaman sonsuz sabırla bilgisini, tecrübesini ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli Doç. Dr. Rehile ASKERBEYLİ Hocam'a,

Her kararında arkamda duran, bana her daim inanan, güvenen ve yanımda olduklarını hissettiren sevgili anneme, babama, ablama ve kardeşlerime,

Tez çalışmasının uygulama kısmı için gerekli verilerin elde edilmesi hususunda zorluk çıkarmayan ve yardımlarını esirgemeyen, Alter Demir Çelik Endüstri Sanayi Ticaret A.Ş. genel müdürü Sayın M. Yunus ÇELİK Bey'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

ÖZ

En basit tanımıyla kar; belirli bir dönemde elde edilen gelirden, bu geliri elde etmek için katlanılan maliyetlerin çıkarılması ile elde edilen, yani dönem sonunda elde kalan paradır. Kar elde etmek amacıyla kurulan işletmeler, maliyetlerini olabilecek en düşük seviyeye çekerek karlarını mevcut düzeylerinin üzerine çıkarmak istemektedirler. Bu sebeple çalışmanın esas konusu olan, maliyet kalemlerinin en önemlilerinden biri olan ulaştırma maliyetleri optimize edilerek kara katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Ağır sanayi sektörlerinden biri olan demir çelik sanayisinde, ürünlerin tüketicilere dağıtımında katlanılacak olan ulaştırma maliyetleri önemli bir gider kalemidir. Bu sebeple dağıtım yapılacak olan çeşitli ürünlerin tek kaynaklı üretim merkezinden tüketim merkezlerine minimum maliyetle optimal ürün dağıtım yapılmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde demir çelik sektörü, demir çelik ürünleri ve demir çelik sanayisinin ekonomideki önemi ve bu sektörün dünyadaki ve Türkiye'deki güncel durumu incelenmiştir.

Ulaştırma modeli doğrusal programlamanın özel bir türü olduğu için ikinci bölümde doğrusal programlama ile ilgili bilgiler verilerek ulaştırma modeli de çözüm yöntemleriyle birlikte incelenmiştir. Tezde çözümlenen, ulaştırma probleminin çözümünde kullanılan simpleks yöntem de bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Tezin uygulama çalışmasının yer aldığı son bölümde ise problemin verilerinin elde edildiği, demir çelik sanayisinde varlığını sürdüren Alter Demir Çelik Endüstri Sanayi Ticaret A.Ş. hakkında genel bilgilere, üzerinde çalışılan ulaştırma probleminin matematiksel modellenmesine, problemin VAM yöntemi ve simpleks yöntemiyle çözümlenmesine yer verilmiştir. Simpleks yönteminin çözümü R/Simplex programı yardımıyla yapılmıştır.

VAM yöntemi ve R/Simplex programıyla çözümü yapılan problemin sonucunda işletmeye minimum maliyetle optimal bir dağıtım şebekesi sunulmuştur. Kurdaki %5'lik bir değişimin ulaştırma maliyetlerine etkisi de incelenerek ulaştırma maliyetinin önemine bir kez daha değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Demir elik Sekt6r6, Doğrusal Programlama, Simpleks Y6ntem, Ulaştırma Modeli, Tek Kaynaklı 6r6n Dağıtım Örneği



ABSTRACT

Profit in its simplest definition; It is calculated by subtracting the costs incurred to obtain this income from the income obtained in a certain period, ie the money remaining at the end of the period. Established to make a profit, businesses want to increase their profits above their current levels by minimizing their costs. For this reason, it is aimed to contribute to the profit by optimizing transportation costs, which is one of the most important cost items, which is the main subject of the study.

In the iron and steel industry, which is one of the heavy industry sectors, transportation costs to be incurred in the distribution of products to consumers are an important expense item. For this reason, optimal product distribution has been made at minimum cost from single-source production centers to consumption centers of various products to be distributed.

iron and steel industry in the first part of the thesis, the economic importance of the iron and steel products and iron and steel industry and the current state of the world and in Turkey in this sector.

Since the transportation model is a special type of linear programming, in the second part, the information about linear programming is given and the transportation model is examined together with the solution methods. The simplex method, which is used in the solution of the transportation problem, is also examined in detail in this section.

In the last part of the thesis, Alter Demir Çelik Sanayi Sanayi Ticaret A.Ş. general information about the problem, mathematical modeling of the transportation problem studied, and the solution to the problem with VAM and simplex method. The solution of the simplex method was made with the help of the R / Simplex program.

As a result of the problem solved by the VAM method and R / Simplex program, an optimal distribution network was offered to the enterprise with minimum cost. The effect of a 5% change in the exchange rate on transportation costs was also examined and the importance of transportation costs was again mentioned.

Keywords: Iron and Steel Industry, Linear Programming, Simplex Method, Transportation Model, Single Source Product Distribution Example



ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ

Tezin Adı	Türkiye Demir Çelik Sektöründe Ulaştırma Modeli İle Maliyet Optimizasyonu Ve Uygulaması
Tezin Yazarı	Behiye ÖZKAN
Tezin Danışmanı	Doç. Dr. Rehile ASKERBEYLİ
Tezin Derecesi	Yüksek Lisans
Tezin Tarihi	18.06.2019
Tezin Alanı	İşletme
Tezin Yeri	KBÜ SBE / KARABÜK
Tezin Sayfa Sayısı	111
Anahtar Kelimeler	Demir Çelik Sektörü, Doğrusal Programlama, Simpleks Yöntem, Ulaştırma Modeli, Tek Kaynaklı Ürün Dağıtım Örneği

ARCHIVE RECORD INFORMATION

Name of the Thesis	Cost Optimization With Transportation Model At Iron And Steel İndustry İn Turkey And An Application
Author of the Thesis	Behiye ÖZKAN
Advisor of the Thesis	Doç. Dr. Rehile ASKERBEYLİ
Status of the Thesis	Master
Date of the Thesis	18.06.2019
Field of the Thesis	Business Administration
Place of the Thesis	KBU SBE / KARABUK
Total Page Number	111
Keywords	Iron and Steel Industry, Linear Programming, Simplex Method, Transportation Model, Single Source Product Distribution Example

KISALTMALAR

A.Ş.: Anonim Şirket

GSYH: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla

NAFTA: North America Free Trade Area (Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşması)

MKEK: Makine Kimya Endüstrisi Kurumu

İSDEMİR: İskenderun Demir Çelik Fabrikaları

ERDEMİR: Ereğli Demir Çelik Fabrikaları

KARDEMİR: Karabük Demir Çelik Fabrikaları

AR-GE: Araştırma ve Geliştirme

AB: Avrupa Birliği Ülkeleri

BOF: Bazık Oksijen Fırını

EAO: Elektirik Ark Ocakları

KH: Kullanılan Hücre

VAM: Vogel's Approximation Method (Vogel'in Yaklaşımı Methodu)

RAM: Rusell's Approximation Method (Russel'in Yaklaşımı Methodu)

MODI: Modified Distribution

Gİ: Gelişme İndeksi

ST: Satır Ceza Değeri

SA: Satır Ceza Değeri

Vd.: Ve Diğerleri

Vb.: Ve Benzeri

TÇÜD: Türkiye Çelik Üreticileri Derneği

ARAŞTIRMANIN KONUSU

Karını optimize edebilmek için Türkiye demir çelik sektöründe ulaştırma modeli programını da kullanılarak toplam maliyetin optimize edilmesidir.

ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

İşletmelerin karlarını maksimize ederken maliyetle en olası düzeyde aşağı seviyeye çekmeye çalışırlar. Maliyetlerin de önemli bir kalemi olan ulaştırma maliyetleri, bu çalışmada işletmenin karına pozitif yönde katkı sağlanabilmesi amacıyla ulaştırma maliyetleri olabilecek minimum seviyeye çekilmeye çalışılmıştır. Bu sebeple belirli bir kapasiteyle üretim yapan bir demir çelik işletmesinin, ürünleri üretimde kullandıkları kapasite ile karşılayabilecekleri talepleri göz önünde bulundurularak üretilen ürünlerin, kara katkı sağlayacak toplam taşıma maliyetini minimum kılacak en iyi dağıtım miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Ortaya çıktığı ilk yıllarda uğraştırıcı olması ve karmaşık yapıları problemlerde kullanılmaması nedeniyle ulaştırma modeli, teknolojinin gelişmesiyle birlikte çoğu sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüze kadar çoğu alanda araştırma konusu olmuş ve çeşitli alanlardaki problemler maliyetleri minimize etme amacıyla çözüme kavuşturulmuştur.

Bu amaçla ulaştırma modelini kullanarak; Delibaş (1987) bir şeker fabrikasında yaptığı çalışmada, Karadağ (1991) Türkiye Kömür İşletmelerinde yaptığı bir çalışmada, Analı (1999) Türk Tekstil sektöründeki dış ticaret sermaye şirketlerinin ihracatında, Çakanel (2008) bir tekstil işletmesinde yapmış olduğu çalışmada ve Şen (2015) yaptığı bir çalışmada minimum maliyetle optimum dağıtımın nasıl olacağını incelemişlerdir.

Yıldız (2002) ve Kulu (2006) yapmış oldukları çalışmalarda ulaştırma modelini kullanarak lojistik planlamasında etkin dağıtım planları oluşturmuşlardır.

Ahmed (2017) bir mobilya firmasında yapmış olduğu çalışmada, Polat (2018) ise çimento sektöründe yapmış olduğu bir çalışmada ulaştırma modeli ile hedef programlama yöntemlerini bir arada kullanarak minimum maliyetle optimum dağıtım planını incelemişlerdir.

Ayrıca Çakanel (2008) yapmış olduğu çalışmasında tek kaynaklı ulaştırma modelinin teorik açıklamasını yapmış fakat bu konuyla ilgili herhangi bir uygulama yapmamıştır.

İncelenen çalışmalarda optimum dağılımlar yapılarak maliyetler minimize edilmek istenmiştir.

ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Araştırmada ulaştırma modeli ile ilgili teorik bilgilerin yanı sıra, teorik bilginin uygulanabileceği, Alter Demir Çelik End. San. Tic. A.Ş.'nin işletme problemi ulaştırma modelinin başlangıç çözümü yöntemlerinden olan VAM ve çözümün optimalliğinin araştırılması için optimum çözümü bulma yöntemlerinden biri olan MODI yöntemleri kullanılarak işletmenin dağıtım modeli kurularak işletmenin ulaştırma problemi çözümlenmiştir.

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve kullanım alanının yaygınlaşmasından dolayı Alter Demir Çelik End. San. Tic. A.Ş. ulaştırma probleminin R/Simpleks bilgisayar programı kullanılarak çözümlenmesi yapılmıştır.

ARAŞTIRMANIN PROBLEMİ

Bu tez çalışması Alter Demir Çelik End. San. Tic. A.Ş.'nin üretmiş olduğu altı çeşit ürünün, işletmeden ürün talebinde bulunan altı çeşit tüketim merkezine; çeşitli birim maliyetlere sahip değişkenlere, maliyeti minimum yapacak olan optimum atama problemi ile ilgilenir.

EVREN VE ÖRNEKLEM

Bu araştırmanın evreni Türkiye demir çelik sektörü kabul edilip, Alter Demir Çelik Endüstri Sanayi A.Ş. örnek olarak seçilmiştir.

KAPSAM VE SINIRLILIKLAR/KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER

Bu tez çalışmasında ulaştırma probleminin uygulaması demir çelik sektöründe faaliyette bulunan Alter Demir Çelik End. San. Tic. AŞ verileri ile yapılmıştır. Sonuçlar bir yıllık işletme verileri ile elde edildiği için yıl içerisinde oluşan fiyat değişimleri dikkate alınamamıştır. Kullanılan birim ulaştırma maliyetleri ortalama maliyetlerdir. Ulaştırma problemi daha kısa verilerle yapılmış olsaydı daha farklı sonuçlar ortaya konulabilirdi.

Çalışma entegre işletmelerden herhangi birine uygulanamamıştır. Çünkü hisse senetleri halka açık işletmeler olduğu için entegre kuruluşlar, SPK tarafından veri paylaşımına işletmenin haklarının korunması açısından sınırlama getirilmiştir.



1. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ

Ağır sanayi sektörlerinden biri olan, ülke ekonomisine ve ülke gelişmişliğine katkı sağlayan demir çelik sektörünün dünyadaki ve Türkiye'deki güncel durumları incelenmiştir

1.1. Demir Çelik Sektörüne Genel Bakış

Demir; oksijen, alüminyum, silisyum gibi elementlerden sonra yeryüzünde çok büyük miktarlarda bulunan bir element çeşididir. Öyle ki, ilk dönemlerde yaşayan insanlar demiri yaşantılarında o kadar fazla kullanmışlardır ki bir çağın ismi bu elementin ismiyle tarihe geçmiştir.

Demir, içerdiği %0.1 den daha az miktardaki karbonla cevher halinde evrende bulunmaktadır. İşte bu demirin içerisindeki karbon miktarı çeşitli işlemlerden geçirildiğinde artar ve çeliğe dönüştürülür.

Demir-çelik sektörü; demir cevherini veya hurdayı dökme, dövme, haddeleme, çekme gibi değişik yöntemlerle sıcakta ya da soğukta şekillendirilmek yoluyla profil, çubuk, sac, tel vb. ürünler elde etmek için ısıtma tabii tutularak evsaf değiştirmesini, koruyucu maddelerle kaplanmasını sağlayan sanayi kollarının tümünü ve bu sektörün ana hammaddelerini üreten sanayi tesislerini kapsar (Sezgin, 2002:1).

Demir-çelik sektörü uçak, otomobil, mobilya, inşaat gibi üretiminde hammaddesi demir ve çelik olan ürünler üreten sektörlere hammadde ve girdi sağlar. Mesela metal eşya üretiminde bir birimlik bir ürünün üretilmesi için %24,3, inşaat sektöründe %10,6, tarımsal amaçlı üretilen makinelerde %10, deniz ulaşım araçlarında %13,3, karayolu ulaşım vasıtalarında %9,3 kadar demir-çelik hammaddesine ihtiyaç duyulur (Selanik, 2004:53).

Yukarıda belirtildiği gibi dünyanın her yerinde insanlar yaşantılarının birçok alanında metal ürünler kullanmakta ve bunlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu sebeptendir ki sadece ülkemizde değil dünyada da demir-çelik önemli bir sektördür.

Bir ülkenin ekonomisine, alt yapı yatırımlarına, konut yatırımlarına, inşaat sektöründeki gelişme düzeyine doğrudan bağlı olan demir çelik sanayisinin genel özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz (Birleşik Metal İşçileri Sendikası, 2003:6-7):

- Büyük ölçüde teknoloji ve sermaye yatırımı gereken bir sektördür.

- Sektörün içerisinde yer alan sektörler ekonomik ve teknolojik açıdan birbirlerine bağlıdır.
- Demir-çelik sektöründe tekelleşme oranı diğer sektörlerle göre düşüktür. Bunun nedeni Triad denen yapının yani denetiminin Amerika, Avrupa ve Japonya gibi ülkelerin elinde olmamasıdır.
- Demir çelik sanayisinin olduğu bir bölgede bölgesel yoğunlaşma söz konusu olabilmektedir.
- Demir çelik sektörü kamu yardımları ile gelişmiş bir sektördür.

Çelik üreticilerinin yaşadığı bazı önemli sorunlar vardı (Birleşik Metal İşçileri Sendikası,2003:18):

- Rekabette yüksek fiyatlandırma yapısı,
- Yüksek sabit maliyetler,
- Kurlardaki değişimler,
- Çelik ürünleri ticaretindeki artışlar

şeklindedir.

1.2. Demir Çelik Ürünleri ve Kullanıldığı Sektörler

Demir çelik ürünleri hayatımızın her alanında kullanılmaktadır. Mesela evde kullanılan mutfak araç-gereçlerinden tutun o evin yapımında kullanılan malzemelere kadar akla gelebilecek çoğu sektöre girdi sağlayan bir sektördür.

Teknolojide görülen gelişmeler doğrultusunda değişen tüketici talepleri ve ihtiyaçları ve firma rekabetleri gibi unsurlar demir çelik sektöründeki ürün çeşitliliğini arttırmaktadır. Ağır sanayi sektörlerinden en önemlisi olan demir çelik sektörü, inşaat, altyapı, otomotiv, beyaz eşya ve makine sanayi gibi pek çok önemli endüstriye hammadde sağlamaktadır. Bu nedenle güçlü bir demir çelik sektörüne ve tüketimine sahip olan bir ülkenin sanayileşmesiyle ve refah düzeyiyle doğrudan ilişkilidir (Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, 2014:6)

Demir çelik sektöründe yer alan ürünler genelde uzun ve yassı ürünler olarak ikiye ayrılmaktadır (Akman, 2007:9-10):

Uzun çelik ürünleri;

- İnşaat sektöründe kullanılan çubuklar
- İnşaat sektöründe kullanılan kare, dikdörtgen, L, H, U kesitli profiller,
- Tel, çivi üretiminde ve otomotiv yan sanayinde kullanılan filmaşın,
- Demiryolu rayları,

olmak üzere dört ana gruba ayrılabilir.

Yassı çelik ürünleri;

- Slabın sıcak haddehanede haddelenmesi ile üretilen sıcak haddelenmiş rulo ve saclar,
- Slabın sıcak haddehanede haddelenmesiyle üretilen levha,
- Sıcak haddelenmiş yassı çeliğin soğuk haddehanede haddelenmesi ile üretilen soğuk haddelenmiş rulo ve saclar,
- Soğuk haddelenmiş yassı çeliklerin sıcak daldırma yöntemiyle çeşitli ağırlıklarda çinko kaplanması ile üretilen ve kalınlıkları 0,30-2,00 mm aralığında değişen galvanizli rulo ve saclar,
- Soğuk haddelenmiş yassı çeliğin elektroliz yöntemiyle çeşitli ağırlıklarda kalay ve krom kaplanması ile üretilen ve kalınlıkları 0,20-0,60 mm aralığında değişen kalay ve krom kaplı rulo ve saclar,

olmak üzere beş ana gruba ayrılabilir.

Daha çok inşaat sektöründe kullanılan uzun ürünler vasıflı çeliklerdir. Bu vasıflı çelikler, özel yapı çelikleri, paslanmaz çelikler ve ısıya dayanıklı çeliklerden oluşan orta ve yüksek alaşımlı çelikler, savunma sanayi, otomotiv ve otomotiv yan sanayi, makine imalat sanayi ve yay imalat sanayinde kullanılmaktadır(Engin, 2007:9)

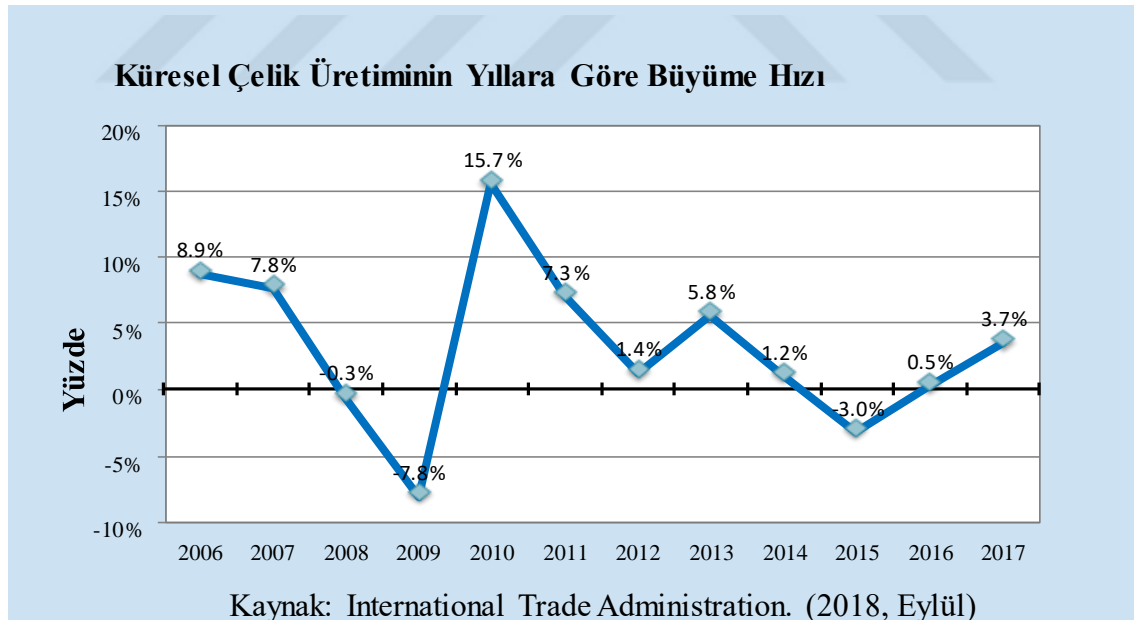
Dayanıklı tüketim malları sayılan otomotiv, beyaz eşya, gemi, boru ve madeni eşya üreten endüstrilerde ve yatırım malları endüstrilerinde ana girdi olan yassı ürünler; levha, sıcak haddelenmiş sac, soğuk haddelenmiş sac, kaplanmış sac ve teneke gibi ürünlerden oluşmaktadır. (Eruz, 2003:4).

1.3. Dünyada Demir Çelik Sektörü

Demir-Çelik sektörü, toplumların gelişmişlik düzeyinin yükselmesinde önemli bir ayak olmuştur ve çok eski zamanlardan günümüze çeşitli sanayi kollarının gelişmesinde ve ortaya çıkmasında önemli bir etkidir (Ersöz vd., 2016:26)

Bir endüstrinin ülke ekonomisine ve toplumuna etkisi, GSYH'ye (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) katkısı, yani çıktının değeri ile ara girdiler arasındaki farkla sektörden elde edilen gayrisafi değer ile, sektörde çalışan insanların sayısı ile, hem hammadde (girdi) tedarikçilerinden hem de müşterilerden gelen değer zincirindeki etkisi ile ölçülmektedir. Çelik endüstrisi, küresel GSYİH'nın% 0,7'si olan ve sadece 6 milyondan fazla çalışmanı olan 500 milyar dolar brüt katma değere sahip bir sektördür. (Askerov, 2019, Mayıs 28). Çelik endüstrisinin toplum ve ekonomi üzerindeki etkisinin gerçek büyüklüğü, ne kadar çok endüstriye etki ettiği göz önünde bulundurulduğunda görülür. Çelik endüstrisi de bu sebeple ülkelerin gelişmişliklerini göstermede önemli bir ölçüt olabilir.

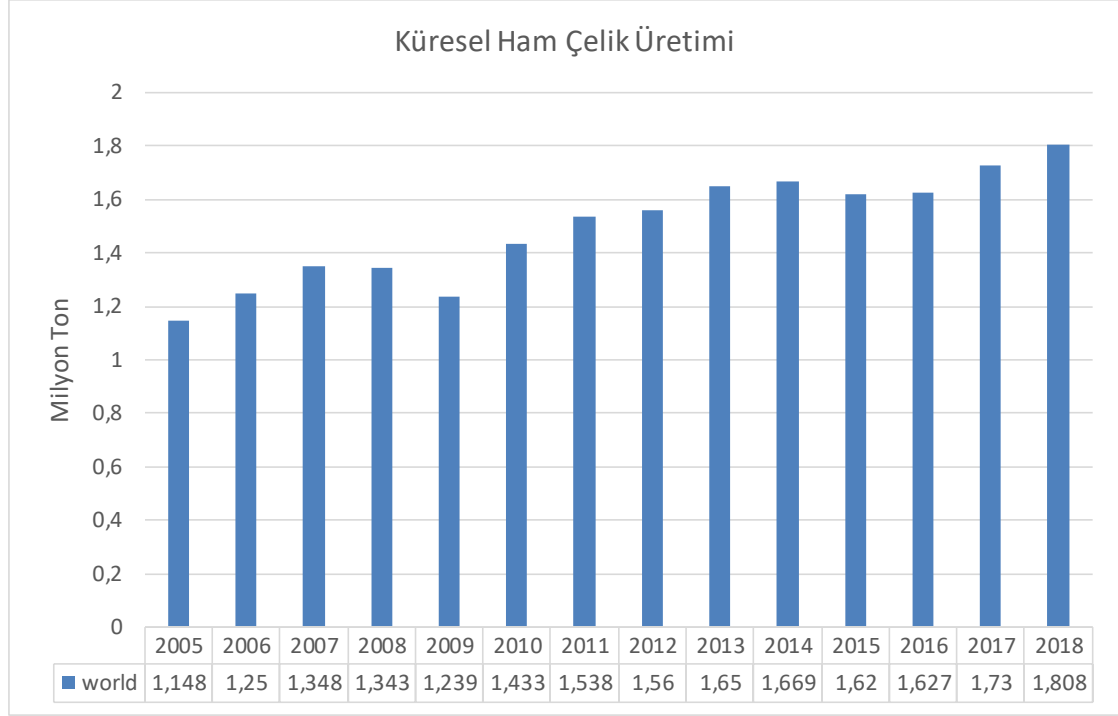
Grafik 1.1: Dünyadaki Çelik Üretimine Yıllara Göre Büyüme Hızı



Grafik 1'de dünya çelik üretiminin 2006 yılından 2017 yılına kadar nasıl bir büyüme hızı gerçekleştirdiğini göstermektedir. Dünyada çelik sektöründe ham çelik üretim artış oranları, son on yılda pozitif yönlü üretim eğilimindedir. 2006'dan bu yana negatif büyüme oranları sadece üç yıl olmuştur. Bunlar 2008-2009 global ekonomik krizinin yaşandığı dönemlerde 2008 yılında -0,3%, 2009 yılında -7,8% ve 2015'te çelik

talebin azlığından ötürü -3,0% oranına kadar düşüş meydana gelmiştir. 2009 da en düşük üretimi gerçekleştiren sektör 2010 yılında ise %15,7 en güzel dönemini yaşamıştır. 2017 yılında ise %3,7 oranında üretim gerçekleşmiştir.

Grafik 1.2: Dünyada Ham (Sıvı) Çelik Üretimi (Milyar Ton)



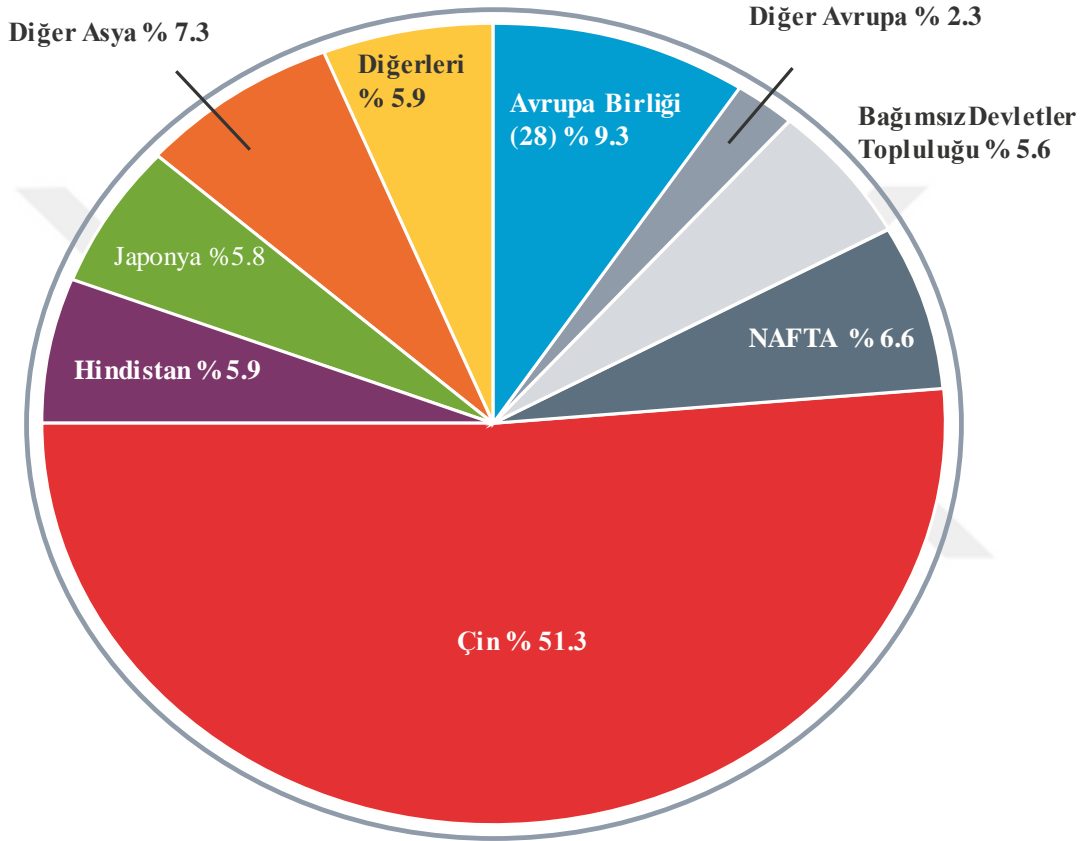
Kaynak: World Steel In Figures 2019

Dünya demir-çelik sektöründeki büyüme hangi miktarda üretim ile gerçekleştirildiği incelendiğinde; dünyada ham çelik üretimi, 2005 yılından 2008-2009 küresel krizine kadar dünya ekonomisinde istikrarlı büyümeye ve artan talebe bağlı olarak hızlı bir büyüme gerçekleştirmiştir. 2005 yılında 1,15 milyon ton olarak gerçekleşen dünya ham çelik üretimi, 2009 yılında 1,24 milyon ton seviyesine ulaşmıştır ama 2007 yılında yaklaşık 1,35 milyon ton üretime göre üretim büyük oranda düşmüştür. Küresel ekonomik kriz sonucu düşen talep nedeniyle, 2008 ve 2009 yıllarında azalan dünya çelik üretimi, 2010 yılında yeniden yükseliş eğilimine girmiş ve üretim 1,43 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. 2015 yılında talep eksikliğinden ötürü bir önceki yıla göre 0,05 milyon ton tekrar düşen üretim artışa geçmiş ve 2018 yılında 1,80 milyon tona ulaşmıştır.

Dünyayı çelik üretiminde dokuz sınıfa ayıran Worldsteel verilerine göre, Çin 2018'de %51,3'lük çelik üretimiyle dünya genelinde üretilen 1.80 milyon ton çelikten 0.93 milyon ton çelik üretimiyle sektörün lideri konumundadır. Avrupa Birliği (28),

2018 yılında %9.3 üretim (0.17 milyon ton), ardından Diğer Asya ülkeleri 0.13 milyon ton çelik üretimiyle dünya çelik pazarında %7.3'lük paya sahiptir. NAFTA, Hindistan, Diğer Ülkeler, Japonya ile Bağımsız Devletler Topluluğu dünya çelik pazarında birbirleriyle yaklaşık oranlara sahiplerdir ve bunlar 2018 yılında pazarın yaklaşık %30'unda söz sahibi olmuşlardır. Diğer Avrupa devletleri %2.3'lük oranla dünya çelik pazarında en az payda faaliyet göstermişlerdir.

Grafik 1.3: Dünya Çelik Üretiminin Bölgesel Payları



Kaynak: World Steel In Figures 2019

Diğerleri:

Afrika% 1.0

Orta Doğu% 2.1

Orta ve Güney Amerika% 2.5

Avustralya ve Yeni Zelanda% 0.4

NAFTA: Kuzey Amerika Serbest

Ticaret Anlaşması

Yine Worldsteel verilerine göre dünyada çelik tüketimi ise 2018 yılında 1,712 milyon ton olarak gerçekleşmiştir ve 0,096 milyon ton arz fazlası oluşmuştur. Yine çelik tüketiminde de ilk sırada %48.8 lik oranla Çin yer almaktadır. Sırasıyla onu Orta Asya

(%10), Avrupa Birliği (28) (%9.9), NAFTA (%8.3), Diğerleri (%8), Hindistan (%5.6), Japonya (%3.8), Bağımsız Devletler Topluluğu(%3.3), diğer Avrupa ülkeleri (%2.2) takip etmiştir.

1.4. Türkiye Demir Çelik Sektörü

İlk kez 1928 yılında, savunma sanayinin çelik ihtiyacını karşılamak amacıyla 1930'lu yıllarda temelleri atılan Türk çelik sektörü, Kırıkkale'de şimdiki adı MKEK olan, onaltışar tonluk iki Siemens-Martin çelikhanenin yerleştirilmesiyle çelik üretimine başlanmıştır. Bu sektörün kurulmasıyla ülke ekonomisi gelişmeye başlamış ve endüstrileşme ilk filizlerini vermiştir. Çelik sektörüne ilişkin ilk yatırımlar, 1. ve 2. sanayi plânları kapsamında, 1930'lu yıllarda gerçekleştirilmiş ve sektör uzun yıllar, kamu kesiminin tekelinde, entegre tesis ağırlıklı olarak gelişmiştir (Türkiye Demir ve Demir Dışı Metaller Meclis Raporu, 2016, s.2).

Tablo 1'de ülkemizdeki demir çelik üretim tesislerinin açılış faaliyete geçme yılları gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Türkiye Faaliyet Gösteren Demir Çelik Firmaları ve Kuruluş Yılları

FİRMA İSMİ	KURULUŞ YILI	FİRMA İSMİ	KURULUŞ YILI	FİRMA İSMİ	KURULUŞ YILI
MKEK	1928	Habaş	1987	Ede	2010
Kardemir	1937	İDÇ	1987	Platinum	2010
Erdemir	1965	Çebitaş	1989	Tosçelik	2010
Çolakoğlu	1969	Ekinciler	1989	Özkan	2010
Kroman	1969	Sidemir	1992	Baştuğ Metalurji	2010
İçdaş	1970	Yazıcı	1994	MMK Metalurji	2011
Çemtaş	1972	Yeşilyurt	1997	Koç Metalurji	2013
İsdemir	1977	Kaptan	2002	Egemen Met.	2014
Asil Çelik	1979	Nursan	2005	Ege Demir	2015
Ege Çelik	1982	Sider	2006	Siddık Kardeşler	2016
Diler	1984	Bilecik D.Ç.	2009		

Kaynak: Türkiye Demir ve Demir Dışı Metaller Meclis Raporu (2016)

Karabük Demir Çelik Fabrikaları (KARDEMİR) Türkiye'nin uzun ürün üreten ilk entegre çelik tesisidir. Cumhuriyetin ilk yıllarında özel sektörün kaynak yetersizliği nedeni ile kamu iktisadi teşebbüsü olarak Sümerbank bünyesinde, ilk entegre demir çelik tesisi KARDEMİR 1937 yılında kurulmuştur. Daha sonra 1965 yılında asıl amacı yassı ürün talebini karşılamak olan ve ülkenin kinci entegre tesis olan Ereğli Demir Çelik Fabrikaları (ERDEMİR) 1965 yılında üretime başlamıştır. 1977 yılında, uzun ürün ve yassı ürün talebini karşılayabilmek amacıyla yani ilk iki fabrikanın yaptığı işi tek çatı

altında toplayan ayrıca Türkiye'nin üçüncü entegre tesisi olan, İskenderun Demir Çelik Fabrikaları (İSDEMİR) işletmeye açılmıştır.

Ülkemizde entegre demir çelik tesisi olarak yani bazik oksijen fırınları (BOF) ile üretim yapan sadece KARDEMİR, ERDEMİR ve İSDEMİR firmalarıdır. Sektörde faaliyet gösteren diğer demir çelik firmaları İndüksiyon ve Elektrik Ark Ocaklı (EAF) tesislerde faaliyet göstermektedirler.

“Dünyada ve ülkemizde ham çelik üretimi, demir cevheri kullanan Entegre Demir Çelik (BOF) tesisleri ile hurdadan üretim yapan İndüksiyon ve Elektrik Ark Ocaklı (EAF) tesislerde yapılmaktadır. Sektörün üretim altyapısına baktığımızda, ağırlıklı olarak hurdaya dayalı bir üretim altyapısı görülmektedir. Ülkemizde, 2018 yılı itibarıyla, demir cevherinden üretim yapan 3 adet Entegre Demir Çelik tesisi ile hurdadan üretim yapan 31 adet İndüksiyon ve Elektrik Ark Ocaklı tesis bulunmaktadır. 2018 yılı itibarıyla, 51,8 milyon tonluk ham çelik kapasitesinin 39,4 milyon tonu hurdadan, 12,4 milyon tonu ise demir cevherinden üretim yapan tesislere aittir. Ayrıca sektörün diğer metal sektörleri ile birlikte 22 adet Ar-Ge merkezi ve 3 adet Tasarım Merkezi bulunmaktadır (Sanayi Ve Verimlilik Genel Müdürlüğü, 2019).”

2019 yılı itibarıyla sektörde faaliyet gösteren ve dört bölgeye ayrılan 32 tesisin yerleşkesi; İskenderun bölgesinde 10, Marmara bölgesinde 9, İzmir bölgesinde 8 ve Karadeniz bölgesinde 5 firma faaliyet göstermektedir.

Şekil 1.1: Türkiye’de Faaliyet Gösteren Demir Çelik Firmalarının Kurulu Olduğu Bölgeler



Kaynak: TÇÜD

Çelik üretim kapasiteleri bölgelere göre; İskenderun bölgesinin 16.7 milyon ton, Marmara bölgesinin 15.2 milyon ton, İzmir bölgesinin 11.3 milyon ton Karadeniz bölgesinin 8.3 milyon tondur.

Türkiye’deki demir-çelik tesislerden 11 tanesinin ham çelik üretim kapasitesi 2 milyon ton ve üzerinde, 7 tanesinin kapasitesi 1 - 2 milyon ton arasında, 6 tanesinin kapasitesi 500 bin - 1 milyon ton arasında ve 8 tanesinin kapasitesi de 50 bin – 500 bin ton arasındadır.

Türkiye’deki entegre demir çelik fabrikaları büyük oranda kaynak ihtiyacı gerektirdiğinden dünyanın hemen hemen her yerinde olduğu gibi kamuya iktisadi teşebbüsleri olarak kurulmuşlardır. Türkiye’deki bu entegre tesisler 1995 yılından itibaren özelleştirilmeye başlanmış ve 28 Şubat 2006 tarihinden itibaren bütün bu entegre tesisler hisse senetlerini satışa çıkarabilmişlerdir yani artık demir çelik sanayisi tamamen özel sektör olarak üretime devam etmişlerdir. 1996 yılında yapılan, Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu ile imzalanan ‘Serbest Ticaret Antlaşması’ adındaki antlaşma ile gümrük vergileri antlaşmayı imzalayan devletler karşılıklı olarak

kaldırılmıştır. Bununla beraber AB ile Türkiye arasında çelik ticareti pozitif yönlü gelişme göstermiştir (Deniz, 2009:10).

1.4.1. Türkiye’de Ham Çelik Üretimi ve Nihai Ürün Tüketimi

Çelik üretiminde iki temel süreç vardır: Bazık Oksijen Fırınları (BOF) ve Elektrik Ark Ocakları (EAO)’dır. BOF ile çelik üretimi genellikle entegre tesislerde kullanılmakta olup demir cevherinden ham demir ve ham demirde çelik üretimi yapılır. BOF ile çelik üretim süreci, demir cevherinin kırma, eleme, sinterleme işlemleri sonucunda hazırlanması veya parça cevherin doğrudan doğruya yüksek fırına şarjı ile başlamaktadır. Yüksek fırınlarda kok kömürü ile demir oksit haline gelen cevherin oksijeni alınarak indirgenmekte ve sıvı ham demir (pik demir) elde edilmektedir. EAO ise çelik hurdasından çelik üretmek için daha çok orta ölçekli işletmeler tarafından kullanılır. Çünkü hurdaya ulaşmak daha kolay ve daha az maliyetlidir (America Iron and Steel Institute Profile, 2019, s.2).

Türkiye’nin ham çelik üretimi, 2019 yılının Mayıs ayında, bir önceki yılın aynı ayına göre %8 oranında azalışla 3.1 milyon ton, Ocak-Mayıs döneminde ise %10 oranında azalışla 14.3 milyon ton seviyesinde gerçekleşmiştir. Nihai mamul çelik tüketimi, 2018 yılının aynı Mayıs ayına kıyasla %41,9 azalışla, 2.1 milyon ton, yılın ilk beş ayı itibariyle de %35,2 azalışla, 10 milyon ton olmuştur.

Tablo 1.2: Türkiye’nin Ürünlere ve Yöntemlere Göre Çelik Üretimi (Milyon Ton)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Uzun	26,294	24,612	23,231	23,015	25,839	24,669
Yassı	8,360	9,423	8,286	10,148	11,685	12,643
TOPLAM	34,654	34,035	31,517	33,163	37,524	37,312
EAO	24,723	23,752	20,482	21,846	25,963	25,799
BOF	9,931	10,283	11,035	11,317	11,561	11,513
TOPLAM	34,654	34,035	31,517	33,163	37,524	37,312

Kaynak: Sanayi Ve Verimlilik Genel Müdürlüğü

2018 yılında çelik üretimi yapan 65 ülke arasından 37,312 milyon tonla Türkiye dünya sıvı çelik üretiminde 8. sırada yer almıştır. Ülkemizde demir çelik sektörü üretim kapasitesi yassı ürünlerde 18,3 milyon ton, uzun ürünlerde ise 33,5 milyon ton olmak üzere toplamda 51,8 milyon tondur. Demir çelik sektörü 2018 yılında 37,3 milyon ton ham çelik üretimi ile %72 kapasite kullanım oranı gerçekleştirmiştir.

Türkiye toplam ham çelik üretiminin yaklaşık beşte üçünü EAO tesisler, beşte ikisini ise BOF tarafından gerçekleştirilmektedir. Entegre tesislerin temel hammaddesi demir cevheri, ark ocaklı tesislerin temel hammaddesi ise demir çelik hürdası olduğuna göre sektörün ağırlıklı bir şekilde EAO'lara yönelmesi, hammadde yatırımlarının entegre tesislere kıyasla çok daha az yatırım gerektirmesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 1.3: Ülkemizde Nihai Mamul Tüketimi (1.000 ton)

	2000	2005	2010	2014	2015	2016	2017	2018	% değişim 18/17	% pay 2018
Uzun ürün	6.784	9.077	11.660	16.168	17.926	17.636	18.130	15.804	-12,8	51,7
Yassı ürün	6.286	9.363	11.944	14.605	16.455	16.455	17.796	14.779	-17,0	48,3
Toplam	13.070	18.440	23.604	30.773	34.381	34.077	35.926	30.584	-14,9	100,0

Kaynak: Sanayi Ve Verimlilik Genel Müdürlüğü

Genellikle inşaat ürünlerini içeren uzun ürünlerin talebinde %51,7'lik ve bu talebin üretim tablosunun incelendiğinde iç piyasadan karşılanabileceği görülmektedir. Bununla birlikte çeşitli sanayilerde girdi olarak kullanılan yassı ürün tüketim oranı ise toplam tüketimin %48'i olarak gerçekleşmiştir fakat yassı ürünlerde talep fazlası oluşmuştur ve iç piyasa bu talebi karşılayamamıştır. Tabii ki hem yassı ürünlerin hem de uzun ürünlerin tüketiminde bir önceki yıla göre düşüşler görülmüş hatta 2014 yılı tüketimlerinin de alt seviyesinde yer almıştır. Çelik üretimi ve tüketimi tabloları karşılaştırıldığında 2014 yılından bu yana uzun ürün tüketiminde ülkemiz kendi ihtiyacını karşılayabilecek üretim düzeyindedir. Yassı ürün tüketiminde ise hiçbir dönem talep ihtiyacını karşılayabilecek üretim düzeyine gelememiştir.

2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE ULAŞTIRMA MODELİ

Sınırlı kaynak kullanımını optimal şekilde hayata geçirmek için kurgulanmış bir matematiksel modelleme yöntemi olan doğrusal programlama, iş hayatında bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ile birlikte işletmelerin vazgeçemeyeceği bir yöntem olmuştur. Bu sebeple bu bölümde doğrusal programlama modelinin tanımına, tarihsel gelişimine, varsayımlarına, matematiksel modellemesine, uygulandığı alanlara ve çözüm yöntemlerine değinilecektir.

Ulaştırma modeli ise doğrusal programlamanın özel bir türü sebebi olması nedeniyle bu bölümde incelenecek olup, ulaştırma modelinin; tanımından, tarihçesinden, matematiksel olarak ifade edilmiş yönteminden, çözüm yöntemlerinden, özel durumlarından ve çeşitli uzantılarından bahsedilecektir.

2.1. Doğrusal Programlama Modeli

2.1.1. Doğrusal Programlamanın Tanımı ve Tarihçesi

Doğrusal programlama; yönetime, sınırlı kaynaklarının dağıtımında ve planlamasında yardımcı olması için geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan matematiksel programlama modelidir (Render, 1982, s.240) .

Doğrusal programlamanın asıl konusu, kıt kaynakların rakip faaliyetlere dağıtımının en iyi şekilde yapılması problemi ile ilgilidir. Bu çerçevede, doğrusal programlama, problemleri çözümlerken sonuca cebirsel ifadelerle en sağlıklı şekilde ulaşmayı amaçlayan bir modeldir.

Başka bir şekilde ifade edilecek olursa; doğrusal programlama, doğrusal eşitlikler veya doğrusal eşitsizlikler şeklinde ifade edilen birtakım kısıtlayıcı şartların etkisiyle, doğrusal amaç fonksiyonunu optimumlaştırmak biçiminde tanımlanabilir. Optimumlaştırmak ise, belirli bir amaca en düşük maliyetle ulaşmak (minimizasyonlaşmayı) ya da sınırlı kaynaklarla büyük ölçüde çıktı elde etmek (maksimizasyonlaşmayı) anlamına gelir (Esin, 1984, s.24).

Moskowitz ve Wright, (1979) doğrusal programlamayı, herhangi bir doğrusal problemin çözümü ile ortaya çıkan birden fazla sonuç arasından optimal karar vermede yardımcı olarak en iyi stratejiyi belirlemeye olanak sağlayan yöntem olarak ifade etmişlerdir.

Doğrusal programlama hakkında yapılan ilk çalışma J.V. Neumann'a aittir. 1928 yılında yaptığı bir çalışmada oyun teorisi ile doğrusal programlama modelini ilişkilendirmiştir. Bu çalışmasını geliştirerek Morgenstern ile birlikte "Oyun Kuramı ve Ekonomik Davranış" adlı çalışmasında oyun teorisi ve ekonomiyi ilişkilendirmiştir (Özkan, 2012, s.8-9).

1939 yılında üretim planlaması ile ilgili bir problemi inceleyen ve formüle eden ünlü matematikçi L.V. Kantorovich kendinden sonra bu konu üzerinde çalışma yapacaklara öncülük etmiş sayılır. 1947’de yaptıkları bir çalışma ile G.B. Datzig ile M. Wood ve arkadaşları doğrusal programlama modelinin geliştirilmesinde, araştırmalarda kullanılmasına ve değişik türdeki problemlerde uygulanabilmesi konusunda ışık tutmuşlardır. Bu tarihten sonra ekonomide ve matematikte problemlerin çözümü konusunda doğrusal programlama modeli önemli bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Doğrusal programlamanın geniş kitlelere yayılmasında özellikle Tjalling’in ve C. Koopmans’ın özel çabaları etkili olmuştur. Tjalling ve Koopmans birçok sayıda matematikçi ve iktisatçının bulunduğu bir konferansta doğrusal programlama modellerinden yararlanma imkânlarını anlatan bir sunum yaparak doğrusal programlamanın farkına varılmasına olanak sağlamışlardır (Ersoy, 2004, s.4-5).

Leontief’in ekonomide sektörlerin birbirleri ile olan ilişkilerini konu olan fakat amacı optimizasyon yapılmak olmayan girdi- çıktı problemi ile ilgili bir çalışması, II. Dünya Savaşı esnasında askeri faaliyetlerin planlanması ve koordinasyonu konusundaki faaliyetlerin düzenlenmesinde ön ayak olmuştur. ABD Hava Kuvvetlerinde doğrusal programlama modeli kullanılarak planlama çalışmaları yapılmıştır (Doğan, 1995, s.2).

A.Charnes, W.W. Cooper ve A. Henderson 1954 yılında doğrusal programlama modelinin matematiksel olarak ifade edilmesini incelemiştir. E.A. Heady ile W. Candler maksimizasyon ve minimizasyon problemlerinin doğrusal programlama modelinde nasıl uygulanabileceğini, değişen üretim faaliyet ve fiyatlarıyla en uygun çözüme hangi yolla ulaşılabileceğini, tarım sektörünü konu alan bir problemle açıklayan bir çalışma yapmıştır (Naylor and Byrne,1963,s:10).

1952 ve daha sonraki yıllarda yani bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ile, doğrusal problemlerin çözümü için bilgisayar programları hazırlanmıştır. Böylelikle doğrusal programlama modeli, büyük ölçekli ve karmaşık yapıdaki işletme problemlerinde de rahatlıkla kullanılabilmiştir. Teknolojideki ve bilgisayar yazılımlarındaki hızlı gelişme ve değişimler sonucunda doğrusal programlama modeli akademik çalışmalarda bir ilgi alanı olmaktan ziyade; endüstri, ulaştırma, enerji gibi pek çok alandaki birçok sorunun çözümünde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Tuncel, 1997, s.35-36).

2.1.2. Doğrusal Programlamanın Uygulanma Şartları ve Varsayımları

Doğrusal programlama modelinin herhangi bir problem üzerinde uygulanabilmesi için gerekli olan koşullar şu şekilde sıralanabilir (Serper ve Gürsakal, 1982, s.7):

- Amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı koşullar doğru şekilde tanımlanmalıdır. Amaç fonksiyonunun maliyet minimizasyonunu mu yoksa kar maksimizasyonunu mu belirttiğini açıkça tanımlamak gerekmektedir.

- Değişkenler arasında kopukluk olmamalıdır yani değişkenlerin birbirleriyle ilişkili olup olmadığı kontrol edilmelidir.
- Değişkenler arasındaki bağ doğrusallığı ifade etmelidir.
- Bağımlı değişkenlerin negatif olmaması yani sıfır veya pozitif olması gerekmektedir.
- Problemin değişkenleri nicel (sayıyla ifade edilebilen) olmalıdır çünkü doğrusal programlama nitel yani rakamlarla ifade edilmeyen değişkenler için kullanılması uygun değildir.
- Değişkenler arasında alternatif seçenek olmalıdır.
- Kaynak kullanımının sınırlı olması gerekir. Çünkü kaynakların sınırsız olduğu bir durumda böyle bir programlama yapmak beyhude olur.
- Doğrusal programlamanın uygulanacağı işletme probleminin uzun bir dönemi kapsamaması gerekmektedir.

Doğrusal programlamanın modelinin problem üzerinde doğru bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli koşulların sağlandığına dikkat etmek gerekir. Aksi takdirde model üzerinden ulaşılan sonuçlar sağlıklı olacaktır ve problemin çözülmesinde işletmeye fayda sağlamayacaktır.

Doğrusal bir programlama problemi olarak ifade edilen problem aynı zamanda optimal bir kaynak dağılım problemi olup doğrusal programlama tekniğinin kaynak dağılımı problemlerine uygulanabilmesi için belirli varsayımlarla hareket edilmektedir (Sarıaslan vd., 2017, s.119). Literatür taraması yapılırken bazı kaynaklarda sekiz adet, bazı kaynaklarda dört adet, bazı kaynaklarda ise üç adet varsayımdan bahsedilmektedir. Bu tarama da göz önüne alınarak burada beş adet varsayımın açıklaması yapılacaktır. Bu varsayımlar açıklanma sırasına göre; doğrusallık, toplanabilirlik, bölünebilirlik, kesinlik, negatif olmama (pozitiflik) varsayımlarıdır.

Doğrusallık Varsayımı: Doğrusal programlamada, optimal çözümü araştırılan problemin amacını ve kararını etkileyen kısıtların her bir değişkene göre doğrusal olarak ifade edilmesi gerekir. Her bir değişkenin amaç fonksiyonu ve kısıta katkısının doğrudan değişkenin seviyesi ile orantılı olmasını ifade eden bu özellik doğrusallık varsayımı olarak adlandırılır (Özkan, 2012, s.12). Doğrusal programlamada, fonksiyon girdileri ve çıktıları arasında doğrusal bir ilişki vardır. Örneğin çıkan madde miktarı yani çıktılar iki kat arttırılmak istenirse fonksiyona giren bütün ilgili madde miktarlarının yani girdilerin de iki kat arttırılması gerekmektedir (Dantzig, 1963, s.12). Kısacası doğrusallık varsayımı, doğrusal programlama modelinde yer alan değişkenlerin arasında değişmez oransal bir ilişkinin olduğunu belirtmektedir.

Toplanabilirlik Varsayımı: “Doğrusal programlamada her fonksiyon (amaç fonksiyonu ya da kısıtlayıcının sol tarafındaki fonksiyon) ilişkin olduğu faaliyetlerin bireysel katkılarının toplamıdır. Bu varsayımı, kısıtlayıcının sol tarafındaki fonksiyon için ele alırsak, değişik üretim faaliyetlerine kaynak olan üretim girdilerinin toplamının, her bir işlem için ayrı ayrı kullanılan girdilerin toplamına eşit olduğunu gösterir.

Örneğin, bir ürünün üretimi için üç saate, diğer ürünün üretimi için beş saate gereksinim var ise bu iki ürünü birden üretmek için sekiz saat gereklidir (Öztürk, 2016, s.33).”

Bölünebilirlik Varsayımı: Herhangi bir problemdeki her bir karar değişkeninin kesirli değerler almasına izin verilerek bu değişkenler sadece tam sayılı değerlerle sınırlandırılmamış olurlar (Öztürk, 2016, s.33). Böylece kıt olan kaynaklar çeşitli seçenekler arasında en iyi şekilde dağıtılırken en küçük parçalara bölünebilmesinin önü açılmış olur (Sarıaslan vd., 2017, s.121).

Kesinlik Varsayımı: Bir doğrusal programlama modelinde yer alan değişkenlerin bilindiği ve bu değişkenlerin sabit olduğu kabul edilir. Daha açık anlatılacak olursa, birim başına kar ya da maliyetlerin, her faaliyet için gerekli olan kaynak miktarlarının ve mevcut kaynak miktarlarının sabit olduğu varsayımdır. Bu varsayımın kabul edilmesiyle doğrusal programlama problemlerinin çözümü kolaylaşmaktadır (Doğrusal Programlama, 2014).

Negatif Olmama (Pozitiflik) Varsayımı: Doğrusal programlama modelin çözümünde yer alan değişkenlerin negatif değer almasının bir anlamı yoktur (Analı, 1999, s.13). Yani:

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1,2,3, \dots, n)$$

şartının sağlanabilmesi için gerçek ve yapay değişkenlerin değer alması gerekmektedir (Ferguson, 1996, s.4). Bu varsayımın işletmeler açısından reel karşılığı ise negatif ürün üretiminin yani sıfırdan daha az ürün üretmenin mümkün olamayacağıdır.

2.1.3. Doğrusal Programlamanın Matematiksel Gösterimi

Doğrusal programlama problemin matematiksel modellemesini yapabilmek için;

- İlk olarak problem doğrultusunda karar değişkenlerinin tanımlanmalıdır.
- Problemin amacına uygun düşecek (maksimizasyon veya minimizasyon problemi olup olmadığının belirlenmesi) amaç fonksiyonu oluşturulmalıdır.
- Problemin, çözüme ulaşırken hangi kıt kaynaklarla karşı karşıya kalabileceğinin belirlenerek kısıtların oluşturulmalıdır.

2.1.3.1. Karar Değişkenlerinin Tanımlanması

Doğrusal programlama problemlerinde, amaç fonksiyonunun ve kısıtların oluşturulmasında kolaylık sağlamak amacıyla modeli geliştirirken ilk aşama olarak karar değişkenlerinin açıkça tanımlanması gerekir. Değişken denilen unsur, problemdeki değeri hesaplanacak olan (X_1, X_2, \dots, X_n) bilinmeyendir. Karar değişkeni ise bir problemin çözümlenmesi aşamasında değeri hesaplanacak olan karar unsurlarını ifade etmektedir. Mesela bir mobilya üretim atölyesinde üretilecek olan koltuk ve kanepeler miktarlarını belirlerken modelin değişkenleri,

X_1 =üretilecek günlük koltuk miktarı (adet)

X_2 =üretilecek günlük kanepeler miktarı (adet)

gibi açıkça ifade edilmelidir.

2.1.3.2. Amaç Fonksiyonunun Oluşturulması

Doğrusal programlama problemlerinde, genellikle maliyetin minimizasyonu ya da karın maksimizasyonu gibi bir amaç vardır. Bu iki durumdaki amacı gerçekleştirmek için tek doğrusal fonksiyon oluşturulur. Örneğin (Sarıaslan vd., 2017, s.122):

Z : Amaç fonksiyonunu,

X_j : Problemdeki karar değişkenlerini,

C_j : Amaç fonksiyonundaki X_j değişkenlerinin katsayılarını,

a_{ij} : X_j değişkenlerinin girdi katsayılarını,

b_i : Sınırlı kaynak miktarlarını,

m : Kısıtlılıkların sayısını,

n : Değişken sayılarını

ifade ederse amaç fonksiyonu;

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

ya da daha genel olarak;

$$Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

şeklinde ifade edilebilir. Doğrusal olan bu amaç fonksiyonu maksimizasyon veya minimizasyon problemlerine de uyarlanabilir.

2.1.3.3. Kısıtların Belirlenmesi

Temelde kısıtlar kaynak kısıtlılığı ve negatif olmama kısıtlılığı şeklinde ikiye ayrılarak belirlenebilir.

Kaynak Kısıtlılığı: Bunlar probleme ait elde bulunan kaynakları belirtmekte olup hangi sayıda kaynak sınırlaması varsa o sayıda kısıt eşitliği veya eşitsizliği oluşturulur. Kaynak kısıtlılarını şu şekilde formüle edebiliriz (Sarıaslan vd., 2017, s.122):

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

$$a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + \dots + a_{3n}X_n \leq b_3$$

$$\begin{array}{cccc} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{array}$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

Genel olarak ifadesi ise;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}X_j \leq b_i \quad (\text{tüm } i\text{'ler için } i = 1,2,3, \dots, m)$$

şeklinde olabilir.

Negatif Olmama Kısıtlılığı: Doğrusal programlama problemlerindeki değişkenlerin negatif değer almaması gerektiğini ifade etmektedir. Yani (Sarıoğlu vd., 2017, s. 123):

$$X_1 \geq 0$$

$$X_2 \geq 0$$

·

·

·

$$X_n \geq 0$$

Genel ifadesiyle;

$$X_j \geq 0 \quad (j = 1,2,3, \dots, n)$$

sıfırdan küçük olmama koşulu sağlanmalıdır.

Cebirsel ifadenin açıklaması üretilen ürünün sıfırdan küçük olamayacağıdır. Yani ya bir ürünü üretirsiniz (1,2,...,3) ya da hiç ürün üretmezsiniz (0), negatif değerli ürün üretilmesi imkansızdır (mantık hatasıdır).

2.1.4. Doğrusal Programlama Modelinin Uygulandığı Alanlar

Doğrusal programlama modeli, endüstriyel alanlarda (petrol, gıda, tekstil, kimya, vb.) ekonomik alanlarda, sağlık alanlarında gibi birçok sektörde basit veya karmaşık yapıdaki problemleri çözmek amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin petrol endüstrisinde rafine, dağıtım gibi aşamalarında, tekstil sektöründe üretim planlanmasının

yapılmasında ve üretilen ürünlerin müşterilere ulaştırılma aşamasında, ziraat sektöründe ise hayvan beslenmesinde kullanılan yemlerin hangi oranda karıştırılması gerektiği gibi problemlerin çözümünde kullanılır (Öğütlü, 2002, s.40).

Doğrusal programlamanın kullanım alanları hakkında daha geniş çaplı örnek vermek gerekirse (Sağır, 2012, s.15);

- Sağlık sistemlerinde,
- Endüstriyel ürünlerin üretim aşamalarının planlanmasında,
- İşletmelerin envanter (stok) kontrollerinde,
- İşletmelerin satın alma politikalarının belirlenmesi aşamasında,
- Reklam seçimi problemlerinde,
- Beslenme (diyet) problemlerinde,
- Tarımsal planlamalarda,
- Hammadde karışım ve kullanımı problemlerinde,
- Finansal planlamalarda,
- Optimal getiriye sağlayacak yatırımların belirlenmesi planlamalarında,
- Ulaştırma ve lojistik problemlerinde,
- Ürünlerin pazara en uygun dağıtım yapılması istendiğinde,
- Trafik planlamasında,
- Askeri alanlarda,
- Atama problemlerinde,
- Çeşitli iş kollarına personel atamalarının yapılması aşamalarında,
- Bankaların en uygun getiriye sağlayacak şekilde ellerindeki fonların dağıtımını yaparken,

gibi alanlarda veya zamanlarda doğrusal programlama kullanılabilir.

Görüldüğü gibi yaygın bir kullanım alanına sahip olan doğrusal programlama modeli, endüstriyel ve ekonomik analizlerde yaygınca kullanılmasının ve firmaların birçok alanda karşılaşacakları problemlerin çözümünün yapılabilmesinin yanında, işletmede üretilen ürünün niteliğine göre üretim teknikleri arasından seçim yapmada, verimlilik analizlerinin yapılmasında yöneticilere karar verme aşamasında yardımcı olabilir.

2.1.5. Doğrusal Programlama Modelinin Çözüm Yöntemleri

Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde cebirsel, grafik ve simpleks yöntemleri kullanılır. Fakat cebirsel ve grafik yöntem değişken sayısı fazla olan problemleri çözmeye kullanıma uygun değildir. Grafik yöntemde, çözüm grafiklerle gösterildiğinden doğrusal programlama problemlerinin anlaşılmasını kolaylaştırdığı için grafik çözüm yönteminden de bahsedilecektir.

Çözümü güç problemleri olan işletmelerin, elle veya basit bilgisayar programlarıyla problemin çözümünü yapmaya kalkışması, hem zamanın iyi şekilde

kullanılmamasına hem de işlerin içinden çıkılmaz hale gelmesine neden olur. Bu sebeple, her şeyin çok çabuk değiştiği günümüzde zamanı iyi kullanmak, karşılaşılan problemleri daha basit yapıya getirerek işlerin çözümünü kolaylaştırmak adına, çok sayıda bilgisayar programları yazılmıştır. Problemin karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtları belirlendikten sonra bilgisayar yazılım programında işletilmek üzere veriler programa girilir ve program gerekli tekrarları yaparak en uygun çözümü verir.

2.1.5.1. Grafik Çözüm Yöntemi

Grafik çözüm iki değişkenli problemlerde kullanılan bir yöntemdir. Üç ve daha fazla değişkenli problemlerde grafik çözüm yönteminin kullanılması güç olabilir. Bu aşamada işin içerisine simpleks yöntem girecektir.

Doğrusal programlama problemlerinin grafik çözümünde esas olarak üç aşama vardır. Bunlar sırasıyla (Öztürk, 2016, s.93):

1. İlk olarak kısıtlayıcıların grafiği çizilerek problem çözümüne başlanır. Problem iki değişkenli olduğu için x_1 yatay eksen, x_2 dikey eksen gösterilmek üzere; $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$ şeklindeyken, yatay eksenin üst kısmında ve dikey eksenin sağ tarafında sözü edilen x_1 ve x_2 koşulu gerçekleşir ve bu da koordinat eksenler düzleminde I. bölümdür yani çözüm için uygun bölge burasıdır. Diğer üç bölümde de x_1 ve x_2 'nin negatif değerler alması gerekir ama bu durum doğrusal programlama modellerinde negatif olmama varsayımına ters düştüğü için bu alanlarda üretim yapılamaz.
Kısıtlayıcıların grafiği çizilirken, doğrusal olan eşitsizlikler eşitlik halinde ifade edilerek bunların kısıtları yani sınırları çizilir ve doğrunun hangi tarafın eşitsizliğine uygun düştüğü belirlenmiş olunur.
2. İkinci olarak uygun bölgenin belirlenmesi gerekmektedir. Uygun bölgenin sınırları ise kısıtlayıcı koşullar doğrultusunda çizilen doğrusal eşitsizliklerin kesiştikleri ortak alanla belirlenir.
3. Son olarak ise optimal çözüm bulunmaya çalışılır. “Uygun bölge köşe noktalarından en az ikisinin apsis ve ordinat değerleri amaç fonksiyonunun değerini eşit olarak en yüksek kılıyorsa bu iki köşe nokta seçenekli optimal çözümü veren noktalar. Bu köşe noktalarının apsis ve ordinat değerleri de değişkenlerin optimal çözüm değerleridir. Herhangi bir doğrusal programlama probleminin tüm kısıtlayıcılarını doyuran, hiçbir köşe noktası yok ise bu problemin uygun çözüm bölgesi yoktur. Dolayısıyla da uygun çözüm bölgesi olmayan problemin optimal çözümü olamaz (Öztürk, 2016, s.98-100).”

2.1.5.2. Simpleks Çözüm Yöntemi

Simpleks yöntem doğrusal programlama problemlerinin çözümünde kullanılan en yaygın ve en etkin yöntemdir. İlk kullanıldığı yıllarda yoğun matematiksel bilgi gerektiren simpleks yöntem 1947 yılında ilk kez George B. Dantzig tarafından kullanılmıştır. Günümüzde ise az bir matris bilgisiyle simpleks yöntemi öğrenebilmek mümkündür (Sarıaslan vd., 2017, s.145).

Simpleks yöntem olarak ifade edilen algoritma, çok sayıda kısıt ve değişkene sahip karmaşık yapıdaki doğrusal programlama modellerinin çözümünde etkili olarak kullanılabilir.

Çok değişkenli doğrusal problemlerin çözümünde kullanılan, cebirsel tekrarlama işlemine dayanan simpleks yönteminin asıl amacı eldeki kısıt kaynakların optimal şekilde nasıl kullanılması gerektiğini belirlemektir (Öztürk, 2016, s.117).

Simpleks metodu; doğrusal programlama modelinin başlangıç temel çözümünden başlayarak, amaç fonksiyonunun değerleri ile optimal çözümü araştıran, cebirsel tekrarlama (iterasyon) işlemine dayanan bir yöntemdir. Yöntemde önce başlangıç simpleks tablosu düzenlenir sonra tekrarlayıcı işlemler ile belirli bir hesap yöntemi içinde gelişen çözümlere doğru ilerleyerek optimal çözüme ulaşıncaya kadar işlemler sürdürülür (Ekmekçi, 2015, s.66).

“Simpleks yöntem düşüncesi, standart biçimdeki kısıtlayıcı kümeli problemin, bir temel uygun çözümden diğerine ilerlemektir. Bu yolla amaç fonksiyonunun değeri sürekli olarak amaç fonksiyonunun özelliğine göre maksimum veya minimuma ulaşıncaya kadar artar veya azalır (Öztürk, 2016, s. 133).” Simpleks yöntemin belirli adımlardan oluşan cebirsel işlemlerini sırasıyla açıklayalım:

- 1. Adım:** Doğrusal programlama problemindeki kısıtlayıcılar ilk olarak eşitlik haline dönüştürülür. Kısıtlayıcı denklem;

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 \leq b_1$$

şeklinde ise denklemin sol tarafına aylak değişken denen ve kullanılmaya üretim faktörleri ile boş kapasiteyi gösteren S_1 ifadesi eklenir. Yani

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + S_1 = b_1$$

şeklini alır.

Ya,

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 \geq b_1$$

şeklinde ise denklemin sol tarafından artık değişken denen fazla kapasite ve fazla üretim faktörlerini ifade eden v_1 çıkarılır ve olmayan yani yapay bir A_1 değişkeni eklenir. Artık değişkenler başlangıç simpleks tablosunun temel değişkenler sütununda yer almaz, onun yerine yeni eklenen yapay değişken A_1 yer alır.

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 - v_1 + A_1 = b_1$$

Ya da,

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 = b_1$$

formunda ise denklemin sol tarafına sadece yapay değişken eklenerek

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + A_1 = b_1$$

şeklini alır.

Aylak ve artık değişkenlere 0, yapay değişkenlere ise en yüksek değerleri ifade eden minimizasyon problemlerinde +M, maksimum problemlerinde -M katsayısı değeri verilerek amaç fonksiyonunda yer almaları sağlanır. Yapay değişkenlere olabildiğince yüksek değer verilmesinin nedeni hiçbir ekonomik anlamı olmamasından ötürü optimal çözümden yer almasını önlemektir.

- 2. Adım:** Birinci adımda ele alınan verilerin bir matris halinde ifade edilebilmesi amacıyla başlangıç simpleks tablosu düzenlenir. Bu tabloda; problemin değişkenleri, sonradan eklenen yapay artık ve aylak değişkenler, amaç fonksiyonunda bulunan değişkenlerin katsayıları, değişkenlerin kısıtlardaki katsayıları, Z_j ve $C_j - Z_j$ değerleri düzenlenerek çözüme hazırlanır. Z_j gözden çıkarma satırı diye adlandırılan ve satırdaki elemanlarda bir değişiklik yapılırsa kardaki birim başına kaybı gösterir.

$Z_j = \text{amaç katsayısı sütunu} * \text{değişkenlerin katsayı sütunu}$ şeklinde tüm satır hesaplanır. $C_j - Z_j$ satırındaki elemanlar ilişkili bulunduğu değişkendeki bir birim daha fazla üretildiğinde problemin cinsine göre kazanca veya maliyete etkisini gösterir. $C_j - Z_j = \text{amaç satırı} - Z_j$ ile hesaplanır.

- 3. Adım:** Amaç fonksiyonunun durumuna göre $C_j - Z_j$ satırına bakılarak anahtar sütun seçilir. Amaç fonksiyonu; maksimizasyonu ifade ediyorsa $C_j - Z_j$ satırındaki pozitif işaretle en yüksek değer, minimizasyonu ifade ediyorsa negatif işaretle değerlerden mutlak değerce en yüksek olan değer seçilir. Yani maksimizasyon probleminde en yüksek pozitif değerli değişken, minimizasyon problemlerinde mutlak değerce en yüksek negatif değerli eleman işleme girecektir.
- 4. Adım:** Çözüm sütunundaki değerler anahtar sütunda yer alan değerlere bölünerek oranlar içerisindeki pozitif ifadeli en düşük olan değer seçilir ve o değerin bulunduğu sıra anahtar sıra olarak temel değişken sütunundaki değişken de işlemde çıkarılır. Anahtar sıra ve anahtar sütunun kesiştiği değer anahtar sayı (pivot) olarak ifade edilir.
- 5. Adım:** Anahtar sayı da belirlendikten sonra yeni bir simpleks tablosu oluşturularak temel sıra dışındaki sıralar işlem görerek yeni tabloda yer alacaklardır. Yeni sıraların bulunmasında şu formül kullanılacaktır:

$$\text{yeni sıra elemanı} = \text{eski sıra elemanı} - (\text{temel sayı} * \text{temel sıra elemanı})$$

Temel sayı; anahtar sayının bulunduğu sütunda $C_j - Z_j$ ve Z_j elemanları dışında yer alan elemanlardır.

6. **Adım:** Problemin optimal sonuca ulaşım ulaşmadığı $C_j - Z_j$ satırına bakılarak anlaşılır. Maksimizasyon amaçlı problemlerde $C_j - Z_j$ satırındaki değerler sıfır veya sıfırdan küçük, minimizasyon amaçlı problemlerde $C_j - Z_j$ satırındaki değerler sıfır veya sıfırdan büyük değerler olmalıdır.
7. **Adım:** Problem optimal çözüme ulaşılmamışsa 2-5 arası adımlarda yapılan işlemler tekrarlanarak optimal çözüm aranır.

Tablo 2.1: Simpleks Başlangıç Temel Tablosu

Amaç Katsayısı	Temel	C_j	C_{ij}	0	+M	-M	0	Çözüm	Oran
	Satır Sütun	→	X_{ij}	v	A	A	S		
	A S								
		Z_j $C_j - Z_j$							

Bir doğrusal programlama probleminin simpleks yöntem ile çözülebilmesi için problem aşağıdaki özelliklere sahip standart biçime dönüştürülmelidir (Taha, 2017, s.68):

1. Tüm değişkenler sıfır ya da pozitif olmalıdır ($X_{ij} \geq 0$).
2. $X_{ij} \geq 0$ kısıtı dışındaki tüm kısıtlar, pozitif olan sait sağ taraf değerlerine sahip eşitlikler halini almalıdırlar.
3. Problemin amaç fonksiyonu maksimizasyonu ya da minimizasyonu ifade edebilir.
4. Eklenen artık, aylak ve yapay değişkenlerin tümünün ya da bir bölümünün katsayıları, kısıt sayısı boyutunda bir birim matris oluşturmalıdır.

Doğrusal programlama problemleri simpleks yöntemle çözümlenirken bazı sorun ve bozulmalar ile karşılaşılabilir (Öztürk, 2016, s. 153):

- Anahtar sıranın seçiminde,
- Çözüm işlemlerinde bir veya daha fazla değişkenin çözüm değeri sıfır olması halinde çözüm bozulan çözüm durumundadır.
- Simpleks tekrarlama işlemlerinde bir döngüye girer ki, optimal çözüme ulaşmadan aynı işlemler sürekli olarak tekrar edilir. Döngü denen bu tip problemlere nadir rastlanır.

Bazı doğrusal programlama problemlerinde amaç fonksiyonunun değeri belirsiz şekilde artarsa problemin sınırsız çözümü var demektir. Maksimizasyon amaçlı problemlerde $C_j - Z_j$ satırında işleme girecek olan pivot sütunundaki tüm elemanlar negatif değerli veya sıfıra eşit, minimizasyon amaçlı problemlerde $C_j - Z_j$ satırında işleme girecek olan pivot sütunundaki tüm elemanlar negatif değerli veya sıfıra eşit olduğu durumlar çözüm sınırsız çözümdür. Genellikle ortaya sınırsız bir çözüm çıkarsa bu doğrusal programlama probleminin formülleştirilmesinde yanlışlık yapıldığı anlamına gelebilir (Öztürk, 2016, s.168).

2.2. Ulaştırma Problemi Modeli

Ulaştırma modeli doğrusal programlamanın özel bir yöntemi olup, organizasyonların veya işletmelerin üretim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan ürünlerin dağıtım konusunda genellikle başvurdukları bir tekniktir. Bundan ötürü ulaştırma modelleri hakkında teorik bilgilere yer verilmek istenmiştir.

2.2.1. Ulaştırma Modelinin Tanımı ve Tarihçesi

Doğrusal programlama modeli genel olarak en iyi dağıtım programını amaçlarken, özel bir türü olan ulaştırma modeli ise üretilen ürünü tüketim merkezlerine ulaştırmada toplam maliyeti minimum yapan en uygun ulaşım modelini ve şebekesini belirler (Sarıaslan vd., 2017, s. 279).

Belirli sayıda kaynaktan üretilen malların belirli hedeflere minimum maliyetle gönderilmesi ile ilgilenen ulaştırma modellerinde asıl amaç üretilen ürünlerin dağıtım merkezlerine minimum maliyetle ulaştırılmasıdır (Öztürk, 2016, s. 425). Yani hedefin talebi ile kaynaklardaki arz miktarını dengede tutarken modelde uyulması gereken güzergâhtaki taşıma maliyeti ile taşıma miktarının doğru orantılı olduğu varsayılan ürünün kaynaktan hedefe yapılan ulaştırma maliyetini en az yapacak taşıma miktarını belirlemektir (Taha, 2017, s. 163).

Ulaştırma modelinde; üretilen ürünlerin, birden fazla bulunan çeşitli üretim (arz) merkezlerinden, birden fazla bulunan çeşitli tüketim (talep) merkezlerine dağıtım yapılmak istendiğinde toplam ulaştırma veya dağıtım maliyetlerini en aza indirmesi amacıyla hangi arz merkezinden hangi talep merkezine ne oranda ürünün gönderilmesi gerektiği probleminin en uygun dağıtım yolunu gösterir.

Ulaştırma modeli sadece ürünlerin bir yerden farklı bir yere taşınması problemlerinde kullanılmaz. Stok kontrolü, işgücü programlama, personel atama gibi alanlarda kullanılan ulaştırma modeli (Taha, 2017, s. 163) aşağıda belirtilen alanlarda da sıkça kullanılabilir (Öztürk, 2016, s. 424):

- Üretim ve tüketim merkezleri arasında optimal mal dağıtımının belirlenmesinde,
- İşlerin makinelerle dağıtım konusunda,

- Üretim planlaması yapımında,
- Farklı network problemlerinde,
- İşletmelerin kuruluş yeri seçimlerinde gibi.

1939 yılında L.V. Kantorovich yaptığı bir çalışmada, ürünlerin üretimi aşamasında yapılan işlerin makinelere dağıtımı yapılırken ulaştırma modelinin temel yapısını baz almıştır. Kantorovich'in bu çalışmasında maliyetler, işlere ve makinelere yapılan dağılımlara göre değişmektedir. Sonrasında 1942 yılında Rus matematikçi Kantorovich yaptığı ilk çalışmanın matematiksel modellemesini yapmış ve 1948 yılında ise M.K. Gavurin ile birlikte bu çalışmanın uygulamasını içeren bir çalışma yayınlamıştır. Bu yapılan çalışma ulaştırma modeli yapısının en basit halini yansıtmaktadır. Bu sebeple Kantorovich'in yapmış olduğu bu çalışma ulaştırma modelinin tarihteki ilk çalışması olarak bilinmektedir (Dantzig, 1963, s. 299).

1941 yılında Frank L. Hitchcock günümüzdeki ulaştırma modelinin temel formunu ilk kez, bir petrol enstitüsünde yapılan “Üretimin Belirli Sayıdaki Üretim Kaynağından Çok Sayıdaki Merkezlere Dağıtım” isimli, simpleks yönteminin ilk işaretlerini gösteren bir çalışmada formüle edilmiştir. Fakat bu formülasyon ulaştırma probleminin başlangıç çözümüne ulaştıktan sonra tıkanıdığı için çok rağbet görmemiştir. 1947 yılında yani II. Dünya Savaşı'nın yapıldığı yıllarda Tjalling C. Koopmans savaş tecrübelerine dayanarak yazdığı “Ulaştırma Sisteminin Optimum Kullanımı” adlı makale yazmıştır ve bu makale Hitchcock'un çalışmasıyla birbirini tamamlayıcı nitelikte olmuştur. Bu sebeple ulaştırma modeli genellikle “Hitchcock – Koopmans Ulaştırma Problemi” olarak bilinmektedir. (Dantzig, 1963, s.299-300).

Ulaştırma modeli problemlerinde çözüm işlemine başlanırken temel çözüm yöntemleri ve en uygun çözüme ulaşmak için optimal çözüm yöntemleri kullanılır. 1953 yılında A. Charnes ve W.W. Cooper ulaştırma modelinin başlangıç çözümlerinden olan “Kuzeybatı Köşe Yöntemi (North-West Corner)”ni ve optimal çözüm yönteminden “Atlama Taşı Yöntemi (Stepping Stone)”ni geliştirmişlerdir. 1954'te ulaştırma modelinin bazı eksik noktaları A. Henderson ve R. Schlaifer tarafından tamamlanmıştır. 1955'te R.O. Ferguson ulaştırma modelinin optimal çözümü yöntemleri üzerinde çalışarak “Basitleştirilmiş Dağıtım Yöntemi-MODI (MODified DIstribution)”ni geliştirmiştir. Aynı zamanda, W.R. Vogel ve Russel temel çözüm yöntemlerinden olan “Vogel Yaklaşım Yöntemi-VAM (Vogel's Approximation Method)” ve “Russel Yaklaşım Yöntemi-RAM (Russel's Approximation Method)” yöntemlerini ayrı ayrı geliştirmişlerdir. Ünlü matematikçi G.B. Dantzing ise 1963 yılında, ulaştırma modelinde oluşabilecek bozulma durumlarını ve bu bozulma durumlarını ortadan kaldıracak çözüm yöntemlerini geliştirmiştir. (Render ve Stair, 1992, s.212).

Chen ve Wang (1997), Balakrishan, Natarajan ve Pangburn (2000), Ergülen (2005), Ulucan ve Tarım (1997) ürünlerin dağıtım ile ilgili problemlerde amaçları maliyet minimizasyonu olan çalışmalar yapmışlardır (Özkan, 2012, s.22-23).

Üçüncüoğlu'nun (1994) karayollarında yapmış olduğu bir çalışmada da ulaştırma maliyetlerinin minimizasyonu üzerinde durulmuştur.

Ulaştırma modelini kullanarak; Delibaş (1987) bir şeker fabrikasında yaptığı bir çalışmada, Karadağ (1991) Türkiye Kömür İşletmelerinde yaptığı bir çalışmasında, Analı (1999) Türk Tekstil sektöründeki dış ticaret sermaye şirketlerinin ihracatında, Çakanel (2008) bir tekstil işletmesinde yapmış olduğu çalışmasında ve Şen (2015) yaptığı bir çalışmasında minimum maliyetle optimum dağıtımın nasıl olacağını incelemişlerdir.

Yıldız (2002) ve Kulu (2006) yapmış oldukları çalışmalarda ulaştırma modelini kullanarak lojistik planlamasında etkin dağıtım planları oluşturmuşlardır.

Ahmed (2017) bir mobilya firmasında yapmış olduğu çalışmada, Polat (2018) ise çimento sektöründe yapmış olduğu bir çalışmasında ulaştırma modeli ile hedef programlama yöntemlerini bir arada kullanarak minimum maliyetle optimum dağıtım planını incelemişlerdir.

2.2.2. Ulaştırma Modelinin Matematiksel İfadesi

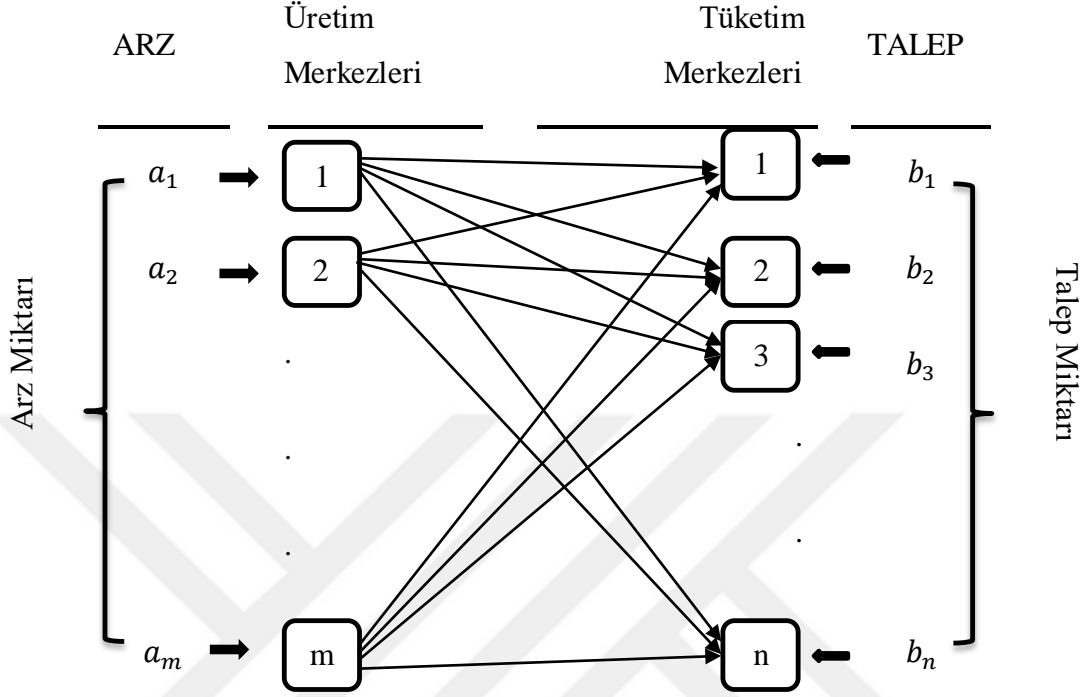
Ulaştırma modeli doğrusal programlama modelinin alt alanı olduğu için doğrusal programlamada aranan şartlar aranmaktadır ve aynı varsayımlar ulaştırma modeli için de geçerlidir. Fakat ulaştırma modeline özgü bazı varsayımlar vardır. Bunlar maddeler halinde açıklanmıştır (Tor, 1991, s.46):

- Bütün faaliyet düzeylerinin tek tip cins ile ifade edilmesi gerekir.
- Üretim merkezi kapasitelerinin ile boşaltma merkezi kapasitelerinin birbirine eşit olması gerekir.
- Boşaltma merkezlerinden ve üretim merkezlerine taşıma işlemi yapılamaz.
- Kısıtlayıcılarda yer alan karar değişkenlerinin katsayılarının bir veya sıfır olması ya da buna indirgenmesi gerekir.

“m” adet üretim merkezi ve “n” adet tüketim merkezi olan bir ulaştırma probleminin çözümü yapılırken üretim ve tüketim merkezleri arasındaki rotaları i ve j bağlantıları ifade ettiği takdirde i üretim merkezlerinden j tüketim merkezlerine ürün dağıtımı yapılırken C_{ij} birim taşıma maliyeti ve X_{ij} taşıma miktarına ihtiyaç vardır. i kaynağının arz miktarı a_i , tüketim merkezinin talep ettiği ürün miktarı b_j olan bir ulaştırma probleminde amaç tüm arz ve talep kısıtlarını sağlayan toplam taşıma maliyetini minimum kılan X_{ij} miktarını belirlemektir. Üretim merkezi müşteriye en fazla a_i ürünü ($i = 1, 2, \dots, m$) kadar ürün sunabilir ve tüketim merkezi de üreticiden b_j ürünü ($j = 1, 2, \dots, n$) kadar ürün talep edebilir. $a_i, b_j \geq 0$ ve sabit katsayılarıdır. Üretim merkezinden tüketim merkezine gönderilen ürünün birim maliyetini C_{ij} ve problemin

karar değişkenlerini yani ne kadar ürün gönderileceğini ise X_{ij} ifadeleri göstermektedir. Bu bağlamda ulaştırma modelinin temel yapısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Şekil 2.1: Ulaştırma Modelinin Temel Yapısı



Bu şekildeki kaynaklar ve hedefler olmak üzere iki bölümden oluşan bir şebekeye iki bölümlü şebeke denmektedir. Şebekedeki düğümler (üretim merkezlerini “ \boxed{m} ” ve tüketim merkezlerini “ \boxed{n} ” gösteren kutucuklar) oklarla birbirlerine bağlanmıştır. Burada her bir ok arz ve talep arasında dağıtım yapılabileceğini ifade etmektedir. Ayrıca her bir ok taşıma maliyetlerini ve dağıtımın yönünü de belirtmektedir (Görkey, 2009, s.12).

Ulaştırma probleminin çözümünde kullanılacak olan ve yukarıda açıklaması yapılmış olan ifadeleri kısaca özetlemek gerekirse;

m = Üretim merkezi sayısı ($i = 1, 2, \dots, m$)

n = Tüketim merkezi sayısı ($j = 1, 2, \dots, n$)

C_{ij} = i üretim merkezinden j tüketim merkezine gönderilecek olan ürünlerin taşınmasında katlanılacak olan birim maliyet

X_{ij} = i üretim merkezinden j tüketim merkezine gönderilecek olan ürünlerin miktarı

a_i = i arz merkezinin üretim kapasitesi

b_{ij} = j talep merkezinin talepte bulunduğu miktarı

göstermektedir.

Ulaştırma modellerinin çözümünde ilk aşama olarak ulaştırma tablosu hazırlanmalıdır. Kullanım amacı ise simpleks tablosu ile aynı olan ulaştırma modeli tablosu, probleme ilişkin verilerin bir arada görülmesini sağlayarak problemi çözmeye ve problemin kısıtlarını oluşturmada kolaylık sağlayacaktır (Levin and Kirkpatrick, s.312). Bu durumda i üretim merkezinden j tüketim merkezine taşınan X_{ij} ürünleri ulaştırma modeli tablosunda Tablo 2.2.'de görüldüğü gibi yer alırlar:

Tablo 2.2: Ulaştırma Modelinin Temel Tablosu

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	1	2	3	.	.	n	ARZ
1	C_{11} X_{11}	C_{12} X_{12}	C_{13} X_{13}	.	.	C_{1n} X_{1n}	a_1
2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}	C_{23} X_{23}	.	.	C_{2n} X_{2n}	a_2
.
.
.
m	C_{m1} X_{m1}	C_{m2} X_{m2}	C_{m3} X_{m3}	.	.	C_{mn} X_{mn}	a_m
TALEP	b_1	b_2	b_3	.	.	b_n	$a_1 + \dots + a_m =$ $b_1 + \dots + b_n$

C_{ij}
X_{ij}

Tabloda bulunan her özel kutucuğa “göze” veya “hücre” ismi verilir. Her hücre (i) 'inci arz merkezinden, (j) 'inci talep merkezine ulaştırılacak olan X_{ij} ürün miktarına

ve bir birim ürünü ulaştırmak için katlanılması gereken birim maliyete C_{ij} değerlerine sahiptir (Kotaman, 1998, s.7).

Doğrusal programlama modelinin özel bir türü olan ulaştırma problemlerinde de çözüme gidebilmek için üç aşamayı iyi tanımlamak gerekir. Bunlar (Kabak, 2000);

1. Amaç Fonksiyonu
2. Kısıtlılıklar
 - Arz Kısıtları
 - Talep Kısıtları
3. Pozitiflik Koşulu

olarak sınıflandırılmıştır.

1. Amaç Fonksiyonu: Problemden ulaşılmak istenen amaç doğrusal bir fonksiyonla ifade edilebilir. Belirlenen bu doğrusal amaç fonksiyonu maksimizasyon veya minimizasyon problemlerine uygulanabilir. Z Amaç fonksiyonunu ifade ederse $m \cdot n$ tane değişkenden oluşturulmalıdır:

$$Z = C_{11} * X_{11} + C_{12} * X_{12} + C_{13} * X_{13} + \dots + C_{1n} * X_{1n} + C_{21} * X_{21} + C_{22} * X_{22} + C_{23} * X_{23} + \dots + C_{2n} * X_{2n} + C_{m1} * X_{m1} + C_{m2} * X_{m2} + C_{m3} * X_{m3} + \dots + C_{mn} * X_{mn}$$

Genel matematiksel ifadesi ise (Bronson,1982, s.70):

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

2. Kısıtlılıklar: m adet üretim merkezi ve n adet tüketim merkezi olan bir problemde $m+n$ adet toplam kısıt olmalıdır.

- **Arz Kısıtı:** Üretim merkezinden tüketim merkezine gönderilecek ürün miktarının, işletmenin üretim kapasitesini aşmaması gerektiği arz kısıtları ile gösterilir ve m adet kısıt olmalıdır.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{1n} \leq a_1$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + \dots + X_{2n} \leq a_2$$

.....

.....

.....

$$X_{m1} + X_{m2} + X_{m3} + \dots + X_{mn} \leq a_m$$

Genel matematiksel ifadesi ise (Bronson,1982, s.70):

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

şeklindedir.

- **Talep Kısıtı:** Her talebin karşılanması gerekliliği talep kısıtı ile gösterilir ve n adet kısıt olmalıdır.

$$X_{11} + X_{21} + \dots + X_{m1} \geq b_1$$

$$X_{12} + X_{22} + \dots + X_{m2} \geq b_2$$

$$X_{13} + X_{23} + \dots + X_{m3} \geq b_3$$

.....

.....

.....

$$X_{1n} + X_{2n} + \dots + X_{mn} \geq b_n$$

Genel matematiksel ifadesi ise (Bronson,1982, s.70):

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

şeklindedir.

- 3. Pozitiflik Koşulu:** Üretim merkezinden tüketim merkezlerine gönderilen ürünler negatif değer alamaz.

$$X_{ij} \geq 0 \quad (i = 1,2, \dots, m), (j = 1,2,3, \dots, n)$$

Ulaştırma probleminin uygun bir çözümü varsa toplam arz toplam talepten çok olamaz. Yani (Öztürk, 2016, s.428):

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

şeklinde uygun çözümü olan bir problemin karar değişkenleri (X_{ij}) tam sayılı bir değer alması gerekir. Çünkü tam sayılı bir değer almazsa değişkenler, bu modelin fazla bir kullanımı olmaz. Yani a_i ve b_j ifadelerinin tüm değerleri tam sayı ve her bir karar değişkenlerinin değerleri (X_{ij}) tam sayılı bir değer ise bu problemin en az bir uygun çözümü vardır diyebiliriz.

2.2.3. Ulaştırma Modelinin Çözüm Tekniği ve Şartları

Bir ulaştırma problemini çözümleyebilmek amacıyla temelde iki aşamadan oluşan yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar başlangıç çözümü yapabilmek adına oluşturulan ve optimal çözüme ulaşabilmek için oluşturulan yöntemlerdir. Bu çalışmada başlangıç çözüm yöntemlerinden; Kuzeybatı köşe yöntemi, En az maliyetli hücreler yöntemi, Vogel Yaklaşım Metodu(VAM) ve Russell Yaklaşım Metodu (RAM) yöntemleri, optimal çözüm yöntemlerinden; Atlama Taşı ve MODI (MODified DIstrubution) metodlarına değinilecektir.

Herhangi bir ulaştırma probleminin çözümü için ilk olarak ulaştırma tablosu hazırlanır ve başlangıç çözüm yöntemlerinden hangisi kullanılacaksa o yöntemin şartlarına göre birim maliyetler ve tanımlanan karar değişkenleri tabloya işlenir. (James vd., 1975, s.108-109).

Ulaştırma probleminin çözümü için hazırlanan ulaştırma tablosunda dikkat edilmesi gereken iki koşul vardır. Bunlar ulaştırma modelinin dengeli ve $m+n-1$ kuralına uygun şekilde hazırlanmış olması gerekmektedir.

Genel ulaştırma modellerinde, arz ve talep miktarının birbirine eşit olduğu varsayılır ve bu duruma dengeli ulaştırma problemi denir. Dengeli bir ulaştırma modeli şu şekilde gösterilir (Öztürk, 2016, s.428):

$$\sum_{j=1}^n b_j = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m X_{ij} \right) = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n X_{ij} \right) = \sum_{i=1}^m a_i$$

Tablodaki arz ve talep toplamlarının eşitliği kontrol edilir. Eğer toplam arz ve toplam talep arasında bir eşitlik bulunmuyorsa, problemin çözümünün yapılabilmesi için tabloya eklenecek kukla faaliyetlerle arz ve talep eşitliği sağlanarak model dengeli duruma getirilir. Mesela toplam arz miktarı toplam talep miktarından fazla ise problemi dengeye getirmek için fazla olan miktarı yani

$$\left(\sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \right)$$

olan kadar fazlalığı eritmek için tüketim merkezine kukla bir tüketim merkezi yani tabloya fazladan bir sütun eklenmelidir. Kukla merkeze gerçekte hiç ürün gönderilemeyeceği için üretim merkezlerinden kukla merkeze götürülecek olan ürünlerin birim maliyetleri sıfır olarak alınır. Tabi bu durumun tam tersi ihtimal de gerçekleşebilir yani problemde talep fazlası olabilir. Bu sefer de fazla olan talep miktarı yani

$$\left(\sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i \right)$$

kadar talebi karşılayabilmek adına üretim merkezine kukla bir üretim merkezi yani tabloya ek bir satır eklenmelidir. Gerçek durumda herhangi bir tüketim merkezi bu kukla merkezden ürün alamayacağı için bu satıra yerleştirilen ürünlerin birim maliyetleri sıfır olmalıdır.

Herhangi bir ulaştırma probleminde optimal çözümü bulma yolunda çözümdeki dolu hücrelerin sayısı, tablodaki satır ve sütun sayısı toplamının bir eksiğine eşit olması kuralı vardır. Bu kurala uymayan çözümlere bozulma denir. Yani ulaştırma modeli tablosuna m satır sayısını (üretim merkezlerini), n de sütun sayısını (tüketim merkezlerini) göstermektedir. Tabloya veriler işlenirken tabloda kullanılan gözeler arz ve talep kısıtlarının toplamından bir eksik ($m+n-1$) olmalıdır. Çünkü " $m+n$ sayıdaki

kısıtlayıcılardan biri keyfidir. Problem $m+n$ sayıda değişkenli ve çözümdeki dağıtım işlemi $m+n-1$ sayıdaki hücreye yapıldı ise çözüm temel olduğu gibi $m+n-1$ sayıda değişkeni de vardır (Öztürk,2016, s.454).” Eğer bu şart sağlanmıyorsa gerekli düzenleme yapıp gözeler dağıtım işlemi tekrarlanmalıdır.

Bir ulaştırma probleminin çözümünde, belirli çözüm aşamasından sonra çözüm tabloları periyodik olarak tekrarlanır veya optimal çözüme ulaşmadan önce aynı sonuçların defalarca bulunması durumuna bozulma denir. Bozulma durumu işlemlerde yapılan matematiksel hata ve problemin tipinden oluşan hata olarak iki sebebi olabilir (Kabak, 2000, s.17).

İşlemlerde oluşan hata, işlemlerin gözden geçirilmesi ve hatanın bulunup düzeltilmesiyle giderilir.

Problem tipinden oluşan hata, başlangıç çözümde kullanılan hücrelerin (KH) sayısının $m+n-1$ 'den farklı olmasından kaynaklanır ve bu kullanılan hücrelerin sayısının $m+n-1$ 'den büyük olması, kullanılan hücrelerin sayısının $m+n-1$ den küçük olması şeklinde iki durumda ortaya çıkar.

KH > m+n-1 olması durumu:

Bu durum ulaştırma probleminin başlangıç çözümünün belirlenmesinde görülebilir. Bunun nedeni ise ilk temel çözümün yanlış belirlenmesinden kaynaklanır. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan çözümün optimalliğini belirlemek ya da buna bağlı olarak optimal çözümü bulma mümkün değildir. Çözüm olarak başlangıç çözüm tablosunda $KH=m+n-1$ ya da $KH < m+n-1$ gibi çözümü olası bir yeni tablo oluşturmak gerekir.

KH < m+n-1 olması durumu:

Bu durumda dolu hücre sayısı, işlemler için yetersiz kalmaktadır. Bu tür bozulma, ‘başlangıç dağıtım planında’ veya ‘çözümün herhangi bir kademesinde’ rastlanılabilir. Bu şekilde bozulma durumu genelde arz ve talep kısıtlarının birbirine eşit olmasından kaynaklanır. Gereksinim duyulan bir dolu hücre elde etmek için tablonun kısıtlarını etkilemeyecek bir hücreye C ile temsil edilen küçük bir atama değeri konulur. C çok küçük ama sıfırdan büyük bir değerdir. C çözüm aşamalarında yer değiştirebilir. Ancak uygun hücreye konursa yer değişimi önlenir ve çözüm aşamalarında kısıtlanma sağlanabilir.

Ulaştırma problemini çözmede doğrusal programlama problemlerinde kullanılan simpleks yöntem uygulanırsa problemi dengelemeye ve $m+n-1$ durumunu sağlamaya ihtiyaç yoktur.

Ulaştırma problemlerinin çözümünü kolaylaştırmak amacıyla ulaştırma modellerinde kullanılan kavramlar ve çözüm aşamaları geliştirilmiştir. Bunlar kavramlar ve çözüm aşamaları şeklinde gruplandırılmıştır.

Kavramlar (Kabak, 2000, s.11):

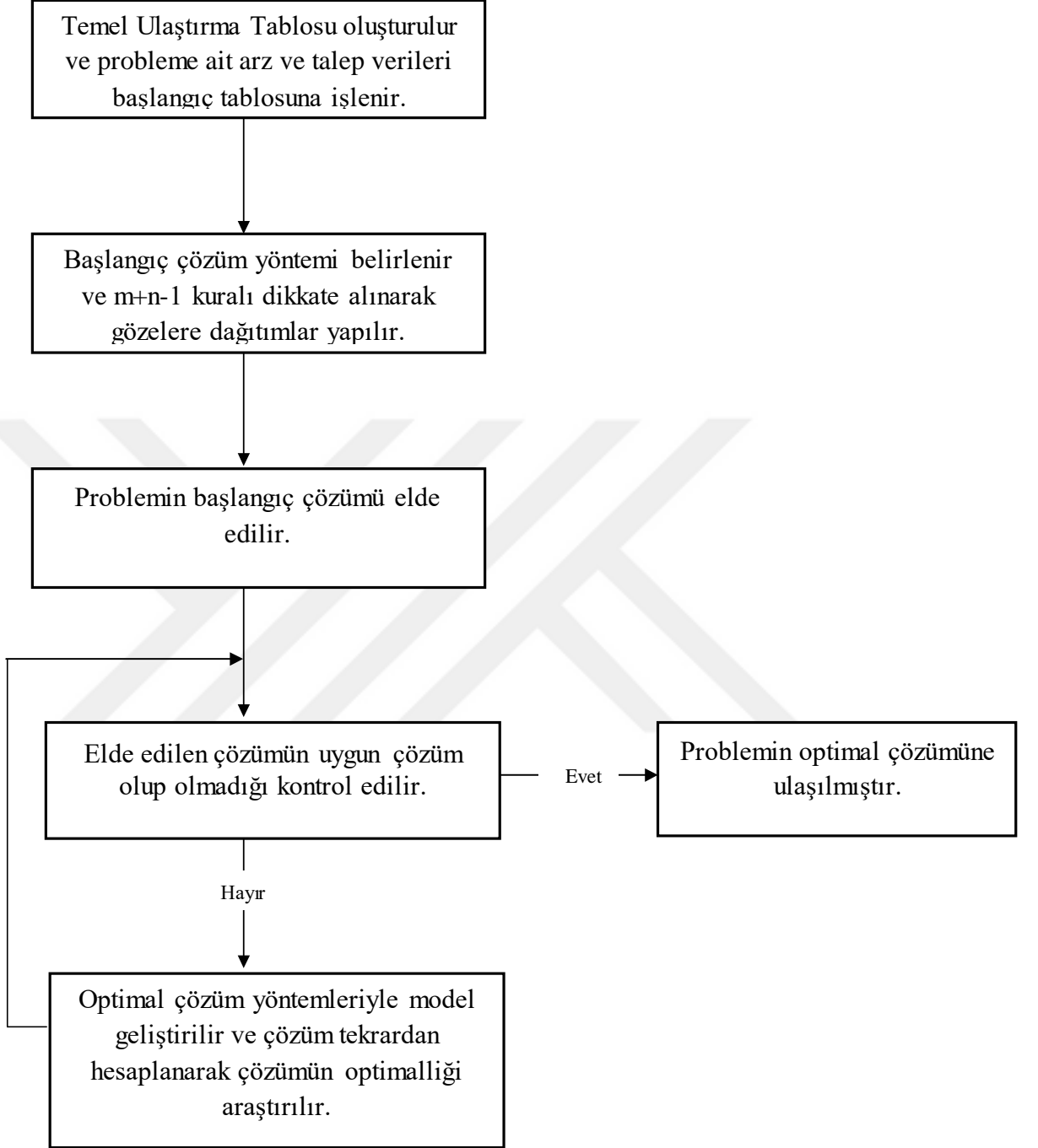
- *Çözüm*, Ulaştırma modelinde arz ve talep kısıtlarını sağlayan herhangi bir $X_{ij} = X_{11}, X_{12}, \dots, X_{mn}$ ($i = 1, 2, \dots, m$) ($j = 1, 2, \dots, n$) vektörünü ifade eder.
- *Kabul edilebilir çözüm*, çözüm aşamasında problem arz ve talep kısıtlarının yanında pozitiflik şartının da sağlanmış olmasını ifade eder.
- *Temel kabul edilebilir çözüm*, Eğer kabul edilebilir çözümdeki temel değişkenlerin (değer alan karar değişkenlerinin) sayısının arz ve talep kısıtlarının toplamından bir eksik göze ($M + N - 1$) kullanıldığının ifadesidir.
- *En iyi çözüm* ise, temel kabul edilebilir çözümler arasında amaç fonksiyonunu optimalleştiren çözümü ifade eder.

Çözüm aşamaları (Doğan,1995, s.83):

1. İlk adım olarak ulaştırma tablosu oluşturulmalıdır ve probleme ait arz ve talep verileri başlangıç tablosuna işlenmelidir.
2. Optimal çözümün elde edilebilmesi için belirlenen başlangıç çözüm yöntemi kurallarına göre satır ve sütun gereklerini birer şart sayarak gerekli dağıtım işlemi yapılmalıdır.
3. Program işletilir ve başlangıç çözümü elde edilir.
4. Üçüncü adımda elde edilen çözümün optimal olup olmadığı kontrol edilir. Temel olmayan değişkenler arasından temel değişken olarak girecek değişken belirlenir.
5. Çözüm optimal değilse optimal çözüm yöntemleriyle model geliştirilir yani temel değişkenler arasında çözümü bırakılacak olan değişkenler belirlenerek yeni temel çözüm bulunur.
6. Üçüncü ve dördüncü adımlar optimal çözüm bulununcaya dek tekrarlanır.

Bu ulaştırma modelinin algoritmasının daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 2.2’de adım adım çözümlenmesi gösterilmiştir.

Şekil 2.2:Ulaştırma Modelinin Çözüm Aşamaları



2.2.4. Başlangıç Çözüm Yöntemleri

Ulaştırma problemlerinin çözümünde modele $m \cdot n$ miktarı kadar değişken eklemek gerekmektedir fakat bu işlem problemin çözümü için fazla zaman ve maliyet kullanımına neden olur. Bu sebeple ulaştırma problemlerinin çözümü için zaman ve maliyeti iyi değerlendirebilmek adına daha etkili yöntemler geliştirilmiştir (Hallaç, 1978, s.554). Problemden optimum çözüme gitmek için başvurulabilecek bazı başlangıç çözüm yöntemleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Kuzeybatı Köşe Yöntemi
2. En Az Maliyetli Hücreler Yöntemi
3. Vogel Yaklaşım (VAM) Yöntemi
4. Russell Yaklaşım (RAM) Yöntemi

2.2.4.1. Kuzeybatı Köşe Yöntemi

İncelenecek olan başlangıç çözüm yöntemlerinden kuzeybatı köşe yöntemi ile çözüme başlarken, ulaştırma tablosunun sol üst hücresine (X_{11}) atama yapılarak çözüme başlanır. X_{11} hücresine yapılacak olan dağıtım miktarı, sıra (a_1) ve sütun (b_1) dan hangisi küçükse, o miktar kadar X_{11} hücresine atama yapılarak dağıtılacak olan arz miktarından veya karşılanacak talep miktarlarından hangisi tamamen doyurulur ise o satır veya sütunun üzeri çizilir. Mesela $b_1 < a_1$ durumu mevcut ise birinci tüketim merkezinin talebi doyurulmuş olarak o sütunun üzeri çizilir ve geriye kalan sunum miktarı X_{12} hücresinin talebini karşılayabileceği kadar atama yapılır. Kısacası işlem yapılan satırdaki arz miktarı dağıtılmadan alt satıra geçilemez. Eğer $b_1 > a_1$ durumu var ise arz merkezinin dağıtımını yapılmış olarak doyurulmuş olan o satırın üzeri çizilir ve geriye kalan talep miktarı X_{21} hücresinin arz miktarının karşılayabileceği kadar o hücreye atama yapılabilir. Kısacası işlem yapılan sütundaki talep miktarı karşılanmadan sağ taraftaki ikinci sütuna geçilemez. Böylelikle her defasında üzeri çizilen sıra veya sütunun üzeri çizilerek ve her sıra (arz) ve sütun (talep) kısıtları sağlanarak tüm atamalar yapılır. Üzeri çizilen satır veya sütunlara tekrardan atama yapılamaz.

Sarıslan ve diğerlerinin (2017, s. 283) kuzeybatı köşe yöntemini kullanabilmek için geliştirdikleri aşamalar:

1. Hazır olan ve verileri işlenmiş olan ulaştırma tablosunun kuzeybatı köşesinden başlanılarak arz ve talep koşullarına göre bu hücreye yapılabilecek en yüksek atama yapılmalıdır.
2. Talep koşullarını göz önünde bulundurarak bir sıranın arz miktarı karşılanmadan onu izleyen sıraya geçilmemelidir.
3. Bir sütundaki talep karşılanmadıkça bitişik sütuna geçilmemelidir.
4. Sıra ve sütun koşullarının karşılanıp karşılanmadığını kontrol edilmelidir.
5. Bulunan ilk temel çözümde kullanılan (sayısal değer alan) kareler bir merdiven basamağı görüntüsü almalıdır.

6. Temel çözüm için kullanılan karelerin sayısı kısıtlılık (arz ve talep) karelerinin toplamının bir eksiğine eşit olmalıdır. Yani $m+n-1$ koşulu sağlanmalıdır.

Bu kurallar; talep miktarı, arz miktarından büyük ($b_1 > a_1$), talep miktarı, arz miktarından büyük ($b_1 < a_1$) ve arz miktarı talep miktarına eşit ($b_1 = a_1$) olduğu durumlarda şu şekilde uygulanır:

1) Talep miktarı, arz miktarından büyük ($b_1 > a_1$) ise;

a_1 satırındaki bütün arz miktarı aynı satırda bulunan X_{11} hücresine atanarak arz satırı doyurulmuş olur. Doyurulmuş olan a_1 satırı ikinci dağıtım planında kullanılamaz. Doyurulmuş arz satırı kapatılarak b_1 sütunundaki geriye kalan talebin karşılanabilmesi için X_{21} hücresine geçilerek b_1 sütununa atama yapılır ve aynı sütunundaki talep karşılanmadan diğer talep karşılanamaz.

Tablo 2.3: Kuzeybatı Köşe Yöntemi Tablosu-1

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	1	2	3	.	.	n	ARZ
1	C_{11} X_{11}	C_{12}	C_{13}	.	.	C_{1n}	a_1
2	C_{21} X_{21}	C_{22}	C_{23}	.	.	C_{2n}	a_2
.
.
.
m	C_{m1}	C_{m2}	C_{m3}	.	.	C_{mn} X_{mn}	a_m
TALEP	b_1	b_2	b_3	.	.	b_n	

2) Talep miktarı, arz miktarından küçük ($b_1 < a_1$) ise;

b_1 sütunundaki talep miktarının tamamı karşılanacak şekilde X_{11} hücresine atama yapılır ve b_1 sütunu doyurulmuş olur. Doyurulmuş olan b_1 sütunu ikinci dağıtım planında kullanılamaz. Doyurulmuş olan talep sütunu kapatılarak ikinci dağıtım planı için yani kalan a_1 miktarının dağıtımı için X_{12} hücresine geçilir. Mevcut arz satırındaki a_1 tamamen dağıtılmadan diğer arz satırları dağıtılamaz.

Tablo 2.4: Kuzeybatı Köşe Yöntemi Tablosu-2

Tüketim Merkezi \ Üretim Merkezi	1	2	3	.	.	n	ARZ
1	C_{11} $X_{11} \rightarrow X_{12}$	C_{12}	C_{13}	.	.	C_{1n}	a_1
2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	.	.	C_{2n}	a_2
.
.
.
m	C_{m1}	C_{m2}	C_{m3}	.	.	C_{mn}	a_m
TALEP	b_1	b_2	b_3	.	.	b_n	

3) Talep miktarı ile arz miktarı eşit ($b_1 = a_1$) ise;

b_1 sütunundaki talep miktarının ve a_1 satırındaki arz miktarının tamamı karşılanarak X_{11} hücresine b_1 ve a_1 miktarları kadar atama yapılır. Doyurulmuş olan arz ve talep sütunları kapatılarak ikinci dağıtım planında kullanılması engellenir. İkinci dağıtım planında ise kapatılan sıra ve sütunlar dikkate alınmadan tablonun kuzeybatı köşesinden yani X_{22} hücresinden başlanarak atama işlemleri yapılır. Bu atama işlemleri yapılırken yukarıda anlatılan ‘talep miktarı, arz miktarından büyük ($b_1 > a_1$), talep miktarı, arz miktarından büyük ($b_1 < a_1$) ve arz miktarı talep miktarına eşit ($b_1 = a_1$)’ göz önüne alınarak işlemler tekrarlanır.

Tablo 2.5: Kuzeybatı Köşe Yöntemi Tablosu-3

Tüketim Merkezi / Üretim Merkezi	1	2	3	.	.	n	ARZ
1	C_{11} X_{11}	C_{12}	C_{13}	.	.	C_{1n}	a_1
2	C_{21}	C_{22} X_{12}	C_{23}	.	.	C_{2n}	a_2
.
.
.
m	C_{m1}	C_{m2}	C_{m3}	.	.	C_{mn} X_{mn}	a_m
TALEP	b_1	b_2	b_3	.	.	b_n	

Bu aşamalar arz ve talep kısıtlarına uygun şekilde uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilir. Temel çözümde kullanılan hücrelerin merdiven görünüşünde olması da problemin çözümlenebilmesi için önemli bir kuraldır. Eğer ki tabloda merdiven görünümü elde edilmemişse çözümde bozulma durumu vardır. Son olarak da $m+n-1$ şartının uygunluğu kontrol edilerek başlangıç çözüm yönteminin sonuna gelinmiş olunur. Artık optimum sonuç aranmaya başlanmalıdır.

Kuzeybatı köşesi yöntemi, uygulanması basit ve verdiği başlangıç çözümü optimum sonuca pek yakın olmayan bir sonuçtur. Bu sebeple optimum çözüme ulaşmak için diğer yöntemlere göre daha çok hesaplama ve maliyetli bir dağıtım planı sunar (Öztürk, 2016, s. 432).

2.2.4.2. En Az Maliyetli Hücreler Yöntemi

Ulaştırma tablosundaki en düşük birim maliyetli kutuya mümkün olan en fazla atamayı yapmak suretiyle problemin başlangıç çözümü oluşturulmaya başlanır (Heizer ve Render, 2004, s.16). Atama yapılırken arz ve talep sütunlarındaki miktarlar göz önüne alınarak doyurulmuş olan satır veya sütunun üzeri çizilir. Ardından, iptal edilmemiş kutular içinden en düşük maliyetli hücre bulunur ve süreç bu şekilde iptal edilmeyen bir satır ya da sütun kalıncaya kadar tekrarlanır (Taha, 2017, s. 180).

Basit yapıdaki ulaştırma problemleri için hız, basitlik ve en düşük maliyetli hücrelere atama yaptığı için optimum sonuca daha yakın çözüm bulma avantajına sahip olan bu yöntemin uygulanmasında üç farklı yaklaşım söz konusu olur (Serper ve Gürsakal, 1982, s.85-89).

Sıra yaklaşımı: Başlangıç tablosunun birinci sırasındaki en küçük birim maliyetli hücreden başlanarak tahsisler yapılır. Bu işlemler ilk sıranın gerekleri karşılanıncaya kadar devam eder. İlk sıranın gerekleri karşılandığında aynı işlemler ikinci sıra için yapılır. Son sıranın gerekleri karşılanıncaya kadar işlemlere devam edilir.

Sütun yaklaşımı: Başlangıç tablosunun birinci sütunundaki en küçük maliyetli hücreye tahsis yapmakla işlemlere başlanır. İlk sütunun gerekleri karşılanıncaya kadar devam eden bu işlemler, devamında ikinci sütunun gerekleri karşılanmak üzere tekrarlanır. Son sütunun gerekleri karşılandığında işlemler son bulur.

Genel yaklaşım: Bu yaklaşımda sıra veya sütun farkı gözetilmeksizin başlangıç tablosunun bütün birim maliyetleri arasından en küçüğüne sahip hücreden başlanarak tahsisler yapılır. Bu tahsislerin yapımında sıra ve sütun kısıtlayıcılarına uyulması gerekmektedir.

En düşük maliyetli gözeler birbirlerine eşit ise bu gözelerden herhangi birine atama yapılabilir fakat amaç optimal sonuca ulaşmak olduğundan bu aşamadan sonraki adımlarda atamanın küçük maliyetli gözelerle yapılabilmesini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Ya da hangi sıra veya sütunda daha yüksek maliyetli gözeler varsa o sıra veya sütundaki hücreye yapılabilecek en yüksek atama yapılmalıdır. Ataması yapılarak doyurulan her sütun ve sıra kuzeybatı köşesi yöntemindeki gibi üzeri çizilerek kapatılır (Öztürk, 2016, s.434).

2.2.4.3. Vogel Yaklaşımı Metodu (VAM) Yöntemi

VAM yöntemi, William R. Vogel isimli matematikçinin 1958'de ileri sürüdüğü bir yöntemdir. Vogel'in ileri sürdüğü bu metod, optimum çözüme en yakın sonucu veren başlangıç çözüm yöntemlerinden biridir (Analı, 1999, s.45). Bu yöntem Vogel tarafından öne sürüldüğü için Vogel Yaklaşım Metodu-VAM (Vogel Approximation Method) olarak adlandırılmıştır.

VAM yönteminin amacı en düşük maliyetli satır veya sütuna atama yapılmazsa ceza/pişmanlık değeri yüklemektir. Yani VAM yönteminde başlangıç çözümüne ulaşmak için, ulaştırma modeli başlangıç tablosunda her bir satır ve her bir sütundaki en düşük birim maliyete sahip olan iki hücrenin hesaplanan maliyet katsayılarına ceza/pişmanlık değeri adı verilir. Bu ceza, her sütun ve satırdaki en küçük iki maliyet arasındaki farktır. Tüm sütunlar ve satırlar için cezalar bulunduktan sonra en büyük cezalı satır ya da sütun seçilerek bu satır ya da sütundaki sunum ya da isteme göre en küçük maliyetli hücreye gönderme gerçekleştirilir. En büyük ceza değeri aynı olan satır ya da sütun sayısı birden fazla ise en küçük maliyetli hücreye gönderme gerçekleştirilir (Gümüsoğlu ve Tütek, 2000, s.225).

Başlangıç çözüme ulaşabilmek amacıyla temel ulaştırma tablosu hazırlanmış olan problemin VAM yöntemi ile çözüme ulaşmak için adımlar şu şekilde belirlenebilir (Timor, 2001, s.128);

1. Ceza/pişmanlık değeri olarak isimlendirilen ve problemi çözüme ulaştıracak optimal yolun takip edilebilmesi amacıyla her satır ve her sütundaki en düşük iki birim maliyete ait hücreler seçilerek maliyetler arasındaki fark alınır. Belirlenen bu değerler yeni eklenen ilgili satır ve sütunda gösterilirler.

Tablo 2.6'da VAM yönteminin başlangıç temel ulaştırma tablosu yapısı gösterilmiştir.

Tablo 2.6: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	1	2	·	n	ARZ	Satır Ceza (Pişmanlık) Değerleri
1	C_{11}	C_{12}	·	C_{1n}	a_1	$\min 2C_{1i}$ – $\min 1C_{1i}$ = C_{1i}
2	C_{21}	C_{22}	·	C_{2n}	a_2	$\min 2C_{2i}$ – $\min 1C_{2i}$ = C_{2i}
·	·	·	·	·	·	
·	·	·	·	·	·	
·	·	·	·	·	·	
m	C_{m1}	C_{m2}	·	C_{mn}	a_i	$\min 2C_{ni}$ – $\min 1C_{ni}$ = C_{ni}
TALEP	b_1	b_2	·	b_j	Toplam a_i = Toplam b_j	
Sütun Ceza (Pişmanlık) Değerleri	$\min 2C_{1j}$ – $\min 1C_{1j}$ = C_{1j}	$\min 2C_{2j}$ – $\min 1C_{2j}$ = C_{2j}		$\min 2C_{mj}$ – $\min 1C_{mj}$ = C_{mj}		

$\min 1C_{1j}$ = Sütundaki en küçük maliyetli birinci hücreyi

$\min 2C_{1j}$ = Satırdaki en küçük maliyetli ikinci hücreyi

$\min 1C_{1i}$ = Satırdaki en küçük maliyetli birinci hücreyi

$\min 2C_{1i}$ = Satırdaki en küçük maliyetli ikinci hücreyi

$\min 1C_{2j}$ = Sütundaki en küçük maliyetli birinci hücreyi

$\min 2C_{2j}$ = Satırdaki en küçük maliyetli ikinci hücreyi

$min1C_{2i} = \text{Satırdaki en küçük maliyetli birinci hücreyi}$

$min2C_{2i} = \text{Satırdaki en küçük maliyetli ikinci hücreyi}$

$min1C_{mj} = \text{Sütundaki en küçük maliyetli birinci hücreyi}$

$min2C_{mj} = \text{Satırdaki en küçük maliyetli ikinci hücreyi}$

$min1C_{ni} = \text{Satırdaki en küçük maliyetli birinci hücreyi}$

$min2C_{ni} = \text{Satırdaki en küçük maliyetli ikinci hücreyi}$

$C_{1j} = \text{Birinci sütundaki ceza(pişmanlık)değeri}$

$C_{2j} = \text{İkinci sütundaki ceza(pişmanlık)değeri}$

$C_{nj} = \text{n'inci sütundaki ceza(pişmanlık)değeri}$

$C_{1i} = \text{Birinci satırdaki ceza(pişmanlık)değeri}$

$C_{2i} = \text{Birinci satırdaki ceza(pişmanlık)değeri}$

$C_{mi} = \text{m'inci satırdaki ceza(pişmanlık)değeri}$

şekilde ifade edilmektedir.

2. En yüksek ceza/pişmanlık değerine sahip satır veya sütun belirlenir.
3. Belirlenen en yüksek ceza/pişmanlık değerine sahip olan satır ya da sütundaki maliyeti en düşük olan hücreye, arz ve talep miktarları dikkate alınarak, mümkün olabilecek en yüksek miktardaki atama yapılır. Eğer ki aynı ceza/pişmanlık değerine sahip birden fazla satır veya sütun bulunuyor ise bu durumda en yüksek ceza/pişmanlık değerine sahip satır veya sütunlardaki en küçük birim taşıma maliyetli hücre dağıtım için seçilir ve optimal dağıtım yapılır. Aynı ceza/pişmanlık değerine sahip birden fazla satır veya sütundaki hücrelerin birim maliyetlerinde de eşitlik var ise bu sefer de en fazla yükleme en az maliyetli hücreye gelecek şekilde yapılabilmesi için arz veya talep değerine göre seçim yapılır.
4. Dozurulan satır veya sütunun üzeri çizilerek tablodan çıkarılır.
5. Satır veya sütunun tablodan çıkarılmasıyla elde edilen yeni matrise indirgenmiş matris denir ve bu indirgenmiş matristeki ceza/pişmanlık değerleri, tablodaki tüm satır ve sütunlar dozuruluncaya kadar ilk dört adım takip edilerek yeniden hesaplanır.

VAM yöntemi üçüncü kısımda işletme uygulamasıyla birlikte tekrardan gösterilecektir.

2.2.4.4. Russell Yaklaşımı Metodu Yöntemi (RAM) Yöntemi

RAM (Russell's Approximation Method) yöntemi Russell tarafından geliştirilip ulaştırma problemleri uygulamasında kullanılmaya başlanmıştır (Tekin, 1991, s.81).

VAM yöntemine benzer bir çözüm tekniği olan RAM yönteminin aşamalarını Tulunay (1982. s. 297) şu şekilde sıralamıştır:

$maxC_j = 1$ 'den n 'e kadar olan tüm sütunlar için belirlenen en yüksek birim maliyet ($j = 1, 2, \dots, n$)

$maxC_i = 1$ 'den m 'e kadar olan tüm satırlar için belirlenen en yüksek birim maliyet ($i = 1, 2, \dots, m$)

$maxC_{1j} =$ Birinci talep sütunundaki maksimum hücrenin birim maliyeti

$maxC_{2j} =$ İkinci talep sütunundaki maksimum hücrenin birim maliyeti

$maxC_{nj} =$ n ' inci talep sütunundaki maksimum hücrenin birim maliyeti

$maxC_{1i} =$ Birinci arz satırındaki maksimum hücrenin birim maliyeti

$maxC_{2i} =$ İkinci arz satırındaki maksimum hücrenin birim maliyeti

$maxC_{mi} =$ m ' inci arz satırındaki maksimum hücrenin birim maliyeti

$C_{E11} = X_{11}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin eski birim maliyeti

$C_{Y11} = X_{11}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin yeni birim maliyeti

$C_{E12} = X_{12}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin eski birim maliyeti

$C_{Y12} = X_{12}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin yeni birim maliyeti

$C_{E1n} = X_{1n}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin eski birim maliyeti

$C_{Y1n} = X_{1n}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin yeni birim maliyeti

$C_{E21} = X_{21}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin eski birim maliyeti

$C_{Y21} = X_{21}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin yeni birim maliyeti

$C_{E22} = X_{22}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin eski birim maliyeti

$C_{Y22} = X_{22}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin yeni birim maliyeti

$C_{E2n} = X_{2n}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin eski birim maliyeti

$C_{Y2n} = X_{2n}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin yeni birim maliyeti

$C_{Em1} = X_{m1}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin eski birim maliyeti

$C_{Ym1} = X_{m1}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin yeni birim maliyeti

$C_{Em2} = X_{m2}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin eski birim maliyeti

$C_{Ym2} = X_{m2}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin yeni birim maliyeti

$C_{Emn} = X_{mn}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin eski birim maliyeti

$C_{Ymn} = X_{mn}$ değişkeninin yer aldığı hücrenin yeni birim maliyeti

ifadelerine göre tablolar düzenlenmiştir.

1. Temel taşıma tablosunun en sağına bir sütun ve en altına bir satır eklenerek RAM yöntemine ait bir temel ulaştırma tablosu hazırlanır.
2. Hazırlanan ulaştırma tablosuna veriler (b_j, a_j, C_{ij}, m, n) işlendikten sonra tablodaki hücrelerde bulunan en yüksek seviyedeki birim taşıma maliyetleri, ilgili olduğu sıra veya sütuna göre yeni eklenen satır ve sütun hücrelerine Tablo2.7’de gösterildiği şekilde işlenir.

Tablo 2.7: RAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-1

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	1	2	.	N	ARZ	$maxC_i$
1	C_{11}	C_{12}	.	C_{1n}	a_1	$maxC_{1i}$
2	C_{21}	C_{22}	.	C_{2n}	a_2	$maxC_{2i}$
.
.
.
m	C_{m1}	C_{m2}	.	C_{mn}	a_i	$maxC_{mi}$
TALEP	b_1	b_2	.	b_j	$Toplam a_i = Toplam b_j$	
$maxC_j$	$maxC_{1j}$	$maxC_{2j}$.	$maxC_{nj}$		

- Her hücrenin birim taşıma maliyeti yeni eklenen ilgili satır ve sütunlarda bulunan en yüksek değerlerin toplamından çıkarılarak birim taşıma maliyetleri yeni oluşturulan ulaştırma tablosuna işlenir.

Tablo 2.8: RAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-2

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	1	2	·	n	ARZ
1	$(\max C_{1i}$ $+ \max C_{1j})$ $- C_{E11} = C_{Y11}$	$(\max C_{1i}$ $+ \max C_{2j})$ $- C_{E12} = C_{Y12}$	·	$(\max C_{1i}$ $+ \max C_{nj})$ $- C_{E1n} = C_{Y1n}$	a_1
2	$(\max C_{2i}$ $+ \max C_{1j})$ $- C_{E21} = C_{Y21}$	$(\max C_{2i}$ $+ \max C_{2j})$ $- C_{E22} = C_{Y22}$	·	$(\max C_{2i}$ $+ \max C_{nj})$ $- C_{E2n} = C_{Y2n}$	a_2
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
m	$(\max C_{mi}$ $+ \max C_{1j})$ $- C_{Em1} = C_{Ym1}$	$(\max C_{mi}$ $+ \max C_{2j})$ $- C_{Em2} = C_{Ym2}$	·	$(\max C_{mi}$ $+ \max C_{mj})$ $- C_{Emn} = C_{Ymn}$	a_i
TALEP	b_1	b_2	·	b_j	$Toplam a_i$ $= Toplam b_j$

4. Yeni oluşturulan tablodaki en yüksek maliyete sahip olan hücreye yapılabilecek en fazla atama yapılır.
5. Doyurulmuş olan satır veya sütunlar tablodan çıkarılarak 2-3 ve 4'üncü adımlar tekrar edilir.
6. Tüm satır ve sütunlar doyuruluncaya dek son 5 adım sırasıyla tekrar edilerek, problemin optimal sonuca ulaşım ulaşılmadığı MODI (2.2.3.2'de değinilecek) yöntem ile test edilebilir.

2.2.5. Ulaştırma Modelinde Optimal Çözüm Yöntemleri

Ulaştırma problemlerinde optimal çözüme ulaşma yolunda ilk olarak başlangıç çözüm yöntemleri incelenmiştir. Başlangıç çözümlerinin optimalliğini araştırmak, toplam taşıma maliyetine katkı sağlamak amacıyla, başlangıç çözümlerde atama işlemlerinde kullanılmayan herhangi bir hücreyi dağıtım programına dahil ederek yeni

optimal dağıtım elde edilebilir. Maliyeti düşürecek hücreler belirlenerek atamalar buralara yapılır (Öztürk, 2016, s. 443). Bu amaçları gerçekleştirebilmek için genellikle iki yöntem kullanılır:

- Atlama Taşı Yöntemi
- MODI (MODified DIstribution) Yöntemi

Bir ulaştırma probleminin çözümünün optimalliği, eldeki dağıtım tablosundaki boş hücelere atama yapıldığında maliyetin azalıp azalmadığıyla ilgilidir. Eğer yeni atamalar ile dağıtım modeli değişip maliyette herhangi bir değişme olmazsa optimal çözüme yaklaşılmış olunur. Eğer ki yeni atamalar ile dağıtım modeli değişip maliyetlerde de azalma gözleniyorsa optimal çözüme ulaşılmış olunur (Öztürk, 2016, s. 443).

2.2.5.1. Atlama Taşı Yöntemi

İlk olarak uygulanan herhangi bir başlangıç çözüm yönteminden sonra optimal çözüme erişmek amacıyla kullanılan bu yöntemde, çözümde olmayan her değişken için çözümde olan değişkenler kullanılarak ve saat yönünde en kısa yol takip edilerek bir yörünge çizilmesi faaliyetidir (Hoşcan, 1988, s.8).

Atlama taşı yöntemi hücreleri takip ederek yaptığı için “atlama taşı” veya “taş atlama” adını almıştır. “Temel olmayan değişkenlerin değerlendirilmesi” adı da verilen yöntemin temelinde üç aşamadan meydana gelmektedir(Ozan, 1994, s.131):

1. Temele girecek değişkenin bulunması (optimallik testi veya prensibi).
2. Temeli terk edecek değişkenin bulunması (kabul edilebilirlik prensibi veya fizibilite).
3. Optimal çözüm bulununcaya kadar ardışık işlemlere devam edilmesi.

Boş bir hücreye bir birimlik atama yapıldığında maliyette meydana gelen net değişim miktarı d_{ij} hesaplanır. Herhangi bir boş gözeye bir birim mal atandığında o gözenin bulunduğu ilgili sütun veya sıranın şartlarının yani arz ve talep miktarlarının aynen korunması gerekmektedir. Bu sebeple atama yapılan hücreden başlayarak dağıtım yapılmış dolu hücrelerin atamaları bir birim azaltılarak ve bir birim artırılarak kapalı döngü oluşturulup denge kurulmuş olunur. İlk olarak atama işlemi en düşük negatif net değişim maliyeti olan hücreden başlanılarak yapılır. Eğer boş hücrelerdeki net değişim maliyeti ($d_{ij} \geq 0$) olursa herhangi bir boş hücreye yapılacak atama maliyette bir azalma sağlamayacaktır hatta düşürülmüş olan maliyetin artma ihtimali de vardır. $d_{ij} \geq 0$ olduğu durumlarda ulaşılan çözüm optimal çözümdür, maliyet de minimum maliyettir.

d_{ij} 'lerin hesaplaması için aşağıdaki adımlar izlenir (Karayalçın, 1993, s.134):

1. d_{ij} 'si hesaplanacak boş hücre belirlenir.

2. Belirlenen boş hücreden başlanarak komşu dolu hücrelere sadece yatay ve dikey yönde 90 derecelik açı oluşturularak ilerleyerek tekrar aynı boş hücreye gelen kapalı devreler oluşturulur.
3. İşlem yapılırken seçilen boş gözenin maliyeti önüne (+) dönüş yapılan dolu gözelerin maliyetlerinin önüne sırasıyla (-),(+),(-) işaretleri konulur. X_{11}, X_{21}, X_{22} hücrelere atama yapılmış olduğunu ve optimal çözümün araştırıldığını varsayarsak X_{12} hüccresine bir birimlik atama tablodaki şekilde gösterilmiştir.

Tablo 2.9: RAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-3

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	1	2	3	.	.	n	ARZ
1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	.	.	C_{1n}	a_1
2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	.	.	C_{2n}	a_2
.
.
.
M	C_{m1}	C_{m2}	C_{m3}	.	.	C_{mn}	a_m
TALEP	b_1	b_2	b_3	.	.	b_n	$a_1 + \dots + a_m$ = $b_1 + \dots + b_n$

X_{12} hüccresinden başlanıp bir birimlik atama yapılarak 90 derecelik açılarla saat yönünde ilerleyişi dolu hücceleri nasıl etkilediği gösterilmiştir.

4. İşleme giren hüccelere ait maliyetler (C_{ij}) işaretleri dikkate alınarak toplanır. Bu işlem boş hüccenin d_{ij} maliyetlerini verir. d_{ij} maliyetleri üç durumda olabilir:
 $d_{ij} > 0$ ise, boş gözenin doldurulması toplam maliyeti arttırdığı için boş hüccenin boş kalmasına karar verilir.

$d_{ij} < 0$ ise, boş hücreye atama yapılması toplam maliyeti azaltacağından, o hücrenin bulunduğu satır ve sütun miktarı aynı kalacak şekilde boş hücreye atama yapılmasına karar verilir. Boş hücreye atama yapıldığında, optimal miktar, d_{ij} hesaplanırken kapalı döngü içerisindeki negatif işaretlenen gözelerdeki en küçük miktardır. Bu miktar çevrim maliyetlerine (+) işaret konulan gözelerle ilave edilir, maliyetlerine (-) konulan gözelerde eksiltir. Böylece satır ve kolon toplam miktarlarının değişmemesi sağlanmış olur.

$d_{ij} = 0$ ise, boş gözeye ürün dağıtım yapılması maliyeti değiştirmeyecektir. Fakat bu durum dağıtım planı için alternatifler olduğunu gösterir.

5. Her boş hücrenin gizli maliyeti (d_{ij}) hesaplanmalıdır. Eğer bütün d_{ij} 'ler sifira eşit veya büyükse çözüm, en iyi çözümdür. Kaç tane d_{ij} değeri sifira eşitse, o kadar alternatif dağıtım planı vardır. Bu planlarda maliyetler eşittir.
6. Eğer d_{ij} maliyetleri arasında sifirdan küçük olan varsa; dağıtım yapılacak göze negatif maliyetlilerden mutlak değerce en büyük maliyete sahip gözedir.
7. Boş olan dolu hücreye yeni dağıtım yapıldıktan sonra, yeni tabloda oluşan boş hücrelerin d_{ij} 'leri hesaplanır. İşlemler boş gözelerin tamamının d_{ij} 'leri sifir veya daha büyük olana kadar devam ettirilir. Eğer alternatif dağıtım planları da bulunacaksa, gizli maliyeti sifir olan gözelerle de aynı işlemler yapılır. Bu durumda ulaşılan çözüm en iyi çözüm, maliyet de en düşük maliyet olur.

2.2.5.2. MODI Yöntemi

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

MODI yöntemi, problemin çözümünde her hücrenin değerlendirilmesini ayrı ayrı yapmaktan kurtaran ve bu değerlendirmeleri simultane olarak yapmayı sağlayan, sonucun optimalliğini araştıran bir test yoludur (Serper, 1974, s.37).

MODI yöntemi atlama taşı yöntemine çok benzemesine karşın boş hücrelerin hesaplanma yönteminde farklılık vardır. Atlama taşı yönteminde optimal çözüm araştırılırken boş kareler, birim taşıma maliyetlerini etkileme dereceleri “+” ve “-” biçiminde değerler olarak bir kapalı devreye göre belirlenirken, MODI yönteminde boş karelerin maliyeti etkileme dereceleri ‘gelişme indeksi’ olarak adlandırılan bir indeks aracılığı ile belirlenir. Gelişme indeksi optimal çözümü belirlemede kullanılacak bir argümandır. Aşağıdaki adımlar sırasıyla takip edilerek problemin optimal çözümüne ulaşmak mümkündür (Sarıaslan vd., 2017, s.302):

1. Ulaştırma probleminin temel tablosu oluşturulduktan sonra başlangıç çözüm yöntemlerinden herhangi biriyle temel çözümü belirlenir.
2. Daha sonra ulaştırma tablosundaki her satır ve sütunun gelişme katsayıları hesaplanır. i üretim merkezinden j tüketim merkezine ulaştırılacak ürünün birim ulaştırma maliyetleri C olan bir problemin ulaştırma tablosunda yer alan tüm hücrelerdeki maliyetler C_{ij} olarak ifade etmektedir. Gelişim indeksi hesaplamalarında kullanılacak olan R_i ulaştırma tablosunun sıralarını, K_j sütunları ifade ederse R ve K katsayıları, dolu hücrelerin C_{ij} değerlerine dayalı olarak:

$$R_i + K_j = C_{ij}$$

formülü ile gelişme katsayısı hesaplanır (Sarıaslan vd., 2017, s.304).

3. Tüm boş hücreler için hesaplanan R_i ve K_j gelişme katsayılarından sonra boş hücrelerin 'Gelişim İndeksi' (Gİ):

$$Gİ = C_{ij} - R_i - K_j$$

formülü ile hesaplanır.

4. Hesaplanan gelişim indekslerinde negatif değerler varsa o boş hücrelere atama yapmak toplam ulaştırma maliyetini azaltacaktır. Eğer birden fazla negatif değerli gelişim indeksli hücre varsa mutlak değeri en büyük olan hücre seçilecektir.
5. Atama yapılacak hücre belirlendikten sonra ne kadar atama yapılacağını belirlemek için tıpkı atlama taşındaki gibi kapalı döngüler çizilerek negatif değerli hücredeki en düşük olan atama değeri belirlenen boş hücreye aktarılır.
6. Çözümlerin optimalliğini araştırmak için bu aşamaya kadar olan tüm adımlar tekrarlanacaktır. Yani tüm boş hücreler için gelişim indeksleri sıfır ya da negatif oluncaya kadar devam edilecektir. Optimal çözümde gelişim indeksi sıfır olan boş hücre olursa optimal çözümün başka bir seçeneği var ve bu boş hücreye yükleme yapma seçeneği var demektir. Çünkü buraya yükleme yapmak maliyette herhangi bir değişim meydana getirmeyecektir.

MODI yöntemi üçüncü bölümdeki işletme uygulamasında kullanılacaktır.

3. ULAŖTIRMA MODELİ İLE MALİYET OPTİMİZASYONU VE ALTER DEMİR ÇELİK END. SAN. TİC. A.Ŗ. UYGULAMASI

Son bölümde Karabük ilinde demir çelik sanayisinde faaliyet gösteren Alter Demir Çelik Endüstri Ve Sanayi Ticaret Anonim Ŗirketi'nin verileri dikkate alınarak ulaŖtırma problemi, yani maliyet ve ürün dağılım optimizasyonu çözülmüŖtür.

3.1. Alter Demir Çelik End. San. Tic. A.Ŗ. Hakkında Genel Bilgi



Kaynak: <http://www.alterdemir.com/index.php>

Alter Demir- Çelik, Karabük Organize Sanayi Bölgesi'nde, 2007 yılında 110.000 m²'lik alana kurulmuŖtur ve günlük 1000 ton demir kütük üretimi kapasitesine sahiptir. MüŖteri odaklı çalıŖan Alter'in hedefi büyük ölçekli bir iŖletme sıfatında olup ülkedeki 50 büyük sanayi kuruluşunun içerisine girebilmektir. MüŖteri odaklı çalıŖan, teknolojiye ayak uyduran, yüksek kaliteli ürünler üreten, marka bir firma olma vizyonlarıyla hedeflerini geliŖtirmek için sektöre yapılan yatırımlarla ilerleyiŖini güçlendirmek istemektedir. İŖletme ürettiği ürünleri yurt içi pazarlarına sunmaktadır. Hammaddesi hurda olan kütük ve inŖaat demiri üreten bir firmadır. Türkiye'nin çeŖitli illerine ürün dağıtımı yapmaktadır.

3.2. UlaŖtırma Modelinin Demir-Çelik Sektörüne Uygulanması

Uygulamanın konusu, Alter Demir Çelik End. San. Tic. A.Ŗ. firmasının Karabük'de kendi üretim tesislerinde üretmiŖ olduğu ürünlerinin yurt içinde optimum dağıtımını ve bu dağıtımı yapabilmek için katlanılması gereken birim maliyetin minimize edilmesinin araŖtırılmasıdır.

Aslında araştırılmak istenen konu, tek kaynaklı ulaştırma modeliyle kara optimum katkı sağlamak amacıyla maliyetleri minimize etmektir. Tek kaynaklı ulaştırma problemi modeli; ise modelde bütün talep miktarları tek bir sunum merkezinden karşılanmaktadır. Model tesis yerleşimi ve tekel ürünlerin dağıtımı alanında kullanılmaktadır.

Toplam ulaşım maliyetini en aza indirme (minimizasyon) problemi, literatürde genellikle tek kaynaklı doğrusal ulaşım modeli olarak ele alınır. Tek kaynaklı ulaştırma problemi, 1976 yılında Balachandran, 1971’de Christofides ve Eilon, 1977’de Ross ve Solond, 1980’de Magelhout ve Thompson tarafından geliştirilmiştir (Nikolic, 2006).

Araştırmada firma tarafından üretimi gerçekleştirilen altı çeşit ürünün 2018 yılına ait her ürünün üretim miktarı ve birim ulaştırma maliyetlerinin bir yıllık sayısal verilerinden faydalanılmıştır. Problemin zmnde VAM, MODI ve Simpleks yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Uygulamanın konusunu oluşturan firmanın 2018 yılı toplam arz miktarının, illerden gelen toplam talep miktarına eşittir ve problem dengededir. Matematiksel olarak şu Şekilde ifade edilir:

$$\sum_{j=1}^n b_j = \sum_{i=1}^m a_i = 88509 \text{ ton}$$

Modelde toplam 6 adet ürün ve 6 talep merkezi (il) bulunmaktadır ve ürün miktarları ton cinsinden ifade edilmiştir. Birim maliyetler ton başına düşen maliyetlerdir. Modelimiz tek kaynaklı ulaştırma problemidir. Yani modelde tüm talep miktarları tek bir arz merkezinden karşılanmaktadır. Bizim modelimizde ise rnler Karabük Organize Sanayi Bölgesi’nde üretilmekte olup Kocaeli, İstanbul, Ankara, İzmir, Samsun ve Karabük olmak üzere toplamda altı merkeze ürün dağıtımı yapmaktadır. Ulaştırma modelinin çözümü geleneksel ulaştırma modeli çözüm yöntemleriyle yapılabileceği gibi doğrusal model yardımıyla da yapılabilir. Tablo 3.1.’de verilen ulaştırma modeli tablosunun doğrusal programlama yazılımı ile problemin ulaştırma bilgileri, ulaştırma tablosu ve matematiksel formu şu Şekildedir:

Tablo 3.1: Ulaştırma Modelinin Başlangıç Tablosu (Ton/TL)

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	Karabük	ARZ (Ton)
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{13} 43	X_{14} 85	X_{15} 70	X_{16} 17	17440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{23} 43	X_{24} 85	X_{25} 70	X_{26} 17	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	X_{31} 51	X_{32} 65	X_{33} 43	X_{34} 85	X_{35} 70	X_{36} 17	21904
İnşaat Demiri Ürünleri-1	X_{41} 41	X_{42} 55	X_{43} 43	X_{44} 75	X_{45} 60	X_{46} 7	6608
İnşaat Demiri Ürünleri-2	X_{51} 41	X_{52} 55	X_{53} 43	X_{54} 75	X_{55} 60	X_{56} 7	8000
İnşaat Demiri Ürünleri-3	X_{61} 41	X_{62} 55	X_{63} 43	X_{64} 75	X_{65} 60	X_{66} 7	5500
TALEP (Ton)	24443	10958	9000	6000	4000	34108	88509

Amaç Fonksiyonu:

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 C_{ij} X_{ij} \quad (i = \text{üretilen ürünler}) , (j = \text{talep merkezleri})$$

$$Z_{min} = 51 * X_{11} + 65 * X_{12} + 43 * X_{13} + 85 * X_{14} + 70 * X_{15} + 17 * X_{16} + 51 * X_{21} + 65 * X_{22} + 43 * X_{23} + 85 * X_{24} + 70 * X_{25} + 17 * X_{26} + 51 * X_{31} + 65 * X_{32} + 43 * X_{33} + 85 * X_{34} + 70 * X_{35} + 17 * X_{36} + 41 * X_{41} + 55 * X_{42} + 43 * X_{43} + 75 * X_{44} + 60 * X_{45} + 7 * X_{46} + 41 * X_{51} + 55 * X_{52} + 43 * X_{53} + 75 * X_{54} + 60 * X_{55} + 7 * X_{56} + 41 * X_{61} + 55 * X_{62} + 43 * X_{63} + 75 * X_{64} + 60 * X_{65} + 7 * X_{66}$$

$$X_{32} + 43 * X_{33} + 85 * X_{34} + 70 * X_{35} + 17 * X_{36} + 41 * X_{41} + 55 * X_{42} + 33 * X_{43} + 75 * X_{44} + 60 * X_{45} + 7 * X_{46} + 41 * X_{51} + 55 * X_{52} + 33 * X_{53} + 75 * X_{54} + 60 * X_{55} + 7 * X_{56} + 41 * X_{61} + 55 * X_{62} + 33 * X_{63} + 75 * X_{64} + 60 * X_{65} + 7 * X_{66}$$

Kısıtlar: Arz, talep ve pozitiflik olmak üzere üç kısma ayrılmıştır.

Arz Kısıtı:

$$\sum_{j=1}^6 X_{ij} \geq a_i \quad (i = \text{üretilen ürünler})$$

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} \leq 17443$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} \leq 29057$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} \leq 21904$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} \leq 6608$$

$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} \leq 8000$$

$$X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} \leq 5500$$

Talep Kısıtı:

$$\sum_{i=1}^6 X_{ij} \geq b_j \quad (j = \text{talep merkezleri})$$

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} \geq 24443$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} \geq 10958$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} \geq 9000$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} + X_{64} \geq 6000$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} + X_{65} \geq 4000$$

$$X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{66} \geq 34108$$

Pozitiflik Kısıtı:

$$X_{ij} \geq 0 \quad (i = \text{üretilen ürünler}), (j = \text{talep merkezleri})$$

$$X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{25}, X_{26}, X_{31}, X_{32}, X_{33}, X_{34}, X_{35}, X_{36}, X_{41},$$

$$X_{42}, X_{43}, X_{44}, X_{45}, X_{46}, X_{51}, X_{52}, X_{53}, X_{54}, X_{55}, X_{56}, X_{61}, X_{62}, X_{63}, X_{64}, X_{65}, X_{66} \geq 0$$

Üretilen ürünler birbirlerinden farklı ürünlerdir ve ton başına pazar fiyatları şu şekildedir:

ÜRÜNLER	MALZEME BİRİM FİYATI (TL/Ton)
ÇELİK KÜTÜK ÜRÜNLERİ 1	1.445
ÇELİK KÜTÜK ÜRÜNLERİ 2	1.560
ÇELİK KÜTÜK ÜRÜNLERİ 3	2.060
İNŞAAT DEMİRİ ÜRÜNLERİ 1	1.712
İNŞAAT DEMİRİ ÜRÜNLERİ 2	2.030
İNŞAAT DEMİRİ ÜRÜNLERİ 3	2.200

3.2.1. Problemin VAM Yöntemi İle Çözümü

VAM yöntemine göre ilk önce her sıra ve sütun için en küçük C_{ij} ile ikinci en küçük C_{ij} arasındaki farklar ilgili sıra ve sütun için belirlenir. C_{ij} her karedeki birim taşıma maliyetlerini temsil etmektedir.

Tablo 3.1'e göre satırlar (SA) için ceza değerleri:

$$SA_1 = 43 - 17 = 26$$

$$SA_2 = 43 - 17 = 26$$

$$SA_3 = 43 - 17 = 26$$

$$SA_4 = 33 - 7 = 26$$

$$SA_5 = 33 - 7 = 26$$

$$SA_6 = 33 - 7 = 26$$

Tablo 3.1'e göre sütunlar (ST) için ceza değerleri:

$$ST_1 = 51 - 41 = 10$$

$$ST_2 = 65 - 55 = 10$$

$$ST_3 = 43 - 33 = 10$$

$$ST_4 = 85 - 75 = 10$$

$$ST_5 = 70 - 60 = 10$$

$$ST_6 = 17 - 7 = 10$$

Görüldüğü gibi, hesaplanan ceza değerleri arasında eşitlik söz konusudur. Bu durumda en küçük maliyetli karenin bulunduğu ceza sırası veya sütunu seçilir. O halde satır farkı daha fazla olduğu için, satırlar içinde en küçük maliyetli kare $C_{ij} = 7$ 'dir. Bu karelerden herhangi birine optimum atama yapılacaktır.

Maliyeti en küçük yapacak olan satıra atama yapılacak olursa en yüksek miktara sahip olan satıra atama yapılır yani $X_{56}=8000$ hücresine 8000 brimlik atama yapılacaktır.



Tablo 3.2: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-1

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	Karabük	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{13} 43	X_{14} 85	X_{15} 70	X_{16} 17	17440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{23} 43	X_{24} 85	X_{25} 70	X_{26} 17	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	X_{31} 51	X_{32} 65	X_{33} 43	X_{34} 85	X_{35} 70	X_{36} 17	21904
İnşaat Demiri Ürünleri-1	X_{41} 41	X_{42} 55	X_{43} 33	X_{44} 75	X_{45} 60	X_{46} 7	6608
İnşaat Demiri Ürünleri-2	X_{51} 41	X_{52} 55	X_{53} 33	X_{54} 75	X_{55} 60	8000	8000
İnşaat Demiri Ürünleri-3	X_{61} 41	X_{62} 55	X_{63} 33	X_{64} 75	X_{65} 60	X_{66} 7	5500
TALEP	24443	10958	9000	6000	4000	34108	88509

Atama yapılan hücredeki arz satırı doyurulduğu için bu satırın üzeri çizilerek işlemden çıkarılır. Bu işlem Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Yeni oluşan tablo 3.3’te gösterilmiştir.

Tablo 3.3: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-2

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	Karabük	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{13} 43	X_{14} 85	X_{15} 70	X_{16} 17	17440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{23} 43	X_{24} 85	X_{25} 70	X_{26} 17	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	X_{31} 51	X_{32} 65	X_{33} 43	X_{34} 85	X_{35} 70	X_{36} 17	21904
İnşaat Demiri Ürünleri-1	X_{41} 41	X_{42} 55	X_{43} 33	X_{44} 75	X_{45} 60	X_{46} 7	6608
İnşaat Demiri Ürünleri-3	X_{61} 41	X_{62} 55	X_{63} 33	X_{64} 75	X_{65} 60	X_{66} 7	5500
TALEP	24443	10958	9000	6000	4000	26108	80509

Doyurulan satır işlemden çıkarıldıktan sonra altıncı sütunun yani Karabük tüketim merkezinin talebinde değişiklik meydana gelmiştir. 34108 ton talep miktarından 8000 ton eksilme olup 26108 ton talep miktarı kalmıştır. Geriye kalan her satır ve sütun için tekrardan ceza değerleri hesaplanacaktır:

Tablo 3.3'e göre satırlar (SA) için ceza değerleri:

$$SA_1 = 43 - 17 = 26$$

$$SA_2 = 43 - 17 = 26$$

$$SA_3 = 43 - 17 = 26$$

$$SA_4 = 33 - 7 = 26$$

$$SA_5 = 33 - 7 = 26$$

Tablo 3.3'e göre sütunlar (ST) için ceza değerleri:

$$ST_1 = 51 - 41 = 10$$

$$ST_2 = 65 - 55 = 10$$

$$ST_3 = 43 - 33 = 10$$

$$ST_4 = 85 - 75 = 10$$

$$ST_5 = 70 - 60 = 10$$

$$ST_6 = 17 - 7 = 10$$

Görüldüğü gibi, hesaplanan ceza değerleri arasında tekrardan eşitlik söz konusudur. Bu durumda satır farkı daha fazla olduğu için, satırlar içinde en küçük maliyetli kare $C_{ij} = 7$ 'dir. Bu karelerden herhangi birine optimum atama yapılacaktır.

Maliyeti en küçük yapacak olan satıra atama yapılacak olursa en yüksek miktara sahip olan satıra aynı mantığa dayanarak yeni atamalar sırasıyla:

$$X_{46} = 6608$$

$$X_{66} = 5500$$

hücrelerine yapılmıştır. Tablo 3.4'te gösterildiği gibi dördüncü ve beşinci satırların arz miktarları doyurulduğu için ilgili satırların üzeri çizilerek işlemden çıkarılacaktır.

Tablo 3.4: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-3

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	Karabük	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{13} 43	X_{14} 85	X_{15} 70	X_{16} 17	17440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{23} 43	X_{24} 85	X_{25} 70	X_{26} 17	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	X_{31} 51	X_{32} 65	X_{33} 43	X_{34} 85	X_{35} 70	X_{36} 17	21904
İnşaat Demiri Ürünleri-1	X_{41} 41	X_{42} 55	X_{43} 33	X_{44} 75	X_{45} 60	6608	6608
İnşaat Demiri Ürünleri-3	X_{61} 41	X_{62} 55	X_{63} 33	X_{64} 75	X_{65} 60	5500	5500
TALEP	24443	10958	9000	6000	4000	26108	80509

Atama yapılan hücrelerdeki üzeri çizilen arz satırları işlemden çıkarılır. Bu işlem Tablo 3.4'de gösterilmiştir. Bu ikinci işlem ile birlikte İnşaat Demiri-1, İnşaat Demiri-2 ve İnşaat Demiri-3 ürünleri tamamen dağıtılmıştır ve yeni durum Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-4

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	Karabük	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{13} 43	X_{14} 85	X_{15} 70	X_{16} 17	17440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{23} 43	X_{24} 85	X_{25} 70	X_{26} 17	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	X_{31} 51	X_{32} 65	X_{33} 43	X_{34} 85	X_{35} 70	X_{36} 17	21904
TALEP	24443	10958	9000	6000	4000	14000	68401

Doyurulan satırlar işlemden çıkarıldıktan sonra altıncı sütunun yani Karabük tüketim merkezinin talebinde değişiklik meydana gelmiştir. 34108 ton talep miktarından 20108 ton eksilme olup 14000 ton talep miktarı kalmıştır. Geriye kalan her satır ve sütun için tekrardan ceza değerleri hesaplanacaktır:

Tablo 3.5'e göre satırlar (SA) için ceza değerleri:

$$SA_1 = 43 - 17 = 26$$

$$SA_2 = 43 - 17 = 26$$

$$SA_3 = 43 - 17 = 26$$

Tablo 3.5'e göre sütunlar (ST) için ceza değerleri:

$$ST_1 = 51 - 51 = 0$$

$$ST_2 = 65 - 65 = 0$$

$$ST_3 = 43 - 43 = 0$$

$$ST_4 = 85 - 85 = 0$$

$$ST_5 = 70 - 70 = 0$$

$$ST_6 = 17 - 17 = 0$$

$SA_1, SA_2, SA_3 = 26$ olarak bütün satırlar aynı ve en yüksek ceza değerlerine sahiptirler. Bu üç seçenek arasından en düşük maliyetli hücreye optimal atama yapılacaktır. Arz ve talep kısıtlılıklarına göre $C_{ij} = 17$ olan hücreye optimum atama yapılarak, yani $X_{16} = 14000$ ton atama yapılarak ve altıncı talep sütununun üzeri çizilerek işlemden çıkarılır.

Tablo 3.6: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-5

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	Karabük	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{13} 43	X_{14} 85	X_{15} 70	14000 17	17440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{23} 43	X_{24} 85	X_{25} 70	X_{26} 17	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	X_{31} 51	X_{32} 65	X_{33} 43	X_{34} 85	X_{35} 70	X_{36} 17	21904
TALEP	24443	10958	9000	6000	4000	14000	68401

Tablo 3.6’da Karabük tüketim merkezinin bulunduğu talep sütununun işlemden çıkarılmasıyla Çelik Kütük Ürünleri-1 satırında 17440 olan arz miktarında 14000 kadar arz dağıtılmış olup geriye 3440 ton arz miktarı elde kalmıştır. Bu yeni durum Tablo 3.7 gösterilmiştir.

Tablo 3.7: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-6

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{13} 43	X_{14} 85	X_{15} 70	3440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{23} 43	X_{24} 85	X_{25} 70	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	X_{31} 51	X_{32} 65	X_{33} 43	X_{34} 85	X_{35} 70	21904
TALEP	24443	10958	9000	6000	4000	54401

Doyurulan sütun işleminden çıkarıldıktan sonra geriye kalan her satır ve sütun için tekrardan ceza değerleri hesaplanacaktır. Karabük tüketim merkezinin bulunduğu sütun yani ST_6 işleminden çıkarıldığı için SA ceza değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir.

Tablo 3.7'ye göre satırlar (SA) için ceza değerleri:

$$SA_1 = 51 - 43 = 8$$

$$SA_2 = 51 - 43 = 8$$

$$SA_3 = 51 - 43 = 8$$

Tablo 3.7'ye göre sütunlar (ST) için ceza değerleri:

$$ST_1 = 51 - 51 = 0$$

$$ST_2 = 65 - 65 = 0$$

$$ST_3 = 43 - 43 = 0$$

$$ST_4 = 85 - 85 = 0$$

$$ST_5 = 70 - 70 = 0$$

En yüksek SA değerlerine göre atama yapılacaktır. Buna göre $C_{ij}=43$ olan sütunda bulunan hücreye arz değerlerine göre yapılacak olan atama $X_{23}=9000$ olur ve Tablo 3.8’de gösterildiği gibi üçüncü sütun çizilerek işlemden çıkarılır.

Tablo 3.8: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-7

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{13} 43	X_{14} 85	X_{15} 70	3440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	9000 43	X_{24} 85	X_{25} 70	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	X_{31} 51	X_{32} 65	X_{33} 43	X_{34} 85	X_{35} 70	21904
TALEP	24443	10958	9000	6000	4000	54401

Tablo 3.8’de Ankara tüketim merkezinin bulunduğu talep sütununun işlemden çıkarılmasıyla Çelik Kütük Ürünleri-2 satırında 29057 olan arz miktarında 9000 kadar arz dağıtılmış olup geriye 20057 ton arz miktarı elde kalmıştır. Bu yeni durum Tablo 3.9’da gösterilmiştir.

Tablo 3.9: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-8

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	İzmir	Samsun	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{14} 85	X_{15} 70	3440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{24} 85	X_{25} 70	20057
Çelik Kütük Ürünleri-3	X_{31} 51	X_{32} 65	X_{34} 85	X_{35} 70	21904
TALEP	24443	10958	6000	4000	45401

Doğurulan sütun işleminden çıkarıldıktan sonra geriye kalan her satır ve sütun için tekrardan ceza değerleri hesaplanacaktır. Ankara tüketim merkezinin bulunduğu sütun yani ST_3 işleminden çıkarıldığı için SA ceza değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir.

Tablo 3.9'a göre satırlar (SA) için ceza değerleri:

$$SA_1 = 65 - 51 = 14$$

$$SA_2 = 65 - 51 = 14$$

$$SA_3 = 65 - 51 = 14$$

Tablo 3.9 göre sütunlar (ST) için ceza değerleri:

$$ST_1 = 51 - 51 = 0$$

$$ST_2 = 65 - 65 = 0$$

$$ST_4 = 85 - 85 = 0$$

$$ST_5 = 70 - 70 = 0$$

En yüksek SA değerlerine göre atama yapılacaktır. Buna göre $C_{ij}=51$ olan sütunda bulunan hücreye arz değerlerine göre yapılacak olan atama $X_{31}=21904$ olur ve Tablo 3.10'da gösterildiği gibi üçüncü satır çizilerek işlemden çıkarılır.

Tablo 3.10: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-9

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	İzmir	Samsun	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{14} 85	X_{15} 70	3440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{24} 85	X_{25} 70	20057
Çelik Kütük Ürünleri-3	21904 51	X_{32} 65	X_{34} 85	X_{35} 70	21904
TALEP	24443	10958	6000	4000	45401

Tablo 3.10'da Çelik Kütük Ürünleri-3 arz merkezinin bulunduğu talep satırının işlemden çıkarılmasıyla Kocaeli sütununda 24443 olan arz miktarında 21904 kadar arz dağıtılmış olup geriye 2539 ton arz miktarı elde kalmıştır. Bu yeni durum Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-10

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	İzmir	Samsun	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{11} 51	X_{12} 65	X_{14} 85	X_{15} 70	3440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{24} 85	X_{25} 70	20057
TALEP	2539	10958	6000	4000	23497

Doyurulan satır işleminden çıkarıldıktan sonra geriye kalan her satır ve sütun için tekrardan ceza değerleri hesaplanacaktır.

Tablo 3.11'e göre satırlar (SA) için ceza değerleri:

$$SA_1 = 65 - 51 = 14$$

$$SA_2 = 65 - 51 = 14$$

Tablo 3.11'e göre sütunlar (ST) için ceza değerleri:

$$ST_1 = 51 - 51 = 0$$

$$ST_2 = 65 - 65 = 0$$

$$ST_4 = 85 - 85 = 0$$

$$ST_5 = 70 - 70 = 0$$

En yüksek SA değerlerine göre atama yapılacaktır. Buna göre $C_{ij}=51$ olan sütunda bulunan hücreye talep değerlerine göre yapılacak olan atama $X_{11}=2539$ olur ve Tablo 3.12'de gösterildiği gibi ilk sütun çizilerek işleminden çıkarılır.

Tablo 3.12: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-13

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	İzmir	Samsun	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	2539 51	X_{12} 65	X_{14} 85	X_{15} 70	3440
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{21} 51	X_{22} 65	X_{24} 85	X_{25} 70	20057
TALEP	2539	10958	6000	4000	23497

Tablo 3.11’de Kocaeli tüketim merkezinin bulunduğu talep sütununun işlemden çıkarılmasıyla Çelik Kütük Ürünleri-1 satırında 3440 olan arz miktarında 2539 kadar arz dağıtılmış olup geriye 901 ton arz miktarı elde kalmıştır. Bu yeni durum Tablo 3.12’de gösterilmiştir.

Tablo 3.13: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-12

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	İstanbul	İzmir	Samsun	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{12} 65	X_{14} 85	X_{15} 70	901
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{22} 65	X_{24} 85	X_{25} 70	20057
TALEP	10958	6000	4000	20958

Doğurulan sütun işleminden çıkarıldıktan sonra geriye kalan her satır ve sütun için tekrardan ceza değerleri hesaplanacaktır.

Tablo 3.13'e göre satırlar (SA) için ceza değerleri:

$$SA_1 = 70 - 65 = 5$$

$$SA_2 = 70 - 65 = 5$$

Tablo 3.13'e göre sütunlar (ST) için ceza değerleri:

$$ST_2 = 65 - 65 = 0$$

$$ST_4 = 85 - 85 = 0$$

$$ST_5 = 70 - 70 = 0$$

En yüksek SA değerlerine göre atama yapılacaktır. Buna göre $C_{ij}=65$ olan sütunda bulunan hücreye talep değerlerine göre yapılacak olan atama $X_{22}=10958$ olur ve Tablo 3.14'te gösterildiği gibi İstanbul tüketim merkezinin bulunduğu sütun çizilerek işleminden çıkarılır.

Tablo 3.14: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-13

Tüketim Merkezi \ Üretim Merkezi	İstanbul	İzmir	Samsun	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{12} 65	X_{14} 85	X_{15} 70	901
Çelik Kütük Ürünleri-2	10958 65	X_{24} 85	X_{25} 70	20057
TALEP	10958	6000	4000	20958

Tablo 3.14'te İstanbul tüketim merkezinin bulunduğu talep sütununun işleminden çıkarılmasıyla Çelik Kütük Ürünleri-2 satırında 20057 olan arz miktarında 10958 kadar arz dağıtılmış olup geriye 9099 ton arz miktarı elde kalmıştır. Bu yeni durum Tablo 3.15'te gösterilmiştir.

Tablo 3.15: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-14

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	İzmir	Samsun	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{14} 85	X_{15} 70	901
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{24} 85	X_{25} 70	9099
TALEP	6000	4000	10000

Doyurulan sütun işlemden çıkarıldıktan sonra geriye kalan her satır ve sütun için tekrardan ceza değerleri hesaplanacaktır.

Tablo 3.13'e göre satırlar (SA) için ceza değerleri:

$$SA_1 = 85 - 70 = 5$$

$$SA_2 = 85 - 70 = 5$$

Tablo 3.13'e göre sütunlar (ST) için ceza değerleri:

$$ST_4 = 85 - 85 = 0$$

$$ST_5 = 70 - 70 = 0$$

En yüksek SA değerlerine göre atama yapılacaktır. Buna göre $C_{ij}=70$ olan sütunda bulunan hücreye talep değerlerine göre yapılacak olan atama $X_{25}=4000$ olur ve Tablo 3.16'da gösterildiği gibi Samsun tüketim merkezinin bulunduğu sütun çizilerek işlemden çıkarılır.

Tablo 3.16: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-15

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	İzmir		Samsun	ARZ
	Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{14}	85	X_{15} 70
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{24}	85	4000 70	9099
TALEP	6000		4000	10000

Tablo 3.14'te İstanbul tüketim merkezinin bulunduğu talep sütununun işlemden çıkarılmasıyla Çelik Kütük Ürünleri-2 satırında 9099 olan arz miktarında 4000 kadar arz dağıtılmış olup geriye 5099 ton arz miktarı elde kalmıştır. Bu yeni durum Tablo 3.17'de gösterilmiştir.

Tablo 3.17: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-16

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	İzmir		ARZ
	Çelik Kütük Ürünleri-1	X_{14}	85
Çelik Kütük Ürünleri-2	X_{24}	85	5099
TALEP	6000		6000

Son aşama olarak Tablo 3.17'ye göre:

$$X_{14}=901$$

$$X_{24}=5099$$

Tablo 3.18: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-17

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	İzmir	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	901	901
Çelik Kütük Ürünleri-2	5099	5099
TALEP	6000	6000

Tüm hücrelere atamalar yapılarak genel dağıtım tablosu Tablo 3.19'da gösterilmiştir.

Tablo 3.19: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-18

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	Karabük	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	51 2539	65 0	43 0	85 901	70 0	17 14000	17440
Çelik Kütük Ürünleri-2	51 0	65 10958	43 9000	85 5099	70 4000	17 0	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	51 21904	65 0	43 0	85 0	70 0	17 0	21904
İnşaat Demiri Ürünleri-1	41 0	55 0	33 0	75 0	60 0	7 6608	6608
İnşaat Demiri Ürünleri-2	41 0	55 0	33 0	75 0	60 0	7 8000	8000
İnşaat Demiri Ürünleri-3	41 0	55 0	33 0	75 0	60 0	7 5500	5500
TALEP	24443	10958	9000	6000	4000	34108	88509

VAM Yöntemi kullanılarak başlangıç çözümü yapılan ulaştırma probleminin optimal çözüme ulaşıp ulaşmadığı MODI Yöntemi ile araştırıldığında yani, tüm dolu hücrelerin C_{ij} maliyet katsayılarını bularak ve $R_i + K_j = C_{ij}$ formülüne dayanarak her sıra ve sütun için R_i ve K_j gelişme indeksi hesaplanır:

$$R_1 + K_1 = 51$$

$$R_1 + K_4 = 85$$

$$R_1 + K_6 = 17$$

$$R_2 + K_2 = 65$$

$$R_2 + K_3 = 43$$

$$R_2 + K_4 = 85$$

$$R_2 + K_5 = 70$$

$$R_3 + K_1 = 51$$

$$R_4 + K_3 = 7$$

$$R_5 + K_3 = 7$$

$$R_6 + K_3 = 7$$

Oluşturulan denklem sisteminde 11 denklem ama 12 bilinmeyen olduğu için ilk denklemde $R_1 = 0$ verildiğinde R_i ve K_j gelişme indeksi değerleri:

$$R_1 = 0$$

$$R_2 = 0$$

$$R_3 = 0$$

$$R_4 = -10$$

$$R_5 = -10$$

$$R_6 = -10$$

$$K_1 = 51$$

$$K_2 = 65$$

$$K_3 = 43$$

$$K_4 = 85$$

$$K_5 = 70$$

$$K_6 = 17$$

Tablo 3.20: MODI Yöntemi Ulaştırma Tablosu

		$K_1 = 51$	$K_2 = 65$	$K_3 = 43$	$K_4 = 85$	$K_5 = 70$	$K_6 = 17$	
Tüketim Merkezi		Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	Karabük	ARZ
Üretim Merkezi								
$R_1 = 0$	Çelik Kütük Ürünleri-1	51 2539	65 X_{12}	43 X_{13}	85 901	70 X_{15}	17 14000	17440
$R_2 = 0$	Çelik Kütük Ürünleri-2	51 X_{21}	65 10958	43 9000	85 5099	70 4000	17 X_{26}	29057
$R_3 = 0$	Çelik Kütük Ürünleri-3	51 21904	65 X_{32}	43 X_{33}	85 X_{34}	70 X_{35}	17 X_{36}	21904
$R_4 = -10$	İnşaat Demiri Ürünleri-1	41 X_{41}	55 X_{42}	33 X_{43}	75 X_{44}	60 X_{45}	7 6608	6608
$R_5 = -10$	İnşaat Demiri Ürünleri-2	41 X_{51}	55 X_{52}	33 X_{53}	75 X_{54}	60 X_{55}	7 8000	8000
$R_6 = -10$	İnşaat Demiri Ürünleri-3	41 X_{61}	55 X_{62}	33 X_{63}	75 X_{64}	60 X_{65}	7 5500	5500
TALEP		24443	10958	9000	6000	4000	34108	88509

Boş kareler için Gelişme İndeksi(Gİ) $G\dot{I}=C_{ij} - R_i + K_j$ formülü ile hesaplanır:

$$G\dot{I}_{12}=C_{12} - R_1 - K_2=65-0-65=0$$

$$G\dot{I}_{13}=C_{13} - R_1 - K_3=43-0-43=0$$

$$G\dot{I}_{15}=C_{15} - R_1 - K_5=70-0-70=0$$

$$G\dot{I}_{21}=C_{21} - R_2 - K_1=51-0-51=0$$

$$G\dot{I}_{26}=C_{26} - R_2 - K_6=17-0-17=0$$

$$G\dot{I}_{32}=C_{32} - R_3 - K_2=65-0-65=0$$

$$G\dot{I}_{33}=C_{33} - R_3 - K_3=43-0-43=0$$

$$G\dot{I}_{34}=C_{34} - R_3 - K_4=85-0-85=0$$

$$G\dot{I}_{35}=C_{35} - R_3 - K_5=70-0-70=0$$

$$G\dot{I}_{36}=C_{36} - R_3 - K_6=17-0-17=0$$

$$G\dot{I}_{41}=C_{41} - R_4 - K_1=41-(-10)-51=0$$

$$G\dot{I}_{42}=C_{42} - R_4 - K_2=55-(-10)-65=0$$

$$G\dot{I}_{43}=C_{43} - R_4 - K_3=33-(-10)-43=0$$

$$G\dot{I}_{44}=C_{44} - R_4 - K_4=75-(-10)-85=0$$

$$G\dot{I}_{45}=C_{45} - R_4 - K_5=60-(-10)-70=0$$

$$G\dot{I}_{51}=C_{51} - R_5 - K_1=41-(-10)-51=0$$

$$G\dot{I}_{52}=C_{52} - R_5 - K_2=55-(-10)-65=0$$

$$G\dot{I}_{53}=C_{53} - R_5 - K_3=33-(-10)-43=0$$

$$G\dot{I}_{54}=C_{54} - R_5 - K_4=75-(-10)-85=0$$

$$G\dot{I}_{55}=C_{55} - R_5 - K_5=60-(-10)-70=0$$

$$G\dot{I}_{61}=C_{61} - R_6 - K_1=41-(-10)-51=0$$

$$G\dot{I}_{62}=C_{62} - R_6 - K_2=55-(-10)-65=0$$

$$G\dot{I}_{63}=C_{63} - R_6 - K_3=33-(-10)-43=0$$

$$G\dot{I}_{64}=C_{64} - R_6 - K_4=75-(-10)-85=0$$

$$G\dot{I}_{65}=C_{65} - R_6 - K_5=60-(-10)-70=0$$

Gİ sonuçları negatif değerlerden büyük olduğu için problemin optimum maliyeti bulunmuştur. Buna göre maliyet (C):

$$C = 51*2539 + 85*901 + 17*14000 + 65*10958 + 43*9000 + 85*5099 + 70*4000 + 51*21904 + 7*6608 + 7*8000 + 7*5500 = 3.514.619(\text{TL}) \text{ olmaktadır.}$$

$KH = n + m - 1 = 6 + 6 - 1 = 11$ (Kullanılan Hücre Sayısı) olması çözümde bozulma olmadığını yani işlemlerin doğru bir şekilde yapıldığının ifadesidir.

Böylece, VAM yöntemi ile temel çözüm tamamlanmış olur.

Çelik Kütük Ürünleri-1: Kocaeli iline 3440 ton ve Karabük iline 14000 ton gönderilebilir.

Çelik Kütük Ürünleri-2: İstanbul iline 10958 ton, Ankara iline 9000 ton, İzmir iline 5099 ton, Samsun iline 4000 ton gönderilebilir.

Çelik Kütük Ürünleri-3: Kocaeli iline 21904 ton gönderilebilir.

İnşaat Demiri Ürünleri-1: Karabük İline 6608 ton gönderilebilir.

İnşaat Demiri Ürünleri-2: Karabük iline 8000 ton gönderilebilir.

İnşaat Demiri Ürünleri-3: Karabük iline 5500 ton gönderilebilir.

3.2.2. Problemin Simpleks Yöntemi İle Çözülmesi

Ulaştırma modelinin çözümü sadece geleneksel ulaştırma modeli çözüm yöntemleriyle değil, aynı zamanda doğrusal programlama modelleri yardımıyla da yapılabilir. Bu uygulamanın optimal çözümü bilgisayarda R/SİMPLEX programıyla yapılmış olup ve sonuçlar Tablo 3.21'de görülmektedir. Problemin çözümünde kullanılan programın yazılımı ekte sunulmuştur.

Tablo 3.21: Ulaştırma Tablosu Simpleks Çözüm Sonuçları

DEĞİŞKEN	DEĞERİ
X_{11}	0
X_{12}	0
X_{13}	0
X_{14}	0
X_{15}	0
X_{16}	17440
X_{21}	0
X_{22}	0
X_{23}	2389
X_{24}	6000
X_{25}	4000
X_{26}	16668
X_{31}	4335
X_{32}	10958
X_{33}	6611
X_{34}	0
X_{35}	0
X_{36}	0
X_{41}	6608
X_{42}	0
X_{43}	0
X_{44}	0
X_{45}	0
X_{46}	0
X_{51}	8000
X_{52}	0
X_{53}	0
X_{54}	0
X_{55}	0
X_{56}	0
X_{61}	5500
X_{62}	0
X_{63}	0
X_{64}	0
X_{65}	0
X_{66}	0

Bu sonuçlara göre R/Simpleks programı yardımı ile çözülen ulaştırma probleminin maliyeti minimum yapacak optimal ürün dağılım şebekesi Tablo 3.22’de görüldüğü gibi gerçekleşmiştir.

Tablo 3.22: R/SIMPLEX Programı Yardımıyla Ulaştırma Probleminin Optimal Çözümü (Ton)

Tüketim Merkezi Üretim Merkezi	Kocaeli	İstanbul	Ankara	İzmir	Samsun	Karabük	ARZ
Çelik Kütük Ürünleri-1	0 51	0 65	0 43	0 85	0 70	17440 17	17440
Çelik Kütük Ürünleri-2	0 51	0 65	2389 43	6000 85	4000 70	16668 17	29057
Çelik Kütük Ürünleri-3	4335 51	10958 65	6611 43	0 85	0 70	0 17	21904
İnşaat Demiri Ürünleri-1	6608 41	X_{42} 55	X_{43} 33	X_{44} 75	X_{45} 60	7	6608
İnşaat Demiri Ürünleri-2	8000 41	X_{52} 55	X_{53} 33	X_{54} 75	X_{55} 60	7	8000
İnşaat Demiri Ürünleri-3	5500 41	X_{62} 55	X_{63} 33	X_{64} 75	X_{65} 60	7	5500
TALEP	24443	10958	9000	6000	4000	34108	88509

Bu tabloya göre Toplam Ulaştırma Maliyeti (C):

$C=17*17440+43*2389+85*6000+70*4000+7*16668+51*4335+65*10958+43*6611+41*6608+41*8000+41*5500=3.514.619$ (TL) olan sonuç VAM yöntemi ile aynı sonucu vermiş olup simpleks yöntem ile çözüm tamamlanmış olur. Maliyetler aynı çıkmasına karşın dağıtım yerleri değişmiştir. Bunun nedeni MODI sonuçlarının sıfır çıkmış olması yani alternatif dağıtım yöntemlerinin olmasından ötürüdür. Bu sebeple R/Simpleks ile ulaşılan yeni çözümün atamaları şu şekilde gerçekleşmiştir:

Çelik Kütük Ürünleri-1: Karabük iline 17440 ton gönderilebilir.

Çelik Kütük Ürünleri-2: Ankara iline 2389 ton, İzmir iline 6000 ton, Samsun iline 4000 ton, Karabük iline 16668 ton gönderilebilir.

Çelik Kütük Ürünleri-3: Kocaeli iline 4335 ton, İstanbul iline 10958 ton, Ankara iline 6611 ton gönderilebilir.

İnşaat Demiri Ürünleri-1: Kocaeli İline 6608 ton gönderilebilir.

İnşaat Demiri Ürünleri-2: Kocaeli iline 8000 ton gönderilebilir.

İnşaat Demiri Ürünleri-3: Kocaeli iline 5500 ton gönderilebilir.

3.2.3. Kur Dalgalanmasının İle Problemin Yeniden İncelenmesi

Döviz kurunun dalgalanması yakıt fiyatlarına yansımaktadır ve dolayısıyla ulaşım maliyetini etkilemektedir. Bu sebeple birim ulaşım fiyatlarının %5 artışında ve düşüşünde toplam ulaşım maliyeti nasıl değiştiğini inceleyelim.

Tablo 3.23: X_{ij} Değişkenlerinin Amaç Fonksiyonunda %5 birim Fiyatı Artışında C_{ij} Katsayılarının Değişmesi

C_{ij} Katsayıları	C_{ij} Değerlerinin Kur Dalgalanması Sonucu Ortaya Çıkan Yeni Değerleri (TL)
C_{11}	53.55
C_{12}	68.25
C_{13}	45.15
C_{14}	89.25
C_{15}	73.50
C_{16}	17.85
C_{21}	53.55
C_{22}	68.25
C_{23}	45.15
C_{24}	89.25
C_{25}	73.50
C_{26}	17.85
C_{31}	53.55
C_{32}	68.25
C_{33}	45.15
C_{34}	89.25
C_{35}	73.50
C_{36}	17.85
C_{41}	43.05
C_{42}	57.75
C_{43}	34.65
C_{44}	78.75
C_{45}	63.00
C_{46}	7.35
C_{51}	43.05
C_{52}	57.75
C_{53}	34.65
C_{54}	78.75
C_{55}	63.00
C_{56}	7.35
C_{61}	43.05
C_{62}	57.75
C_{63}	34.65
C_{64}	78.75
C_{65}	63.00
C_{66}	7.35

Ulaştırma tablosunda değişkenlerin sonuçlarında (%5 birim fiyat artışı ile), yani dağıtım planında hiçbir değişiklik olmayacaktır. Fakat taşıma maliyetinin ciddi anlamda bir artış meydana geleceğini söyleye biliriz. Çünkü kurlardaki değişim birim ulaştırma maliyetlerini etkileyecektir. Mesela kurlardaki %5 birimlik fiyat artışı akaryakıt fiyatlarında %5 oranında bir artışın yaşanacağını ve bunun da ulaştırma birim maliyetlerine yansıtacağını varsaydığımızda yeni ulaştırma maliyeti şu şekilde olacaktır:

$$C=17.85*17440+45.15*2389+89.25*6000+78.75*4000+7.35*16668+57.75*4335+68.25*10958+ 45.15*6611+43.05*6608+43.05*8000+43.05*5500= 3.690.349,95 TL$$

. Toplam Ulaşım Maliyetinin değeri $Z= 3.690.349.95TL$, yani $175.730,95 TL$ artış olacağını görüyoruz.

Aynı şekilde %5 birim ulaşım fiyatının azalması ulaşım maliyetinin düşüşüne neden olacaktır.

Tablo 3.24: X_{ij} Değişkenlerinin Amaç Fonksiyonunda %5 birim Fiyatı Azalışında C_{ij} Katsayılarının Değişmesi

C_{ij} Katsayıları	C_{ij} Değerlerinin Kur Dalgalanması Sonucu Ortaya Çıkan Yeni Değerleri (TL)
C_{11}	48.45
C_{12}	61.75
C_{13}	40.85
C_{14}	80.75
C_{15}	66.5
C_{16}	16.15
C_{21}	48.45
C_{22}	61.75
C_{23}	40.85
C_{24}	80.75
C_{25}	66.5
C_{26}	16.15
C_{31}	48.45
C_{32}	61.75
C_{33}	40.85
C_{34}	80.75
C_{35}	66.5
C_{36}	16.15
C_{41}	38.95
C_{42}	52.25
C_{43}	31.35
C_{44}	71.25
C_{45}	57
C_{46}	6.65
C_{51}	38.95
C_{52}	52.25
C_{53}	31.35
C_{54}	71.25
C_{55}	57
C_{56}	6.65
C_{61}	38.95
C_{62}	52.25
C_{63}	31.35
C_{64}	71.25
C_{65}	57
C_{66}	6.65

$$C=16.15*17440+40.85*2389+80.75*6000+71.25*4000+6.65*16668+52.25*4335+61.75*10958+45.15*6611+40.85*6608+40.85*8000+40.85*5500=3.338.888,05\text{ TL}$$

Toplam Ulaşım Maliyetinin değeri $Z=3.338.888.05.\text{TL}$, yani ulaştırma maliyetlerinde 175730.95 TL düşüş olacağı görülmektedir.



SONUÇ

Bu tezin amacı kara optimum faydayı sağlayabilmek amacıyla ürün dağıtımını minimum maliyetle yapmaktır.

İşletmelerin karlarını maksimize etmeleri yolundaki en önemli etkenlerden biri olan maliyetler sabit ve değişken maliyetlerden oluşmaktadır. Sabit maliyetler işletmelerin ürettikleri ürün veya hizmetleri üretmede vazgeçemeyeceği maliyetlerdir. Ama değişken maliyetler üzerinde indirgemeler yapılarak kara katkı sağlanabilir. Bu sebeple belirli bir kapasiteyle üretim yapan işletmeler, ürünleri üretmede kullandıkları kapasite ile karşılayabilecekleri talepleri göz önünde bulundurarak üretilen ürünlerin optimum dağıtımını yapıp, kara katkı sağlayacak toplam taşıma maliyetini minimum kılacak en iyi dağıtım miktarını belirlemektir.

Bu sebeple çalışmanın ilk bölümünde demir çelik sektörü hakkında genel bilgilere, ikinci bölümünde doğrusal programlama ve ulaştırma modeli hakkında teorik bilgilere yer verilmiştir. Son bölümde ise, ikinci bölümde teorik bilgilere yer verilen modeller ile ulaştırma problemi çözümü yapılmıştır.

Uygulamada Alter Demir Çelik End. San. Tic. A.Ş.'nin üretmiş olduğu altı çeşit ürünün, işletmeden ürün talebinde bulunan altı çeşit tüketim merkezine; çeşitli birim maliyetlere sahip değişkenlere, maliyeti minimum yapacak olan optimum atama problemini; doğrusal programlama modelinin simpleks yöntemiyle ve ulaştırma modelinin VAM ve MODI yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Başlangıç çözüm yöntemlerinden VAM Yöntemi'nin tercih edilmesinin nedeni, VAM Yöntemi'yle optimal çözüme çok yakın bir sonuç elde edilmesi, hatta kimi zaman doğrudan optimal sonuca ulaşılmasının mümkün olmasıdır. Böyle de olmuştur. VAM yöntemiyle başlangıç çözümü yapılan problemin optimalliği MODI yöntemi ile test edilerek sonucun değişmediği gözlemlenmiştir.

Simpleks yönteminin çözümlenmesinde ise R/Simplex programı kullanılmıştır. Yapılan bu çözüm ile VAM yönteminde elde edilen çözümün maliyeti 3514619 (TL) olarak bulunmuştur. Fakat çözümlenme yaparken alternatif dağıtım sonuçları olduğu için dağıtım yapılan hücrelerde farklılık gözlemlenmiştir.

Ayrıca ulaştırma maliyetlerinde önemli bir unsur olan kurdaki değişimler açısından da maliyetler incelenmiş ve kurdaki %5'lik bir artış durumunda maliyetin 3690349.95TL ile 175.730,95 TL artış olduğu gözlemlenmektedir. Aynı şekilde kurdaki %5'lik bir azalma durumunda 3338888.05.TL ile 175730.95TL azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Bu sebeple uzun dönemli ulaştırma planlaması yapmak işletme için faydalı olmayacaktır. Çünkü örnekte gösterildiği gibi kur değişimleri ya da piyasadaki çeşitli değişiklikler birim maliyetlerde değişimlere neden olacaktır. Bu sebeple uzun dönemli ulaştırma problemi çözmek işletmenin finansal planlamalarında veya üretim

planlamalarında işletmeyi yanltabilir. İşletmeye daha kısa dönemli üretim planlaması yapması gerektiği önerilmektedir.



KAYNAKÇA

Ahmed, M. A. (2017). Doğrusal Hedef Programlama İle Üretim Planlaması Ve Bir Mobilya Firmasında Uygulama. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Konya.

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

America Iron and Steel Institute, America Iron and Steel Institute Profil. (2019). <https://www.steel.org/-/media/doc/steel/reports/2019-aisi-profile-book.ashx?la=en&hash=EADDC2FE9A6C7D21952C1E8288B925662A846D88> (01.06.2019).

Askerov, E. (2019, Mayıs 28). Economic Impact Of The Global Steel Industry. <https://www.worldsteel.org/media-centre/blog/2019/economic-impact-of-the-global-steel-industry.html> (30.05.2019).

Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, (2012). Türkiye Demir Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı.

Birleşik Metal İşçileri Sendikası, (2003). Birleşik Metal-İş Yayınları. <http://www.birlesikmetal.org/> (12.12.2018)

Bronson, R. (1982). Theory and Problems of Operations Research, McGraw-Hill Book Company. s.70.

Dantzig, G. B. (1963), Linear Programming and Extensions, New Jersey: University Press Princeton.

Delibaş, H. (1987). Ulaştırma Modelinin Optimum Dağıtımda Kullanılması Ve Şeker Fabrikalarında Bir Uygulama. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Deniz, E. (2009). Otomotiv Sektörü Raporu. Avrupa İşletmeler Ağı Karadeniz. Enterprise Network Commission Enterprision Industry.

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

Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, (2014). Demir Çelik Sektör Raporu. [http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_523_TN1D55SP_ Demir-celik-Sektor-Raporu-2014.pdf](http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_523_TN1D55SP_Demir-celik-Sektor-Raporu-2014.pdf) (12.10.2018)

Ekmekci, N. (2015). Sanayi İşletmelerinde Üretim Planlaması Ve Doğrusal Programlama İle Bir Sanayi İşletmesinde Optimizasyon Uygulaması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Engin, A. (2007). Dünya’da ve Türkiye’de Demir Çelik Sektörü ve Türk Çelik Sektörünün Rekabet Gücü. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Zonguldak.

Ersöz, F. , Ersöz, T. , Erkmen, İ. (2016). Dünyada ve Türkiye’de Ham Çelik Üretimine Bakış. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 32, Sayı 2.

Ersoy, Halis (2004). Gazete Dağıtımında Ulaştırma Modelleri ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye: Gazi Üni, SBE ; İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı.

Eruz, B. (2003). Türk Demir Çelik Sektörünün Yeniden Yapılandırılması. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Esin A. (1984). Yöneylem Araştırmalarında Yararlanılan Karar Yöntemleri, Ankara: Gazi Üniversitesi.

Ferguson T. S. (1996). Linear Programming.

Görkey, S. (2009). Ulaştırma Modellerinde Bir Uygulama - Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: M.Ü SBE Ekonometri Ana Bilim Dalı Yöneylem Araştırması Bilim Dalı.

Gümüsoğlu, Ş. ve Tütek, H. H., (2000). Sayısal Yöntemler Yönetmel Yaklaşım, Yenilenmiş 3.Baskı, Kasım, İstanbul: Beta Kitabevi.

Hallaç, O. (1978). Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması), İstanbul: Arpaz Matbaacılık.

Heizer, J.ve Render, B. (2004). Operations Management–Transportation Models Transparency Masters To Accompany Principles Of Operations Management, by prentice Hall , Inc., Upper Saddle River, N.J.

Hoşcan Y. (1988). Ulaştırma Modelleri ve Çözümü İçin Geliştirilen Paket Program, T.C. Anadolu Üniversitesi Eğitim Sağlık ve Bilimsel Araştırma Çalışmaları Vakfı Yayınları, No:66, Eskişehir.

International Trade Administration. (2018, Eylül). Global Steel Report. U.S. Department of Commerce, International Trade Administration. <https://www.trade.gov/steel/pdfs/07192016globalmonitor-report.pdf> adresinden alındı (12.12.2018).

James P. Ignizio, Jatinder N. D. Gupta ve Gerald R. McNichols, Operations Research in Decision Making, Crane Russak&Company Inc., 1975 , s.108-109

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

Karadağ, S. (1991). Ulaştırma Modeli Ve Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'nda Bir Uygulama. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Karayalçın, İlhami (1993). Yöneylem 'Harekat' Araştırması Operation Research, İstanbul: Menteş Kitabevi.

Kocaoğlu, Mihrican (2010). Bir Akaryakıt Dağıtım Dizgesinin Ulaştırma Giderinin Doğrusal Programlama Yoluyla En Aza İndirgenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kotaman, S. (1998). Silahlı Kuvvetlerde İkmal Sistemlerinin Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliyet Olarak Minimizasyonu, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Kirkpatrick, C. A. ve Levin, R. I. (1978), Quantitative Approaches to Management, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company.

Kulu, M. C. (2006). Tedarik Zinciri Yönetiminde Ulaştırma Modeli Optimizasyonu: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Naylor, T.H. ve T.E. Bryne (1963), Linear Programming Methods And Cases, Belmont, California: Wadsworth Publishing Company Limited.

Nikolic N. (2006). Total Time Minimizing Transportation Problem Yugoslav Journal of Operations Research, Belgrad University, December, Sayı:1

Ozan, Turgut (1994). Applied Mathematical Programming for Engineering and Production Management. New Jersey: A Reston Book-Prentice Hall.

Öğütlü, A.S. (2002). Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Yem Karışım Problemine Uygulanması (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, s. 39-40.

Özkan, Z. (2012). Ulaştırma Modelleri ve Çelik Kapı Sektöründe Bir Uygulama, KTÜ, SBE, Ekonometri Ana Bilim Dalı Yöneylem Araştırması Programı, Trabzon.

Öztürk, A. (2016). Yöneylem Araştırması, Genişletilmiş 16. Baskı. Bursa: Ekin Basım Dağıtım

Polat, G. (2018). Çimento Sektöründe Optimal Dağılım: Ulaştırma Problemi Ve Hedef Programlama İle Çimento Fabrikalarına Uygulanması. Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Yöneylem Araştırması Bilim Dalı, Ankara.

Render B. (1982). Quantitative Analysis For Management, Boston, Allyn and Bacon, Inc.

Render B. ve Stair, R.M. (1992), Introduction to Managemet Science, Boston: Allyn and Bacon Inc..

Sağır, M. (2012). Yön Eylem Araştırması 1. Eskişehir: Açık Öğretim Fakültesi Yayınları.

Sarıaslan, H., Karacabey, A.A., Gökgöz, F. (2017). Nicel Karar Yöntemleri. Ankara: Siyasal Kitabevi

Serper, Ö. ve Gürsakal, N. (1982), Doğrusal Programlama, Bursa, B.İ.T.İ.A. İşletme Fak. Yayını No:15.

Serper Ö. (1974). Doğrusal Ulaştırma Programlaması (İdeal Çözüm ve Uygulama), Bursa: İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları, No:8.

Sezen, C. , (2004). İhracat Pazarlamasında Fiyatlandırma Politikaları ve Türk Demir-Çelik Sektörüne Uygulanabilme İmkanları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Ankara.

Sezgin, T. , (2002). “Türkiye’de Demir-Çelik Sektörünün Hedef Pazarlara İhraç İmkânları,” Uzmanlık Tezi, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Merkezi, Ankara.

Şen, H. İ. (2015). Türkiye Geneline Dağıtılacak Olan Araçların Dağıtım Maliyetlerinin Optimizasyonu: Ulaştırma Modeli Uygulaması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gümüşhane Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Gümüşhane.

Taha Hamdy. A. (2017). Yöneylem Araştırması, (Çeviren ve Uyarlayanlar; Boray, Ş.A. ve Esnaf, Ş.(2017)) İstanbul: Literatür Yayıncılık.

T.C. Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Ve Verimlilik Genel Müdürlüğü, (2019). Demir Çelik Sektör Raporu.

Timor, M. (2001). Yöneylem Araştırması ve İşletmecilik Uygulamaları, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Basımevi Müdürlüğü.

Tekin, M. (1991). Kantitatif Karar Verme Teknikleri, Konya.

TOBB,(2016). Türkiye Demir ve Demir dışı Metaller Meclisi Sektör Raporu. Ankara.

Tor, F.O. (1991). Doğrusal Programlama ve Benzin Dağıtımının Ulaştırma Modeli Yardımı ile Optimizasyonu, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.

Tulunay, Y. (1982). İşletme Matematiği. İstanbul: Engin Matbaacılık.

Tuncel, S. Ö. (1997). Bulanık Doğrusal Programlama (Basılmamış Bilim Uzmanlığı Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Çelik Haritası. <http://celik.org.tr/harita/> (02.01.2019).

Üçüncüoğlu, N. (1994). Ulaştırma Modeli Ve Karayollarında Bir Uygulama. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Yıldız, M. (2002). Lojistik Yönetiminde Etkin Ulaştırma Modeli. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

World Steel In Figures 2019. World Steel Association. <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook/World-Steel-in-Figures.html> (01.06.2019).

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1.1: Dünyadaki Çelik Üretimine Yıllara Göre Büyüme Hızı

Grafik 1.2: Dünyada Ham (Sıvı) Çelik Üretimi (Milyar Ton)

Grafik 1.3: Dünya Çelik Üretimine Bölgesel Payları



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Türkiye Faaliyet Gösteren Entegre Demir Çelik Firmaları ve Kuruluş Yılları

Tablo 1.2: Türkiye'nin Ürünlere ve Yöntemlere Göre Çelik Üretimi (Milyon Ton)

Tablo 1.3: Ülkemizde Nihai Mamul Tüketimi (1.000 ton)

Tablo 2.1: Simpleks Başlangıç Temel Tablosu

Tablo 2.2: Ulaştırma Modelinin Temel Tablosu

Tablo 2.3: Kuzeybatı Köşe Yöntemi Tablosu-1

Tablo 2.4: Kuzeybatı Köşe Yöntemi Tablosu-2

Tablo 2.5: Kuzeybatı Köşe Yöntemi Tablosu-3

Tablo 2.6: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-1

Tablo 2.7: RAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-1

Tablo 2.8: RAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-2

Tablo 2.9: RAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-3

Tablo 3.1: Ulaştırma Modelinin Başlangıç Tablosu

Tablo 3.2: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-1

Tablo 3.3: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-2

Tablo 3.4: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-3

Tablo 3.5: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-4

Tablo 3.6: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-5

Tablo 3.7: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-6

Tablo 3.8: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-7

Tablo 3.9: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-8

Tablo 3.10: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-9

Tablo 3.11: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-10

Tablo 3.12: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-11

Tablo 3.13: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-12

Tablo 3.14: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-13

Tablo 3.15: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-14

Tablo 3.16: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-15

Tablo 3.17: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-16

Tablo 3.18: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-17

Tablo 3.19: VAM Yöntemi Ulaştırma Tablosu-18

Tablo 3.20: MODI Yöntemi Ulaştırma Tablosu

Tablo 3.21: Ulaştırma Tablosu Simpleks Çözüm Sonuçları

Tablo 3.22: R/SİMPLEX Programı Yardımıyla Ulaştırma Probleminin Optimal Çözümü

Tablo 3.23: X_{ij} Değişkenlerinin Amaç Fonksiyonunda %5 birim Fiyatı Artışında C_{ij} Katsayılarının Değişmesi

Tablo 3.24: X_{ij} Değişkenlerinin Amaç Fonksiyonunda %5 birim Fiyatı Azalışında C_{ij} Katsayılarının Değişmesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1: Türkiye’de Faaliyet Gösteren Firmaların Kurulu Olduğu Bölgeler

Şekil 4.1: Ulaştırma Modelinin Temel Yapısı

Şekil 2.2: Ulaştırma Modelinin Çözüm Aşamaları



ÖZGEÇMİŞ

1994 Kastamonu'da doğdu. Kastamonu Anadolu Kız Teknik ve Meslek Lisesi Giyim Üretim Teknolojisi Bölümünden mezun olduktan sonra Sakarya Üniversitesi'nin İşletme Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsüne bağlı olan İşletme Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

