

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

Uzay ÖZDER

KOBİLERDE OTOMASYONA GEÇİŞ SÜRECİNDE TAMSAYILI
DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİNİ KULLANARAK
KARAR VERME

DOKTORA TEZİ

TEZ YÖNETİCİSİ
Yrd.Doç.Dr. M. Sinan BAŞAR

ERZURUM - 2009

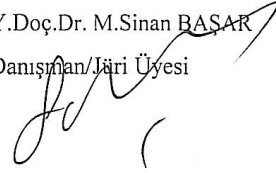
TEZ KABUL TUTANAĞI

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu çalışma, İşletme Anabilim Dalının Sayısal Yöntemler Bilim Dalında jürimiz tarafından Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

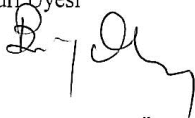
Y.Doç.Dr. M.Sinan BAŞAR

Danışman/Jüri Üyesi



Prof.Dr. Erkan OKTAY

Jüri Üyesi



Prof.Dr. Sinan TEMURLENK

Jüri Üyesi



Doç.Dr. Erkut DÜZAKIN

Jüri Üyesi



Y.Doç.Dr. Hayati AKSU

Jüri Üyesi



Yukarıdaki imzalar adı geçen öğretim üyelerine aittir. 10 / 08 / 2009

Prof.Dr. Mustafa YILDIRIM

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	IV
ABSTRACT	V
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
KISALTMALAR	VIII
ÖNSÖZ.....	IX
 BİRİNCİ BÖLÜM.....	 1
1. GİRİŞ	1
 İKİNCİ BÖLÜM	 4
2. OPTİMİZASYON VE MODEL KURMA.....	4
2.1. Optimizasyon	4
2.2. Model Kurma.....	4
2.3 Model Türleri.....	6
 ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	 8
3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA.....	8
3. 1 Doğrusal Programlama İle İlgili Tanımlar	8
3.2.Doğrusal Programlama Probleminin Matematiksel Yapısı ve Modelin Kurulması	9
3.3 Doğrusal Programlama Çözüm Teknikleri.....	13
3.3.1 Grafik çözüm yöntemi.....	13
3.3.2. Simpleks metot.....	15
3.4 Duyarlılık Analizi.....	24
3.4.1. Uygunluğu etkileyen değişiklikler	25
3.4.2 Optimumluğu etkileyen değişiklikler	26
 DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	 27
4. TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA	27
4.1. Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelleri	30
4.1.1.Tüm tamsayılı programlama modeli	30

4.1.2. Karma tamsayılı programlama modeli	31
4.1.3. Sıfır - bir (0–1) tamsayılı programlama modeli	31
4.2. Tamsayılı Doğrusal Programlamada Çözüm Yöntemleri	32
4.2.1. Kesme düzlemi algoritması	34
4.2.2. Dal-sınır (DS) algoritması	38
4.3 Tamsayılı Programlamanın Kullanımına Dair Literatür Özeti.....	42
4.3.1. Sanayideki uygulamalar	43
4.3.2. Hizmet sektörü	56
4.4. Tamsayılı Programlama Yazılımları	74
4.4.1. Baron (Branch-And-Reduce Optimization Navigator)	74
4.4.2. Conopt	75
4.4.3. Snoop (Sparse Nonlinear Optimization)	75
4.4.4. AOA (AIMMS Outer Approximation)	76
4.4.5. Xpress.....	76
4.4.6. Knitro	78
4.4.7. Gams (The General Algebraic Modeling System).....	78
4.4.8. Path.....	78
4.4.9. Minos.....	79
4.4.10. Tora	79
4.5. Tamsayılı Programlama Yazılımlarının Bugünü ve Geleceği	79
BEŞİNCİ BÖLÜM.....	81
5. UYGULAMA.....	81
5.1. Çalışmanın Amacı	81
5.2. İşletmenin Tanıtımı	81
5.3. Problemin Tanımlanması	83
5.3.1.Vana ceketi	83
5.3.1.1.Vana ceketinin avantajları.....	84
5.3.2. Manüel vana ceketi kopçalama prosesi	86
5.3.3. Vana ceketi kopçalama prosesi için alternatif teklif	87
5.4. Verilerin Toplanması.....	88
5.5. Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelinin Oluşturulması	89

5.5.1. Modeldeki varsayımlar	90
5.5.2. DEĞİŞKENLERİN BELİRLENMESİ	90
5.5.3. Amaç fonksiyonundaki unsurlar	91
5.5.3. Amaç fonksiyonunun belirlenmesi.....	96
5.5.5. Kısıtların belirlenmesi	96
5.6. Modellerin Çözümü ve Sonuçları.....	100
5.7. Duyarlılık Analizi.....	106
 SONUÇ.....	 114
KAYNAKLAR	119
EKLER.....	129
EK-1 – TALEP DAĞILIMI	129
EK-2 – VANA CEKETİ BAŞINA DÜŞEN KOPÇA SETİ	130
EK-3 – HER DÖNEM İÇİN GEREKLİ KOPÇA SAYISI	131
EK-4.....	133
EK-5.....	136
EK-6.....	139
EK-7.....	141
EK-8 – İLK DURUMDAKİ İŞÇİ VE MAKİNE VERİMLİLİĞİ.....	143
EK-9 – MODEL 1’DEKİ İŞÇİ VE MAKİNE VERİMLİLİĞİ	144
EK 10 - MODEL 2’DEKİ İŞÇİ VE MAKİNE VERİMLİLİĞİ	146
EK 11 - FARKLI TALEPLERİN OLMASI DURUMUNDA İHTİYAÇ DUYULAN KOPÇA SAYILARI.....	148
ÖZGEÇMİŞ.....	149

ÖZET**DOKTORA TEZİ****KOBİLERDE OTOMASYONA GEÇİŞ SÜRECİNDE TAMSAYILI DOĞRUSAL
PROGRAMLAMA YÖNTEMİNİ KULLANARAK KARAR VERME****Uzay ÖZDER****Danışman: Yrd.Doç.Dr. M. Sinan BAŞAR****2009 – SAYFA: X-155****Jüri : Yrd.Doç.Dr. M. Sinan BAŞAR****Prof.Dr. Erkan OKTAY****Prof.Dr. Sinan TİMURLENK****Doç.Dr. Erkut DÜZAKIN****Yrd.Doç.Dr. Hayati AKSU**

Ekonomideki artan önemine rağmen KOBİ’lerdeki üretim ve karar verme süreci sağlıklı işlememekte ve bu süreç genellikle günü birlik alınan kararlarla yönetilmektedir. Bu nedenle KOBİ’lerin uzun vadeli karar verme sürecini kolaylaştırmak için bu tez çalışmasında ülkemizdeki KOBİ’lerde üretim sürecinin otomasyonuna geçişinde yaşanan problemlerin çözümü için bir model önerilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, otomasyona geçiş sürecinde yaşanan en büyük problemin otomasyona geçişin üretim maliyetlerini ne ölçüde değiştireceğinin hesaplanamaması olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, bu tez bahsedilen problemin incelenmesine adanmış ve vana ceketi imalatı yapan KK firması özelinde yapılan bir pilot çalışma ile firmanın otomasyona geçişi doğrusal programlama yöntemi kullanılarak modellenmiştir.

Bu çalışmada ilk olarak firmanın üretim süreci incelenmiş ve tez çalışması ile ilgili veriler toplanmıştır. Bundan sonra firmanın üretim maliyetlerini hesaplarken kullandığı yöntem incelenmiş ve firmaya biri işçilik ücretlerinin yıllık bazda diğeri parça başına hesaplandığı iki model önerilmiştir. Her iki model WinQSB 1.0 ve TORA 1.0 programları kullanılarak çözülmüş ve işçilerin maliyetlendirilmesinde parça başına çalışılan süre bazında ücretlendirme yapmasının en uygun yol olduğuna karar verilmiştir. Bu durumda firmanın 6 makine satın alması ve 7 işçi çalıştırması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Modelin çözümü firmanın 124,433 Avro olan üretim maliyetlerinin 97,269 Avro’ya düşürülebileceğini göstermiştir. Böylece firma yaklaşık %22 oranında maliyet avantajı sağlamıştır. Ayrıca talep mikarlarında ve diğer maliyet parametrelerindeki değişimden firmanın nasıl etkileneceğine yönelik çalışmalar yapılmış ve belirli durumlarda firmanın nasıl karar vermesi gerektiği tespit edilmiştir.

ABSTRACT**Ph.D. THESIS****DECISION MAKING WITH INTEGER LINEAR PROGRAMMING METHOD
IN THE PROCESS OF AUTOMATIZATION IN SMEs****Uzay ÖZDER****Supervisor: Asst. Prof. Dr. M. Sinan BAŞAR****2009 – PAGE: X - 155****Jury : Assist. Prof. Dr. M. Sinan BAŞAR****Prof. Dr. Erkan OKTAY****Prof. Dr. Sinan TİMURLENK****Assoc. Prof. Dr. Erkut DÜZAKIN****Assist. Prof. Dr. Hayati AKSU**

Despite the fact that SME's are getting important elements of national economy, they have some problems in production and decision making process and it's mainly based on decisions taken on daily basis. Starting from this fact, this study is dedicated to propose a method for SME in order to solve their problems in the automatization of production process. The main problem in this process is to determine how production processes are affected during the transition from manual production to automatization. Therefore, this study is directed to scrutinize aforementioned automatization process and in this context a pilot study is organized in KK Firm by using linear programming method.

First of all, production process is subject to the analysis and production related data is collected for modeling phase. Then, current cost estimation method is studied and afterwards, two different cost estimation models are proposed to the company: In the first model, production cost is calculated by taking into account of yearly wages of workers and in the second one the cost of workers are calculated for each unit. Both models are solved by using WinQSB 1.0 and TORA 1.0 programs and it's revealed that the best way of determining production costs is to have time. In this case, this firm should buy 6 machines and recruit 7 workers and therefore production costs are reduced from 124.433 Avro to 97.269 Avro. In other words, there is 22% reduction in production costs. In addition, it's questioned that how demand and other cost parameters affects production costs and preceedingly suggestions are presented for the selected firm.

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2. 1- Yöneylem araştırması modellerinin sınıflandırılması	6
Çizelge 3. 2 – Başlangıç simpleks tablosu	16
Çizelge 3. 3 - Simpleks algoritmasının çözüm matrisi	19
Çizelge 3. 4 - Büyük M yöntemi	20
Çizelge 3. 5 - Primal-Dual ilişkisi	22
Çizelge 4. 6 - Simpleks tablosu	36
Çizelge 4. 7 - Dal-Sınır ve Kesme Düzlemi Algoritmalarının Karşılaştırması	42
Çizelge 5. 8 - Dönemsel talep miktarları	88
Çizelge 5. 9 - Model 1 için WinQSB ve TORA programının çıktılarının karşılaştırılması	101
Çizelge 5. 10 – Model 2 için WinQSB ve TORA programının çıktılarının karşılaştırılması	102
Çizelge 5. 11- Model 1 ve Model 2’deki üretim maliyetlerinin karşılaştırılması.....	103
Çizelge 5. 12 - Modellerdeki maliyet kalemlerinin dağılımı	104
Çizelge 5. 13 – Her bir modeldeki makine kullanım oranları.....	105
Çizelge 5. 14 - Her bir modeldeki işçi kullanım oranları.....	106
Çizelge 5. 15 – Talepteki değişmelere göre makine, işçi ve kopça seti miktarındaki değişme.....	107
Çizelge 5. 16 – Talepteki değişmelere göre makine ve işçi kapasite kullanım oranları.....	108
Çizelge 5. 17 – İşçilik maliyetindeki artışa göre kopça seti başına düşen işçilik maliyetlerindeki değişim	109
Çizelge 5. 18 – İşçilik maliyetindeki değişimin modele etkisi	110
Çizelge 5. 19 – Makine maliyetindeki değişimin modele etkisi	111
Çizelge 5. 20 – Enerji maliyetindeki değişimin modele etkisi.....	112

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3. 1 - Grafik çözüm yöntemi için bir örnek	14
Şekil 4. 2 - Tamsayılı doğrusal programlamanın grafik ile gösterimi	28
Şekil 4. 3 - Yuvarlaklaştırmanın grafiksel gösterimi	29
Şekil 4. 4 - Kesme düzlemi algoritmasının çözüm grafiği	38
Şekil 4. 5 - Dal-sınır yönteminin gösterimi.....	39
Şekil 4. 6 - Rafineri ve liman arasındaki boru hattı	53
Şekil 4. 7 - Tedarik ağının gösterimi	69
Şekil 5. 8 - Vana ceketi örnekleri.....	84
Şekil 5. 9 - Vana ceketi üretim akış şeması	85
Şekil 5. 10 – Model 1’in amaç fonksiyonundaki maliyetlerin dağılımı.....	92
Şekil 5. 11 – Model 2’nin amaç fonksiyonundaki maliyetlerin dağılımı.....	93
Şekil 5. 12– Model 2’deki maliyetlerin dağılımı	104
Şekil 5. 13 – İşçi maliyetindeki değişimin üretim maliyetine etkisi	109
Şekil 5. 14– Makine maliyetindeki değişimin üretim maliyetine etkisi	112
Şekil 5. 15 – Enerji maliyetindeki değişimin üretim maliyetine etkisi	113

KISALTMALAR

CAD	: Computer Aided Design
CAE	: Computer Aided Engineering
CML	: Constrained Maximum Likelihood
CNC	: Computer Numerical Control
DP	: Doğrusal Programlama
DS	: Dal – Sınır Algoritması
€	: Avro
KOBİ	: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletme
SME	: Small and Medium Sized Enterprises (Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletme)
SQP	: Sequential Quadratic Programing
TA	: Tabu Arama
TB	: Tavlama Benzetimi
TDP	: Tamsayılı Doğrusal Programlama
TORA	: Taha Operations Research Application
W	: Watt
YA	: Yöneylem Araştırması

ÖNSÖZ

Bilindiği üzere, dünyada son yıllarda yöneylem araştırması üzerine birçok akademik çalışma yapılmakta ve bunların sonuçları çeşitli yollarla akademik camia ile paylaşılmaktadır. Böyle bir tez hazırlamaya beni yönelten en büyük etken dünyada yöneylem araştırması yöntemleri kullanılarak farklı sektörlerdeki birçok kuruluşun endüstriyel problemlerinin çözülmesi ve bu kuruluşlara önemli maliyet avantajları sağlanmasına karşın bu tür uygulamaların ülkemizde çok sınırlı kalmasıydı. Özellikle, ülkemizdeki KOBİ'lerin hem finansal yönden güçlü olmadıkları hem de uzun vadeli karar alma süreçlerinde bilimsel bir yaklaşım kullanmadıkları tespitinden hareketle, KOBİ'lerin otomasyona geçiş sürecinin incelenmesi üzerinde duruldu ve bu konuda birçok firma ile iletişime geçildi. Firmaların mevcut problemlerini tanımlamadaki yetersizlikleri ve ilgili verileri akademik camia ile paylaşmadaki isteksizlikleri neticesinde, görüşülen firmalar arasından bu tezin konusu ile yakından ilgilenen ve firmasındaki tüm bilgileri kulanıma açan KK firması pilot uygulama için seçildi.

KK firmasındaki çalışmalar süresince KOBİ'lerin uzun vadeki yatırım kararlarını vermedeki yaklaşımlarının detaylı bir şekilde incelenmesi mümkün olmuştur. Böylece firmayı daha yakından tanıma imkanı elde edilmiş ve teze konu olan problem hakkında da veri toplanmıştır. Bu bilgilerin yanı sıra yukarıda da bahsedildiği gibi ülkemizdeki ve dünyadaki literatür detaylı bir şekilde incelenmiş ve eldeki verilerin yapısına uygun bir matematiksel modelin oluşturulması sağlanmıştır. Aynı zamanda yöneylem araştırmasında sıklıkla kullanılan yazılımlar da incelenerek, probleme ve firma yapısına en uygun yazılımın belirlenmesi de sağlanmıştır. Problemin çözümü sonucu elde edilen bilgiler firma ile paylaşılmış ve firmanın bu doğrultuda karar alması için önerilerde bulunulmuştur.

Bahsedilen bu sıkıntılı süreç boyunca beni yönlendiren ve çalışmamın olgunlaşıp bu bu teze dönüşmesinde büyük katkıları olan ve tüm bunlara ek olarak sabırla hatalarımı düzelten ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç Dr. M. Sinan BAŞAR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tüm çalışma süresince değerli yorumları ile bu tez çalışmasının daha da zenginleşmesine katkıda bulundukları için tez jürisinin değerli üyeleri olan Prof. Dr. Erkan OKTAY, Prof. Dr. Sinan TİMURLENK, Doç. Dr. Erkut DÜZAKIN ve 'e ayrıca teşekkür ederim. Ayrıca, bu tezin ortaya çıkmasında önemli katkıları olan ve fabrikasındaki yoğun

alışmalarının arasında beni her zaman güler yüzle ve misafirperver şekilde karşılayan ve firma bilgilerini benimle paylaşan isimlerini burada zikredemediğim KK firmasının yöneticilerine ve tüm çalışanlarına teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Son olarak, akademik çalışmalarım boyunca fedakarca her zaman bana destek olan eşim Ebru ÖZDER'e ve tüm aileme minnettar olduğumu ifade etmek isterim.

Erzurum-2009

Uzay ÖZDER

BİRİNCİ BÖLÜM

1. GİRİŞ

Nüfus artışına paralel olarak sanayi ve teknolojinin zirveye ulaştığı 20. yüzyılda, kısıtlı kaynakların optimum şekilde kullanımı, çözümlenmesi zorunlu olan bir problem haline gelmiştir. İnsanlık tarihi kadar eski olan bu problem, sanayiden tarıma, askerlikten ulaştırmaya, sağlıktan ekonomiye tüm iş alanlarında kendisini göstermektedir. Özellikle II. Dünya Savaşı sırasında müttefik kuvvetlerin, Alman hava saldırılarına karşı koymak ve denizaltıları batırmak için topladığı bilim kurulunun hava ve deniz araçlarını vurmak için bu araçların rotalarının ve gerçekleştireceği eylemin önceden tahmin edilmesi gerekliliğini belirlemesi ile Yöneylem Araştırması ortaya çıkmıştır. (Öztürk, 2002)

Türkiye’de ilk Yöneylem Araştırması çalışmaları, 1956’da Albay Fuat ULUĞ’un çabaları ile Genelkurmay bünyesinde yedek subaylardan oluşturulan Harekât Araştırması grubu ile başlatılmıştır (Topçu, 2005). Seferberlik ve hava savunma konularında yurtdışından alınan destek ile araştırmalar yapılmış, böylece Silahlı Kuvvetler sayısal veri destekli karar verme yönteminin ülkemizde de araştırma konusu olmasına hız kazandırmıştır.

Yöneylem Araştırması, gerçek hayat sistemlerinin, matematiksel modellerle temsil edilmesi ve optimum çözümü bulmak için kurulan modellere sayısal yöntemlerin uygulanmasıdır (Binay ve diğer., 2001). Çalışma konumuza temel teşkil eden ve Yöneylem Araştırması modellerinden biri olan doğrusal programlama (DP), halen üzerinde çalışılan ve birçok karmaşık endüstriyel problemlerin çözümü için geliştirilen bir yöntemdir. Bir başka deyişle, doğrusal programlama, eldeki sınırlı kaynakların optimum dağılımını belirlemek için kullanılan matematiksel bir tekniktir. Bu yöntem, yüksek verimliliğe sahip, gelecek vaat eden ve kendisinden türetilen yeni metotların kaynağıdır. Doğrusal programlamada tüm amaç ve kısıt fonksiyonları doğrusal, tüm değişkenler sürekli. Üretim planlama, rafineri yönetimi, karışım, dağıtım, finansal ve ekonomik planlama, işgücü planlaması, tarımsal planlama ve gıda planlaması doğrusal programların temel uygulama alanlarına birer örnektir.

Tamsayılı doğrusal programlama (TDP) yöntemi, doğrusal programlama yönteminden türetilen metotlardan biridir. Doğrusal programlama ile tamsayılı programlama modeli arasındaki tek farklılık; TDP’da değişkenlerin hepsinin ya da

bazılarının tamsayılı çözüm değerlerini aldığı doğrusal programlama durumudur. Tamsayılı doğrusal programlama uygulamalarına pratikte mühendislik, ekonomi, ticaret gibi alanlarda rastlamak mümkündür. Tamsayılı doğrusal programlama metodu, literatürlerde sıkça işlenme gereği duyulan güncel yöntemlerden biri haline gelmiştir.

Bilgisayar destekli olarak çalışılabilmesi bakımından güçlü bir metot olmasına rağmen tamsayılı doğrusal programlama alanında yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen gelişmeler oldukça sınırlı kalmıştır. Bu tez çalışmasının bir amacı da bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktır. Bu metodun asıl amacı, işletmelerde uygulanarak bu alandaki çalışmalara katkıda bulunmak, yani firmadaki üretim maliyetlerini minimize etmek ve kâr payının artırılmasına yardımcı olmaktır. İşletmeler kârlarını maksimize veya maliyetlerini minimize etme amaçlarına ulaşabilmek için, ellerinde mevcut bulunan işgücü, sermaye, enerji, hammadde gibi kısıtlı kaynaklardan yararlanmak ve onları optimum şekilde kullanmak durumundadırlar.

Bu çalışmanın kapsamı ise tamsayılı doğrusal programlamanın uygulama performansının incelenmesi, yani optimum çözümlerin gerçek hayatta ne derece geçerli olduğunu araştırmaktır. Uygulama sahası olarak taleplerin sürekli dalgalanmalar gösterdiği, istikrarsız bir ekonomik ortamda faaliyet gösteren ve müşteri istekleri doğrultusunda özel ürünler üreten bir firma seçilmiştir. Bu tez çalışmasında, seçilen bir firmanın yıllık maliyetlerini minimize etmek için tamsayılı doğrusal programlama yardımı ile otomasyonlu üretim ya da manuel üretim arasında bir mukayese yapılması ve optimum sonuca ulaşılması hedeflenmiştir. Söz konusu firmanın geçmişe dönük satış verileri, geleceğe dönük yaptığı satış sözleşmeleri ve firmanın otomasyona geçirilmesi için yurtdışından satın alınması düşünülen makineye ilişkin bilgiler modelleme için kullanılan verileri oluşturmaktadır. Çalışmada, artan siparişler sonucu personele dayalı üretim mi yoksa otomasyona dayalı üretim mi yapılması gerektiği incelenmiştir.

Çalışmanın içeriği özetle şöyledir: Giriş bölümünü takiben, çalışmanın ikinci bölümünde optimizasyon, model kurma ve model türleri tanımları alt başlıklarıyla sunulmuştur.

Üçüncü bölümde ise doğrusal programlama ile ilgili tanımlar, doğrusal programlama modelinin matematiksel yapısı ve modelin kurulması, bu tekniğin aşamaları, temel şartları ve unsurları, doğrusal programlama ile ilgili varsayımlar ve çözüm metotları konuları alt başlıklarıyla sunulmuştur.

Dördüncü bölümde tamsayılı doğrusal programlama başlığı altında tamsayılı doğrusal programlama model türleri olan tüm tamsayılı doğrusal programlama, karma tamsayılı doğrusal programlama ve 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modelleri anlatılmış, daha sonra kesme düzlemi yöntemi ile dal-sınır yöntemlerini anlatımı ve matematiksel ifadelerle gösterimi yer almıştır. Ayrıca adı geçen bölümde, doğrusal programlama ile ilgili literatürün taranması sonucu elde edilen uygulamalara dair geniş bir özet bilgi sunulmaktadır. Son 10 yıllık dönemde tamsayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılarak çözüm getirilen endüstri problemlerinin detaylı incelemesi sırasında ilgilenilen probleme ilişkin önemli bilgiler elde edilmiştir. Aynı zamanda okuyuculara da büyük bir bilgi hazinesi sunulmaktadır. Buna ek olarak, tamsayılı doğrusal programlama yöntemlerini kullanan optimizasyon yazılımları da detaylı bir incelemeye tabi tutulmuştur. Böylece tezin uygulama bölümünde kullanılarak en uygun yaklaşım belirlenmiştir. Ayrıca yöneylem araştırması konusunda çalışacak araştırmacılara önemli bir bilgi kaynağı sunulmuştur. Özetle, bu bölümün tez çalışmasında incelenen uygulama ile ilgili teorik bilgilerin sunulduğu en önemli bölüm olduğu düşünülmektedir.

Beşinci bölüm olan uygulama bölümünde ise sırasıyla uygulama çalışmasının amacı, işletmenin tanıtımı, problemin tanımlanması, verilerin toplanması, modelin oluşturulması, kullanılan yazılım, modelin çözülmesi ve çözümleri ile duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir.

Altıncı bölümde yani sonuç bölümünde ise beşinci bölümde elde edilen sayısal veriler yorumlanarak tez çalışmasının literatüre ve ülkemizdeki KOBİ'lere katkısı irdelenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. OPTİMİZASYON VE MODEL KURMA

2.1. Optimizasyon

İşletmeler her gün yüzlerce farklı problemle karşılaşmakta ve bu problemler için alternatif çözüm yolları geliştirerek bu yollardan birini tercih etmek zorunda kalmaktadır. Alternatif çözüm yolları araştırılırken, hangi yolun en iyi sonucu vereceği değerlendirilerek, işletmenin isteklerini en iyi biçimde karşılayan yol belirlenmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla, alternatifler arasından en iyisinin belirlenmesi sürecini, optimizasyon (eniyileme) olarak tanımlanabilir.

Karim (2003) ise optimizasyonu, “bir performans kriterini veya amacı maksimize ya da minimize edecek kabul edilebilir bir dizi alternatif çözümler arasından uygun olanın seçilmesi” şeklinde tanımlamaktadır.

Optimizasyon için örnek vermek gerekirse; işletmelerin finansal kaynaklarını en kısa zamanda en fazla kazancı getirecek şekilde planlaması, firmaların taşıma faaliyetlerini en kısa yol ve en düşük maliyetle gerçekleştirme amacıyla yaptıkları çalışmalardan bahsedilebilir. Elbette ki, iş dünyasında optimizasyon uygulamaları bu kadarla sınırlı değildir. İşletmelerin satış ve dağıtım operasyonların sırasında en uygun ve kısa yolun bulunması ya da bir petrol şirketinde dolum esnasında en düşük yakıt zayıyatının belirlenmesi gibi optimizasyonun farklı alanlardaki çeşitli uygulamalarına sıkça rastlanılmaktadır. Ayrıca kaynak yönetimin süreçlerinde de ise en kısa zamanda kaynakların en etkin bir biçimde kullanılmasın da bir optimizasyon uygulamasıdır. Özetle, optimizasyon yalnızca İşletme- İktisat biliminde değil, hemen her bilim dalında geçerli olan bir yaklaşımdır.

Optimizasyonun işletmelerde kullanımını açıklayan bu tez çalışmasında incelenecek probleme temel oluşturabilecek literatürlerde geçmiş örnekler Bölüm 4.3’te detaylı bir şekilde aktarılmıştır.

2.2. Model Kurma

Bir sistem veya teorinin özelliklerini önceden kestirebilmek ve daha sonra bu özellikleri kullanabilmek için o teori veya sistemin fiziksel, çizgisel veya matematiksel olarak tanımlanmış haline model denir. Günlük hayat içerisinde karşılaşılan problemlerinin çözümünde gerçek nesnelerin kullanılmasının mümkün olmadığı

durumlar olabilir. Bunun yerine, üzerinde çalışılan problemler matematiksel ifadeler, bilgisayar programları kullanılarak veya küçük ölçekli fiziksel modeller (maketler) kullanılarak modellenirler. Burada önemli olan husus modelin, problemin konusunu veya nesnesini ne kadar iyi temsil ettiğidir. Bu yüzden her probleme farklı yöntemlerle farklı bir model kurulabilir.

Model kurmada amaç; araştırılan konunun daha doğru ve daha kolay anlaşılmasını sağlamak, karşılaşılabilecek durumların analizini en az maliyetle gerçekleştirmek, hammadde, sermaye, enerji ve doğal kaynaklar gibi gerçek değerlerin boşa harcanmasını veya zarar görmesini engelleyecek tedbirlerin alınmasını sağlamaktır. Böylece, büyük maddi kayıplar engellenebileceği gibi önerilerin modelden doğacak sonuçların kolaylıkla uygulanabilmesi ve ilgili kişilere aktarılması kolaylaşmaktadır.

İşletmelerde yürütülen faaliyetlerin, belirli bir zaman diliminde ileriye dönük olarak etkin bir şekilde planlanması ve geleceğe dair kararlar verilmesi gerekmektedir. Karar verme sürecinde dikkate alınması gereken üç ana unsurdan söz edilmektedir:

- Karar değişkenlerinin belirlenmesi,
- Karar değişkenlerine bağlı olarak hedefin (amacın) belirlenmesi, yani amaç fonksiyonun oluşturulması,
- Hedefe ulaşmadaki engellerin, başka bir deyişle kısıtların tespit edilmesi (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

Yukarıdaki listeden de görülebileceği üzere, karar verme sürecinde ihtiyaç duyulan modeli geliştirmek için önce karar değişkenleri tanımlanmalıdır. Problemin çözüme kavuşması ve modelin kurulmasındaki en önemli husus, karar değişkenlerinin tam ve doğru olarak belirlenmesidir. Böylece amaç fonksiyonun doğru şekilde kurulması sağlanır.

Karar problemlerinin optimum çözümünü elde etmek için model kurmak gerekliliktir. Bu nedenle yöneylem araştırmalarında matematiksel modelin kurulması son derece önemlidir. Genel olarak bir yöneylem araştırması modeli amaç fonksiyonunu maksimize ya da minimize edecek şekilde düzenlenir (Doğan, 1995). Model kurulurken, toplanan gerçek değerlere/verilere göre amaç fonksiyonları ve kısıt denklemleri doğrusal ya da doğrusal olmayan denklemlerle ifade edilirler. Ayrıca, kurulan

matematiksel modellerde karar değişkenleri çözüm sonunda tamsayılı ya da kesirli olabilir.

2.3 Model Türleri

Ralphs (2005), modelleri öncelikle somut ve soyut (kavramsal) olarak iki grupta toplamıştır. Yöneylem araştırmasının temel konularından biri olan matematiksel modeller ise doğrusal, doğrusal olmayan, tamsayılı ve stokastik (rassal) olmak üzere dört ana gruba ayrılmıştır. Bunların yanı sıra, diğer bir sınıflandırma ise şu şekilde yapılabilir (Binay ve diğer., 2001):

- İkonik modeller: fiziksel model olarak da adlandırılan, gerçek bir nesnenin ya da olayın genellikle farklı boyutlarda ifade edilmiş görsel temsilcileridir. (Örneğin; kabartma harita, uçak maketi, oyuncak kamyon vb.)
- Analog (çizgisel) model: gerçek bir nesnenin ya da olayın çeşitli özelliklerini ifade eden çizgilerden oluşur. (Örneğin; elektrik devresi şeması, yapı projeleri vb.)
- Matematiksel model: gerçek bir nesnenin ya da olayın harfler, rakamlar ve çeşitli matematiksel sembollerle temsil edilmiş şeklidir. (Örneğin; formüller, denklemler vb.)

Yöneylem araştırmasında, optimizasyon problemleri için matematiksel modeller kullanılır. Binay ve diğerleri (2001) yöneylem araştırmasında kullanılan teknikleri ve yaklaşımları model yapılarına göre deterministik ve olasılıklı modeller olarak gruplamışlar ve modelleri Çizelge 2.1'deki gibi sınıflandırmışlardır.

Çizelge 1- Yöneylem araştırması modellerinin sınıflandırılması

Deterministik Modeller	Olasılıklı (Rassal) Modeller
Doğrusal Programlama	Markov Zincirleri
Tamsayılı Programlama	Kuyruk Teorisi
Hedef Programlama	Karar Analizi
Ulaştırma ve Atama Modelleri	Simülasyon
Doğrusal Olmayan Programlama	Tahmin Modelleri
Oyun Teorisi	Güvenirlilik Analizi
Deterministik Dinamik Programlama	Olasılıklı Dinamik Programlama
Deterministik Stok Modelleri	Olasılıklı Stok Modelleri
Şebeke (Ağ) Analizi	
CPM ve PERT ile Proje Planlama	

Çizelge 1'den de görülebileceği üzere, hem deterministik hem de rassal modeller kendi arasında birçok alt model ve analiz yöntemi içermektedir. Yukarıda listelenen her bir modeli açıklamak yerine, bu tez çalışmasına konu teşkil eden problemin çözümünde kullanılan doğrusal programlama ve onun bir alt kümesi olan tam sayılı doğrusal programlama yöntemlerinin detaylı incelemesi gerçekleştirilmiştir.

Doğrusal programlama, deterministik modellerin yaygın olarak kullanılan bir çeşidi olup, sınırlı kaynakların faaliyetlere göre optimum dağılımını sağlamak için geliştirilmiş bir matematiksel model kurma yöntemidir (Kara, 1986). Doğrusal programlama modellerinde yer alan girdi ve çıktıların katsayıları arasındaki ilişkinin, yani amaç ve kısıt koşullarını belirleyen fonksiyonların doğrusal olduğu varsayılmaktadır (Özkan, 1998).

Deterministik modellerin yaygın olarak kullanılan diğer bir türü de doğrusal programlamanın bir alt kümesi olan, tamsayılı doğrusal programlamadır. Bu model, doğrusal amaç fonksiyonu, ve kısıt denklemleri ile değişkenlerinin bazılarının ya da tümünün tamsayılı değerler alması ve negatif olmama koşullarını içerir ve tüm tamsayılı, karma tamsayılı ve 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modelleri olmak üzere üçe ayrılır (McCarl ve diğer., 1997).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

Doğrusal Programlama, eldeki sınırlı kaynakların optimum dağılımını belirlemek için kullanılan matematiksel bir tekniktir. Bir başka deyişle, doğrusal programlama problemleri, bir fonksiyonun belirli kısıtlayıcılar altındaki maksimizasyonundan veya minimizasyonundan ibarettir (Doğan, 1995).

İşletme problemlerinin, matematik modellerin yardımı ile analiz edilmesinde doğrusal programlama önemli bir yer tutar. Özellikle matematiksel programlama teknikleri, ekonomik karar problemlerinde uygulanan doğrusal programlama aracılığı ile ortaya çıkmıştır. Doğrusal programlama metodu, amaçların ve sınırlayıcı şartların doğrusal fonksiyon ile ele alınması varsayımına dayanmaktadır. En ekonomik kararın verilmesi ise, mevcut şartlar altında ekonomik amaca optimum şekilde ulaşılmasının sağlanması anlamına gelmektedir.

Doğrusal programlama tekniği askeri problemlerden endüstriyel problemlere ve hizmet sektörüne kadar geniş bir yelpazede uygulanmaktadır. Son yirmi yılda doğrusal programlama yöntemleri kullanılarak yapılan uygulamalar hakkında detaylı bir inceleme Bölüm 4.3'te sunulmuştur.

3. 1 Doğrusal Programlama ile İlgili Tanımlar

Doğrusal programlamada kullanılan ifadeler aşağıda kısaca özetlenmiştir (Bakır ve Altunkaynak, 2003):

- Uygun Çözüm: Doğrusal programlama probleminin tüm kısıtlarını ve negatif olmama koşulunu sağlayan $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ vektörüdür.
- Optimum Çözüm: Doğrusal programlama probleminin tüm kısıtlarını sağlayan ve içlerinde amaç fonksiyonunun gereğini en üst düzeyde karşılayan çözümdür.
- Temel Çözüm: Kısıt denkleminin $n-m$ (n 'nin m 'den farkı) tane değişkeninin sıfıra eşitlenerek m değişken için problemin çözümü temel çözümdür. Burada n değişken sayısını, m de kısıt sayısını temsil etmektedir.

3.2.Doğrusal Programlama Probleminin Matematiksel Yapısı ve Modelin Kurulması

Matematikte n bilinmeyenli bir doğrusal model ancak n tane birbirinden bağımsız doğrusal denklemlerle çözülebildiği halde, doğrusal programlama ile aynı sayıda bilinmeyenli bir doğrusal model bu sayıdan daha az denklem yardımıyla çözülebilmektedir (Teyyar, 1996). Bir problemin çözümünde doğrusal programlama yönteminin kullanılabilmesi için öncelikle problemin net bir şekilde tanımlanması gerekir. Karar verici, ilk olarak çözmek istediği problem için elindeki olanaklar ile varmak istediği sonucu belirlemelidir. Bunu yaparken problemin aşağıdaki unsurlara göre tanımlanmasına dikkat edilir:

- Amaç fonksiyonu (Varılmak istenen hedefin matematiksel ifadesi):

Doğrusal programlama modelinden sonuç alınabilmesi için amacın net ve açık olarak bilinmesi ve nicel olarak yazılımı gereklidir. Amaç, kâr maksimizasyonu veya maliyet minimizasyonu olabilir. Amaç fonksiyonunda $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ karar değişkenlerini, $c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_n$ ise kâr veya maliyet sabit kat sayılarını ifade etmek üzere, amaç fonksiyonun genel ifadesi aşağıdaki gibidir (Öztürk, 2002).

$$\text{Maks}(\text{Min})Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

ve genel bir ifade yazılmak istenirse;

$$\text{Maks}(\text{Min})Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad j=1,2,3,\dots,n$$

şeklinde yazılır (Doğan, 1995). Amaç Z 'yi maksimize veya minimize edecek karar değişkenlerinin değerini bulmaktır. Amaç fonksiyonundaki parametreler problemin türüne göre değişir. Minimizasyon problemlerinde değişkenlerin katsayıları, birim başına maliyeti, maksimizasyon problemlerinde değişkenlerin katsayıları, birim başına elde edilen kârın katsayılarıdır.

- Değişkenler (Kısıt ve amaç fonksiyonunu oluşturan unsurlar):

Değişkenler, problemde yer alan bilinmeyenleri, yani sonucunu aradığımız unsurları ifade eder. İşletme problemlerinde genellikle üretim hacmi, makinelerin çalışma süreleri, üretimde kullanılan hammadde miktarları ve üretimde yapılan giderler değişkenler arasında yer alır. Bu değişkenleri belirlerken üretimde yapılacak her hangi bir değişikliğin modele de yeni değişkenler getireceğinin dikkate alınması, değişkenler için kabul edilen ölçütlerin aynı olması gerekir.

- Parametreler (Değişkenlerin değişim aralığı):

Parametreler belirlenirken, problemi etkileyecek üretim süresi, birim maliyet, birim hacim vb. faktörlerin modelde matematiksel olarak ifade edilmesi gereklidir. Bir birim üretim için üretimde kullanılan makinelerin, makine ile işlem süresi ilişkisinden yararlanılarak bazı parametreler belirlenir. Aynı zamanda üretim faktörlerinin bileşim oranları olan teknik üretim katsayıları yardımıyla, değişkenler arasındaki ilişkiyi kuran parametreler belirlenir (Teyyar, 1996).

- Kısıtlar (Eldeki olanaklar):

İşletmeler faaliyetlerini sınırlı kaynaklarla sürdürürler. Bu sınırlı kaynaklar; finansal olanaklar, hammadde miktarı, işçi sayısı, makine sayısı, depo hacmi vb. olup kısıt olarak adlandırılır. Topçu (2005) ise kısıdı, “soruna özgü durumların getirdiği sınırlardır” diye tanımlamaktadır.

İşletmenin sahip olduğu kaynakların miktarı b_i ile ürünlerin seçenekli üretim yolları ya da ikame oranı da a_{ij} sembolüyle gösterilir (a_{ij} , bir birim j ürünü üretmek için b_i ’den gerekli olan miktarı gösterir). Buna göre kısıtların genel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=; \geq) b_i \quad \begin{matrix} (i = 1, 2, \dots, m) \\ (j = 1, 2, \dots, n) \end{matrix}$$

- Negatif Olmama Koşulu:

Doğrusal Programlama modellerinde yer alacak faaliyetler işletme için bir anlam taşımaması gerektiğinden, değişkenlerin negatif olması söz konusu olamaz. Eğer işletmeler üretimde bulunurlarsa değişkenlerin değerleri pozitif, herhangi bir üretim olmaz ise değişkenlerin değeri sıfır olur. Dolayısıyla doğrusal programlamada yer alacak olan değişkenlerin değeri sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olur ve $x_j \geq 0$ olarak denklem sisteminde yer alır (Teyyar, 1996).

Bu kısa bilgilerden sonra bir doğrusal programlama modelinin gösterimi ile ilgili şu bilgiler verilebilir:

Modele girecek olan değişkenler $x_1, x_2, \dots, x_n$ ’dir. Değişkenler arasındaki ilişkileri kuran parametreler ise $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{mn}$ biçiminde gösterilir. Verilen sabit değerler $b_1, b_2, \dots, b_m$ ile gösterilir. İlişkilerde kullanılan $x_1, x_2, \dots, x_n$ değişkenleri pozitif veya sıfır olabilirler, ekonomide negatif üretimden söz edilemeyeceğinden değişkenlerin de negatif olmaları mümkün değildir. Değişkenler arasındaki ilişkiler,

genellikle eşitlik ve eşitsizlik halinde gösterilir. Değişkenler arasında kurulan diğer bir doğrusal denklem de amaç fonksiyonudur. Modelin bütün değişkenleri bu fonksiyonda yer alır (m: kısıt sayısı, n: değişken sayısı). Bu bilgilere göre amaç fonksiyonunun kâr maksimizasyonu veya maliyet minimizasyonu olduğu bir doğrusal programlama modeli genel olarak şöyle ifade edilebilir (Teyyar, 1996):

$$\text{Amaç denklemi} \quad \text{Maks (Min)} Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (j=1,2,\dots,n)$$

$$\text{Kısıtlayıcılar :} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=; \geq) b_i \quad \begin{matrix} (i = 1,2,\dots,m) \\ (j = 1,2,\dots,n) \end{matrix}$$

$$\text{Negatif olmama koşulu :} \quad x_j \geq 0 \quad (3.3)$$

$a_{ij} > 0$ ise imalat işleminde girdileri gösterir ve j faaliyetinde tüketilen i malın miktarıdır. $a_{ij} < 0$ ise imalat yerinde çıktıları gösterir ve j faaliyetinde üretilen i malının miktarını gösterir. $a_{ij} = 0$ ise j faaliyetinde i malının ne girdisi ne de çıktısı mümkündür.

Sağ taraf sabitleri sıfırdan büyük ($b_i > 0$) ise imalat işleminde girdi olarak kullanılan i malının miktarını, sağ taraf sabitleri sıfırdan küçük ($b_i < 0$) ise imalat işleminde çıktı olarak kullanılan i malının miktarını ifade eder. $x_1, x_2, \dots, x_n$ kontrol edilebilen karar değişkenlerini ifade etmektedir (Teyyar, 1996).

Matematiksel bir modelin çözümünde karşılaşılan sorun ilk önce değişkenlerin belirlenmesi, daha sonra ise amaç ve kısıtlayıcıların bu değişkenlerin bir matematiksel fonksiyonu olarak ifade edilmesi ve tanımlanmasıdır.

Bir doğrusal programlama probleminin çözümünde aşağıdaki sıra izlenir (Tulunay, 1980):

- Verilerin toplanması,
- Probleme ait modelin kurulması,
- Modelin çözümlerinin araştırılması,
 - Modelin yapısına bağlı olarak çözümler birden fazla olabilir,
 - Modelin hiçbir çözümü olmayabilir,
 - Amaç denkleme aynı değeri kazandıran alternatif çözümler bulunabilir.

Karar problemlerinin çözümünde doğrusal programlama tekniğinin uygulanabilmesi için (Doğan 1995):

- Amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar iyi bir şekilde tanımlanmalı,

- Alternatif kararların oluşturulması mümkün olmalı,
- Değişkenler kendi aralarında ilişkili olmalı,
- Kullanılacak kaynakların arzı sınırlı olmalı,
- Değişkenler arasında kurulan bağıntılar doğrusal olmalı,
- Uygulanacak problem kısa dönemli olmalıdır.

Doğrusal Programlama unsurlarının kısaca açıklanmasından sonra modelinin kurulabilmesi ve uygulanabilmesi için kabul edilen temel varsayımların neler olduğu belirtilmelidir. Temel varsayımlar genelde bütün problemlerde kullanılır, bu nedenle varsayımları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- Doğrusallık: Kurulacak modelde yer alan girdi ve çıktıların katsayıları arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu varsayılmaktadır.
- Kaynakların sınırlılığı ve sonluluğu: İşletmeler, sınırlı olan kaynaklarını doğru değerlendirdikleri sürece hedeflerine ulaşabilirler. Buradan yola çıkarak bu varsayım, süreç sayısının, üretim faktörlerinin, alternatif faaliyet sayısının ve kaynak sınırlarının sonlu olması üzerine kuruludur.
- Negatif olmama (pozitiflik): Doğrusal programlamada yer alan tüm değişkenlerin değeri sıfır ya da sıfırdan büyük olmalıdır. Bu varsayımın ortaya çıkış sebebi negatif üretim söz edilemeyeceğindendir (Öztürk 2002).
- Toplanabilirlik: Her bir karar değişkeninin amaç fonksiyonuna olan katkısı, diğer karar değişkenlerin katkısından bağımsızdır ve sistemin toplam çıktısı karar değişkenlerin katkılarının toplamına eşittir (Binay ve diğer., 2001).
- Bölünebilirlik: Çoğu üretim faaliyetinde üretime giren kaynaklar ile üretim sonucu ortaya çıkan ürünler bölünebilme özelliğine sahiptir. Bu özellik model kurulurken dikkate alınan diğer bir varsayım olan “bölünebilirlik varsayımını” ortaya çıkarmaktadır (Varsın, 2003).
- Belirlilik: Doğrusal programlamada birim başına kâr, her faaliyet için gerekli faktör miktarı ve elde edilecek ürün miktarı gibi ekonomik değerlerin sabit olduğu varsayılır.

Tek değerli beklentiler varsayımında ise; kaynak arzı, girdi-çıktı katsayıları ve fiyatların kesin olarak bilindiği kabul edilir (Özkan, 1998).

3.3 Doğrusal Programlama Çözüm Teknikleri

Doğrusal programlama modellerinin başlıca iki temel çözüm yöntemi vardır. Bunlardan birincisi “Grafik Yöntem”, ikincisi ise doğrusal programlama modellerinin özel çözüm tekniği olan “Simpleks Metottur.”

Grafik yöntem teorik olarak çok sayıda değişkenin yer aldığı problemlerin çözümünde kullanılabilir olsa da pratikte üçten fazla değişken grafik yardımıyla gösterilemez ve çözülemez. Ayrıca ikiden fazla değişken için çözüme ulaşmak çok güç olacağından grafik yöntem çoğunlukla iki değişkenli modeller için kullanılır. Grafik yöntemi, kısıtların çevrelediği alan içindeki optimum çözümü bulmak için amaç doğrusu eğimi değiştirilmeksizin amaç yönünde (maksimum ya da minimum yönde) hareket ettirilmesine dayanmaktadır.

Simpleks metot ise Dantzig tarafından geliştirilmiş olup, çok sayıda karar değişkeni içeren doğrusal programlama problemlerinin genel bir çözüm metodudur (Yılmaz, 1988).

Bir doğrusal programlama modeli çözüldüğü zaman aşağıdaki dört durumdan biri ile karşılaşmaktadır (Topçu, 2005).

- Doğrusal programlamanın tek bir optimum çözümü vardır.
- Doğrusal programlamanın alternatif optimum çözümleri vardır.
- Doğrusal programlamanın uygun çözüm alanı yoktur.
- Doğrusal programlama uygun çözüm alanı sınırsızdır.

3.3.1 Grafik çözüm yöntemi

Grafik çözüm yöntemi problemde en fazla üç değişken olması durumunda kullanılabilen bir yöntemdir. Ancak değişken sayısı üç olduğunda üç boyutlu bir grafik ortaya çıkacağından, çözüme ulaşmak zorlaşabilir. Değişken sayısının iki olması halinde, çizilecek grafik iki boyutlu olacağından kolaylıkla çözüme ulaşılır. Dolayısıyla, değişken sayısı arttıkça boyut sayısı da artacağından grafik üzerinde çözümün elde edilmesi güçleşecektir. Bu nedenle grafik yöntemi ikiden fazla değişkenli doğrusal programlama modellerinin çözümünde tercih edilmemektedir (Binay ve diğer., 2004).

Grafik yöntemin daha iyi anlaşılması için, öncelikle bu yöntemin uygulanması sırasında kullanılan terimlerin tanımlanmasında fayda vardır.

- Uygun çözüm alanı: Ortaya konan problemin kısıtlayıcı koşullarının (kısıtların) hepsini sağlayan noktalar kümesine uygun çözüm alanı denir.
- Amaç doğrusu: Amaç fonksiyonunun koordinat düzlemindeki görüntüsüdür.
- Optimum çözüm: Uygun çözüm alanı içerisindeki optimum sonucu ifade eder (Öztürk, 2002).

Grafik çözüm yöntemi uygulanırken; kısıtları ifade eden eşitsizlikler koordinat sisteminde gösterilerek uygun çözüm alanı belirlenir. Daha sonra amaç doğrusu problem maksimizasyon ise ∞^+ (pozitif yönde sonsuz)'a, minimizasyon ise ∞^- (negatif yönde sonsuz)'a doğru paralel olarak kaydırılır. Amaç fonksiyonunun uygun çözüm alanını terk ettiği nokta optimum çözüm değerini verir. Grafik yönteminin bu özelliği dolayısıyla optimum noktası uygun çözüm alanının köşe noktalarından biridir (Şekil 3.1)

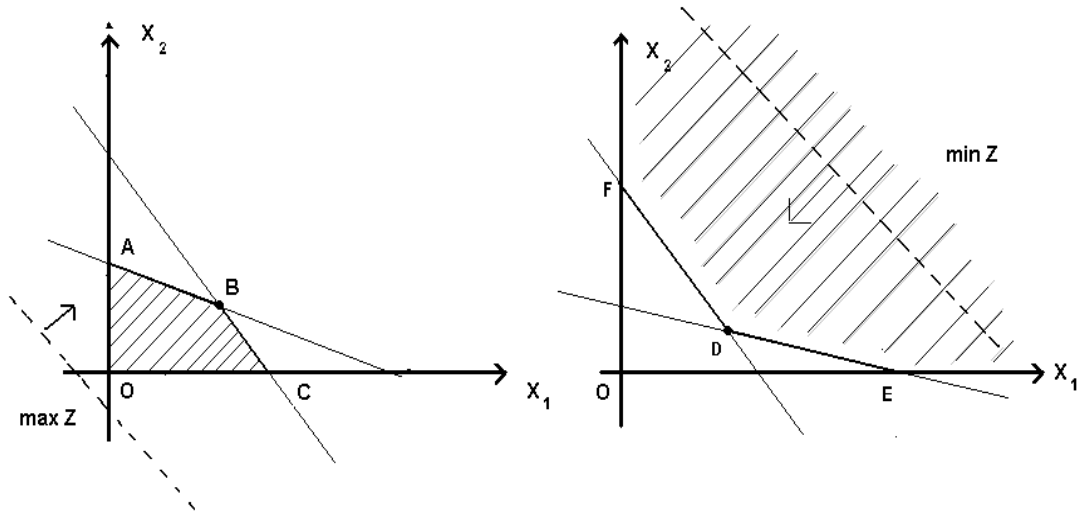
Amaç Denklemi : Maks (Min) $Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ (j: 1,2,3....n)

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=; \geq) b_i \quad (i = 1,2,...,m) \quad (3.4)$$

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

$$x_1, x_2 \geq 0$$



Şekil 1 - Grafik çözüm yöntemi için bir örnek

Şekil 1’de; OCBA alanı bir maksimizasyon probleminin uygun çözüm alanını göstermektedir ve B noktası maksimum değer yani optimum noktadır. Diğer grafikte ise uygun çözüm alanı pozitif yönde sonsuza doğru genişleyen bir minimizasyon problemidir. Bu grafikte de minimum değer D noktası olup, optimum çözüm D olacaktır.

3.3.1.1.Grafik çözümde özel durumlar

Grafik çözüm yönteminde aranan optimum nokta her zaman bulunamayabilir. Bu durumları şöyle sıralayabiliriz:

- Birden fazla nokta optimum olabilir. Bunun nedeni ortaya çıkan dışbükey bir şekle sahip uygun çözüm alanının bir kenarı ile amaç doğrusunun eğiminin eşit olmasıdır. Bu durumda amaç doğrusunun uygun çözüm alanını terk ettiği yer, bir nokta yerine bir doğru parçası olur. Dolayısıyla doğru parçası üzerindeki tüm noktalar optimum noktadır.
- Hiçbir optimum nokta olmayabilir. Bunun nedeni de kısıtların kesişim kümesinin olmamasıdır.
- Sonsuz bir uygun çözüm alanının ortaya çıkması durumu söz konusu olabilir. Bu durum genellikle uygun çözüm alanı ∞^+ (pozitif yönde sonsuz)’a doğru genişlemektedir. Ancak pratikte böyle bir sonuca çoğunlukla rastlanmaz (Teyyar, 1996).

3.3.2. Simpleks metot

Grafik yöntem sadece iki karar değişkenli problemlerin çözümünde kullanılabildiği için, birçok doğrusal problemin çözümünde ve endüstriyel sistemlerin analizlerinin yapılmasında, problem pek çok değişken ihtiva edeceğinden, yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle ikiden fazla karar değişkeninin bulunduğu problemlerin çözümü için başka yollara ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla Dantzig tarafından ilk kez ABD Hava Kuvvetleri’nin planlanmasında kullanılan Simpleks metot geliştirilmiştir (Öztürk, 2002). Bu yöntem günümüzde üretim programlarının hazırlanmasında (iş gücü, malzeme, siparişler, üretim araçları vb. kısıtlar altında kârı maksimize edip maliyetleri

minimize etmede), verimliliğe dayalı ücretlendirme problemlerinde, stok problemlerinin çözümünde, malzeme kullanımında, endüstriyel faaliyetlerde kapasite planlarının yapılmasında, petrokimya ve metalürji gibi karışım problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır.

Binay ve diğerleri (2001) Simpleks metodu tanımlarken, yöntemin optimal çözüm elde edilinceye kadar bir prosedürün sistematik bir şekilde tekrarlanmasından oluşan bir süreç olduğu ifade etmekte ve aslında metodun bir algoritma olduğunu belirtmektedirler. Bir başka deyişle, Simpleks metotta optimum çözüme ulaşmaya çalışırken çözüm alanı içinde farklı noktalar denenir. Bu deneme sırasında aynı standart hesaplamalar yinelenerek optimum çözüme erişinceye kadar ardı ardına çözümler geliştirilir (Gençbilim, 2006). Standart hesaplamaların uygulandığı her bir safhaya yineleme (iterasyon) adı verilir.

Simpleks algoritmasına daha detaylı bakıldığında, algoritmanın aşağıdaki aşamalardan oluştuğu görülmektedir.

- Problemden yer alan eşitsizlikler eşitlik haline getirilir. Bunun için kısıtların değişkenler bölümüne temel çözümde yer almayan gölge değişkenler (s_i) eklenir. Bu değişkenler temel çözümde yer almadığı için amaç fonksiyonuna sıfır(0) katsayısı ile birlikte eklenir.
- Başlangıç Simpleks tablosu oluşturulur.

Çizelge 2 – Başlangıç simpleks tablosu

Temel değişken x_j $\downarrow$	$C_j \longrightarrow$			Çözüm vektörü (b_i)
s_i		x_i	s_i	B
Z_j		A	I	
$Z_j - C_j$				

$j=1,2,\dots,m$ ve $i=1,2,\dots,n$ olmak üzere;

A: Kısıtlar için katsayılar matrisi

I : Birim matris

B : Çözüm vektörü matrisi (sağ taraf sabitleri)

x_j : j. Karar değişkeni

s_i : i. Gölge değişken (kullanılmayan üretim faktörleri ve boş kapasiteyi ifade eder)

C_j : Amaç fonksiyon katsayılar kümesinin j'inci elemanı

Z_j : j'inci sütuna göre amaç fonksiyonunun değeri

- Amaç fonksiyonunda çözüme girecek değişken işleme sokulur. Bu adımda anahtar (pivot) sütun belirlenir. Amaç maksimizasyon ise $Z_j - C_j$ 'nin en küçük negatif değeri, amaç minimizasyon ise $Z_j - C_j$ 'nin en büyük pozitif değere sahip sütun seçilir.
- Çözümünden çıkacak değişken belirlenir. Çözüm sütunundaki (b_j) elemanlar pivot sütunda kendisine denk gelen elemanlara bölünür, bölüm sonucu negatif veya ∞ değerli elemanlar dikkate alınmadan (b_j/a_{ij}), en küçük olan seçilir ve çözümden bu satırdaki değişken çıkarılır.
- Yeni sıra hesaplanır. Bunun için anahtar satır ile anahtar sütunun kesiştiği noktada bulunan değer (pivot sayısı), bütün satırı böler. Daha sonra diğer satırların aynı sütunu sıfır olacak şekilde anahtar satır elemanları bir katsayı ile çarpılarak diğer satırlardan çıkarılır. Böylece birim matris yeniden elde edilirken anahtar sütun birim matrise dâhil olur.
- Optimum çözüme ulaşılırken yukarıdaki işlemler amaç fonksiyonu maksimizasyon ise $Z_j - C_j \geq 0$ oluncaya kadar, amaç fonksiyonu minimizasyonsa $Z_j - C_j \leq 0$ oluncaya kadar tekrarlanır (Teyyar, 1996).

Simpleks metot, yukarıda açıklanan algoritma dışında doğrusal cebir yöntemleri kullanılarak da çözülebilmektedir. Daha öncede belirttiğimiz gibi bir doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\text{Amaç fonksiyonu :} \quad \text{Maks (Min) } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{Kısıtlar} \quad : \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad i: 1,2,\dots,m \quad j: 1,2,\dots,n$$

$$x_j \geq 0 \quad (3.5)$$

Bu durumda n tane değişken ve m tane kısıt var demektir. $m < n$ olduğunda kısıtların ortak çözümünü bulmak olanaksız olacaktır. Bu durumda $n-m$ (n 'nin m 'den farkı) tane gölge değişken kısıtlara eklenerek eşitsizlikler eşitlik haline getirilir. Daha sonra standart haldeki problemi aşağıdaki gibi matris halde gösterebiliriz.

$$\text{Maks (Min)} Z = CX$$

$$(AI)X=b$$

$$X \geq 0$$

I: Birim matrisi ($m \times m$ boyutlu)

A: Katsayılar matrisi

B: Sağ taraf sabitleri matrisi

X: Değişkenler kümesi

C: Amaç fonksiyonu katsayılar kümesi olmak üzere;

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$$

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,n-m} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,n-m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & a_{m,n-m} \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

Olduğundan kısıt denklemlerini; ($AX=b$)

$$\begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & a_{m,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \text{ şeklinde gösterebiliriz.}$$

$I_{m \times m}$ birim matrisi, değişkenlerde uygun düzenlemeler yapıldıktan ve gerekiyorsa yapay değişkenler kullanıldıktan sonra, değişkenlerin sol tarafının daima en doğru durumu almasını garanti eder, yani Simpleks çözümü için başlangıç tablosunun oluşmasını sağlar.

Bundan sonra X_B 'yi X vektörünün m elemanlı alt kümesi olarak tanımlanır.

Bu durumda (AI) 'nın X_B elemanlarına karşılık gelen vektörlerden oluşan B_m matrisi

olarak kabul edilerek, X 'in geriye kalan elemanlarına sıfır atanır ve $(AI)X=b \rightarrow B X_B=b$ indirgemesi yapılır.

B bir temel ise, $X_B = B^{-1}b$ çözümü elde edilir. (B^{-1} , B 'nin tersi anlamına gelmektedir.) Maks $Z = CX$, $(AI)X=b$, $X \geq 0$ olup X vektörünün X_I ve X_{II} olarak bölündüğünde başlangıç temel çözümü olan $B=I$ 'ya karşılık gelir. C vektörü de X_I ve X_{II} 'ye karşılık gelecek şekilde ikiye bölünür. Böylece problem aşağıdaki hali alır.

$$\begin{bmatrix} 1 & -C_I & -C_{II} \\ 0 & A & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ X_I \\ X_{II} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix}$$

X_B : Temel vektör

C_B : X_B ile ilişkili amaç fonksiyonu katsayıları olsun.

Temel dışı değişkenler sıfır olduğundan $B X_B = b$ $Z = C_B X_B$ 'ye indirgenir.

$$\begin{bmatrix} Z \\ X_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -C_B \\ 0 & B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & C_B B^{-1} \\ 0 & B^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_B B^{-1}b \\ B^{-1}b \end{bmatrix} \text{ işlemler yapınca}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & C_B B^{-1} \\ 0 & B^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -C_I & -C_{II} \\ 0 & A & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ X_I \\ X_{II} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & C_B B^{-1} \\ 0 & B^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix}$$

bu işlem yapıldığında Simpleks tablosu aşağıdaki şekilde elde edilir.

Çizelge 3 - Simpleks algoritmasının çözüm matrisi (Taha, 2000)

Temel değişkenler	X_I	X_{II}	Çözüm
Z	$C_B B^{-1}A - C_I$	$C_B B^{-1}A - C_{II}$	$C_B B^{-1}b$
X_B	$B^{-1}A$	B^{-1}	$B^{-1}b$

Özetle, yukarıda yer alan çizelgede B matrisinin bilinmesi uygun çözümü bulmak için yeterli olacaktır.

2.3.2.1 Büyük M yöntemi

Eğer bir doğrusal programlama probleminde $\geq$ veya $=$ kısıtları varsa, Simpleks metot kullanılarak bir başlangıç temel uygun çözümü bulunamazsa, bu durumda yapay

başlangıç çözümü uygulanır bunun için büyük M veya iki aşamalı Simpleks metot adı verilen iki yöntem kullanılmaktadır.

Büyük M yöntemi; standart olmayan ve uygun başlangıç çözümü olmayan durumlarda kullanılır. Bu yöntemde, kısıtlar $\geq$ durumunda ise bu kısıtları standart hale getirmek için negatif katsayılı gölge değişken eklenir, ancak gölge değişkenin negatif katsayılı olmasından dolayı birim matris oluşturulamayacağından, bu matrisi oluşturmak için ayrıca yapay değişken (R_i) eklemek gerekir. Böylece birim matris oluşur. Yapay değişkenler probleme sonradan girdiklerinden, sıfır değerini alarak çözüm dışı kalmalarını sağlamak için amaç fonksiyonunda bu değişkenlere $M \rightarrow \infty$ olacak şekilde bir ceza katsayısı verilir. Bu nedenle bu yöntemin adı bazı kaynaklarda penaltı metodu veya ceza metodu olarak da geçer. Verilen bu katsayı amaç maksimizasyon iken -M, amaç minimizasyon iken + M olur. Bundan sonra problemin çözümünde Simpleks metot aynen uygulanır (Taha, 2000). Simpleks tablosu ise aşağıdaki şekilde oluşturulur.

Çizelge 4 - Büyük M yöntemi

Temel değişken	x_i	s_i	R_i	Çözüm vektörü (b_i)
s_i	A	I		B
Z_j			$\pm M$	
$Z_j - C_j$			$\pm M$	

3.3.2.2. İki aşamalı yöntem

Büyük M Yöntemi'nde M'e verilen değer çok büyük olması hatalara sebep olduğundan, sorunu aşmak için doğrusal programlama problemi iki aşamada çözülebilir. Bu yöntem aşağıdaki açıklanan yolla uygulanmaktadır.

I. aşama: Başlangıç çözüm için kısıtlara gerekli yapay değişkenler eklenir ve yapay değişkenlerin toplamını minimize edecek yeni formda bir amaç denklemi yazılır. Amaç fonksiyonu denkleminin minimum değeri sıfır ise problemin uygun çözümü

vardır. Bu durumda II. aşamaya geçilir. Amaç denkleminin değeri pozitif ise problemin çözümü yoktur.

II. aşama: I. aşamada elde edilen optimum temel çözüm kullanılarak problemin çözümü hesaplanır (Özkan, 1998).

3.3.2.3. Dualite

Bir DP probleminde amaç maliyet minimizasyonu veya kâr maksimizasyonu iken, dualitede amaç kaynakların en verimli şekilde planlanmasıdır. Örneğin; bir işletmenin kaynaklarını (hammadde, işgücü, üretim araçları) satın almak isteyen girişimci için gerekli olan model, işletmenin üretim faaliyeti için geliştirilen modelin dualidir (Topçu, 2005). Yani işletmenin kısıtları dual modelde işletmenin imkânları haline dönüşür.

Bir çok programlama işleminde dual; optimizasyonun anlamına (maksimizasyon veya minimizasyon), kısıtların tipine ($\leq$, $\geq$ veya $=$) ve değişkenlerin işaretine (negatif olmama veya sınırlandırılmama) bağlı olarak primalin çeşitli durumları için tanımlanmıştır. Başlangıç simpleks tablosunu oluşturmak için daima standart hal kullanılır ve primal modelin optimum çözümü dual modelin de çözümüdür (Bakır ve Altunkaynak, 2003). Dolayısıyla standart primalden duali tanımlamak suretiyle, dual çözüm simpleks metot hesaplamalarıyla gerçekleştirilir. Dual problemin kısıtları ve değişkenleri simetrik olarak primal problemlerden aşağıdaki gibi oluşturulabilir:

- Primal modeldeki her değişkene karşılık dual modelde bir kısıt vardır ve j'inci dual kısıt j'inci primal değişkene karşılık gelir.
- Primal modeldeki her kısıta karşılık dual modelde bir değişken vardır ve i'ninci dual değişken i'ninci primal kısıta karşılık gelir.
- Dual modelin amaç fonksiyonu katsayıları primal modeldeki kısıtların sağ taraf değerleridir.
- Dual modelin kısıt katsayıları primal modelin kısıt katsayılarının transpozudur (Binay ve diğer., 2001).

Bu aşamada primal-dual ilişkisindeki diğer husulara değinmekte fayda vardır: Matris katsayıları veya optimizasyon modelinin eşitlikleri ve eşitsizlikleri bağlantılı bir ilişki içinde bulunmaktadır. Matematik olarak, problem 90° döndürülmüş matris ile karakterize edilebileceği ve çözüme kavuşturulabileceği şekilde ifade edilebilir. Böyle

bir matriste maksimizasyon problemi, minimizasyon problemi (veya tersi) olarak çözülebilir (Yılmaz, 1995).

Çizelge 5 - Primal-Dual ilişkisi (Binay ve diğer., 2001)

		Primal Model Maks (Min) Z					STD
		$x_1 \geq 0$	$x_2 \geq 0$	$x_3 \geq 0$	...	$x_n \geq 0$	
Dual model Min (Maks) W	$y_1 \geq 0$	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}	$\leq b_1$
	$y_2 \geq 0$	a_{21}	a_{22}	a_{23}		a_{2n}	$\leq b_2$
	$y_3 \geq 0$	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3n}	$\leq b_3$
	.	.	.	.		.	.
	.	.	.	.		.	.
	.	.	.	.		.	.
	$y_m \geq 0$	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}	...	a_{mn}	$\leq b_m$
	STD	$\geq c_1$	$\geq c_2$	$\geq c_3$	...	$\geq c_n$	

Primal problemin dual probleme dönüştürülmesiyle ortaya şu ilişkiler çıkar.

- Primal modeldeki amaç fonksiyonu maksimum ise duali minimum, primal modeldeki amaç fonksiyonu minimum ise dual modeldeki amaç fonksiyonu maksimumdur.
- Maksimizasyon primal problemindeki kısıtlayıcıların yönü “ $\leq$ ” ise minimizasyon dual probleminde kısıtlayıcıların yönü “ $\geq$ ”tir. Minimizasyon primal probleminde kısıtlayıcıların yönü “ $\geq$ ” ise maksimizasyon dual probleminde kısıtlayıcıların yönü “ $\leq$ ”tir.
- Primal modeldeki eşitsizliklerin sağ tarafında yer alan b_i sabitleri, dual modelde amaç fonksiyonunun katsayıları olarak yer alır. Dual modeldeki kısıtlayıcıların sağındaki b_i sabitleri de primal modeldeki amaç fonksiyonunun katsayılarıdır.
- Kısıtlayıcı denklemlerin katsayıları aynı kalırken sadece dönüşüme uğrarlar. Diğer bir ifadeyle primal problemin kısıtlayıcılarının solundaki satır katsayıları dual problemin kısıtlayıcılarının sütun katsayıları olur.

$$\text{Primal problemin kısıtlayıcı katsayıları} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\text{Dual problemin kısıtlayıcı katsayıları } \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{12} & a_{22} \\ a_{13} & a_{23} \end{bmatrix} \text{ şeklindedir.} \quad (3.8)$$

Buradan hareketle;

- Dual değişkenlerinin sayısı primal problemin kısıtlayıcı denklem sayısına eşittir. Dual problemin kısıtlayıcı sayısı ise primal problemin değişken sayısına eşittir.
- Her iki problemde de yer almakta olan değişkenler negatif değildir (0 veya pozitiftir).
- Primal problemin optimum çözümü varsa dual problemin de optimum çözümü vardır. Herhangi birisinde optimum çözüm yoksa diğesinde de yoktur.
- Primal modelde optimum çözümü veren tablodaki gölge değişkenlerin $Z_j - C_j$ satırlarındaki mutlak değerleri dual modelde optimum çözümü veren tablodaki çözüm vektörünün değerini verir.
- Primal problemin optimum çözüm tablosundaki çözüm vektöründeki değerler, dual problemin optimum çözüm tablosunda $Z_j - C_j$ satırındaki gölge değişkenlerin değerini verir (Teyyar, 1996).

Standart şekildeki primal problem dual şekle dönüştürüldüğünde ortaya yeni ilişkiler çıkmaktadır. Bunlar sırasıyla:

- Primal problem maksimizasyon amaçlı kısıtlayıcı denklemi eşitlik halinde ise dual problem minimum amaçlı olacağı gibi, kısıtlayıcı denklemlerin yönü ($\geq$) olacaktır.
- Primal problem minimizasyon amaçlı ve kısıtlayıcı denklemleri eşitlik halinde ise dual problem maksimizasyon amaçlı olacağı gibi kısıtlayıcı denklemlerin yönü ($\leq$) olacaktır.
- Primal problemlerin değişkenleri sınırlandırılmış işaretle ise bunların karşılığı dual kısıtlayıcıları eşitlik halinde olacaktır.

- Primal problemin kısıtlayıcıları eşitlikte ise buna karşılık olan dual değişkenler sınırlandırılmamış işaretle olacaktır.
- Simetriden dolayı dual problemin duali primal olacaktır (Öztürk, 2002).

3.3.2.4 Dual simpleks yöntem

Dual simpleks metodun genel düşüncesini, ilk iterasyonun optimum fakat uygun olmayan bir noktadan başlanarak, iterasyon ilerledikçe optimallliğini kaybetmeden uygunluğa doğru hareket etmesi olarak tanımlanabilir (Özkan, 1998).

Birçok durumda amaç fonksiyonu satırındaki tüm katsayıları negatif olmayan (dual uygunluk) ve en az bir sağ taraf değeri negatif olan (primal uygunsuzluk) problemleri çözmek daha kolay olmaktadır. Bu teknik her adımda dual uygunluğu sağlaması nedeniyle dual simpleks metodu olarak adlandırılır (Binay ve diğer., 2001). Bu yöntemin algoritmik adımları aşağıdaki gibidir.

- 1. Adım: Başlangıç simpleks tablosunu oluşturulur. Eğer tüm sağ taraf sabitlerinin değerleri negatif değilse simpleks metod uygulanır, aksi halde 2. adıma geçilir.
- 2. Adım: En küçük değerli negatif sağ taraf sabiti belirlenir ve bu satıra denk gelen değişken çözümden çıkarılır.
- 3. Adım: $Z_j - C_j$ satırındaki değerler çözüm dışına çıkacak değişken satırındaki negatif ($a_{ij} < 0$) değerlere bölünür ($a_{ij} < 0$ koşuluna uyan değer yoksa optimum çözümde yoktur), bu oran içinden en küçük olan değişken çözüme girer.
- 4. Adım: Çözümde çıkan değişken ile çözüme giren değişkenin kesiştiği noktadaki eleman pivot elemandır. Yeni tablo normal simpleks metotla oluşturulur.
- 5. Adım: Eğer tüm sağ taraf sabitleri negatif değilse klasik simpleks metot uygulanır, aksi durumda 2. adım'a dönülür (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

3.4 Duyarlılık Analizi

Yöneylem Araştırmasında parametrelerin değişiminin, genel çözümü ve kararları nasıl etkileyeceğinin araştırılmasına duyarlılık analizi denir. Bir başka deyişle duyarlılık analizi araştırmacılar için optimum çözümdeki parametrelerin değişmesi

durumunda doğrusal programlamanın çözümünün nasıl değiştiğini görme fırsatı veren önemli bir araçtır (Winston, 1994). Bakır ve Altunkaynak (2003) ise duyarlılık analizini, “amaç fonksiyonu katsayıları, kısıtlayıcı kaynak miktarları ve teknolojik parametrelerdeki değişmelere karşı optimum çözümün göstereceği tepkidir” şeklinde tanımlamışlardır.

Binay ve diğerleri (2001), duyarlılık analizi yapılmasının başta zaman ve emek olmak üzere birçok kaynağın gereksiz bir şekilde kullanılmasını engelleyeceğini belirterek duyarlılık analizinin önemine vurgu yapmışlardır. Duyarlılık analizinin hedefi, mevcut çözüm değişmeden modelin katsayılarında değişiklik olup olmadığını tespit etmek ve eğer değişiklik söz konusu ise yeni bir optimuma etkili bir şekilde nasıl ulaşılacağını hesaplamaktır. Duyarlılık analizi, doğrusal problemin mevcut optimum çözümüne ulaşıldıktan sonra uygulanmaktadır.

Taha (2000)’ya göre modeldeki değişimlerin sonuçları dört başlık altında toplanabilir:

- Temel çözüm değişmeden kalır.
- Mevcut çözüm uygun olmayan hale gelir.
- Mevcut çözüm optimum olmayan hale gelir.
- Mevcut çözüm hem uygun olmayan hem de optimum olmayan hale gelir.

Birinci durumda çözüm değişmediği için herhangi bir yöntem kullanmaya gerek duyulmaz. İkinci durumda, uygunluğu sağlamak için dual simpleks metot uygulanır. Üçüncü durumda yeni optimuma ulaşmak için simpleks metot kullanılır, dördüncü durumda ise yeni çözüme ulaşmak için primal ve dual yöntemlerin ikisi de kullanılır. Aslında dördüncü durum, ikinci ve üçüncü durumların birleşimidir.

3.4.1. Uygunluğu etkileyen değişiklikler

Optimum çözümün uygunluğunu, kısıtların sağ tarafının değişmesi ya da modele yeni bir kısıdın eklenmesi etkiler. Dolayısıyla uygunluğu sağlamak için dual simpleks metot kullanılmalıdır (Taha, 2000). Yeni bir kısıt eklenmesi, çözümün optimumluğunu değiştirebilir. Bu durumda yeni kısıtlayıcı için optimum çözüm sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesi ilk işlem olmalıdır. Eğer bu koşul sağlanıyorsa çözüm değişmeden optimum kalır ve yeni kısıtlayıcının eklenmesi fazlalık gösterir. Eklenen yeni kısıtlayıcı eldeki optimum çözümü sağlamıyorsa, gerekli gölge ve

yapay değişkenler eklenmiş olarak değiştirilmiş optimum tabloda görülür (Tulunay, 1980). Ulaşılan yeni  z m tablosu uygun bir  z m değilse, dual simpleks metot uygulanarak optimum uygun  z me ulaşmaya çalışılır.

3.4.2 Optimumluğu etkileyen değişiklikler

Temel  z m n optimumluğu sadece amaç fonksiyonu katsayılarının optimumluk koşullarından uzaklaşması halinde sona erecektir. Bu durum temelde olmayan değişkenlerin yeniden hesaplanmasını gerektirecektir. Temel değişkenler ise satır elemanları sıfır olacağı için dikkate alınmaz. Taha (2000) hesaplama işlemleri yapıldıktan sonra aşağıdaki durumların oluşabileceğini belirtmektedir:

- Optimumluk koşulu sağlanmışsa mevcut  z m aynı kalır, fakat amaç fonksiyonu yeni bir optimum değer alır.
- Optimumluk koşulu sağlanmamışsa, optimumluğu sağlayacak simpleks metot uygulanır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

Doğrusal programlama sonuçları çoğunlukla tamsayı olmayan pozitif değerlerdir. Ancak gerçek hayat problemleri, insan, makine, hayvan gibi bölünemeyen unsurları içermektedir, bu nedenle tamsayılı sonuçlara ihtiyaç duyulmasından dolayı tamsayılı doğrusal programlama modelleri geliştirilmiştir (Tulunay, 1980). Tamsayılı doğrusal programlamanın en çok kullanıldığı alanlar; iş-işlik (atölye)-makine planlama problemleri, gezgin satıcı problemleri, tesis, yerleşim problemleri, sermaye bütçesi planlaması, sabit maliyet problemleri vb.dir.

Bir tamsayılı doğrusal programlama probleminin çözüm kümesi tamsayılar kümesinin bir alt kümesi olmalıdır yani sonuçlar tamsayılı değerler olmak zorundadır.

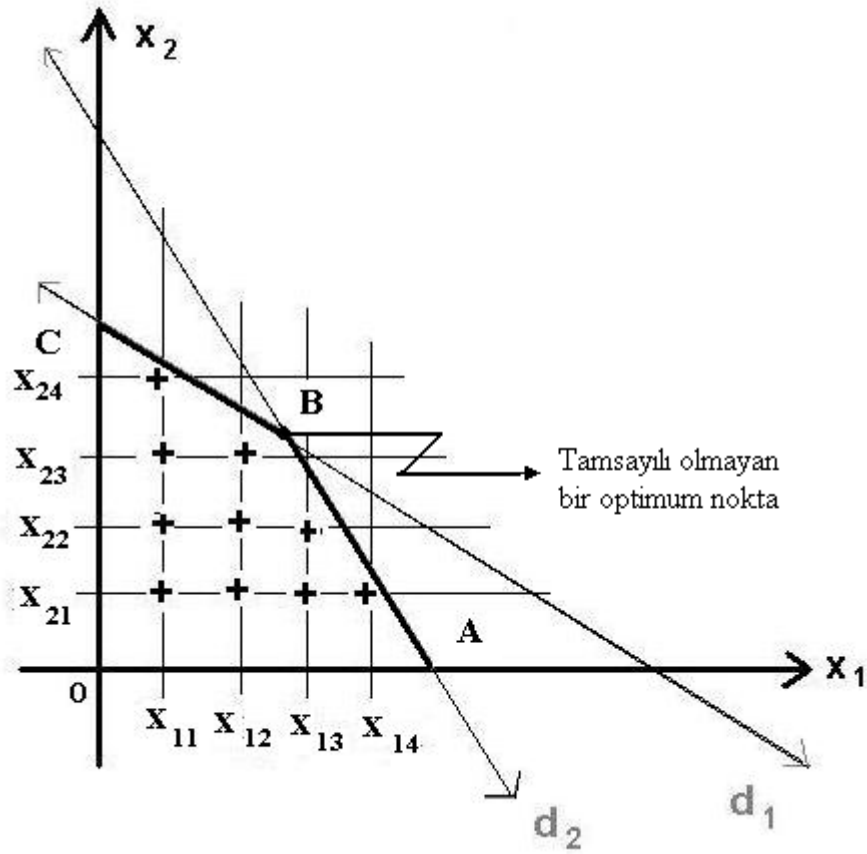
Genel olarak tamsayılı doğrusal programlama modeli aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\text{Amaç fonksiyonu : Maks (Min) } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad : \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=; \geq) b_i \quad \begin{matrix} (i = 1, 2, \dots, m) \\ (j = 1, 2, \dots, n) \end{matrix}$$

$$x_j \geq 0 \text{ ve } x \text{ tamsayı} \quad (4.1)$$

Yukarıda da ifade edildiği gibi Doğrusal Programlama ile Tamsayılı Doğrusal Programlama modeli arasındaki tek farklılık, karar değişkenlerinin tamsayı olma koşuludur (Öztürk, 2002).

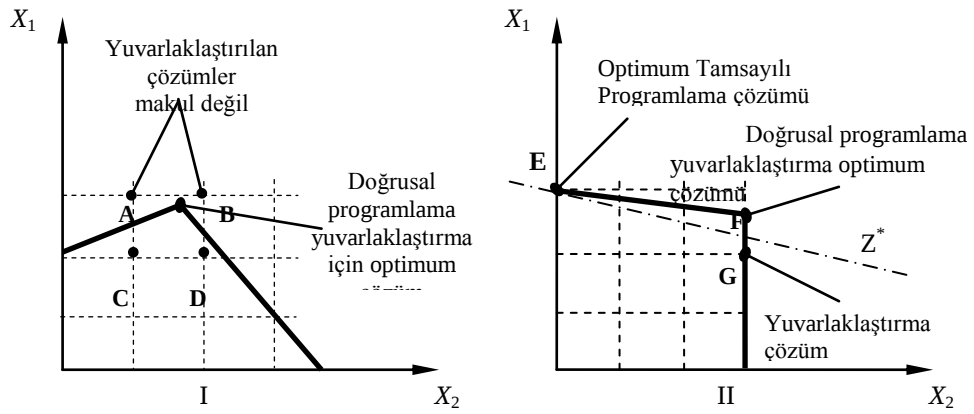


Şekil 2 - Tamsayı doğrusal programlamanın grafik ile gösterimi

Şekil 2.'de görüleceği üzere bu kısıtlar altındaki tamsayı doğrusal program için uygun çözüm alanı OABC'dir. Bu alan içerisinde bulunan B noktası tamsayı olmayan optimum bir noktadır. Bu nedenle B noktası çözüm dışı bırakılır. Yeni optimum nokta uygun çözüm alanı içinde bulunan ve "+" ile gösterilen tamsayı değerler içinde aranır ve bu noktalar dışındaki değerler çözüm dışı kabul edilir (x_{ij} , tamsayı karar değişkenlerini temsil etmektedir).

Tamsayı doğrusal programlamadaki metotların açıklanmasından önce, doğrusal programlama yuvarlaklaştırmasına değinmekte fayda vardır. Kesirli değerlerin yuvarlaklaştırılması, tamsayı doğrusal programlama problemlerinin en basit çözüm yoludur. Bu yaklaşım, doğrusal programlama problemlerinin iki yöntemle tamsayı hale getirilmesini içerir; bunlardan birincisi, tüm kesirli kısımların çıkarılmasıdır. İkincisi ise daha büyük ya da daha küçük tamsayı değerden hangisine yuvarlaklaştırılması gerektiğinin araştırılmasıdır. Ancak yuvarlaklaştırmanın bir takım

mahsurları da olabilir ve çözümler makul olmayabilir. Örneğin; Şekil.4.2’de birinci grafikte A ve B noktaları optimum noktaya en yakın yuvarlaklaştırılan sonuçlar olmasına rağmen uygun çözüm alanı dışında yer almaktadırlar. D noktası ise optimuma daha uzak bir nokta olmasına karşın uygun çözüm alanı içindeki optimum çözümü sağlayabilmektedir. Diğer bir durum ise ikinci grafikte gösterildiği gibi uygun çözüm alanı içinde ve optimum çözüm noktasına en yakın yuvarlaklaştırılmış çözüm noktası G iken, F noktasından daha uzak olmasına rağmen maksimizasyon probleminin çözümünde E noktası optimum nokta olabilir (McCarl ve Spreen, 1997). Bu iki husus yuvarlaklaştırmanın dezavantajları olarak değerlendirilebilir.



Şekil 3 - Yuvarlaklaştırmanın grafiksel gösterimi

Öztürk (2002)’e göre “Doğrusal programlama modelinin temel varsayımlarından birisi tüm değişkenlerin sürekli olması ve karar değişkenlerinin değerinin tamsayı veya kesirli olmasıdır. Bazı işletme problemlerinde tamsayı değerli olmayan çözüm değişkenlerinin ekonomik anlamı yoktur. Girdi ve çıktıların bölünmezlik sorunu karar değişkenlerinin tamsayı değerli olmasını gerektirir.”

Tamsayı doğrusal programlamada, tamsayı değişkenlerin sayısı, hesaplamaları etkileyen önemli bir faktördür. Değişken sayısının fazlaştığı durumlarda, örneğin; değişken sayısının 100 olduğu 0-1 TDP probleminde 2^{100} tane alternatif söz konusudur ve bunu hızlı bir bilgisayarın çözmesi asırları bulabilir (Bakır ve Altunkaynak, 2003). Dolayısıyla, problemdeki tamsayı değişken sayısını azaltmak hesaplama açısından avantajdır. Bütün bunların yanında, günümüzdeki bilgisayar programlarının TDP problemlerinin çözülmesi için yapılan hesaplamalara önemli katkıları vardır.

4.1. Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelleri

Tamsayılı doğrusal programlama için karar değişkenlerinin tamamının tamsayı olmadığı durumlar da söz konusudur. Bu yüzden üç çeşit tamsayılı doğrusal programlama modeli vardır (Binay ve diğer., 2001);

- Tüm Tamsayılı Programlama Modeli,
- Karma Tamsayılı Programlama Modeli,
- Sıfır – Bir Tamsayılı Programlama Modeli.

4.1.1. Tüm tamsayılı programlama modeli

Bu model çözüm sonunda tüm değişkenlerin tamsayılı değerler alması gereken tamsayılı doğrusal programlama modelleridir (Ogryczak ve Zorychta, 1996). Tüm tamsayılı programlama modelini oluşturmak için probleme aşağıdaki gibi bir kısıt eklenir.

$$x_j \geq 0 \text{ ve } x_j : \text{tamsayı} \quad (4.2)$$

Bu kısıt ile model, optimum çözümü ararken bütün karar değişkelerinin tamsayı olmasını sağlayan çözümü hedefleyecektir.

İster günlük yaşamımız içinde karşılaştığımız problemler olsun, ister büyük sanayi kuruluşlarının çözüm aradığı problemler olsun, çoğunlukla tamsayılarla ifade edilebilecek türden çözümler gerektirmektedir. Örneğin; buzdolabı üretiminde kullanılacak cıvata, düğme, raf, kapak vb. miktarları, bir çiftlikteki tavuk sayısı ve üretilen yumurta miktarı, bir torna veya freze tezgâhında işlenen parça miktarı, bu verilerin tamamı tamsayılarla ifade edilmek zorunda kalınan verilerdir. Bu verileri içeren bir model hazırlanması gerekiyorsa bu tüm tamsayılı programlama modeli olmalıdır.

Tüm tamsayılı programlama modellerinde tamsayı olması gereken değerler x ile ifade edilen karar değişkenleridir. Z ile gösterilen amaç fonksiyonu katsayılarının dolayısıyla amaç fonksiyonun değerinin tam sayılı olması zorunluluğu yoktur.

4.1.2. Karma tamsayılı programlama modeli

Tamsayılı doğrusal programlama probleminde değişkenlerin tümü optimum çözümde tamsayılı değerler almaktadır. Bununla birlikte bazı problemlerde değişkenlerin alt kümesi tamsayılı olmayabilir. Sadece bazı değişkenlerin tamsayı değer aldığı tamsayılı doğrusal programlama problemlerine karma tamsayılı programlama problemleri adı verilir (Winston, 1994). Bir başka ifade ile bir karma tamsayılı programlama problemi modeli mutlaka aşağıdaki kısıtları içermelidir.

$$\begin{aligned} j > i \text{ olmak üzere} \\ x_j \geq 0 \text{ ve } x_i \text{ tamsayı} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Bu kısıtlar ile model, optimum çözümü ararken değişkenlerden bir kısmının (x_i 'lerin) tamsayı olması şartını sağlayan çözümü hedefleyecektir. Böylelikle x_i için tamsayılı bir sonuç ortaya çıkarken, diğer x 'ler için kesirli veya tamsayılı bir sonuç elde edilecektir.

4.1.3. Sıfır - bir (0–1) tamsayılı programlama modeli

Birçok durumda bir doğrusal programlamanın değişkenleri, evet/hayır kararları ya da mantıksal ilişkiler şeklinde ifade edilir. Bu değişkenler doğal olarak sıfır ya da bir değerini alırlar ve ikili (binary) değişkenler olarak adlandırılır. İçinde yalnızca ikili değişkenler barındıran tamsayılı doğrusal programlar, ikili tamsayılı programlar olarak ifade edilir (Sanjeeb, 2002).

Değişkenlerin değerlerinin yalnızca 0 ve 1 ile sınırlandırıldığı modellerde toplam değişken sayısının az olduğu durumlarda çözüm kümelerinin tek tek hesaplanması yoluyla optimum çözüm kümesi kolaylıkla bulunabilmektedir. Fakat 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modelinin muhtemel çözümlerinin 2^n adet olduğu göz önüne alındığında uygun çözümü bulmak için tüm seçeneklerin birer birer incelenmesinin ardından optimum çözüme ulaşmak uzun zaman alacaktır (Gass, 1975). Bu nedenle, 0-1 tamsayılı programlama problemlerinin çözümü için bazı özel yöntemlere ihtiyaç vardır. Söz konusu özel çözüm yöntemlerinin ilki Balas tarafından 1965 yılında geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda Glover ve Geoffrion'un kısmi sayımlama ile özel algoritmalar geliştirdikleri bilinmektedir. Bugün 0-1 tamsayılı doğrusal programlamanın temelini Balas algoritması oluşturmaktadır (Kara, 1986). Balas algoritması, optimum ama uygun çözüm alanı dışındaki bir noktanın başlangıç

çözümü kabul edilmesiyle başlar ve bütün kısıtlar 0 (sıfır)'dan küçük olacak şekilde düzenlenir. Ardından gölge değişkenler eklenerek eşitlik haline getirilir. Daha sonra problem değişkenleri dallara ayrılarak 0 veya 1 değerleri verilerek optimum çözüme ulaşılmaya çalışılır (Tansöker, 1997).

Yöntemin uygulanmasında, x_j 'ler 0 veya 1 değerlerini aldıkları için amaç fonksiyonunda 1 değerini alanların katsayıları arasında toplama-çıkarma işlemi yapılır, 0 değerini alanlar ise çözüm dışı kaldıkları için hiçbir işlem görmez. Çözümde yalnız toplama ve çıkartma işlemleri yapılmasından dolayı bu yaklaşıma “Toplamlı Algoritma” veya “Balas’ın Algoritması” denilmektedir (Kara, 1986).

0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli problemi aşağıdaki gereksinimleri karşılayacak bir biçimde ortaya konmalıdır;

- Amaç fonksiyonu, bütün katsayıları negatif olmama koşuluna uyan bir optimizasyondur.
- Kısıtlarının tümü ($\leq$) tipinde olmalıdır. Gerekirse sağ taraflar negatif olabilir. Daha sonra bu kısıtlar, sol taraflarında sürekli gölge değişkenleri kullanmak yoluyla eşitlik haline getirilir (Kara, 1986).

Bu tezin uygulama kısmında ele alınan problemin yapısı 0-1 TDP'ye uygun yapıda olmadığından, Balas algoritması da denen 0-1 TDP modeline çözüm yöntemleri kısmında ayrıca değinilmeyecektir.

4.2. Tamsayılı Doğrusal Programlamada Çözüm Yöntemleri

Sanayinin gelişmesi ve endüstriyel faaliyetlerin ihtiyaçlarından dolayı Doğrusal Programlama üzerine yapılmış olan çalışmalarda tamsayılı değişkenleri içeren problemlerin çözüm ihtiyacı artmıştır. Bu çaba bilim adamlarını Tamsayılı Doğrusal Programlama problemlerinin çözüm algoritmalarına yönlendirmiştir.

Doğrusal programlama problemlerinin tamsayılı çözümlerinin elde edilmesini sağlayan hesaplama yöntemi ilk kez Gomory tarafından 1958 yılında ortaya konmuştur. Gomory'nin geliştirdiği bu hesaplama yöntemine Tamsayılı Algoritma veya Kesme Düzlemi Yöntemi adı verilmiştir. Bu yöntemde sonlu sayıda işlemten sonra optimum bir tamsayılı çözüm ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan bu yöntemin optimum çözüme ulaşmada simpleks metottan daha fazla işlemi gerektirdiği görülmüştür (Öztürk, 2002).

Gomory'nin geliştirmiş olduğu algoritmanın altında yatan teori normal simpleks metotta yapıldığı gibi bir kısıtı bir sonraki uç noktaya taşımak yerine, kısıtı (ya da kesmeyi) sisteme ekleyip uygun alanı küçültölmek ve aynı zamanda yeni bir alternatif uç nokta yaratmaktır (Strauss, 2003).

Bilindiğı üzere simpleks metot, çözüm uzayının uç noktasında olan optimum değeri bulmayı amaçlayan bir yöntemdir. Sonsuz sayıdaki çözüm seçeneğinden sonlu sayıdaki çözüm alternatiflerine yönelerek tek bir çözüme ulaşmak yöntemin gücünü göstermektedir. Tamsayılı doğrusal programlamada ise, sonlu sayıdaki noktalardan yola çıkılarak çözüme başlanır ve çözümü sağlayan tamsayılı noktalar arasından en uygun olanı seçilmeye çalışılır. (Özkan, 1998).

Tamsayılı doğrusal programlama algoritmaları, doğrusal programlamaların başarılı sonuçlar veren hesaplama yöntemlerinden yararlanarak geliştirilmiştir. Tamsayılı doğrusal programlama problemleri birbirinden çok farklı algoritmalarla çözülebilmektedir. McCarl ve Spreen (1997), bazı algoritmaların bir takım problemlerde daha iyi sonuç vermesi sebebiyle algoritma seçimini bir sanat olarak değerlendirmektedirler. Bu algoritmalarındaki stratejiler üç adım içermektedir.

1. Adım: Herhangi bir 0-1 tamsayılı y değişkenini $0 \leq y \leq 1$ sürekli aralığında değerler alacak şekilde değiştirip, bütün tamsayılı değişkenlerle ilgili tamsayı olma kısıtlarını da kaldırarak TDP çözüm uzayı gevşetilir. Böylelikle normal doğrusal programlama haline gelmiş olur.

2. Adım: Doğrusal programlama problemini çözerek sürekli optimum belirlenir.

3. Adım: Sürekli optimumdan başlanıp, tekrarlı bir şekilde özel kısıtlar eklenerek çözüm uzayında düzeltmeler yapılır. Böylelikle, tamsayılı gereksinimleri de karşılayacak bir optimum uç noktaya ulaşılmaktadır (Taha, 2000).

Üçüncü adımda ifade edilen özel kısıtları oluşturabilmek için iki genel yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler;

- Kesme Düzlemi Yöntemi
- Dal-Sınır (DS) Yöntemi

İki yöntemden hiçbirisi TDP problemlerini çözmede sürekli daha iyi sonuç vermeyecektir. Bununla birlikte, deneyimler dal-sınır yönteminin kesme düzlemi yöntemine göre çok daha başarılı olduğunu göstermektedir (Taha, 2000).

İlk algoritma olan kesme düzlemi algoritması, Dantzig, Fulkerson ve Johnson, ile Gomory tarafından geliştirilmiştir (Dantzig ve diğer., 1954). Optimum çözümü veren algoritmayı Gomory geliştirmiştir. Gomory'nin yaklaşımı, konu üzerindeki ilk genellemeleri yapmış olması nedeniyle, kaynaklarda "Gomory'nin Kesme Düzlemi Tekniği" olarak da yer almaktadır (Doğan, 1995). Ardından Land ve Doig dal-sınır algoritmasını tanıtmışlardır. Bu iki temel algoritmanın haricinde de yeni geliştirilen farklı türde algoritmalar bulunmaktadır. 20 yıllık tecrübe ve binlerce akademik çalışmaya karşılık ne yazık ki mevcut hiçbir algoritma tamsayılı doğrusal programlama problemlerinin tümüne tatmin edici bir çözüm getirememektedir. Bununla birlikte bazı algoritma türleri kimi problem türlerinin çözümünde iyi sonuç vermektedir (Land ve Doig, 1960).

4.2.1. Kesme düzlemi algoritması

Bu algoritmadaki ana fikir, uygun çözüm alanının dışbükey kümesini değiştirerek optimum noktanın tamsayılı değer almasını sağlamaktır (Özkan, 1998). Bunun için kümeyi tamsayılı değerleri içerde bırakacak şekilde kesecek yeni kısıtlar oluşturulur. Böylece yeni elde edilen uç nokta tamsayılı değer alır. Eklenen kısıtlar (kesmeler) çözüm kümesini daraltacak şekilde en az bir uygun veya uygun olmayan tamsayı noktasını kesmelidir (Taha, 2000).

Bazaraa ve diğerlerine (1989) göre ise tamsayılı uygun çözüm kümesinin sınırlarını (uç noktalarını) hesaplamak imkânsız değil ama çok zordur. Bu yüzden kesme düzlemi metodunun hedefi tamsayılı optimum çözümün çevresinde iterasyon yapmaktır. Bu iterasyonlarla uygun çözüm alanı içindeki tamsayılı noktalar hariç olmak üzere uygun çözüm alanını bölen ek kısıtlar türetilmiş olunur. Bu yapının amacı tamsayılı optimum noktaları uygun çözüm alanının uç noktaları haline getirmektir. Bu başarıldığı takdirde optimum tamsayılı nokta DP gevşetmesiyle bulunabilir.

Genellikle bu algoritmada birkaç kesmeyle tamsayılı uç nokta elde edilir. Burada oluşturulan kesme sayısı problemin boyutlarından bağımsızdır. Dikkat edilecek husus eklenen kesmeler ile hiçbir tamsayılı uygun noktanın uygun çözüm kümesi

dışında bırakılmaması gerektiğidir. Yani TDP çözümlerinde elde edilen sonuç uygun çözüm kümesinin alt kümesi, uygun çözüm kümesi de tamsayılar kümesinin alt kümesi olmalıdır.

Kesme Düzlemi Algoritması sürekli bir doğrusal programlama probleminin optimum çözümle başlar. Yöntemde kesme denklemi adı verilen özel kısıtlar ardı ardına oluşturularak çözüm uzayının düzenlenmesine gidilir (Taha, 2000) Eklenen kısıtlar sonucu oluşan uygun çözüm alanı, başlangıç uygun çözüm alanının alt kümesi olmalı ve daha önce çözüme dâhil olan tüm tamsayılı sonuçları kapsamalıdır.

Gomory'nin Kesme Düzlemi yönteminde, başlangıç noktası olarak bir doğrusal programlama probleminin simpleks metotla bulunan optimum sürekli çözümü ele alınır. Eğer bu çözüm tamsayılı bir çözüm değilse, doğrusal programlama problemine ek bir doğrusal kısıtlama dâhil edilir. Bu ek kısıtlama Gomory'nin geliştirdiği “Kesme Düzlemi” kuralına göre elde edilir. Kesme Düzlemi kuralında simpleks metot ile elde edilen optimum çözüm değerlerinden en büyük kesir değerli karar değişkeni seçilir. Sonra da bu değişkenin satırında bulunan değişkenlerin katsayıları tamsayılı ve kesirli olarak yazılır ve tamsayılı değişkenler denklemin sağ tarafında toplanır. Sağ tarafta yer alan tamsayılı değişkenler atılır ve sadece kesirli eleman bırakılır. Tamsayılı değişkenler atıldığına göre eşitlik halindeki değişken eşitsizliğe dönüşecek ve sol taraftaki kesirli kısım sağ taraftaki elemanın değerinden büyük veya eşit olacaktır. Böylece ek kısıtlayıcı elde edilmiştir ve bu ek kısıtlayıcı denklemi standart hale getirmek için yeni bir değişken eklenir. Daha sonra bu ek kısıtlayıcıya tamsayılı olmayan optimum çözüm tablosunda yer verilerek simpleks çözüm işlemine geçilir (Öztürk, 2002).

Kesirli kısımdaki değişkenlerin değerlerinden negatif olanları varsa, bu sayının eşleniği bulunarak kendi yerine ikame edilir. İki sayı arasındaki fark bir tamsayı ise bu iki sayıya eşlenik denir. X eşlenik Y , simge olarak $X \equiv Y$ şeklinde gösterilir. (Bakır ve Altunayak, 2003). Kesme düzlemi matematiksel ifadelerle aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

Çizelge 6 - Simpleks tablosu (Taha ,1992)

Temel Değişken	$x_1 \dots$	$x_i \dots$	x_m	$w_1 \dots$	$w_i \dots$	w_n	Çözüm
Z	0...	0...	0...	$c_1 \dots$	$c_j \dots$	$c_n \dots$	b_0
x_1	1...	0...	0...	$a_{11} \dots$	$a_{1i} \dots$	$a_{1n} \dots$	b_1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
x_i	0...	1...	0...	$a_{i1} \dots$	$a_{ij} \dots$	$a_{in} \dots$	b_i
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
x_m	0...	0...	1...	$a_{m1} \dots$	$a_{m2} \dots$	$a_{mn} \dots$	b_m

w_i : i. temel olmayan değişken

x_i : i. temel değişken

b_i : Sağ taraf sabitleri

s_i : i. gölge değişken

f_i : Sağ taraf sabitlerinin kesirli kısmı

f_{ij} : Çözüm simpleks tablosunda temel olmayan değişkenlere denk gelen değerlerin kesirli kısımları

c_j : Amaç fonksiyonu katsayıları

a_{ij} : Çözüm tablosunda temel olmayan değişkenlere karşılık gelen değerler olmak üzere, temel değişken satırını aşağıdaki gibi ifade edebiliriz;

$$x_i = b_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j$$

b_i ve a_i değerlerinin tamsayı kısımları ile kesirli kısımlarını toplam şeklinde ifade edelim;

$$b_i = [b_i] + f_i$$

$$a_{ij} = [a_{ij}] + f_{ij}$$

$$f_i - \sum_{j=1}^n f_{ij} w_j = x_i - [b_i] + \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \text{ bütün } w_i, x_i \text{ değişkenlerinin tamsayı olması için}$$

sağ taraf sabitleri de tamsayı olmalıdır. $f_{ij} \geq 0$ ve $w_i \geq 0$ olduğundan $\sum_{j=1}^n f_{ij} w_j \geq 0$

olacaktır. Sonuç olarak,

$$f_i - \sum_{j=1}^n f_{ij} w_j \leq f_i \leq 1 \text{ yazılabilir. } f_i - \sum_{j=1}^n f_{ij} w_j \text{ ifadesi tamsayı olması gerektiğinden}$$

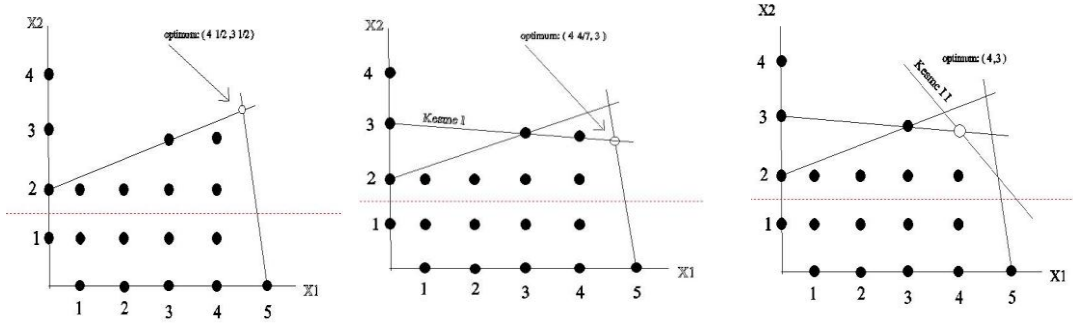
bu ifadeye s_i gibi bir gölge değişken eklenerek 0'a eşitlenir. Böylece bir kesme denklemi de elde edilmiş olunur. Bu kesme aşağıdaki denklemle gösterilir (Taha, 1992).

$$s_i = \sum_{j=1}^n f_{ij} w_j - f_i \quad (4.4)$$

Kesme düzlemi algoritması adımları:

- 1. Adım: Orijinal TDP probleminin tamsayı kısıtlarını göz ardı ederek problemin Doğrusal Programlama gevşetmesi simpleks metotla çözülür. Eğer Doğrusal Programlama gevşetmesinin çözümü tamsayı ise TDP probleminin çözümü elde edilerek durulur. Aksi halde 2. adıma geçilir.
- 2. Adım: Son simpleks tablosunda $f_i > 0$ olan i . satır için (birden fazla $f_i > 0$ koşulunu sağlayan satır olduğunda en büyük f_i olan satır seçilir) kesme düzlemini tanımlayan bir kısıt eklenerek, simpleks metotla elde edilen tamsayı olmayan bazı çözümler elimine edilmeye çalışılır. Bununla beraber yeni kesme kısıdı uygun tamsayı çözümleri elimine etmeyecek biçimde dikkatle oluşturulmalıdır. Bu kısıt daha önce anlatılan matematiksel işlemler sonucu elde edilen kısıt denklemidir.
- 3. Adım: Yeni TDP problemi, orijinal probleme 2. adımda türetilen kesme düzlemi kısıdını ekleyerek türetilir ve 2. adıma dönülür (Bakır ve Altunayak, 2003). Bu süreç devam edilerek kesme düzlemi kısıtlarıyla daraltılmış uygun çözüm alanında nihai olarak TDP probleminin çözümüne ulaşılır.

Kesme Düzlemi Yaklaşımı ile ilgili vurgulanması gereken birkaç nokta daha bulunmaktadır. Eklenen kesmeler, uygun çözüm alanındaki tamsayı noktalarının herhangi birini elimine ederken, bu kesmeler en az bir tane uygun ya da uygun olmayan tamsayı noktasından geçerek uygun çözüm alanını daraltmalıdır. Bunlar, herhangi bir kesme için temel gerekliliklerdir.



Şekil 4.- Kesme düzlemi algoritmasının çözüm grafiği (Taha, 2000)

Daha önce ifade edildiği gibi kesme sayısı problemin değişken veya kısıt sayısı ile ilişkili değildir, yani büyük çaplı bir problem birkaç kesmeyle çözülebilirken, küçük çaplı bir problem için onlarca kesmeye ihtiyaç duyulabilir. Çözüm algoritmasına pek çok kesme eklenmesine rağmen model kabul edilebilir bir çözüm sunamazsa başka çözüm yöntemleri denenir. Bu yöntemlerden biri dal-sınır algoritmasıdır.

4.2.2. Dal-sınır (DS) algoritması

Geliştirilmiş olan çözüm metotlarından ikincisi dal-sınır algoritmasıdır. Dal-sınır algoritması Land ve Doig tarafından ortaya atılmış olup böl-fethet stratejisini izlemektir. Bu stratejide orijinal problem çok büyük olduğundan daha küçük alt problemlere bölünerek çözülür. Bölme işlemi tüm geçerli çözümlerin küçük alt kümelerle dağıtılması, fethetme ise, alt kümedeki optimum çözümü belirleyip, eğer bu çözüm uygun ama optimum değilse bu alt kümeyi araştırma dışı bırakır (Şahin, 1994).

Dal-sınır yöntemi, temelde tüm uygun çözüm seçeneklerini belirlemeye yönelik bir tekniktir. Ancak optimum çözüme götürmeyen bazı çözüm seçenekleri önceden elimine edilmektedir. Bu nedenle çözüm alanı gerekli değerlendirmelerin sayısı kadar küçük alt setlere (kümelere) bölünür. Bu alt setlere “dallandırma noktaları” adı verilir (Kaymazlı, 2001).

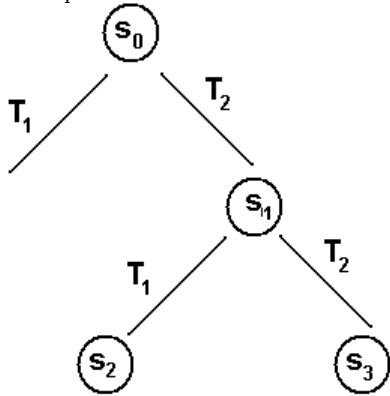
Dal-sınır yaklaşımı en çok kullanılan genel amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama çözüm algoritmasıdır. Dal-Sınır Algoritmasında, çözüm prosedürü amaç fonksiyonun değerleri sınırlarla karşılaştırarak gerçekleştirilir. Bunun için önce tamsayı olma koşulu göz ardı edilerek bir başlangıç çözüm elde edilir ve bu çözüm noktası eğer tamsayı değilse bu noktaya en yakın tamsayılı noktalar sınır kabul edilerek bu sınırların dışında uygun çözümler aranır, uygun olmayan alt kümeler elimine edilir. (Kaymazlı,

2001). Bu algoritma düğüm noktalarında uygun çözüm sunabilir, ancak bunlar optimum çözümler olmayabilirler. Düğüm noktalarında bütün tamsayılı uygun çözüm noktaları dikkate alınmalıdır. Bu çözüm noktaları arasından optimum değeri verecek çözüm aranır. Böyle bir çözümün iki değişkenli bir problem için kolayca yapılabileceği açıktır. Ancak çok değişkenli problemler için farklı algoritmalar yardımıyla tamsayılı uygun çözümler karşılaştırılır ve optimum sonuca ulaşılır.

Bu modelin en büyük dezavantajı, her tamsayılı çözüm çiftinin elde edildiği düğümlerde Doğrusal Programlama çözümünün yapılması gerekliliğidir. Diğer yandan dal-sınır algoritması optimum çözümlere genellikle kısa sürede yaklaşmasına rağmen, çözümün optimum olduğunu doğrulama yani onaylama süreci çok zaman alıcıdır (Özkan, 1998).

Aşağıda Tamsayılı Doğrusal Programlamanın dal-sınır yöntemiyle çözümünün matematiksel gösterimi verilmiştir. Ayrıca daha önce ifade edildiği gibi şekildeki dallandırma noktaları yardımıyla çözüme ulaşınca kadar algoritma işletilir.

- c: Amaç fonksiyonu katsayısı
- A: Kısıtlar için katsayılar matrisi
- b: Sağ taraf sabiti
- S_0 : Başlangıç çözümü
- S_k : k. düğümdeki uygun çözüm
- T_i : i. dal



Şekil 5 – Dal-sınır yönteminin gösterimi

x_r^* : r. Düğümdeki bir optimum nokta

$$\text{Maks}(\text{Min}) Z = c \cdot x$$

$x \in S_0$ 'e bağlı olarak

$$S_0 = \{x | Ax = b, x \geq 0 \text{ tamsayı}\} \text{ iken.} \quad (4.4)$$

Dal-sınır yönteminin temel fikri ilk olarak problemin bir sürekli model olarak ele alınarak çözülmesidir. Modele karşılık gelen doğrusal programlamanın çözümü;

$$\text{Maks}(\text{Min}) Z = c \cdot x$$

$$x \in T_0 = \{x | Ax = b, x \geq 0\} \text{ 'e bağlı olarak,} \quad (4.5)$$

şeklindedir. x_r , optimum sürekli değeri x_r^* kesirli olan bir tamsayılı kısıtlanmış değişken olarak varsayılırsa, $[x_r^*] < x_r < [x_r^*] + 1$ aralığı her hangi bir uygun tamsayılı çözüm içermemektedir. Sonuç olarak x_r 'nin uygun tamsayılı değeri aşağıdaki iki koşuldan birisini yerine getirmelidir. Bu koşullar:

$$x_r \leq [x_r^*] \text{ veya } x_r \geq [x_r^*] + 1 \quad (4.6)$$

şeklindedir. Bu iki koşul modele uygulandığında aşağıdaki iki küme ortaya çıkarır.

$$T_1 = \{x | Ax = b, x_r \leq [x_r^*], x \geq 0\}$$

$$T_2 = \{x | Ax = b, x_r \geq [x_r^*] + 1, x \geq 0\} \quad (4.7)$$

Kümelere tamsayılı kısıtları da ekleyince:

$$S_1 = \{x | Ax = b, x_r \leq [x_r^*], x \geq 0 \text{ tamsayı}\} \text{ ve}$$

$$S_2 = \{x | Ax = b, x_r \geq [x_r^*] + 1, x \geq 0 \text{ tamsayı}\} \quad (4.8)$$

haline gelir.

Problemin x^* optimum çözümü ya S_1 'de ya da S_2 'de yer almalıdır ve aynı zamanda alt problemlerden birisinin optimum çözümü olmalıdır:

$$\text{Maks}(\text{Min}) Z = c \cdot x \quad x \in S_1 \text{ 'e bağlı olarak}$$

$$\text{Maks}(\text{Min}) Z = c \cdot x \quad x \in S_2 \text{ 'e bağlı olarak} \quad (4.9)$$

Optimum çözüm kesirli değere sahip olduğu zaman, alt problemler bu tamsayılı kısıtı gevşetme süreci tekrarlanarak ve dallandırma yapılarak yeniden

çözülebilir. Dallandırma süreci bir alt probleme karşılık gelen ağacın her bir k düğümü ile köklü bir ağaç meydana getirir:

$$\text{Maks}(\text{Min}) Z = c \cdot x \quad x \in S_k \text{ 'e bağlı olarak.} \quad (4.10)$$

Eğer yukarıdaki amaç fonksiyonuna karşılık gelen Doğrusal Programlamanın optimum çözümü tamsayılı kısıtlara göre uygun çözümse, işlem kaydedilir ve amaç fonksiyonun değeri optimum için alt-sınır olarak oluşturulur (Lawler ve Wood, 1966).

Tamsayılı doğrusal karar modelinde dal-sınır tekniğin uygulaması aşağıdaki algoritmaya göre yapılır.

- 1. Adım: (Başlangıç) Verilen model değişkenlerin tamsayılı olmasına bakmaksızın çözülür. Sınırsız çözüm ya da uygun çözüm alanının boş küme olması durumunda durulur. Sonuç tamsayı ise yine durulur. Bunların dışındaki durumlarda amaç fonksiyonunun alt ve üst sınırları belirlenerek 2. adıma gidilir.
- 2. Adım: (Dallandırma): İşlem dışı bir düğümde tamsayı değer alması istenen bir değişkene göre dallandırma yapılarak, alt bölümler elde edilir. Bunlardan biri çözülür. Bulunan optimum çözümde amaç fonksiyonun değeri önceki sınırdan küçükse bu düğüm işlem dışı bırakılır. Amaç fonksiyonunun değeri önceki sınırdan küçük değilse, değişkenler tamsayılı ise 3. adıma değilse 4.adıma geçilir.
- 3. Adım: (Ayırma): Önceki alt sınır yerine amaç fonksiyonun yeni değeri konur. Bu düğüm işlem dışı bırakılır. Yeni alt sınır üst sınıra eşitse son adıma, değilse 4. adıma geçilir.
- 4. Adım: Çözümü araştırılmamış yani işlem dışı olmamış alt bölüm var ise 4. adıma dönülür. Tüm düğümler işlem dışı ise 5. adıma geçilir.
- 5. Adım: Son alt sınıra karşı gelen çözüm optimum çözümdür. Eğer, alt sınır $-\infty$ ise modelin tamsayı çözümü yoktur (Kara, 1986).

Çizelge 7 - Dal-Sınır ve Kesme Düzlemi Algoritmalarının Karşılaştırması

Dal-Sınır	Kesme Düzlemi
• Dal-Sınır algoritmasının altında yatan temel fikir, uygun çözüm alanı içerisindeki bütün tamsayılı çözüm çiftlerini incelemektir (Özkan, 1998). • Optimum sonucu kullanıcıya sunması açısından Kesme Düzleminde daha üstündür (Şahin, 1994). • Dal-Sınır algoritmasının en büyük dezavantajı her tamsayılı çözüm çiftinin elde edildiği düğümlerde Doğrusal Programlama yapılması gerektiğidir. Büyük çaplı bir problemde çok zaman harcanarak her bir düğüm için ayrı işlem yapılır.	• Kesme Düzlemi algoritmasının altında yatan temel fikir ise, optimum doğrusal programlama çözümüne yakın olan optimum tamsayı noktasını bulmaktır. • Çözüme Dal-Sınır yöntemine kıyasla daha kısa sürede ulaşılır. • Kesme Düzlemi algoritmasının, yuvarlaklaştırma hatalarına karşı hassas oluşu bir dezavantajdır. Bazen optimum sonuca ulaşamayabilir. • Yöntemin başarısı problemin şekline bağlıdır. Optimum çözüme ulaşmak için, bazen sadece kısıtların sırasını değiştirmek, gerekli kesme düzlemi sayısını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Talaş, 1998).

4.3 Tamsayılı Programlamanın Kullanımına Dair Literatür Özeti

Günümüzde işletme ve üretim süreçlerin karmaşıklığının artmasıyla birlikte karar verme ve yönetim süreçlerinde sezgisel yaklaşımlar karmaşık ve birbiri ile bağlantılı sistemlere çözüm getirmekte yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, artık işletmelerdeki üretim ve yönetim süreçlerinde nicel yöntemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Söz konusu süreçlerin yönetiminde karşılaşılan problemlerde incelenen sistemin belirli kısıtlar altında optimizasyonu hedeflendiğinde doğrusal programlama yöntemleri tercih edilmektedir. Problemde bölünemeyen kaynakların olması durumunda (insan, makine, bina, vb. gibi) tamsayılı doğrusal programlama yöntemlerine başvurulmaktadır.

Dolayısıyla, rekabetin iyice kızıştığı bir ortamda maliyet baskısı altında en verimli bir şekilde üretim yapan veya hizmet sunan firmaların doğrusal programlama araçlarını kullanmasına da sıkça rastlanmaktadır. Bu tez çalışmasında da benzer bir probleme ilgili yöntemler ile çözüm getirilmesi dikkate alındığında, farklı sektördeki doğrusal programlama yöntemlerinin kullanımı ile çözülen problemlerin bir bütünlük içerisinde aktarılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bu bağlamda elde edilen akademik çalışmalar, sanayi ve hizmet sektörü olarak iki ana grupta ele alınmıştır. Her

bir grupta tarihsel sıralamaya bağılı kalınarak, daha önce yapılmış akademik çalışmalar kısaca aktarılmıştır.

4.3.1. Sanayideki uygulamalar

Doğrusal programlamanın kullanıldığı en önemli alanlardan birisi imalat sanayidir. Özellikle hem fiziki hem de beşeri kaynak kullanan işletmeler, kaynak optimizasyonu ve kâr maksimizasyonu sağlamak için bu yönetime başvurumaktadırlar. İmalat sanayinde karşılaşılan problemlere bakıldığında, zamanla çözüm aranan problemlerin daha karmaşık olduğunu görülmektedir. Bunun iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi, imalat sanayinin giderek piyasa koşullarından daha fazla etkilenmesi ve hizmet sektörüne daha sıkı entegre olmasından dolayı, sektördeki problemlerin birçok kısıda sahip olmasıdır. İkincisi ise, bilgisayarların işlem gücündeki artışa ve doğrusal programlama modellerini çözen paket programlardaki gelişmelere paralel olarak daha karmaşık modellerin kısa zamanda çözülebilmesidir. Dolayısıyla bu bölümde bahsedilen çalışmaların aktarılması kronolojik sıraya bağılı kalındığı için, sanayideki problemlerin karmaşıklık düzeyinin de zamanla nasıl artış gösterdiğini görme fırsatı vermektedir. Örneğin, Gürdoğan (1981) tarafından Karabük Demir Çelik Fabrikası'nın sürekli haddehanesinin üretim planının hazırlanmasında doğrusal programlama yönteminin kullanımına dair bir çalışma yayımlamıştır. Sürekli haddehanede 10 değişik çapta yuvarlak inşaat demiri (8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 ve 26 mm) ile üç farklı ebatta köşebent (40x40, 50x50, 60x60) üretilmektedir. Bahsedilen haddehanenin üretim sürecine bakıldığında çelik üretiminin beş ana adımda gerçekleştirildiği görülmektedir. Bunlardan birincisi demirin cevherinin istenilen sıcaklığa ulaştırılmasını sağlayan tavlama ünitesidir. Ardından çelik kütükler, istenilen şekle getirilmesi için haddele ünitesine alınırlar. Bu işlemin ardından 8 ve 10 mm'lik çelik teller soğutma ünitesine girerler. Diğer ürünler ise bu bölüme alınmadan ızgaralarda soğutularak özel makaslar aracılığı ile kesilmektedir. Son adım sadece firmanın ürün gamındaki köşebent çeliklere uygulanır. Üretim esnasında bu tip çeliklerin şekillerinin bozulduğu için, bunlar ayrıca doğrultma ünitesinde işleme tabi tutulmaktadır.

Yukarıda listelenen her bir ürünün bahsedilen adımlardan bazılarına tabi tutulacağını göz önüne alınarak, ilk aşamada ürünlerin ait üretim kapasitelerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Bu işlem yapılırken üretim sürecinde oluşan farklı tipteki

malzeme kayıpları hesaplanmış ve üretim kapasitesinin gerçekçi olarak hesaplanması mümkün olmuştur. Sonrasında ürünlerin satış fiyatından yola çıkılarak, her bir ürünün firmanın kârlılığına olan katkıları hesaplanmıştır. Modelde, amaç fonksiyonu olarak ürünlerin kâra olan katkısının maksimize edilmesi ifadesi yazılmış ve tavlama, haddeleme, kesme, doğrultma ve soğutma ünitelerinin kapasitesinin toplam kapasiteyi aşmaması kısıdı eklenmiştir. Bahsedilen modelin çözümünde firmanın sadece çok miktarda 26 mm'lik ve az miktarda 8 mm'lik üründen üretmesi tavsiye edilmektedir. Fakat firmanın önceki yıllara ait rakamları incelendiğinde, bu iki ürün için önerilen üretim miktarlarının talebin çok üzerinde olduğu göze çarpmaktadır. Bu nedenle pazar kısıtlarını da içeren yeni bir model oluşturulması ihtiyacı oluşmuştur. İkinci modelin önerdiği miktarlara bakıldığında optimum programda firmanın ürün gamında olan 13 üründen 10 tanesinin üretilmesinin önerildiği görülmektedir. Araştırmacının yaptığı değerlendirmede ikinci model ile sağlanan kârın birinci modelden daha az olmasına rağmen, pazar koşulları dikkate alındığı için ikinci modelin daha gerçekçi olduğu değerlendirilmesi yapılmakta ve ayrıca firma politikaları gereğince ikinci model ile ülkemizin ihtiyaçlarının daha iyi bir biçimde karşılandığı söylenmektedir (Gürdoğan, 1981).

Bir önceki araştırmada bahsedilen model, firmanın karlılığının arttırılması için etkin bir üretim planı sunmaktadır. Fakat çalışmanın yapıldığı dönemdeki işletme ve pazar koşulları ile o zamanki bilgisayarların teknik kapasitesinin kısıtlı olmasından dolayı, problemin kapsamlı olmadığı görülmektedir. Bundan sonraki bölümlerde aktarılan örnekler ise daha güncel problemlere getirilen çözümleri içermekte ve çok daha detaylı modeller içermektedir.

Şahin (1994) tarafından yapılan bir çalışmada, ele alınan işletmenin kâr maksimizasyonu hedefine ulaşabilmesi için üretim konusu ürünlerin, hangi türünden ne kadar üretilmesi gerektiği tamsayılı programlama yardımıyla tespit edilmiştir. Araştırma MAKSAN transformatör fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu işletme çeşitli tiplerde dağıtım, güç ve özel amaçlı transformatörler üreten bir işletme olup 1981 yılından bu yana elektromekanik alanda faaliyet göstermektedir. İşletmede sargı, nüve, kazan ve montaj olmak üzere 4 ana bölüm mevcuttur. Transformatör imalatı 4. bölümde yapılmaktadır. İşletmenin gerçeklerine uygun bir matematiksel model kurulabilmesi için göz önünde tutulan varsayımlar şu şekilde sıralanmıştır:

- Program için bir yıllık dönem esas alınmıştır. Bu süre içerisinde günde üç vardiya yapılması kısıtlayıcı faktörlerin kapasitesini belirlemiştir.
- İşletmenin tek amacı kâr maksimizasyonudur.
- Bütün ürünler sipariş üzerine üretileceğinden işletme için ürettiğini satamama gibi bir problem yoktur.
- İşgücü ve hammadde temini her an mümkündür.
- İşletmenin girdi ve çıktıları arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilmiştir.
- Kâr maksimizasyonu amaç fonksiyonunda ürünler için katsayı olarak brüt kârlar esas alınmıştır.
- Üretim esasları sıfır veya sıfırdan büyük tamsayı değerleri olacaktır.

İşletmenin pazar payının büyük bir kısmını dağıtım trafoları oluşturmaktadır. Trafoların yıllık toplam üretimin %95,3'ünü oluşturmamasından dolayı, bu dağıtım trafolarının üretimi “programa alınan faaliyetler” olarak seçilmesi uygun görülmüştür. İşletmenin üretim süreci içerisinde sargı ve nüve bölümlerinin kısıtlayıcı faktör olduğu tespit edilmiştir. Kâr maksimizasyonu doğrultusunda dikkate alınan varsayım ve kısıtlar ile amaç ve kısıt fonksiyonlar yazılarak doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Modelin çözümü için LINDO paket programı kullanılmıştır. Sonuç olarak, işletmenin 50 kVA transformatörlerden yılda 6867 adet, 1000 kVA transformatörlerden yılda 1299 adet üreterek bir ürün karması yapması ve bunu bağlı olarak 435.195.000.000 TL (435.195.00 TL günümüz için) kâr maksimizasyonu elde edeceği ortaya çıkmıştır. Bu sonucun optimal bir çözüm olduğu vurgulanmıştır (Şahin, 1994).

Doğrusal programlama yöntemini başarı ile uygulayan işletmelerden biri de Hindistan'ın en büyük şirketlerinden olan TATA demir-çelik fabrikasıdır. 1990'lı yılların başında 1,2 milyar dolar gelir ve 160 milyon dolar kâr elde eden TATA, 75.000 çalışanıyla yıllık 2,4 milyon ton üretim kapasitesine sahiptir. Firma 1984 yılında çelik üretim kapasitesini artıracak büyük çaplı bir modernizasyon çalışması yapmıştır. Çalışma kâr maksimizasyonu sağlayacak, kıt kaynakların optimum tahsisine imkan verecek karma tamsayılı programlama modelinin kurulması üzerine başlamıştır.

Bahsedilen çalışmaya başlanmadan önceki odak noktası kârın maksimize edilmesinden çok tonajın maksimizasyonu üzerindedir. Bir başka deyişle, çok fazla

üretimin çok kâr sağlayacağı şeklinde yanlış bir düşünce vardır. Yapılan modelleme çalışmasıyla bu yaklaşımın hatalı olduğu görülmüştür. (Sinha ve diğer., 1995)

Modelde ilk olarak, üretim planında kısıt enerji kaynaklarının etkisi üzerine odaklanılmıştır. TATA, demir çelik üretim esnasında çok fazla enerjiye ihtiyaç duyan bir işletmedir, dolayısıyla elektrik, firma için önde gelen kısıt bir kaynaktır. Ayrıca günün veya mevsimin belli bir zamanında çevresel koşullara bağlı olarak firmanın elde edebileceği elektrik seviyesi azalmaktadır. Bazen bu enerji seviyesindeki azalma beklenmedik zamanlarda olmaktadır. Enerji azaldığında, hangi faaliyetin durdurulacağı yönünde kritik bir karar alma durumu ortaya çıkmaktadır. Model uygulanmadan önce, takip edilen politika; enerji azaldıkça önce son işlem tezgâhlarını, sonra birincil işlem tezgâhlarını kapatmak şeklindedir.

Model; birincil işlem tezgâhlarını kapatmadan önce sadece son işlem tezgâhlarını kapatmanın optimum strateji olacağını göstermiştir. Hangi tezgâhın çalışıp hangi tezgâhın kapatılacağı modelde 0-1 değişkenleriyle gösterilmiştir. Modelin ilk faydası 1986 yılının Kasım ayında ortaya çıkmıştır. TATA firması bu model yardımıyla daha az enerji ve daha az üretimle daha çok kâr elde etmiştir. Uygulamanın ilk yılında firmanın kârı 73 milyon dolar artmıştır. Uygulamanın başarılı olması nedeniyle model, şirketin diğer bölümlerinde tel, ip ve sac üreten diğer ortaklarında da uygulanmaya başlanmıştır. (Sinha ve diğer., 1995)

İmalat sanayide tamsayı programlama ile mevcut bir probleme çözüm getirilen bir çalışma da Teyyar (1996) tarafından yapılmıştır. Araştırmacı uygulamasını BİRLAS lastik fabrikasında gerçekleştirmiştir. BİRLAS, ileri teknoloji ile 60 çeşit kalıp ve ebatla üretim yapabilmekte ve bu ürünleri iç ve dış pazarda satmaktadır. İşletme bisiklet ve motosiklet iç ve dış lastik, otomobil, minibüs, kamyon ve traktör iç lastiği üretmektedir. İşletme, dış lastik, iç lastik ve pirelli olmak üzere üç ana bölümde üretim yapmaktadır. Söz konusu çalışma ile işletmenin pirelli üretimi bölümünde, maksimum kârı sağlayacak ürün bileşimlerinin ve bu bileşimlerdeki mamullerin miktarlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bahse konu olan bu çalışmada ilgili problemin çözümü için düşünülen matematiksel modelin varsayımları aşağıdaki gibi kabul edilmiştir:

- İşletmenin amacı sadece kârı maksimuma çıkarmaktır.
- İşgücü ve hammadde gerektiğinde hemen elde edilmektedir.

- Üretilen ürünlerin satılamaması söz konusu değildir.
- İşletmenin girdileri ve çıktıları arasında doğrusal bir ilişki vardır.
- Program için 1996 yılının Haziran ayı dikkate alınmıştır. Bu dönem içinde kısıtlayıcı faktörlerin kapasiteleri günde üç vardiya sistemine göre belirlenmiştir.
- Üretim seviyesi sıfır veya sıfırdan büyük tamsayı değeri alacaktır.

İşletme Haziran ayında toplam 23 çeşit üretim yapmıştır ancak 700 adet ve daha az sayıdaki lastik çeşitlerine modelde yer verilmemiştir. Modelde, pişirme ve ekleme bölümleri üretimin kısıtlayıcıları olarak görülmüştür. İşletmede üç vardiya sistemi içerisinde günde 8 saat çalışılmaktadır. Ancak yemek ve çay molaları çıkarıldığında makineler günde 7 saat çalıştırılmaktadır. Otomobil ve minibüs grubunda 17, kamyon ve traktör grubunda ise 14 pişirme makinesi bulunurken, ekleme bölümünde 5 adet makine faaliyet göstermektedir.

Mevcut bilgiler ışığında oluşturulan doğrusal programlama modeli tamsayılı programlama olarak çözümlenmiştir. Bu çözümlenme için pozitif kısıtlamaya “ve tamsayı” ifadesi eklenmiştir. Çözüm QSB paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, 1996 yılının Haziran ayı için L16F ebadından 132.549 adet, 24Z640 ebadından ise 58.410 adet üretildiğinde toplam 7.800.583.000 TL (7.800.58 TL şu an için) kâr elde edileceği optimum çözüm olarak sunulmuştur (Teyyar, 1996).

Doğrusal programlama yönteminin imalat sanayindeki bir diğer uygulamasına da gıda sektöründe rastlanmaktadır. Eroğlu ve Ömürbek (1998), meşrubat üretimi yapan bir fabrikanın üretim planının en fazla kâr elde edecek şekilde yeniden düzenlenmesini hedeflemiştir. Bahse konu fabrikanın 13 çeşit meşrubat ürettiği belirtilmekte ve bu ürünlerin üretim miktarlarının talebe ve üretim kısıtlarına göre belirlenmesinin fabrikanın maksimum kârlılığa ulaşması için önemli olduğu ifade edilmektedir. Bu nedenle amaç fonksiyonu oluşturulmadan önce, ürünlerin firmanın kârlılığına katkısı hesaplanmıştır. Bunun ardından, amaç fonksiyonu her bir ürünün üretim miktarı ile onun firmanın kârlılığına etkisi çarpılarak oluşturulmuştur.

Adı geçen çalışmada problem kısıtların piyasa koşulları ve makine kapasitesi olmak üzere iki gruba ayrıldığı görülmektedir. Piyasa koşulları, firmanın yaptığı pazar araştırması sonucunda elde edilen her bir ürünün üretim miktarlarını alt ve üst sınırını içermektedir. Üretimde kullanılan makinelerin çalışma sürelerinin mesai saatleri ile

sınırlı olduğu ve her biri ürünün işlem süresinin de birbirinden farkı olduğu düşünüldüğünde, 13 farklı ürünün üretim miktarının makinelerin kapasitesi ile sınırlı olduğu aşikârdır. Dolayısıyla, makine kapasitesi de ikinci kısıt grubunu oluşturmaktadır.

Yukarıda detayları açıklanan model, WinQSB paket programı kullanılarak çözülmüş ve en iyi çözüme 14 yineleme sonucunda ulaşılmıştır. Optimum modelin çıktılarına bakılacak olursa, kârın maksimize edilebilmesi için, 12 ürünün alt sınırdan üretilmesi ve yalnızca bir ürünün alt üretim sınırdan daha fazla miktarda üretilmesi gerektiği görülmektedir. Dolayısıyla, üst üretim sınırlarının modele bir katkısının olmadığı ve firmanın 3. ürünün üretimine ağırlık vermesinin doğru bir strateji olacağı değerlendirilmiştir (Eroğlu ve Ömürbek, 1998).

Doğrusal programlama yönteminin uygulama alanı sadece imalat sanayi ile sınırlı değildir. İnşaat sektörü gibi yüksek miktarlardaki insan gücü, makine, malzeme, para ve bilginin koordinasyonunu gerektiren sektörlerde de bu yöntem kullanılmaktadır. Bahsedilen unsurların etkin bir biçimde yönetimi inşaat projelerinin zamanında bitirilmesini sağlayacağı gibi, projelerin beklenen maliyetler dâhilinde tamamlanmasını da mümkün kılacaktır. İnşaat projelerinin yönetimini kolaylaştırmak için geliştirilen yöntemler arasında CPM (Critical Path Method – Kritik Yol Yöntemi) sıklıkla tercih edilmektedir. Fakat karayolları, boru hatları ve tünel inşası gibi büyük ve birçok benzer görevin farklı mekânlarda tekrarını içeren projelerde CPM yönteminin yetersiz kaldığı ifade edilmekte ve tamsayılı doğrusal çizelgeleme yönteminin kullanımı önerilmektedir (Mattila ve Abraham, 1998). Bu yöntemin önerilmesinin üç temel nedeni bulunmaktadır:

- Kaynakların fiziksel sınırlarına bağlı kalmak
- Kaynak kullanımındaki günlük dalgalanmalardan kaçınmak
- Kaynak akışının sürekliliğini sağlamak

İnşaat projelerinin planlanmasında tamsayılı doğrusal çizelgeleme yönteminin tercih edilmesinin nedeni, kullanılan kaynakların kesirli olarak ifade edilmesinin sektörel dinamikler açısından uygun olmadığıdır. Dolayısıyla, Mattila ve Abraham (1998)'ın çalışmasında kaynak planlaması ve çizelgeleme probleminin matematiksel modelinin oluşturulmuş ve problemin tamsayılı doğrusal programlama yöntemi ile çözümü gerçekleştirilmiştir. Yukarıda da açıklandığı üzere, sınırlı kaynakların maksimum verimle kullanımı için modelin amaç fonksiyonu, tercih edilen günlük

kaynak kullanım oranlarındaki sapmaların karesinin minimize edilmesi şeklinde ifade edilmektedir. Buna göre kısıtlar da aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

- Günlük kaynak kullanımı artı-eksi sapmalar dâhil tercih edilen oranda gerçekleştirilmelidir.
- Doğrusal aktiviteler için her bir gün için sabit bir gerçekleşme oranı belirlenmelidir.
- Blok olarak gerçekleştirilecek aktiviteler sadece bir pozisyon işgal etmelidir.
- Zaman-uzay diyagramında herhangi bir çakışma olmamalıdır.
- Kontrol çalışmaları değişkenlik göstermemelidir.

Amaç fonksiyonlarının ve kısıtların tanımlanmasının ardından, modelin gerçek veriler ile test edilmesi için Mattila ve Abraham (1998) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Kuzey Michigan eyaletinde yapılan 41 numaralı yol inşaatı projesinin verileri temel alınmıştır. Bahsedilen çalışma LINDO paket programının 5.3 versiyonu kullanılarak modellenmiştir ve çözümde dal-sınır yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, LINDO tarafından oluşturulan çözümün CPM yöntemine kıyasla ortalama kaynak kullanımındaki sapmayı 94'ten 73'e indirdiği görülmektedir. Çözüm tarafından sunulan günlük kullanım oranlarına bakıldığında, CPM modelinde 17 birim kaynak kullanılarak gerçekleştirilen bir görevin tamsayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılarak 13 birim kaynak ile gerçekleştirilebileceği işaret edilmektedir. Ayrıca toplam kaynak kullanımına bakıldığında da tamsayılı doğrusal programlama yönteminin toplam kaynağı, 289 günden 288 güne indirdiği görülmektedir.

Bu çalışmanın güncel literatüre katkısı değerlendirildiğinde, inşaat sektöründeki kaynak kullanımı probleminin çözümünde tamsayılı doğrusal programlama yönteminin nasıl kullanılacağına dair bir yöntem sunması ve kaynak kullanımına ilişkin matematiksel modelin nasıl kurgulanacağı ön plana çıkarmasıdır (Mattila ve Abraham, 1998).

İnşaat sektöründe doğrusal programlara yöntemi büyük inşaat projelerinde ihtiyaç duyulan hafriyat işlerinin daha az maliyetle gerçekleştirilmesi için ekskavatör kullanımının optimize edilmesinde de tercih edilmiştir (Edwards ve diğer., 2001). İnşaat projelerinin yüksek maliyetler içermesi ve zamanında tamamlanmayan projelere yaptırımlar uygulanması nedeniyle, böyle bir çalışmaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmiş ve çalışmanın üç tane amacının olduğu belirtilmiştir. Bunlar;

- Hedeflenen işlerin zamanında tamamlanması,
- Makine (ekskavatör) verimliliğinin maksimize edilmesi ve
- Ekskavatör işletim maliyetlerinin minimize edilmesi olarak listelenmektedir.

Bu doğrultuda, 500,000 m³ hacminde bir hafriyatın işlenmesinin 250,000, 150,000 ve 100,000 m³ kapasiteli üç farklı ekskavatör tarafından gerçekleştirildiği bir projede örnek olarak seçilmiş ve doğrusal programlama modelinin uygulanması amaçlanmıştır. Modelin amaç fonksiyonu toplam ekskavatör işletme maliyetlerinin minimize edilmesi içermektedir. Modelin kısıtlarına bakıldığında, saatlik işletme maliyeti, ekskavatörlerin saat başına işledikleri miktarların belirlenen değerleri sağlamasına yönelik olarak oluşturulduğu görülmektedir.

Modelin çözümünde Lingo doğrusal programlama yazılım paketi kullanılmış ve bahsedilen çalışma için toplam makine işletme maliyetinin 58,568.5 Sterlin olacağı hesaplanmıştır. Sonuçlar daha detaylı incelendiğinde, yüksek işleme kapasiteli ekskavatörlerin kullanımının, toplam çalışma zamanının az olması ve daha az sayıda ekskavatör kullanımı nedeniyle daha ekonomik olduğu görülmüştür. Araştırmacılar, geliştirilen modeli performans kıstaslarını sağlaması ve düşük maliyetli bir çözüm sunması açısından inşaat projelerinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Üretim süreçlerinde, bazen işlenen her bir parça ardışık birçok işleme tabi tutulmakta ve dolayısıyla her bir parçaya göre işlem planı hazırlanması gerekli olmaktadır. Her bir işlemin gerektirdiği makine ve araçların ayarlanmasının bir maliyeti olduğu göz önüne alındığında, en düşük maliyetli üretim planının hazırlanmasında doğrusal programlama tekniklerinin kullanımın elzem olduğu görülmektedir. Mendes ve diğerleri (2003), o zamana kadar yapılan çalışmalarda parça seçimi ve üretim araçlarını ayarlamasının işlem planlarına dahil edilmediğini belirterek, işlem planında gelirin maksimize edilerek optimum işlem planının elde edilmesini amaçlayan bir çalışma yaptıklarını ifade etmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen problemin birçok CNC (Computer Numeric Control – Bilgisayar Kontrollü) torna tezgâhlarının olduğu bir üretim tesisinde işlem planının hazırlanmasında var olduğu söylenmekte ve problem ile ilgili aşağıdaki varsayımlar listelenmektedir:

- Bir parça öncelik sıralarını ve mantıksal kısıtları gözeterek bir veya daha çok makinede işlem görülerek üretilebilir
- Her operasyon bir veya daha fazla kesme aracı içerebilir
- Her araç sonlu kapasitesi olan makinede bir veya daha fazla zaman aralığı işgal edebilir.
- Her bir parça-işleme planı ikilisinde, daima makine maliyeti mevcuttur.
- Her bir araç için araç yükleme ve ayarlama maliyetlerini bileşimi olan araç kurulumu maliyeti mevcuttur.
- Her bir ürünün satış geliri mevcuttur.

Bu varsayımlar temelinde amaç fonksiyonu satış gelirlerinden makine ve kurulum maliyetlerinin çıkarılmasıyla elde edilen net kârların maksimize edilmesini sağlamaktadır. Modelin kısıtları da her bir parçanın bir işleme planı çerçevesinde işlenmesini, eğer bir aracın birden fazla planda kullanılması durumunda kurulum maliyetinin dâhil edilmesini, bir parçanın işlenmesi durumunda işleme sürecinde kullanılacak araçların tümünün plana katılmasını, araçların kullanımında kapasitelerin aşılmaması gerektiğini belirtmektedir.

Modelin uygulaması deniz altında yüksek basınçlı ortamda kullanılacak 3 parçalı bir ekipmanın üretiminin planlama sürecinde gerçekleştirilmiştir. İşlem planının uygulanması 13 farklı aracı olan bir CNC makinesinde yapılmaktadır. Bahsedilen problemin çözümü Mathematica programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece deniz altı parça imal eden bir işletme üzerinde üretim işlemlerinin planlanma sürecinin bilgisayar destekli üretim planlama araçları ve doğrusal programlama yöntemi kullanılarak yapılabildiği kanıtlanmıştır.

İmalat sanayinde doğrusal programlama uygulamaları üretim planlamasının dışında tedarik zinciri işlemlerinin yönetilmesinde de sıkça tercih edilmektedir. Gnani ve diğerleri (2003) tarafından yapılan çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren ve fren ekipmanları üreten bir işletmenin tedarik zinciri işlemlerinin en verimli şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Firma hidrolik fren tertibatını üretimi için 13 farklı girdi ve çıktıyı içeren bir süreci yönetmektedir. 13 farklı adım, 3 farklı işletme bünyesinde gerçekleştirilmektedir. Bu sürecin etkin bir şekilde yönetilebilmesi için her bir partide üretilcek optimum ürün sayısının belirlenmesi ve çizelgelemesi gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle, karma

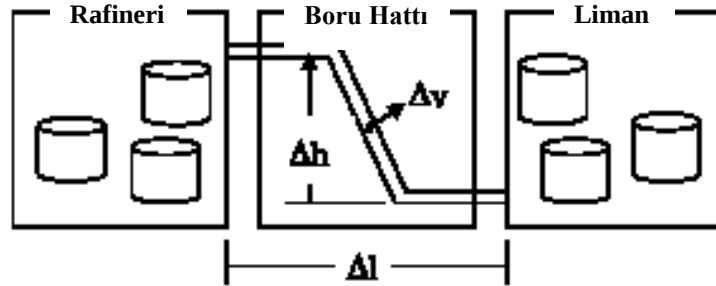
tamsayılı doğrusal programlama modeli ve benzetim (simülasyon) modelinin uygulandığı karma çözüm yönteminin uygulanmasına karar verilmiştir. Doğrusal programlama modelinde amaç fonksiyonu toplam kurulum, depo, diğer sabit maliyetlerin minimizasyonu olarak tanımlanmıştır. Problem kısıtları da şu şekilde oluşturulmuştur;

- Her bir üretim aşamasında makine kurulumu ve işletme için gereken zamanların toplamı toplam çalışma zamanını aşmamalıdır.
- Her bir duruş ve tamir işlemi için ceza maliyeti uygulanacaktır.
- Müşteriler tarafından kabul edilen gecikme zamanı maksimum bir ay olmalıdır. Bu süresi aşan teslimat gecikmelerine ceza maliyeti uygulanacaktır.

Yukarıda tanımlanan model önce Lindo paket programının 4.0 sürümü kullanılarak çözülmüş sonra da modelin ARENA paket programının 4.0 versiyonu ile benzetimi yapılmıştır. Model çözümü ve benzetim sürecinde iki farklı durum kıyaslanmıştır. İlk durumda her bir işletmenin kendi maliyetlerini maksimize edeceği yerel optimizasyon stratejisi izlendiği varsayılmış, ikinci modelde ise tüm işletmeler tek bir işletme gibi düşünülerek global optimizasyon stratejisi izlenmiştir. Yerel optimizasyon stratejisinde toplam maliyetlerde %19 oranında, küresel optimizasyon stratejisinde ise maliyetlerde %22,5 oranında azalma sağlanmıştır. Dolayısıyla bu çalışma, birden fazla işletmeyi içeren tedarik zincirlerinde her bir işletmenin maliyetlerinin azaltılmasına yönelik yerel çözümlerden ziyade tedarik zincirinin genelinin optimizasyonunun yapılmasının daha etkin olacağını göstermesi açısından önemlidir.

Doğrusal programlamanın kullanıldığı alanlar arasına petro-kimya sektörü de bulunmaktadır. Bu sektördeki çalışmaları temsilen verilen ve Magatao ve diğerleri (2004) tarafından sunulan aşağıdaki örnekte, rafineri ve liman arasındaki boru hatlarından yapılan transferin en az maliyetle gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Boru hattı bir limandaki tanklarla bir rafineriye ait tankları birbirine bağlamaktadır. Boru hattı 93 km uzunluğa (Δl), toplam 7314 m³ bir hacme sahiptir (Δv). Rafineri tankı ile limandaki tanklar arasında 900 metrelik bir yükseklik farkı bulunmaktadır (Δh). Boru hattı farklı tipteki ürün yarı ürün transferini gerçekleştirmektedir ve (dizel, jet yakıtı, benzin vb. petrol türevleri) rafineriden limana, limandan rafineriye olmak üzere iki

yönlü çalışabilmektedir (Şekil 6). Boru hattı kesintisiz çalışmakta, bu da karışabilir iki sıvının nakli sırasında kirliliğe neden olmaktadır. Bu kirliliği önlemek için tampon görevinde küçük hacimli sıvılar kullanılmakta, bu da maliyeti artırmaktadır.



Şekil 6 - Rafineri ve liman arasındaki boru hattı (Magatao ve diğer., 2004)

Firma; rafineri tank alanı altyapısı, boru hattından transfer edilecek sıvı debi detayları, talepler, tank kapasiteleri, pompalama sıklığı gibi bilgilere sahiptir. Görev, kısıtlı bir zamanda en düşük maliyetle boru hattı faaliyetlerini belirlemektir. Belirtilen etkenlerin yanında çizelgeleme süreci aşağıdaki kısıtları da dikkate almalıdır:

- Boru hattı aynı anda sadece bir tankı doldurup boşaltabilir.
- Boşaltılmış tanklar doldurulamaz ve doldurulan tanklar boşaltılamaz.
- Tank alanı altyapısı dikkate alınacaktır.
- Bir tank her zaman aynı ürünle doldurulabilir. Fakat her ürün birden fazla tanka doldurulabilir.
- Tanktaki köklü değişimler minimize edilmelidir.
- Transfer edilen sıvının debisi dikkate alınmalıdır.
- Model planlanan süredeki talep miktarlarını değerlendirmelidir.
- Pompalama işlemi her sıvı için kesintisiz yapılacaktır.
- Kullanılan tampon sıvı hacmi, en küçük pompalanan sıvı hacminden daha az hacimde olmalıdır. (pompalama sırasında ihmal edilebilmesi maksadıyla)
- Tampon sıvı kullanımı minimum düzeyde olmalıdır.
- Pompalanacak sıvının hazırlık zamanı ihmal edilmelidir.
- Tam bir pompalama işlemi; limandan rafineriye, rafineriden limana veya tam tersi şeklinde olmalıdır. Yani çizelgelenirken iki yönlü bir bütün olarak düşünülmelidir.

- Herhangi bir sıvının gidişyle dönüşü arasında oluşacak boş zamanda ekstra bir ürün pompalanması gerekmektedir. Buna GAP prosedürü denir. Çizelgelemenin ana talebi karşıladıktan sonra mümkün olduğunca ekstra ürün taşınması sağlanmalıdır.
- Bir sıvıya atanacak süre o sıvının nakledilebileceği süreden büyük olursa pompalama durur fakat basıncı korumak için pompanın belirli bir devirde çalıştırılması gerekmektedir. Bu da maliyeti artıracaktır. Model, bu maliyeti en aza indirmelidir.

Çalışmada; dört ürünün liman tanklarından rafineri tanklarına, rafineri tanklarından liman tanklarına pompalanması senaryosu modellenmiştir. Her ürüne iki tank olmak üzere 16 tank bulunmaktadır. Problem LINGO 8.0 versiyonu ile çözülmüştür. Problem karma tamsayılı bir model olup 1572 değişken, 224 0-1 değişkeni, 2956 kısıt kullanılmıştır. İki yönlü olarak, ürünlerin optimum pompalanma sırası belirlenmiştir. Bu sıralama en az enerji harcayarak, tampon sıvı kullanmadan oluşturulmuştur. Elle yapılan çizelgelemeye göre %8 bir iyileşme görülmüştür (Magato ve diğer., 2004).

Ergülen ve Gürbüz (2006) tarafından yapılan bir vaka çalışmasında da tamsayılı doğrusal programlama modelinin üretim planlamasında uygulanabilirliği teorik çerçevede tartışılmış ve beton direk üretimi alanında faaliyet gösteren bir üretim firmasında gerçekleştirilen bir uygulama ile desteklenmiştir. Söz konusu çalışmanın uygulama kısmında araştırmacılar, üretim planının matematiksel modellerle açıklanmasını sağlayacak verileri firmadan alarak firmanın bir vardiyadaki direk üretim holünün maksimum kapasiteyle çalıştırılması sağlamak için tamsayılı doğrusal programlama yöntemini uygulamıştır.

Modelin detaylarına inildiğinde, amaç fonksiyonunun bir vardiyada çalışılacak toplam beton direk kalıp sayısının maksimize edilmesinden ibaret olduğu görülmektedir. Modeldeki ilk kısıt seti, belirli boyutlardaki beton direk üretiminin aynı boyut için alınan siparişi aşmaması olarak tanımlanmıştır. İkinci kısıt seti, benzer bir şekilde belirli boyut için yapılan siparişlerin mevcut kalıp sayısını aşmaması olarak gösterilmiştir. Üçüncü kısıt seti her bir boyut için sipariş edilen beton direklerin toplamının işletme tarafından işlenebilecek alt ve üst tonaj kısıdından az olmasını belirlemektedir. Dördüncü kısıtta ise beton direk üretiminin her bir vardiyanın alt ve üst

kapasite sınırını aşmaması tanımlanmıştır. Yukarıda tanımlanan model Microsoft Excel Solver paket programı ile çözülmüştür. Böylece her bir boyut için ne kadar üretim yapılması gerektiğinin de hesaplandığı belirtilmiştir. Araştırmacılar, sunulan bu makale ile bahsedilen problemin çözümünde tamsayılı doğrusal programlama tekniğinin kullanımının mümkün olduğunu kanıtladıklarını rapor etmişler ve bundan sonraki aşamada aynı modelin pazarlama çalışmalarını da kapsayacak biçimde genişletilmesinin planlandığını belirtmişlerdir (Ergülen ve Gürbüz, 2006).

Doğrusal programlama yönteminin şu ana kadar bahsedilen uygulamalardan çok farklı bir sektöre uygulanmasını Weintraub (2007) tarafından yayımlanan bir çalışmada rastlanmıştır. Bahse konu çalışma, son yıllarda doğal hayatın korunması, erozyonun önlenmesi, su kalitesinin korunması ve doğa güzelliklerine zarar verilmemesi gibi ihtiyaçların giderek artan bir öneme sahip olduğu tespitiyle başlamakta ve ormanlardan kereste elde edilmesinin planlanmasının zorluk derecesi de giderek arttığını vurgulamaktadır. Bu nedenle söz konusu çalışmada ormancılık sektöründe tamsayılı doğrusal programlamanın nasıl gerçekleştirilebileceğine dair bir örnek sunmuştur.

Bu çalışmada temel amaç ormanlardan kereste elde edilmesinden sağlanan gelirin maksimize edilmesidir. Bu nedenle amaç fonksiyonu kesim yapılacak alan ile birim alandan elde edilecek kârın çarpımı olarak ifade edilmiştir. Her ne kadar orman kesiminden elde edilecek gelirim maksimize edilmesi sağlanacak olsa da, kurallara göre birbirine komşu iki alanın kesiminin yapılması yasak olduğundan modele bir kısıt eklenerek bu durumun önüne geçilmesi öngörülmektedir. Ayrıca talepten fazla kesim yapılmasının engellenmesi için de her bir alandan elde edilecek birim kereste miktarı ile kesim yapılacak alanın çarpımının talebi karşılaması kısıdı eklenmiştir. Araştırmacı günümüzde ormancılık sektöründe Monte-Kârlo benzetim yönteminin ve Tabu arama metodunun kullanıldığını belirtmekte ve kereste üretiminin modellenmesinde önerilen modelin kullanımı durumunda önemli faydalar sağlanacağını belirtmektedir (Weintraub, 2007).

Ülkemizdeki lokomotif sektörlerden olan ve uzak doğu kaynaklı ucuz tekstil ürünleri ile rekabet etmeye çalışan tekstil sektörünün yatırım önceliklerinin belirlenmesi için de doğrusal programlama yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Doğanlı (2006), yapmış olduğu bir çalışma ile tamsayılı programlama yöntemlerinin Türkiye’de tekstil sektörüne uygulanmasıyla elde edilecek faydaları tespit etmeyi amaçlamıştır. Uygulama

için Denizli MEBATEKS Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş. fabrikası seçilmiştir. Bu fabrika bornoz ve havlu üretimi yapmakta ve ihracatını gerçekleştirmektedir. İşletme, büyüme ve teknolojiyi takip etme ve bu sayede pazar payını artırmayı planlamaktadır. İşletme iki dönem için 7 projeden (1-Klima sisteminin oluşturulması, 2-Kazan dairesinin yenilenmesi, 3-Boyahane binası yapılması, 4-Depo için yeni bina yapılması, 5-Yurt dışı temsilciliklerinin oluşturulması, 6-Dokuma tezgâhlarının yenilenmesi, 7-Ara mamuller için gerekli olan makinelerin [düğme, nakış, etiket vb.] alınması) en uygun olanları faaliyete geçirmeyi düşünmektedir. İşletmenin yatırımları için tek kısıt her iki dönem içinde sermaye harcamalarının miktarlarıdır. İşletme 1. dönem için 500.000 YTL, 2. dönem için ise 200.000 YTL ayırabilmektedir. İşletmenin elindeki parayı en optimal şekilde kullanabileceği projeler tamsayılı programlama tekniği ile belirlenmiştir. Problemin bilgisayar ortamında çözümünde LINDO paket programı kullanılmıştır.

Uygulama sonucunda işletmenin 7 projeden 5'ini kabul etmesi, 2'sini reddetmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Diğer bir ifade ile işletme klima sistemi oluşturacak, kazan dairesini yenileyecek, depo için yeni binalar inşa edecek, dokuma tezgâhlarını yenileyecek, ara mamuller alacak, fakat boyahane için yeni bina inşası ve yurt dışı temsilcilikleri oluşturma projelerini reddedecektir. Böylece tamsayılı programlama ile en optimal sonuca ulaşılabileceği gerçekleştirilen bu uygulama ile gösterilmiştir.

Bu bölümde anlatılan çalışmalara bakıldığında imalat sanayi, inşaat, petrokimya, ormancılık ve tekstil gibi birbirinden oldukça farklı sektörlerdeki problemlere çözüm getirmede doğrusal programlama yöntemlerinden yararlanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla, bu tez çalışmasına konu teşkil eden vana ceketleri üretimi yapan bir firmanın probleminin çözümünde yukarıda bahsedilen çalışmalarda kullanılan yaklaşımların ve yöntemlerin yön gösterici olabileceği düşünülmektedir.

4.3.2. Hizmet sektörü

Hizmet sektörü sahip olduğu dinamikler nedeniyle sanayiye göre önemli farklılıklar içermektedir. Sektörde iş gücü kullanımının büyük bir kısmının insan faktörüne bağlı olmasından ötürü oluşan problemlerin niteliği sanayi kuruluşları ile kıyaslandığında farklı yaklaşımlar gerektirmektedir. Bu sektördeki uygulamalar

incelendiğinde güvenlik, finans, sağlık, eğitim ve ulaştırma gibi alanlarda çok farklı uygulamalarla karşılaşmaktadır.

Yapılan bir çalışmada, ülkemizde nüfusun üçte birinin yaşadığı altı büyük ilde (Adana, Ankara, Erzurum, İstanbul, İzmir ve Samsun) minimum maliyetli optimum beslenme problemi doğrusal programlama tekniği kullanılarak araştırılmıştır (Alparslan, 1996). Çalışmada et ve et ürünleri, balık ve deniz ürünleri, kümes hayvanları, sakatatlar, süt ve süt ürünleri, yumurta, kuru baklagil ve kuru yemişler, koyu sarı ve yeşil sebzeler, patates, turuncgil ve meyveler, tahıl ve ürünleri, ekmek ve türevleri, diğer fırın ürünleri, hayvansal ve bitkisel yağlar, şeker ve tatlılar olmak üzere 129 çeşit besin maddesi dikkate alınmıştır. Besinlerin yanı sıra illerde yaşayan nüfus da aile tipi ve yaş gruplarına göre sınıflandırılmıştır. İncelenen aile tipleri yoksul, ekonomik, orta ve zengin şeklinde ele alınmıştır. Yaş grupları ise 4-6, 7-10, 15-18, 19-22, 23-50 (erkek), 50+ (erkek), 23-50 (kadın), 50+ (kadın) şeklinde belirlenmiştir. Sağlıklı beslenme için yenebilen gıdalardan alınması gereken 13 enerji ve beslenme elemanı gerektiği düşünülerek, söz konusu besin maddelerinin analizleri de yapılmıştır. Yiyecek maddelerinin fiyatları için DİE kayıtları ve pazar araştırması sonuçları kullanılmıştır. Her il için ayrı ayrı amaç fonksiyonu yazma yerine amaç fonksiyondaki değişkenlerin katsayıları illerin alfabetik sıralamasına göre yazılarak toplu halde gösterilmiştir. Fiyatlar 100 gram cinsinden tespit edilmiştir. Araştırmada yaş gruplarına göre günlük alınması gereken minimum besin elemanları, dört tip aile için yaş gruplarına göre günlük alınması gereken yiyecek maddeleri, her bir aile tipi için yaş gruplarına göre günlük alternatif beslenme maliyetleri verilmek suretiyle bütçe kısıtları oluşturulmuştur.

Problemlerin çözüm aşamasında LINDO programı kullanılırken, amaç fonksiyon değerleri her il için ayrı ayrı verilmiştir. Başlangıçta 129x61 boyutlu Simpleks tablo çözümü elde edilmiştir. Duyarlılık analizi yapılmış ve değişkenlerin gölge fiyatları da alınmıştır. Daha sonrasında bütçe kısıdı da eklenerek çözüm gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, 1994-1997 yılları arasında altı ilde dört tip ailedeki farklı yaş gruplarının her biri için ayrı ayrı minimum maliyetli optimum beslenmenin nasıl olacağı ortaya konmuştur. Ayrıca araştırmacı, modelin sadece çalışmanın yapılacağı yıllar ile sınırlı kalmayacağını, gerektiğinde modelde kullanılan maliyetlerin güncel maliyetlerle değiştirilerek modelin her zaman kullanılabileceğini belirtmektedir (Alparslan, 1996).

Doğrusal programlama tekniğinin kullanılması ile mevcut bir probleme çözüm aranan çalışmalardan biri de askeri alanda söz konusu olmuştur (Dell, 1998). Amerikan ordusu 1989'dan bu yana kuvvetlerini %30'dan fazla azaltmıştır. Bu azaltma süreci, dünya çevresindeki üslerin lağv edilmesi veya düzenlenmesinin detaylı bir şekilde planlanmasıyla yapılmaktadır. Askeri üslerin kapatılması veya düzenlenmesi ordunun hızlı bir şekilde personel ve donanım ikmal kabiliyetini ve üs çevresindeki yerel ekonomiyi etkilemektedir. Bu kararın hassas yapısı ve politik etkilerinden dolayı kongre, karar mekanizmasını yöneten özel bir yasayı senatodan geçirmiştir. 1995'de komisyon 29 üssün kapatılmasına ve 11 üssün düzenlenmesine karar vermiştir. Uzun dönemde yıllık 360 milyon dolarlık bir tasarruf sağlayacağı beklenen bu kararın uygulanması için yaklaşık 2 milyar dolar ayrılmıştır.

Bir milyar dolarlık bütçe kısıtı altında 6 yıllık bir dönem için düzenlenecek ve kapatılacak üslerin sıralanmasını belirlemek üzere bir karma tamsayılı programlama BRACAS (Base Realignment and Closure Action Sheduller) isimli bir model geliştirilmiştir. Söz konusu model yıllık bütçe kısıtı altında planın şu anki değerini maksimum yapacak faaliyet çizelgeleri geliştirmektedir. 0-1 karar değişkenleri, planlanan yıl için şu gibi durumları değerlendirmek için kullanılmaktadır:

- Üstten birlik çıkarılıp-çıkarılmaması,
- İlgili üsse ait bazı görevlerin devam edip-etmemesi,
- Üsse yeni görevlerin verilip-verilmemesi,
- Üssün tamamen kaldırılmasıdır.

BRACAS uygulaması önceki planla karşılaştırıldığında 400 milyon dolarlık bir tasarruf sağlamıştır. BRACAS'ın geniş çaplı "Ne-Eğer" sorularına cevap verebilecek planlama aracı olarak en üst seviye güvenilirlik seviyesinde olup olmadığını öğrenmek için dönemin ordu bütçesinden sorumlu sekreter yardımcısı General Robert T. Howard sonuçları sorgulamış ve modelin varsayımındaki değişimleri görmek istemiştir. İstenen değişimler bir saatte başarıyla gerçekleştirilmiş ve oldukça verimli sonuçlar elde edilmiştir (Dell, 1998).

Doğrusal programlama yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı bir diğer alan ise finans sektörüdür. Sektörde genellikle portföy optimizasyonu yatırım enstrümanlarının getirilerinin maksimize edilmesi için bahsedilen yöntemlerden sıkça yararlanılmaktadır.

Örneğin, Grantham, Mayo, Van Otterloo and Company (GMO), dünya çapındaki müşterilerine fon sunan bir yatırım yönetim firmasıdır. Müşterilerin çoğu emekli maaşı fonları, vakıflar, çeşitli amaçlar için bağış toplayan dernekler ve bunun gibi organizasyonlardır. GMO milyar dolarlık bir varlığı istatistiksel metotlar, benzetim ve optimizasyon teknikleri ile yönetmektedir.

1996'da GMO 15 milyar dolarlık bir varlığa ulaşmıştır. Fakat portföydeki çok fazla hisse senedi ve varlığı tekrar dengeleyecek çok fazla işlem GMO'nun portföyü yönetme kabiliyeti konusunda müşteriler üzerinde tedirginlik yaratmıştır. Dahası büyük orandaki çeşitli hisse senetleri ve işlemler GMO'nun faaliyetlerini zorlamakta ve bu varlıkları devam ettirecek maliyeti arttırmaktadır.

GMO likidite, risk, beklenen gelir (geri dönüş), daha az sayıda çeşitli hisse senedi ve daha az gerekli hisse senedi işlemi açısından hedef portföylere daha yakınsayarak 0-1 karar değişkenlerini içeren bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiş ve uygulamaya geçirmiştir.

Tipik olarak bu portföyler; değişik yatırım felsefelerini gösteren birkaç alt portföyden oluşmaktadır. Böyle bir yapının en önemli avantajı, portföyün optimizasyonunda, alt portföylerin bir diğeri ile alınıp satılabilmesidir. Böylelikle fon için işlem maliyetinden kaçınılmış olmaktadır. GMO halen bu yapıyı kullanmaktadır ve 8 milyar doların üzerinde bir değere sahip 11 farklı portföyü yönetmektedir. Bu şekilde bir karma tamsayılı programlama sürecinin GMO'ya faydaları şu şekildedir:

- Var olan müşteri tabanı korunmuştur.
- Firma büyüme imkânı yakalamıştır.
- Portföylerde tutulan farklı hisse senedi sayısında %48,7'lik bir azalma olmuştur.
- Hisse senedi işlemlerinde ortalama %79,3'lük bir azalma olmuştur.
- 3 ve 4. maddelerin sonucu olarak portföylerin ticaretindeki yıllık maliyet dört milyon dolar azalmıştır. (Bertsimas ve diğer., 1999)

Sağlık sektörü ile ilgili bir uygulama da Kanada' da yer alan Mount Sinai Hastanesinde yapılmıştır. Çalışmada; hastanede kullanılabilecek ameliyathane sayısı ve tipini, odaların kullanılabileceği saatleri, öncelik verilecek servis veya cerrahları, doktorların kullanabileceklerin zamanın eşit dağılımı gibi konuları en etkin bir şekilde

düzenlemek için tamsayıli programlama tekniği kullanılarak yapılmış bir çizelgeden bahsetmektedir. Çalışmayı şu şekilde kısaca özetleyebiliriz:

Kanada’da hastaneler kâr amacı gütmeyen kuruluşlardır. Hastaneler, toplanan sigorta primleri ve vergilerle finanse edilirken, doktorlar sağladıkları servis kadar ücretlendirilmektedirler. Böylelikle rekabeti artırmak, hasta doktor ilişkisini geliştirmek, iyi hizmet sunmak amaçlanmaktadır.

Mount Sinai Hastanesinin ikisi ayakta tedavi odası olmak üzere on iki odası bulunmaktadır. Hastanede cerrahi, jinekoloji, göz, oral cerrahi ve kardiyoloji olmak üzere beş bölüm bulunmaktadır. Bu bölümlerin en büyüğü ortopedik, genel, plastik, üroloji ve damar cerrahisi olmak üzere beş alt bölümü olan cerrahi bölümüdür.

Cerrahi bölümü, haftada kullanılabilir saatin %47,5’ini kullanan en yoğun bölümken, oral cerrahi ise toplam kullanılabilir zamanın %5’ini kullanan en az yoğunluktaki bölümdür. Ayrıca haftada 7,5 saat acil durumlar için ayrılmıştır. Çizelgede acil durum 6. bölüm gibi düşünölmektedir. Ayakta tedavi odasında 7 tam zamanlı, 2 yarı zamanlı; diğer odalarda 25 tam zamanlı, 7 yarı zamanlı personel bulunmaktadır.

Ana cerrahi çizelgeleme, bir üretim ortamındaki bütünleşik üretim planlama gibi düşünölebilir. Çünkü bu çizelgeleme aynı zamanda; hemşire, ilaç, narkoz, test laboratuvarı, operasyon öncesi bakıcılık şeklinde kaynak ihtiyaçlarını düzenlemektedir.

1995’e kadar çizelgeleme elle yapılmaktadır. Başhemşire; operasyon odası yönetim komitesiyle birlikte çalışmakta, haftalık kullanılabilir oda sayısını ve sürelerini belirlemektedir. Bölümlerin atanması ise deneme yanılma yolu ile yapılmaktadır. Odaların boş kaldıkları süreler, özel donanım ve personel gibi kısıtlardaki değişimden dolayı çizelge birçok deneme neticesinde hazırlanabilmektedir. Çünkü bir bölümün ihtiyacını karşılayan değişim diğer bölümü olumsuz etkileyebilmektedir. Doktorlar arasında, daha çok kazanç için var olan şiddetli rekabet tatminsizliğe ve tartışmalara neden olmakta, bazen çizelgenin hatalı veya önyargılı şekilde hazırlandığı yönünde düşöncelerin ortaya çıkmaktadır.

Harcanan zamanı azaltacak, yukarıda bahsedilen hoşnutsuzluğu ortadan kaldıracak ve kaynak kullanımını maksimum yapacak yeni bir yaklaşım gerekmektedir. Bu ihtiyaçları karşılayacak bir tamsayıli programlama modeli aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır (Blake ve Donald, 2002):

- Aynı anda bir odaya sadece bir operasyon atanmalıdır.

- Operasyonların bütünlüğü korunmalıdır. Aynı odada bir operasyon bitmeden diğer bir operasyon başlamamalıdır.
- Çizelge bir bölüme atanabilecek maksimum-minimum zaman kısıtını değerlendirmelidir.
- Hastane ve hemşireler birliğince yapılan anlaşma gereği hemşirelerin maksimum çalışma saatlerini ve şartlarını dikkate almalıdır.

Hazırlanan model 1997'den itibaren uygulanmaya başlanmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Modelle; çizelge hazırlamak için günlerce çalışılan süre bir kaç saate indirilmiştir.
- Çizelge hazırlamak için operasyon oda yöneticilerinin harcadıkları süre düşmüş bu da yıllık 20.000 dolarlık bir tasarruf sağlamıştır. Ayrıca yöneticilerin ve doktorların daha önemli konular üzerine yoğunlaşması sağlanmıştır.
- Modelle; çizelge hızlı bir şekilde değiştirilebilmekte, bu da hastane yönetimine büyük esneklik katmaktadır. Örneğin kısa dönemde cerrah ve anesteziist kısıtlarına, yazın ve yılbaşı gibi zamanlarda meydana gelen talepteki mevsimsel dalgalanmalara cevap vermede ya da eleman değişiklikleri ile sonuçlanan uzun dönemli program değişikliklerinde bir araç olarak kullanılabilir.
- Modelin en büyük faydası kullanılabilecek süreyi bölümlere adil dağıtması ve ortaya çıkan hoşnutsuzluğu azaltması olmuştur (Blake ve Donald, 2002).

Hizmet sektöründe doğrusal programlama yöntemlerinin kullanıldığı bir diğer alan ise eğitimidir. Örneğin, 1998'de Ohio Üniversitesi Ticaret Koleji'nde, öğretim üyelerini ve derslerin, sınıflara ve belirlenen ders saatlerine çizelgelenmesi amacıyla tamsayılı programlama kullanılmıştır (Clarence, 2004). O zamana kadar COB (Colleage of Business) her akademik dönem için çizelgelemeyi elle yapmaktadır. COB' un her dönem 65 - 75 öğretim üyesi, 110-130 dersi, 16 sınıfı bulunmaktadır. COB derslerin verileceği zaman aralıklarını önceden belirlemiştir. Dolayısıyla dersler belirlenen saatlere atanacaktır.*

* Modelde derslerin belirlenen zaman dilimi haricine atanması engellenmektedir.

Mevcut süreçte dekanlık, bina içinde her bölüm için gerekli özel sınıfları ve iki veya daha fazla bölümün ortak kullanabileceği sınıfları belirtmektedir. Daha sonra bölüm başkanları önce özel sınıflara ilgili dersler atanır ardından hangi dersin verileceğini, derslere atanacak hocaları eldeki sınıf durumunu ve öğretim üyelerinin tercihlerini değerlendirerek bölüm derslerini, kalan sınıflara atamaktadır. Bölüm başkanları atama yaptıktan sonra boş sınıf ve zaman kalırsa diğer bölümleri bilgilendirmektedir. Eğer bina içi derslik sayısı yetersiz kalırsa diğer okulların derslikleri kullanılmaktadır.

Bu yaklaşım uygulanırken binadaki sınıflar optimum kullanılmamaktadır. Derslik yetersizliğinde, fakülte üyeleri dersleri bina dışındaki dersliklerde vermektedirler. Ancak buradaki derslikler, verilecek dersler için uygun sevide değildir. Öğretim üyelerinin sayısı arttıkça sınıf atama için yeni bir yaklaşım zorunlu hale gelmiştir. Dolayısıyla, öğretim üyelerin tercihleri çerçevesinde, öğretim üyesi, ders, sınıf, zaman aralığı atamasının en iyi bir şekilde yapılması için bir model oluşturulması planlanmıştır. Modeldeki amaç fonksiyonu sınıfların optimum kullanımı ve öğretim görevlilerinin tercihlerinin azami oranda karşılanması dikkate alınarak oluşturulmuştur. Ayrıca, modeldeki aşağıda bahsedilen kısıtları içermektedir:

- Bir öğretim görevlisi, gerekli olduğu kadar derse atanmalı ve bir ders saati içerisinde birden fazla derse atanmamalı,
- Bir sınıfta aynı anda birden fazla ders verilmemeli,
- Mümkün olduğunca çok ders, dersliklere ve zaman aralığına atanmalıdır.

Üyelerin ve yönetimin istediği tarzda bir çizelgeleme hazırlamak için aşağıdaki başlıklara dikkat edilmelidir.

- Maksimum Ders Günleri: Bazı öğretim üyeleri ders vereceği günlerin sadece haftanın belirli iki günü olmasını isteyebilir. Bu kısıt öğretim üyesinin ders vermek istediği gün sayısı kadar atama yapmaya zorlar. Eğer böyle bir kısıt olmazsa bir öğretim üyesine haftanın dört günü ders atanabilir.
- Ardışık Gelen Ders Saatleri: Bu kısıtla; modelin, öğretim üyelerine aralıksız ders ataması engellenmektedir.

- Zaman Aralık Grupları: Örneğin bir öğretim üyesi sadece sabahları veya öğleden sonraları ya da sadece Pazartesi, Çarşamba veya Salı, Perşembe günü ders vermek isteyebilir.
- Her Derse Çok Öğretim Görevlisi: Yeni eğitim sistemlerinde, dersler farklı disiplinler altında ve birkaç eğitmenle işlenmektedir. Örneğin Ohio Üniversitesi'nin eğitim programında dört eğitim görevlisinin verdiği iki küme dersi* bulunmaktadır. Bu dersler haftada 16 saat olarak planlanmıştır. Manuel atamada; küme dersi veren eğitmenlerin başka derslere de atanmış olmasından dolayı genelde aynı saate ancak bir eğitmen atanabilmektedir.
- Günlük Çizelgelenen Minimum Ders Sayısı: Bu kısıt; sınıf kullanımının haftanın günlerine eşit olarak dağılımını gerçekleştiren bir çizelge hazırlanmasını sağlamaktadır.
- Bölüm Seviyelendirme: Bir kolej bütün bölümleri için çizelgeleme yaptığı ve kendi derslerini atayacağı yeteri kadar dersliği kalmadığında, bölümlerin derslerinin oransız bir şekilde atanmasından kaçınılmalıdır.
- Atama Öncesi: Literatürde, araştırmacılar atama öncesi terimini kullanmaktadırlar. Otomatik bir çözüm öncesi öncül bir atama yapılabilmektedir. COB atama öncesini küme dersleri için kullanmaktadır.

Yukarıda tanımlanan bu model Pentium tipi 1600 MHz bir bilgisayarla iki ile beş dakika arasında çözülmüştür. Problemin çözülmesinde CPLEX paket programı kullanılmıştır. Modelin ne kadar büyük ve karmaşık olduğu aşağıdaki parametrelerden de anlaşılabilmektedir:

- 0-1 Değişkenleri: 1900-2400
- Sürekli Değişkenler: 10-150
- Kısıtlar: 1600-1900

Modelin COB'de uygulanmasının ardından bina içindeki sınıf kullanımının arttığını belirtilmektedirler. Ayrıca öğretim üyelerinin sayısının artmasına rağmen COB binası dışında fakülte üyeleri daha az sayıda ders vermeye başlamışlardır. Çizelgeleme süresi %50 oranında azalmıştır. Bölüm başkanları ders dağılımında hocaların tepkisinden kurtulmuş ve öğretim üyelerini atamanın kişisel olmadığını konusunda ikna

* Küme Ders: Bir dersin, farklı disiplinlerden eğitmenlerin koordineli bir şekilde aynı sınıfta verildiği derslerdir.

edebilmişlerdir. Mesela, bir dönem az ders atanan öğretim üyelerine diğer dönem öncelik verilmiş ve fazla ders atanmıştır (Clarence, 2004).

Yukarıda detaylandırılan çalışmanın bir benzeri de Schimmelpfeng ve Helber (2007) tarafından Almanya'daki Hannover Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi'nde gerçekleştirilmiştir. Bahse konu çalışmada, benzer problemlerin farklı araştırmacılar tarafından incelense bile çalışmaların genelde uygulamadan yoksun olduğu belirtilerek ders programlarının oluşturulmasında otomatik bir çözüme ihtiyaç duyulduğuna işaret edilmiştir. Dolayısıyla, araştırmacılar Hasse ve diğerleri (2004) tarafından yapılan atama problemini temel alarak yeni bir ders çizelgeleme modeli üzerinde çalışmışlardır.

Modelin sağlıklı bir şekilde oluşturulması için günlük ders saatlerinin sayısı, dersliklerin büyüklükleri ve kullanılabilir derslik sayısı, dersler ve öğretim görevlileri ile ilgili birçok varsayım tanımlandıktan sonra, amaç fonksiyonu ve kısıtların tanımlanması gerçekleştirilmiştir. Amaç fonksiyonu öğretmenlerin tercihlerinin maksimize etme esasına dayanmıştır. Buna ek olarak, derslik kapasitelerinin aşımı, derslerin çakışması, aynı derslerin farklı şubelerinin birbirine paralel saatlerde yer alması ceza katsayıları ile çarpılarak amaç fonksiyonunda yer almış ve bu tür istenmeyen olasılıkların mümkün olduğunca azaltılmasına çalışılmıştır. Modeldeki kısıtlara bakıldığında, 20'den fazla kısıt setinin tanımlandığı görülmektedir. Kısıtlar genellikle öğretim görevlilerinin atamaları, okula ve enstitülere özgü kısıtlamalar ve öğretim görevlilerinin tercihleri ile ilgilidir. Araştırmacılar, bahsedilen modelin GAMS Versiyon 2.0 ve CPLEX Versiyon 9.1.2 ile çözüldüğünü ifade etmişlerdir.

Modelin çözümüne bakıldığında 181 öğretim grubundan (dersten) yalnızca 28 tanesinin öğretim görevlilerinin birinci tercihlerine göre atanmadığı görülmüştür. Bahsedilen 28 atamanın 17'si öğretim görevlilerinin ikinci tercihi, 8 tanesinin üçüncü tercihi ve üçünün de beşinci tercihi olduğu ifade edilmiştir. Öğretim üyelerini tercihlerinin en iyi şekilde karşılanmasının yanı sıra, ders programlamasında darboğaz yaratan küçük boyuttaki sınıfların kullanımı da düzenli kılınmıştır (Schimmelpfeng ve Helber, 2007).

Doğrusal programlara yöntemi bilindik uygulamalar dışında yeni alanlara da uygulanabilmektedir. Örneğin, bilim adamları protein sentezi sırasında da doğrusal programlama yöntemleri kullanarak kararlı protein zincirlerinin tasarımını

gerçekleştirebilmektedir. Kingsford ve diğerleri (2004) protein tasarımı sırasında karşılaşılan ve karmaşık ve büyük boyutlu bir problem olan zincir-yanına konumlama (SCP: side-chain positioning) hesaplama yöntemine hızlı ve etkin bir çözüm getirmek için tamsayılı doğrusal programlama modelinden yararlanmışlardır. SCP yöntemi, sabit bir molekül omurgası üzerine, dönerek yerleşen molekül (aminoasit) zincirlerinin tüm sistemin enerjisini minimize edilecek şekilde yerleştirilmesini öngörmektedir. Bu bağlamda, amaç fonksiyonu molekül omurgası ve moleküller arasındaki enerjinin minimize edilmesine yönelik olarak oluşturulmuştur. Problemin kısıtları da her bir boşluğa bir molekül bağlanmasını sağlamaktadır. Geliştirilen modelin denenmesi aşamasında, seçilen 25 protein üzerinde çalışmalar yapılmış ve model CPLEX paket yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Bu çalışmanın çıktısı en büyük etkisinin SCP yönteminin kullanımında doğrusal programlamanın kullanımının mümkün olduğunu kanıtlaması olduğu belirtilmiştir (Kingsford ve diğer., 2004)

Müşteri kitlelerini ve tedarik zinciri operasyonlarını yöneten firmalar da hem rotalama hem de çizelgeleme konularında karşılaştıkları problemlerde doğrusal programlama yöntemine sıkça başvurmaktadır. Alabaş ve Dengiz (2004)'in yaptıkları bu çalışmada, yerel aramaya dayanan metotlar içerisinde bulunan tabu arama (TA) ve tavlama benzetimi (TB) algoritmalarında kullanılan yöre yapısının, söz konusu algoritmaların araç rotalama problemini çözmedeki performanslarına yapmış olduğu katkı araştırılmıştır. Çalışmada her iki algoritma için de zengin bir yöre yapısı önerilmiştir. Önerilen bu zengin yöre yapısını kullanan TA ve TB algoritmaları araç rotalama test problemleri üzerinde denenmiştir.

Söz konusu bu çalışmada TA ve TB algoritmalarında mevcut çözüm üzerinde 5 hareket tipi tanımlanarak yöre yapısı zenginleştirilmiştir. Deneysel çalışma düzeneğinde, TA ve TB algoritmaları küçük, orta ve büyük boyutu araç rotalama problemleri üzerinde tanımlanan 5 hareket tipinin 31 kombinasyonun her biri için ayrı ayrı olmak üzere 10'ar kez çalıştırılmıştır. Ele alınan problemler için en iyi çözümün amaç değerinden sapma (ES) ve algoritmanın en iyi çözümü bulana kadar aradığı çözüm sayısı (AÇS) performans ölçütleri olarak dikkate alınmıştır.

Elde edilen bulgulardan, birlikte kullanılan hareket tiplerinin sayısı arttıkça hem TA hem de TB algoritmalarının bulduğu çözümlerin kalitesi de yükseldiği, dolayısıyla en iyiden sapma oranlarının azaldığı, ayrıca hareket tipindeki artışla beraber

algoritmaların en iyi çözümü bulana kadar aradıkları çözüm sayısında da artış gözlendiği sonuçları çıkarılmıştır. Araştırmacılar bu sonuçların, yerel aramaya dayalı olan TA ve TB algoritmalarının zengin bir yöre yapısıyla arama uzayını daha detaylı araştırdıkları ve daha kaliteli çözümlere ulaştıkları yorumunu yapmışlardır.

Rotalama ile ilgili bir diğer uygulama alanı ise birçok alt bileşenin birbiri ile uyum içerisinde çalışmasını gerektiren entegre devre tasarımıdır. Bilindiği üzere, günümüzde entegre devre teknolojisi mikron düzeyinin altına inmekte ve entegre devrelerdeki kullanılabilir alanın giderek azalmasıyla devrelerin yönlendirilmesi ve devreler arası kabloların oluşturduğu karmaşıklığın azaltılması giderek önem kazanmaktadır. Behjat ve diğerleri (2006) tarafından yayınlanan bu çalışma çok geniş ölçekli entegre devrelerdeki (VLSI – Very Large Scale Integrated Circuits) (alt-devreler arasındaki) yönlendirmenin modellenmesi ve optimizasyonunu içermektedir. Bilindiği üzere, modern entegre devreler milyonlarca bileşen içermektedir. Bu nedenle devre elemanlarının tasarımı ve bunların devre üzerindeki yerleşimi büyük önem arz etmektedir. Devre yerleşimi dikkate alındığında; bölümlere ayırma, yerleştirme ve yönlendirme olmak üzere üç alt problemin varlığından söz edilebilir. Bölümlere ayırma sürecinde devreler hücre adı verilen alt-devreler ayrılmaktadır. Yerleştirme aşaması hücreler arasındaki kabloların uzunluğu minimize edilmesini kapsamaktadır. Yönlendirme aşamasında ise anahtarlama elemanlarının geometrik yerleşiminin belirlenmesi sürecini içermektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi bu çalışmada araştırmacılar, yönlendirme problemini tamsayılı doğrusal programlama yöntemi ile çözmeye çalışmışlardır.

Yönlendirme problemindeki amaç fonksiyonunda, kablo uzunluklarının minimize edilmesi hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra, kablolar arasındaki tıkanıklıklar ve kablo yolundaki eğilmeler ceza katsayıları vasıtasıyla amaç fonksiyonuna dâhil edilmiştir. Bahse konu çalışmada iki farklı model oluşturulmuştur. Birinci modelde sadece kablo uzunluklarının minimize edilmesi var iken, ikinci modelde buna kanal kapasiteleri de eklenmiştir. Modeldeki kısıtlara bakıldığında tanımlamaların iki grupta yapılmıştır. İlk grupta her bir noktadan geçen kablo ağaçlarının o noktanın kapasitesini aşmayacak şekilde olması garantilenmiştir. İkinci grupta 0-1 değişkeni tanımlanarak iki nokta arasındaki kablolama yapılıp yapılmadığı kontrol edilmiştir. Her iki model de aynı kısıtlar kullanılarak çözülmüş ve çözümde MCNC devresi temel alınmıştır. Her bir

çözüm 11 farklı tipteki MCNC devresi için de tekrarlanmıştır. Sonuçlara bakıldığında, MCNC devrelerinin her biri için hem kablo uzunluklarının minimize edildiği hem de kanal kapasitelerinin olduğu modeldeki kablo uzunluklarının önemli ölçüde azaldığı göze çarpmaktadır. Bu çalışmada kullanılan model entegre devrelerdeki yönlendirme probleminin çözümünde tamsayılı doğrusal programlama yönteminin kullanılabileceğini göstermesi açısından çok önemlidir. Ayrıca üzerinde çalışılan MCNC devresinden elde edilen sonuçlar da modelden elde edilen sonuçların geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir (Behjat ve diğer., 2006).

Taşımacılık faaliyetlerinde doğrusal programlama ile işlerin verimliliğinin artırılabilir. Söz gelişi ülkemizde Gül ve Elevli (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, bir çimento fabrikasının torba çimento nakliye işinde bir dış kaynaklı firmadan yararlanılması durumunda elde edilecek olan maliyet avantajını belirlenmesi çalışılmıştır. Bu amaçla, dış kaynak firmasının sahip olması gereken kamyon filosunun büyüklüğünün tespit edilmesinde tamsayılı doğrusal programlamadan faydalanmışlardır. Çalışmada çimento fabrikasının 8 bayisinin 2004 yılı Mayıs ayına ait aylık talepleri, bayilerin çimento fabrikasına olan uzaklıkları, farklı kapasitedeki üç adet kamyonun birim maliyetleri dikkate alınmıştır. Kurulacak tamsayılı programlama modeli ile fabrikadan 8 farklı bayi deposuna bayiinin ihtiyacını karşılayacak çimento nakliyesinin kaç seferde hangi tip kamyonla yapılması gerektiğinin saptanması amaçlanmıştır.

Araştırmacılar ortaya koydukları tamsayılı doğrusal programlama modelini bilgisayar ortamında çözmek için TORA ve WinQSB bilgisayar programlarından yararlanmışlardır. Sonuç olarak, söz konusu bu çalışmadan çimento fabrikasının nakliye işlerini dış kaynaklı bir firma ile gerçekleştirmesinin nakliye maliyetlerinden %35 oranında tasarruf elde edileceği ortaya çıkmıştır.

Taşımacılık sektöründe doğrusal programlama yönteminin kullanıldığı diğer bir uygulama da Ergülen ve Kazan (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmadır. Bahsedilen çalışmada dağıtım ağına sahip bir firmanın taşımacılık maliyetlerinin minimize edilmesi için bulanık mantık ve tamsayılı doğrusal programlama yöntemlerinin uygulanması planlanmaktadır. Bahse konu firmanın 3 farklı tipteki 25 araçlık araç filosu ile 11 farklı ile dağıtım yaptığı belirtilmiştir. Bu bilgiler ışığında model, amaç fonksiyonu ve kısıtlar şu şekilde oluşturulmuştur.

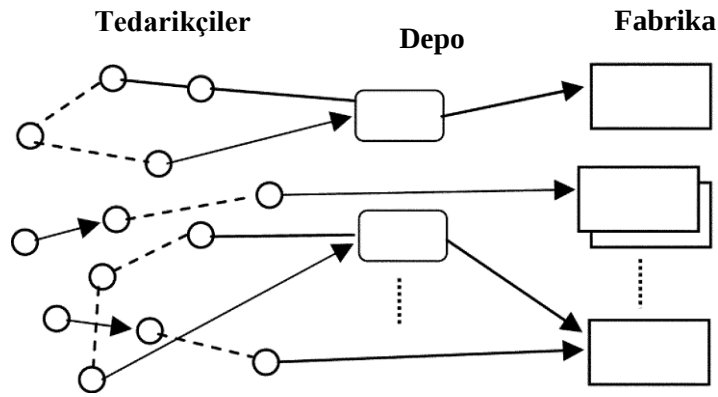
Amaç fonksiyonu araçların farklı bölgelere yapacağı seferlerden doğan taşıma maliyetleri ile araç kiralama maliyetlerini minimize etmeye çalışmaktadır. Bu fonksiyonu çözebilmek için sistemde iki farklı kısıt tanımlanmıştır. İlk kısıtta her bir aracın toplam sefer süresinin araçların en fazla süre ile seferde bulunabilecekleri toplam sefer süresinden az olması gerektiğın tanımlanmıştır. İkinci kısıtta ise, taşınan yük miktarının merkezin talep ettiğı yük miktarını karşılaması sağlanmıştır. Bahsedilen problem yukarıdaki model temel alınarak bulanık mantık kullanımıyla ve tamsayılı doğrusal programlama yöntemiyle hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda elde edilen optimum plan firmanın mevcut dağıtım planı ile kıyaslandığında firmanın toplam dağıtım maliyetinde %11,51 oranında düşüş olduğı gözlemlenmiştir. Ayrıca optimum planda firmanın dağıtım araçlarını yaptığı toplam sefer sayısı da 168'den 117'ye indirilmiş ve sefer sayılarında da %30 oranında azalma sağlanmıştır.

Ergülen ve diğerkleri (2005) de, taşımacılık sektörüne yönelik çalışmışlar ve tamsayılı doğrusal programlama modelini firma yöneticilerinin kendi işletmelerine kolaylıkla tatbik edecekleri şekilde basamaklar halinde açıklayarak genel kapsamlı tamsayılı doğrusal programlama modelini gıda sektöründe faaliyet gösteren ve 24 adet distribütörü olan bir firmaya uygulamışlardır. Bahse konu çalışmada kurulan model sefer maliyetlerinin ve araç kiralama giderlerinin minimizasyonuna dayanmaktadır. Genellikle bu problem firmanın daha önceki tecrübeleri ışığında çözümlenmeye çalışılmıştır fakat bu çalışmada adı geçen probleme bilimsel bir çözüm getirilmesi hedeflenmiştir.

Modeldeki amaç fonksiyonu araçların sefer maliyetleri ve sefer sayıları ile araçların kiralama maliyetleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Modelin kısıtlarına bakıldığında ise, iki temel kısıtın tanımlandığı görülmüştür. İlk kısıt araçların birim zamanda yapacakları sefer sayısı dikkate alınarak oluşturulmuş, ikinci kısıt ise dağıtım yapılacak malların araçların tonaj değerkleri ve dağıtım bölgelerindeki taleplere göre belirlenmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan modelin çözümlenmesinde WINQSB paket programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre modelde oluşturulan optimum çözüm planına ait dağıtım maliyetlerine ulaşılmıştır. Firmanın dağıtım maliyeti tespit edilirken 24 distribütörün siparişlerine göre 13 tonluk klimalı araçlarla yapılan sefer sayılarına göre de firmanın dağıtım planına ait dağıtım maliyeti çıkarılmıştır.

Sonuç olarak, tamsayılı doğrusal programlama modeli ile oluşturulan dağıtım maliyeti ile firmanın kendi dağıtım planına göre ortaya çıkan dağıtım maliyeti yıllık seviyede karşılaştırıldığında, modelle yapılan dağıtımın yaklaşık %6 tasarruf sağladığı tespit edilmiştir.

Taşımacılık sektörü ile ilgili Onoyama ve diğerleri (2008) tarafından yapılan Japonya'daki bir uygulama da birden fazla işletmeye girdi sağlayan tedarikçilerin ham madde ve ara mamullerinin taşıma maliyetlerinin azaltılması amacını taşımaktadır. Şekil 1'den de görülebileceği üzere, fabrikaların ihtiyaç duyduğu mallar hem depolardan hem de doğrudan tedarikçilerden elde edilebilmektedir. Böyle bir durumda her iki farklı kaynaktan elde edilen malların taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır.



Şekil 7 - Tedarik ağının gösterimi (Onoyama ve diğer., 2008)

Yukarıda bahsedilen çalışmanın amaç fonksiyonu tedarikçilerden depolara ve fabrikalara giden malların taşıma maliyeti ile depolanan malların depolama maliyetlerinin minimize edilmesini içermektedir. Kısıtların içerikleri de aşağıda özetlenmektedir:

- Her bir tedarikçinin depolara ve fabrikalara göndereceği mallar tedarikçinin mal sağlama kapasitesini aşmamalıdır.
- Depolardan ve tedarikçilerden sağlanan mallar fabrikanın ihtiyaçlarını karşılamalıdır.
- Her bir parçadan sağlanan miktar deponun topla kapasitesini aşmamalıdır.
- Depodan sağlanan her bir parçanın toplam miktarı toplam taşıma kapasitesini aşmamalıdır.

- Tedarikçilerden doğrudan fabrikaya aktarılan mallar araçların alt ve üst kargo kapasitesi dâhilinde olmalıdır.

Tedarikçilerden fabrikaya mal aktarımı olması durumunda son kısıt modele dâhil edileceğinden dolayı, söz konusu kısıtın 0-1 değişkeni kullanılarak ifade edilmesi uygun bulunmuştur. Bu nedenle, bahsedilen problemin karma tamsayılı doğrusal programlama yöntemi ile çözülmesine karar verilmiştir. Bunun ardından modelin 4 tedarikçi, 2 depo, 2 fabrika, 5 farklı tedarikçi fabrika rotasından oluştuğu farz edilerek, çözüm aşamasına geçilmiştir. Modelin sağladığı çözümün daha önce yapılan yaklaşık hesaplamalara göre %12 oranında maliyet tasarrufu sağladığı görülmektedir. (Onoyama ve diğer., 2008).

Doğrusal programlama yöntemleri ile işletmelerdeki iş gücü planlaması da yapılmaktadır. Örneğin, Çevik (2006) tarafından yayınlanan bir çalışmada, Tokat il merkezinde faaliyet gösteren bir işletmede minimum maliyeti sağlayacak işgücü planlaması tamsayılı doğrusal programlama yardımıyla yapılmıştır. Lokanta olan işletme aynı zamanda müşterilerine sunduğu tatlıların imalatını da kendisi üstlenmektedir. İşletme 35 çalışanı olan bir aile işletmesi durumundadır. Söz konusu işletmede mesaiye pek fazla özen gösterilmemesi bir takım problemleri beraberinde getirmekte ve ayrıca iyi bir işgücü planlamasının olmamasından dolayı mevcut personel bazen yetersiz bazen de atıl durumda kalmaktadır. Bahsedilen bu sorunları gidermek için işlemeye minimum maliyeti sağlayacak ve bununla birlikte hizmeti aksatmayacak bir personel düzenlemesi gerekmektedir. Araştırmacı işletme yöneticisinden mevcut çalışma saatlerini, bu saatler arasında istenilen vardiya şeklini ve özelliklerini, çalışanların işletmedeki görevlerini ve her bir personelin ayrı ayrı aylık ve günlük ücretlerini elde ederek model geliştirmiştir. Model için en uygun vardiya sisteminin tam zamanlı çalışan komi, garson ve bulaşık yıkama elemanları için 06-14, 12-18, 14-22, yemek ustaları için 06-14, 10-18 ve 14-22 şeklinde olmasını uygun görmüştür. Yarı zamanlı çalışan personel için ise 10-14, 14-18 ve 18-22 şeklinde olmasını planlamıştır. Verilere göre oluşturulan tamsayılı doğrusal programlama modeli bilgisayarda WINQSB 1.00 paket programı ile çözümlenmiştir.

Elde edilen bulgulardan, işletme personel maliyetini minimuma indirmek ve işleri aksatmamak için 10-14 ve 18-22 vardiyalarında yarı zamanlı 2'er eleman, 06-14

vardiyasında 5 komi, 5 garson, 1 yemek ustası, 2 bulaşık yıkama elemanı, 1 baklava ustası, 9 baklava elemanının çalıştırılması gerektiği anlaşılmıştır. 12-20 vardiyasında 7 komi, 5 garson, 2 bulaşık yıkama elemanı, 10-18 vardiyasında ise 1 yemek ustası çalıştırılmalıdır. 14-22 vardiyasında ise 2 komi, 4 garson, 1 yemek ustası ve 2 bulaşıkçı çalıştırılmalıdır. Bu tablo içerisinde işletmenin günlük minimum maliyetinin 726,72 YTL olacağı hesaplanmıştır. Böylece Tokat il merkezinde bulunan işletmenin personel giderlerin minimize edilerek, personelinin daha verimli bir şekilde kullanması sağlanmıştır (Çevik, 2006).

Doğrusal programlama yöntemi hizmet sektöründe farklı alanlarda uygulanabilmektedir. Sözcü gelişimi havayolu güvenlik sistemlerinin maliyetler sabit tutularak işlerliliğinin artırılması buna bir örnek olarak verilebilir. Bilindiği üzere, 11 Eylül 2001 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'ndeki Dünya Ticaret Merkezi'ne yapılan saldırının ardından havayolu güvenlik sistemleri büyük bir tartışma yaratmıştır. Havayolu taşımacılığında yolcuların güvenlik kontrolünden geçirilmesi de büyük önem arz etmektedir. Yolcuların güvenlik kontrolünden geçirilmesinin iki yolu bulunmaktadır: Birincisi, her bir yolcu aynı güvenlik taramasından geçirmek, ikincisi de seçici bir güvenlik taraması uygulamaktır. Birçok uçak yolcusunun güvenlik riski oluşturmadığı düşünüldüğünde, güvenlik riskini en azda tutarak pahalı güvenlik tarama sistemlerinin daha etkin kullanımının sağlanabileceği öngörülmektedir. McClay ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışmada hâlihazırda ABD'de uygulanan ve iki aşamalı güvenlik düzeyi temelinde şekillendirilen Güvenli Uçuş (Secure Flight) sisteminden farklı olarak çok aşamalı tarama seçenekleri içeren bir yöntem önerilmiştir. Bu çalışma dâhilinde çok aşamalı yolcu tarama problemi (MPSP – Multilevel Passenger Screening Problem) tanımlanmış olup, 0-1 değişkenli tamsayılı doğrusal programlama yöntemi ile çözüm geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bahsedilen problemin amaç fonksiyonu toplam güvenlik düzeyini maksimize edecek şekilde oluşturulmuştur. Bunun için güvenlik ve risk düzeylerinin çarpımının toplamı kullanılmaktadır. Problem kısıtlarına bakıldığında 3 farklı kısıt kümesinin tanımlandığı görülmektedir. İlk kısıt seti her cihazın kapasitesi dâhilinde işletilmesini garanti etmektedir. İkinci her bir yolcunun bir güvenlik düzeyine atanmasını sağlamaktadır. Üçüncü kısıt seti tanımlanan 0-1 değişkeni vasıtasıyla her bir kişinin bir gruba atamasının yapılıp yapılmadığını kontrol etmektedir. Ayrıca tarama

cihazlarındaki yoğunluğu da modele katmak için yolcuların havalimanına normal dağılıma göre geldikleri göz önüne alınmış ve bu parametre de modele dâhil edilmiştir. Bunun yanı sıra, kullanılacak güvenlik cihazlarının tarama süreleri ve cihazların kullanım sırası da modele eklenmiştir.

Modelin çözümü için ABD’de yayınlanan Resmi Havayolu Rehberindeki uçuş çizelgeleri her bir uçuştaki yolcu kapasitesi ve yolcu sayısı verilerinden yararlanılmış ve bir havalimanı pilot bölge olarak seçilmiştir. Model Matlab programı kullanılarak çözülmüştür. Veri seti içerisinde çok az yolcunun düşük risk düzeyine sahip olması nedeniyle, MSPS probleminin tehditlerin ve saldırıların önlenmesinde oldukça etkin olduğu görülmektedir.

Ekonomik gelişmelere ve artan nüfusa paralel olarak, katı atıkların toplanması, işlenmesi veya imha edilmesi gittikçe önem kazanmaktadır. Ayrıca katı atıkların tâbi olduğu düzenlemelerden ve katı atık yönetiminin içerdiği bazı belirsizliklerden dolayı, katı atık yönetimi oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Her ne kadar belirsizlik içeren karmaşık problemlerin çözümü için bulanık (fuzzy), rassal (stochastic) ve aralıklı matematiksel programlama yöntemleri geliştirilse de bahsedilen yöntemlerin olasılık dağılımlarını işlemedeki yetersizlikleri devam etmektedir ve bu nedenle de katı atık yönetim sistemlerinin modellenebileceği bir yönteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Li ve Huang (2009) tarafından yapılan çalışmanın amacı da çok aşamalı belirsiz tamsayı programlama yöntemini katı (IMIP-Inexact Multistage Integer Programming) atık yönetim sistemine uygulamaktır. Bu modelin seçilmesinin nedeni ise, modelin belirsizlikleri olasılık dağılımları veya belirli aralıklar aracılığıyla işleme dâhil ederek, katı atık yerleşimini ve işleme kapasitesi artırımını farklı senaryolara göre modelleyebilmesine imkân tanımasıdır. Li ve Huang (2009) tarafından yapılan çalışmada, farklı bölgelerin katı atıklarının farklı istasyonlara gönderilmesinden dolayı oluşan maliyetin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Amaç fonksiyonu özetle katı atıkların işlenmesi ile oluşan kârdan taşımacılık ve fazla atık maliyetlerinin çıkarılmasının ardından oluşan net gelirin maksimize edilmesi esasına dayanmıştır. Li ve Hung (2009) bu problem için iki farklı model oluşturmuştur. Birinci modelde atık oluşumu rastgele değişkenler ile ve maliyet katsayıları da belirli değerler ile tanımlanmıştır. İkinci modelde karar değişkenleri sürekli ve ikili değişkenler olarak iki gruba ayrılmış olup sürekli değişkenler bölgeler ile katı atık işleme merkezleri

arasındaki akışı ve kapasite artırımını simgelerken iki değişkenler kapasite artırımını kullanılıp kullanılmadığını belirlemiştir.

Araştırmacılar yukarıda özetlenen modelleri test etmek için bir vaka analizi çalışması yapmışlar ve 15 yıllık bir dönem için 200,000 nüfuslu bir bölgenin yarattığı yıllık 90,000 tonluk bir atığın üç farklı atık işleme merkezine nasıl optimum dağıtılacağını hesaplamaya çalışmışlardır. Söz konusu problem yukarıda bahsedilen her iki modele göre çözülmüştür. Birinci modelin çözümünde IMIP yöntemi, ikinci modelin çözümünde geleneksel iki aşamalı rassal tamsayılı programlama yöntemi kullanılmıştır. İki farklı çözüm karşılaştırıldığında ilk yöntemin belirsiz durumları yansıtmada daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu modelde kullanılan etkileşimli algoritma vasıtasıyla yaratılan çözüm amaç fonksiyonunun alacağı en düşük ve en yüksek sınırları belirlemiş, bu da karar vericilere farklı alternatifleri değerlendirme olanağı sunmuştur.

Hizmet sektörünün her alanında olduğu gibi, finans alanında da doğrusal programlama yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, Haklı (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, tamsayılı doğrusal programlama modeli kullanılarak İstanbul Menkul Kıymetler Borsası (İMKB)'nda işlem gören hisse senetlerinden oluşturulacak minimum riskli optimal portföyün belirlenmesi, bu portföyün getirisinin bir sonraki işlem yılı sonundaki veriler ile karşılaştırılması ve tamsayılı doğrusal modelin geçerliliğini test edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 1 Ocak 2004 - 31 Aralık 2004 arasını kapsayan dönemde İMKB-100 endeksi içinde sürekli yer alan 89 hisse senedine ait haftalık getiri oranları kullanılmıştır. Her bir hisse senedinin 52 haftalık getirileri hesaplanarak hisse senetleri için tek tek ortalama getiriler alınmıştır. Bu ortalama getirilerin aritmetik ortalaması bulunarak beklenen getiri tespit edilmiştir. Araştırmada amaç fonksiyon her dönem için hesaplanan fonksiyonun minimizasyonu olarak tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu oluşturulurken ilk olarak, ilgili dönemdeki hisse senetlerinin getiri oranlarının adı geçen hisse senedinin ortalama getiri oranından çıkarılması elde edilen değer bulunmuştur. Bu değer portföy hazırlandığı esnada (52. Hafta) ilgili hisse senedini (1000 adet) alabilmek için gerekli olan tutar ile çarpılmış ve karar değişkenlerinin katsayıları olarak kabul edilmiştir. Uygulamada bir yılı yani 52 haftayı kapsadığından toplam kısıt sayısı 54 olmuştur. Bahse konu olan bu çalışmada en düşük risk seviyesi altında optimal portföy bileşimi tespit edilmeye çalışılmıştır. Toplam 89 hisse senedinin 52 dönem boyunca beklenen getiri oranları ortalaması 0,508

olarak hesaplanmıştır. Toplam yatırım tutarı 1000 YTL olduğundan portföyün beklenen getirisi 508 olarak bulunmuştur. Araştırmacı amaç fonksiyon ve kısıtları göz önüne alarak oluşturduğu doğrusal programlama modelini LINGO paket programıyla çözümleyerek optimal portföy elde etmiştir.

Haftalık 0,00508 beklenen getiri oranında, LINGO paket programı ile yapılan optimal çözümde 13 adet hisse senedine yatırım yapılmıştır. Portföyün 2005 yılı sonundaki değeri 1339 YTL olarak gerçekleşmiştir. Beklenen getiri oranı %20 azaltıldığında optimal portföyde yer alan hisse senedi sayısı 15 çıkmıştır. Söz konusu portföye giren hisse senetleri, 0,00508 haftalık getiri seviyesindeki hisse senetlerine benzerlik göstermektedir. 2005 yılı sonunda optimal portföyün değeri 1298 YTL olarak gerçekleşmiştir. Beklenen getiri oranı %20 oranında artırıldığında, optimal portföydeki hisse senedi sayısı yine 13 olarak gerçekleşmiştir. Bir diğer deyişle, oluşturulan portföyün 2005 yılı sonundaki getirisi 1424 YTL olarak gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak araştırmacı, optimal portföy oluşturma sürecinde tamsayılı doğrusal programlama modelinin kullanılmasının hem kısıt sayısının azaltılması hem de optimal sonuçların tamsayılardan oluşması nedeni ile tercih sebebi olması gerektiğini vurgulamıştır (Haklı, 2006).

4.4. Tamsayılı Programlama Yazılımları

4.4.1. Baron (Branch-And-Reduce Optimization Navigator)

BARON, global optimalite için konveks olmayan optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir hesaplama sistemidir. Saf sürekli, saf tamsayılı, karma tamsayılı doğrusal olmayan problemler bu yazılımla çözülebilmektedir.

BARON genel varsayımlar altında global optimaliteyi garanti etmektedir. Ancak gonyometrik fonksiyonları içeren veya dış bir fonksiyonla ilintili kısıtları olan problemleri çözememektedir. BARON matematiksel program içerisindeki bütün doğrusal olmayan değişkenler ve ifadelerin alt ve üst limitlerle sınırlandırılmış olmasına gerek duymaktadır. Bu şekilde bütün değişkenler sınırlandırıldığında 2000 değişken ve kısıtlı modelleri çözebilmektedir (BARON Solver Information, 2007).

4.4.2. Conopt

CONOPT; ARKI danışmanlık firması tarafından geliştirilmiş, AIMMS sistemi içerisinde yer alan, büyük ölçekli doğrusal olmayan problemleri etkili şekilde çözen bir programdır. AIMMS, CONOPT tarafından, doğrusal olmayan programlama model tiplerini daha etkili çözmek için kullanılan ikinci dereceden türevleri de çözebilmektedir. CONOPT için en iyi alternatif SNOPT'dur ve bu iki yazılım birbirini tamamlayan yazılımlardır. Eğer her iki yazılım da problem çözmede başarısız olursa, model ya çok zordur ya da hatalı modellenmiştir. Ayrıca CONOPT 3 serisi QCP yeteneği de sunmaktadır. CONOPT, yeni ilaveleri ile beraber GRG metoduna dayalı bir uygun yol çözücüsüdür. CONOPT, birçok model tipi için etkili ve güvenilir bir şekilde tasarlanmıştır. GRG metodu büyük dereceli doğrusal olmayan modellerin güvenli ve hızlı bir şekilde çözülmesine yardımcı olmaktadır ve CONOPT, uygunluğun zor sağlandığı modeller ve büyük dereceli doğrusal olmayan modeller için tercih edilmektedir. CONOPT'u; çok metotlu yapısı ile birleşen en uygun metodu seçen mantık yapısı diğer doğrusal olmayan programlama çözücülerinden üstün hale getirmiştir.

CONOPT' un bütün bileşenleri büyük ölçekli modeller için dizayn edilmiştir. 10.000 kısıtın üzerindeki modeller bu program yardımı ile çözülebilmektedir. Hatta bir milyon kısıtın üzerindeki bazı özelleşmiş modeller dahi CONOPT yardımı ile çözülebilmektedir. Bu sınırlayıcı faktörleri tanımlamak zordur. Bu faktörler; kısıt veya değişken sayısının süper temel değişkenlerle kombinasyonu, optimum nokta çevresi bağımsızlığının derecesinin bir ölçüsüdür. 500 süper değişkenli bir model yavaş çözülebilmektedir. CONOPT 3 serisi yeni 2. dereceden türev tabanlı metotları ile bu modelleri daha basit hale getirmektedir (CONOPT Solver Information, 2007).

4.4.3. Snopt (Sparse Nonlinear Optimization)

SNOPT; Philip Gill, Walter Murray ve Michael Saunders tarafından geliştirilmiş doğrusal olmayan programlama çözücüsüdür. SNOPT özellikle (konkav olmak şartıyla) fonksiyonları ve eğimleri hesaplaması zor olan doğrusal olmayan problemlerin çözümünde etkilidir (SNOPT Solver Information, 2007).

4.4.4. AOA (AIMMS Outer Approximation)

AOA, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama problemlerini, bir dışsal tahmin kullanarak çözmektedir. Dışsal tahmin, doğrusal olmayan tamsayılı programlama problemlerini çözmede en bilinen yaklaşımdır. Algoritmanın temelini, karma tamsayılı programlama problemlerinin çözücüsü ile doğrusal olmayan problemlerin çözücüsü arası etkileşim oluşturmaktadır.

AOA dışsal tahmin modülünü kullanmaktadır. Bu modül AIMMS’de yazılmış standart bir dışsal tahmin algoritmasını içermektedir. Kullanıcı, aşağıdaki amaçları gerçekleştirmek için kişisel algoritmik basamakları özelleştirebilmektedir.

- Daha iyi performans elde edebilmek
- Daha iyi bir sonuç elde edebilmek
- Algoritma tarafından bulunan bir çok tamsayılı sonucu depolayabilmek
- Uygun sonuç elde etme ihtimalini artırmak için algoritma süresince değişik çözücülerini kullanabilmek
- Bir problemin alt modellerini değiştirmek (AOA Solver Information, 2007).

4.4.5. Xpress

Xpress, Dash optimizasyon tarafından sunulan, bir matematiksel modelleme/optimizasyon yazılımıdır. Bir tamsayılı programlama Ayrıca XPRESS, karma tamsayılı ve karma tamsayılı kuadratik programlama problemlerinin çözümünde de kullanılabilir.

Xpress, üç optimizasyon algoritmasının kullanımına izin verir.

- LP problemleri çözen Primal ve dual metotları içeren simpleks,
- Karma tamsayılı ve karma tamsayılı kuadratik programlama problemlerini çözmek için dal sınır algoritması ve doğrusal ve kuadratik programlama için iç nokta metodu (interior point method) (XPRESS Solver Information, 2007)

Xpress-Mosel, Xpress-Optimizer ve Xpress kütüphaneleri olmak üzere üç temel bileşeni vardır:

Mosel; model oluşturma ortamı, Optimizer ise oluşturulan doğrusal programlama (DP), karışık tamsayılı programlama (KTP) modellerini, yapısındaki güçlü optimizasyon algoritmaları ile çözen modüldür. Xpress-MP Kütüphaneleri ise

daha özel uygulamalarda, Mosel ve Optimizer bileşenlerine C/C++, Java ve Visual Basic uygulamalarından giriş sağlanması için kullanılabilmektedir.

4.4.5.1. Xpress mosel

Mosel, Xpress-MP nin temel bileşenlerinden biridir. ODBC kütüphane modülüyle Mosel, geniş bir veritabanı ailesiyle veri alış verişi yapabilmektedir. Genel olarak Mosel, bir text dosyasından veya veritabanından veriyi alır, Optimizer’da en uygun çözümü bulur ve sonuçları tekrar ODBC tabanlı bir ürüne gönderir.

4.4.5.2. Xpress MP

Xpress-MP nin çekirdeğini, doğrusal programlama (DP), kuadratik programlama (KP) ve karışık tamsayılı programlama (KTP) problemlerinin çözüm metotları konusunda yıllarca yapılmış araştırmaların ürünü olan Xpress-Optimizer oluşturmaktadır.

Gerek Dash Optimizasyon uzmanlarıyla ve gerek dünya genelindeki araştırma gruplarıyla olan yakın ilişkileriyle, Optimizer sürekli bir gelişim içersindedir. Xpress-Optimizer kendini geniş bir problem sahasında ispatlamış bir üründür.

Çoğu problemin çözümü için en uygun stratejiler tanıtılmış olmasına rağmen çok yönlü kontrolörleri vasıtasıyla Optimizer’ın performansına müdahalelerde bulunulabilir. Özellikle karışık tamsayılı programlama problemlerinin çözümünde her zaman optimum sonuca ulaşmak tercih edilir bir şey olmayabilir. Böyle durumlarda ihtiyaca göre problemi belirli bir seviyeye kadar çözmek zaman ve maliyet açısından daha uygundur. Optimizer’ın yapısında bu esneklik tanımlanmıştır.

4.4.5.3. Xpress-MP kütüphaneleri

Daha özel uygulamalarda, Mosel ve Optimizer bileşenlerine C/C++, Java ve Visual Basic uygulamalarından giriş sağlanması için Xpress-MP Kütüphaneleri kullanılabilmektedir. Xpress-MP Kütüphanelerinin sağladığı asıl avantaj, kendi uygulamalarınıza Xpress-MP’nin fonksiyonelliğinin katılabilmesidir (Xpress-MP release 13, 2007).

4.4.6. Knitro

KNITRO; Ziena Optimizasyon firması tarafından 2001 yılında geliştirilmiştir. Tamamlayıcı kısıtlar, eşitlik ve eşitsizlik kısıtları (konveks ve konkav) ve sınır kısıtları içeren doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözücüsüdür. Doğrusal olmayan programlama problemlerinde, çok farklı durumlar ortaya çıkmaktadır. KNITRO geniş çaplı doğrusal olmayan programlama uygulamalarına hitap edebilmek için üç değişik algoritma sunmaktadır (KNITRO Solver Information, 2007).

KNITRO; opsiyonel özelliği ile büyük bir esnekliğe sahiptir; ayrıca C, C++, Fortran, Java, AMPL, AIMMS, Mathematica, Microsoft Excel, GAMS, LabVIEW ve MATLAB gibi programlama dilleri ve programlama ara yüzleri ile çalışabilir (KNITRO, 2007).

4.4.7. Gams (The General Algebraic Modeling System)

GAMS; özellikle doğrusal, doğrusal olmayan ve karma tamsayılı optimizasyon problemlerinin çözmek için tasarlanmıştır. Sistem özellikle tam doğru bir model kurmak için birçok değişiklik gerektiren kompleks ve büyük çaplı problemlerin çözümünde kullanışlıdır. Kullanıcı bu sistemle; formülasyonu, çözücüyü, hatta doğrusal durumu doğrusal olmayan duruma kolaylıkla çevirebilmektedir.

GAMS; duyarlılık analizini kolaylaştırmaktadır. Kullanıcı; farklı değerler için problemi kolaylıkla çözebilmekte ve her durum için üretilen sonucu listeleyebilmektedir. Model eş zamanlı olarak geliştirilebilmekte ve çıktı alınabilmektedir. Çünkü GAMS, kullanıcıya eşitliklerin ve sembollerin açıklandığı bir metin sunmaktadır (The GAMS System, 2007).

4.4.8. Path

Karma tamamlayıcı programlama (Mixed Complementarity Programming - MCP) problemlerinin çözümünde kullanılan Newton tabanlı bir çözücüdür. PATH genel olarak ekonomistler tarafından genel denge problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (PATH Solver Information, 2007).

4.4.9. Minos

Stanford Üniversitesi tarafından geliştirilen doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözümünde kullanılan bir çözücüdür. Özellikle doğrusal olmayan amaç fonksiyonlu ve seyrek (sparse) doğrusal kısıtlı problemlerin (kuadratik programlama gibi) çözümünde etkilidir. Ayrıca MINOS, konkav olmak şartıyla büyük sayıda doğrusal olmayan kısıtı işleme tabi tutabilmektedir. CONOPT ve SNOPT, MINOS'a göre daha etkilidir ancak amaç fonksiyonu ve eğimlerini hesaplamak daha kolaysa MINOS daha hızlı ve verimlidir (MINOS Solver Information, 2007).

4.4.10. Tora

TORA Programı Operations Research (Yöneylem Araştırması) isimli kitabın yazarı olan Hamdy Taha (2000) tarafından geliştirilen bir optimizasyon yazılımıdır. Oldukça basit ve kullanışlı bir arayüze sahip olan bu yazılım doğrusal programlama, tamsayılı doğrusal programlama, kuyruk modelleri, ağ modelleri, stok modelleri, ve taşımacılık problemleri gibi alanlardaki modelleri çözebilme yeteneğine sahiptir.

4.4.11 WinQSB

WinQSB paket programı birçok yöneylem araştırması problemini çözebilecek araçlara sahip kapsamlı bir paket programdır. Bu paket program, doğrusal ve tamsayılı programlama yöntemine ek olarak, doğrusal olmayan programlama, dinamik programlama, hedef programlama, ağ modelleri, iş çizelgelemesi, karar analizi gibi yöneylem araştırması alanındaki birçok probleme çözüm getiren araçlar içermektedir. WinQSB, tamsayılı doğrusal programlamada dal-sınır yöntemini en iyi uygulayan programlardan biridir ve karmaşık problemlerin çözümüne kısa sürede ulaşmaktadır. Ayrıca WinQSB Microsoft Excel benzeri bir arayüz ile veri girişi imkanı sağlayan oldukça kullanışlı bir arayüze sahiptir.

4.5. Tamsayılı Programlama Yazılımlarının Bugünü ve Geleceği

Tamsayılı doğrusal programlama problemlerinin çözümü, hızlı gelişen bir alandır. Güvenli ve hızlı optimizasyon yazılım sistemleri, finanstan sağlığa, savunmadan telekomünikasyona birçok organizasyonun, stratejik, taktik ve operasyonel kararlarının modellenmesi ve optimizasyonunda etkili bir rol oynamaktadır.

Günümüzde tamsayılı programlamanın yayılması hızla devam etmektedir. Örneğin fiber-optik telekomünikasyon ağı tasarımı, ışın tedavisi, genetik, para/mal değişimi gibi alanlar tamsayılı programlamanın yeni kullanım alanlarıdır. Tamsayılı programlamanın bu gibi farklı problem tiplerinde de kullanılması, geniş çaplı problemleri tanımlama ve bu problemleri çözme şeklinde yeni teknolojilerin gelişmesine neden olmuştur.

Kısıtların otomatik olarak sınıflandırılması ve bu sınıflandırmanın süreç öncesi etkin kullanımı, kesme jenerasyonları, genel amaçlı tamsayılı doğrusal programlama kullanıcılarının gücünü hatırı sayılır bir şekilde artırmıştır. Gelecekte tamsayılı doğrusal programlama çözücü programlar tarafından daha çeşitli problem yapılarının çözümünü beklemektedir.

Dal ve sınır algoritmasının davranışı; algoritmanın çok önemli bileşenlerini kontrol eden parametre setleri tarafından değiştirilebilir. Bu değişikliğin yapılması, uygun problem için uygun parametreye karar verilmesi açısından oldukça çaba isteyen bir iştir. Dahası çözüm sürecinde ilk başta uygun olan, sonraki basamaklarda uygun olmayabilir. Tamsayılı programlama sistemlerinin, analize dayalı parametre setlerinin dinamik olarak ayarlanması ihtiyacı vardır.

Bugünün Tamsayılı Programlama sistemleri; dal-sınır ağacı formülasyonuna dinamik olarak kısıt eklenmesine izin vermektedir. Gelecekte Tamsayılı Doğrusal Programlama sistemlerinin, ağaçtaki formülasyona değişken eklenmesine de izin vereceğini istemekte ve algoritmalara daha kolay uygulanmasını beklemektedir.

Tamsayılı doğrusal programlama teknolojisi, gerçek hayat optimizasyon problemlerini çözmede pratik bir araç haline geldikçe, belirsiz bilgileri ve verileri etkili bir şekilde yönetecek yaklaşımlara olan talepte artma olmuştur. Araştırmacılar, bu ihtiyaca cevap verebilmek için çalışmaktadırlar. Bu çabalar, büyük ölçekli problemlerin etkili bir şekilde çözülebilmesi açısından Tamsayılı Doğrusal Programlama alanında ilerlemelere sebep olmuştur. Gelecekte Tamsayılı Doğrusal Programlama yazılımlarının özel olarak tasarlanmış, belirsiz amaç ve teknoloji katsayılarını yönetecek özellikleri artırılabilir (Atamtürk ve Savelsbergh, 2007).

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. UYGULAMA

5.1. Çalışmanın Amacı

YA özellikle II. Dünya Savaşı esnasında olumlu katkılarıyla organizasyonların dikkatini çekmiş ve karar verme sürecinde önemli bir unsur haline gelmiştir. YA alanında yapılan bilimsel çalışmalar neticesinde, büyük boyutlu, karmaşık problemlerin matematiksel modelinin oluşturulması kolaylaşmıştır. Ayrıca, karmaşık simpleks iterasyonlarının elle hesaplanmasının yerini paket programlamaların almasıyla YA'nın günümüzdeki problemlere uygulanması daha da yaygınlaşmıştır.

Ülkemizde YA, küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde (KOBİ) çok fazla uygulama alanı bulamamaktadır. Çünkü KOBİ'ler problemlerinin YA yaklaşımı ile çözülebileceğini değerlendirmemektedir ve bu yöntemin ancak büyük firmalar tarafından ciddi finansal kaynak ayırarak gerçekleştirilebildiği gibi yanlış bir kanıya sahiptirler. Bu tespitten hareketle, tez çalışması kapsamında vana ceketini imalatı yapan bir KOBİ'nin üretim sürecinde karşılaştığı bir probleminin YA yaklaşımı ile analizin yapılmasının hedeflenmiştir. Bir başka deyişle, firmanın üretim sürecinde karşılaştığı bir problemin programlama yöntemi ile çözümü gerçekleştirilmiştir. Problem tespiti ve çözümü aşamasında uygulanan yöntemin ve izlenen adımların sanayide karşılaşılan bir problemin nasıl çözülmesi gerektiği konusunda bir örnek teşkil edeceği düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmanın gelecekte KOBİ'lerde karşılaşılabilecek benzer problemlerin çözümünde YA araçlarının kullanımını tetikleyeceği de öngörülmektedir.

5.2. İşletmenin Tanıtımı

Bilindiği gibi asbest (amyant) yüksek sıcaklığa dayanıklı bir yalıtım malzemesidir ve kanserojen etkisinden ötürü kullanımı 1980'li yıllarda Avrupa ve Amerika'da yasaklanmıştır. Bunun yerine kanserojen etkisi olmayan cam elyaf yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. KK firması 1984 yılından bu yana cam elyaf yalıtım malzemelerinin ithalatını yapmakta ve Türkiye'de bu ürünleri pazarlamaktadır.

Cam elyaf yalıtım malzemeleri enerji santralleri, petro-kimya tesisleri, demir-çelik fabrikaları gibi yüksek sıcaklığın olduğu yerlerde ısı yalıtımı amacıyla kullanılmaktadır. KK firması 1998 yılından bu yana bahsedilen cam elyaf yalıtım

malzemelerini kullanarak çeşitli ürünler üretmeye başlamıştır. Bu ürünler aşağıda listelenmektedir:

- Makine ve Ekipmanların Çözülebilir Yastık Sistemi ile İzolasyonu: Standart galvaniz ya da alüminyum sacı yapılan yalıtımlar yerine “Yastık Sistemi” kullanımına dayanmaktadır. Yastık sisteminin kullanımının sağladığı avantajlar şunlardır:
 - Kullanılan malzemeler daha kaliteli olduğundan kullanım ömürleri sıradan tipteki yalıtım malzemelerine göre daha fazladır.
 - Kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları daha düşük olduğundan ısı kayıpları daha azdır.
 - Sökülüp takılabilesinden ötürü bakım süreleri ve üretime başlama süreleri daha azdır.
- Çok Katlı Tekstil Kompansatörleri: Tekstil kompansatörler, içinden sıcak akışkan geçen hatlarda genleşmeleri almak için kullanılmaktadır.
- Vana Ceketleri: Vanalarda genelde sabit tipte (galvaniz ya da alüminyum sacı) yalıtım yapılmaktadır. Fakat bakım zamanı vanalar söküldüğünde yalıtım tekrar yerine takılamamakta, bu nedenle vanalar açıkta kalmaktadır. Bunun önlenmesi için söküp takılabilen tipte yalıtıma gerek duyulmaktadır. Dolayısıyla vana ceketleri bu ihtiyaca cevap vermekte ve söküp takılabilir olmalarından dolayı çok daha uzun süre kullanılabilmekte ve sıklıkla talep edilmektedir.
- Kaynak Perdeleri: Kaynak perdeleri, kaynak yapılan yerlerde bulunan makine ve ekipmanların üzerine kıvılcım ve cürufaların gelmesini önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Kaynaktan önce makinenin üzerine örtülen kaynak perdesi kaynak işlemi bitirildikten sonra silkelenerek temizlenmekte ve zarar görmeden uzun süre kullanılabilir.
- Isı Perdeleri: Isı perdeleri, yüksek sıcaklıkların olduğu bölgelerde çalışan kişileri ya da makineleri sıcaktan korumak amacıyla kullanılmaktadır. Perdeler istenilen bölgeye asılarak, ısıya diğer tarafa geçmesini engellenmesini sağlamaktadır.
- Yangın Battaniyeleri: Yangın battaniyeleri, bir yangının başlangıç aşamasında yanan nesnenin üzerine örtülerek yangının en kısa sürede söndürülmesini

sağlamaktadır. Bilindiği üzere, bina yangınlarındaki ölüm sebeplerinden biri de üst katlara kaçanların dumandan zehirlenmesidir. Yangın battaniyeleri, yangın yerinde mahsur kalan kişilerin battaniyeye sarınarak yangının içinden geçip dışarı çıkmasına imkân tanınması yönünden önemli bir işleve sahiptir.

5.3. Problemin Tanımlanması

KK firması, vana ceketini üretim sürecini iyileştirmek ve üretim maliyetlerini azaltmak için, makine ile üretime geçmeyi planlamaktadır. Bunun için firma kopçalama işlemini hızlandıracak bir makineyi satın almak istemektedir. Makine satın alınması durumunda firmaya ek mali yük bineceği ve firmanın enerji harcamalarının artacağı aşikârdır. Fakat firma üretim maliyetlerinden önemli ölçüde tasarruf edeceğini ve üretim sürecinin hızlanacağını öngörmektedir. Ayrıca makine ile üretime geçildiğinde işçilerin kopçalama sürecindeki ücretlendirme yönteminin mevcut hali ile devam etmesinin firmanın yararına olup olmadığının da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle, KK firması işçilerini yıllık bazda mı yoksa çalıştıkları süre bazında mı ücretlendirmesinin kendisi için daha doğru bir yaklaşım olacağına karar vermek durumundadır. Firmanın bahsedilen öngörülerini sınamak için üretimde makine kullanması kararının YA yaklaşımı ile incelenmesi ve karar verme sürecinde bu probleme bilimsel bir yaklaşımla çözüm getirilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak, makine ile üretim yapılmasının firmanın üretim maliyetlerinin azaltılmasına olan etkisinin incelenmesi ve işçilik ücretlerinin hesaplanması için uygun bir yol önerilmesi bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır.

5.3.1.Vana ceketini

Bilindiği üzere, bir akışkanın bir yerden başka bir yere taşınması sırasında, boru hatlarının belli noktalarına, giriş çıkışları kontrol etmek amacıyla vanalar yerleştirilir. Yüksek ve düşük sıcaklıktaki ürünlerin taşınması sırasında çevresi ile ısı alışverişini azaltmak ve işçi güvenliğini sağlamak için borular ve vanalar izole edilmektedir.

Boru hatlarında yapılan yalıtım, cam yünü ya da taş yünü denilen yalıtım keçelerinin boru üzerine sarılması ve bunun üzerine galvaniz ya da alüminyum sacın geçirilmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir. Benzer bir yalıtım sistemi, vanalarda da

uygulanmaktadır. Vanalara uygulanan yalıtım işleminde genellikle yalıtım keçesi kullanılmaktadır fakat borulardan farklı olarak, yalıtım keçesinin sarılmasının ardından vanaların dışlarına sandık şeklinde metal kasa geçirilmektedir. Ancak arıza ve periyodik bakım durumunda vanalar sökölüp takılabildiklerinden, uygulanacak yalıtımın özel bir yapıda olması gerekmektedir. Borulara uygulanan yalıtım sisteminin vanalarda da aynen kullanılması durumunda, söküp takma sırasında vanaların dışına geçirilen metal sandık zarar görmekte ve vana tekrar yerine takıldıktan sonra yalıtımsız kalmaktadır. Her iki durumda da firma ek yalıtım bedeli ödemek durumundadır. Firmaların ek yalıtım maliyetlerine katlanmalarının önüne geçmek için, KK firması “Vana Ceketı” denilen özel yalıtım yastıkları üretmektedir. Vana ceketlerinin yapısı incelendiğinde, yüksek sıcaklığa dayanıklı cam elyaf kumaş ile yüksek sıcaklığa dayanıklı cam yünü ya da taş yünü keçenin yalıtım için kullanıldığı görülmektedir. Bahsedilen bu yalıtım malzemeleri vananın etrafına sarılarak üzerindeki kopçalar ve paslanmaz çelik tel yardımıyla sabitlenir. Böylece vana yalıtılmış olur.



Şekil 8 - Vana ceketı örnekleri

5.3.1.1.Vana ceketinin avantajları

Vana ceketleri tekrar kullanılabilmesinin yanı sıra, aşağıda listelenen avantajlara da sahiptir:

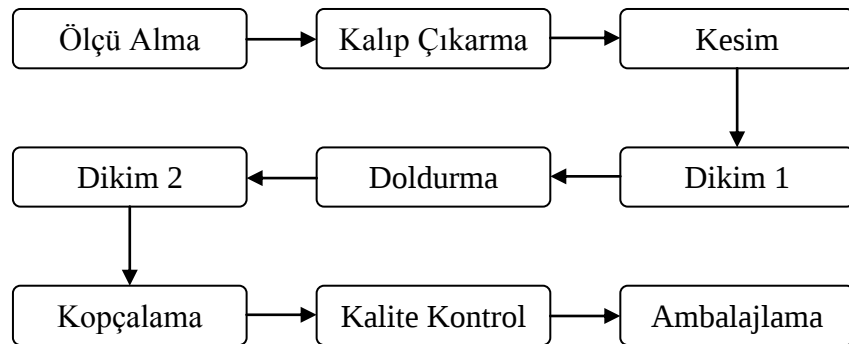
- Vanaların yalıtımsız ve yalıtımlı olma durumları karşılaştırıldığında örneğin DN 100 tipi bir vanada şu değerler elde edilmektedir:

İzolasyonsuz durumda ısı kaybı 3.663 W/m^2 iken, ısı yalıtımı olması durumunda ısı kaybı 108 W/m^2 'ye düşmektedir. Bir başka deyişle, %97'ye varan bir azalma söz konusudur. Kayıp enerjinin maliyeti yalıtımsız durumda 264€/yıl iken yalıtım yapılması

durumunda bu değer 8,45€/yıl'a düşmektedir. Dolayısıyla, vana ceketini kullandığında yılda 289€'luk bir kazanç sağlamaktadır. DN 100 tipi bir vana ceketinin satış fiyatının 30€ olduğu düşünüldüğünde, yukarıda bahsedilen tasarruf neticesinde vana ceketinin geri ödeme süresinin yaklaşık 53 gün olduğu görülebilir.

- Vana ceketlerinde kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları düşük olduğundan yalıtım özellikleri daha iyidir. Sabit sisteme göre daha düşük yalıtım malzemesi kalınlığı ile aynı ısı kaybı değerlerine ulaşılabilir, ya da aynı yalıtım malzemesi kalınlığı ile daha düşük ısı kaybı ve dış yüzey sıcaklığı değerlerine ulaşılır. Vana ceketlerinin dış yüzeyinde silikon kaplı cam elyaf kumaş kullanıldığından vanalar su, yağ, yakıt vb. akışkanlara karşı dayanıklı halde gelmektedir. Bu sayede, vana üzerine dökülen akışkan içeriye nüfuz edemediğinden içteki yalıtım keçesi kuru kalır ve özelliğini kaybetmez.
- Vana ceketleri, sabit yalıtıma göre daha güvenlidir. Sabit yalıtımın dış yüzeyinde metal sandık (metaller en kuvvetli iletkenlerdir) olduğundan bu tip yalıtımlarda metal yüzeydeki sıcaklık yüksek olmaktadır. Bir çalışanın yanlışlıkla bu metale dokunması, kişinin yanma tehlikesine maruz kalması ile sonuçlanır. Oysa vana ceketlerinin dış yüzeyinde cam elyaf kumaş olduğundan çalışan kişinin fiziksel temasında bile bir yaralanma ya da incinme gerçekleşmeyecektir. Bu nedenle vana ceketini iş güvenliğinin sağlanmasında da etkilidir.
- Vana ceketleri, sabit yalıtıma göre daha uzun ömürlüdür.

Vana ceketlerinin üretiminde Şekil 5.1.'deki üretim akış şeması izlenmektedir.



Şekil 9 - Vana ceketini üretim akış şeması

- 1. Aşama - Ölçü Alma: Siparişi alınan vana ceketlerinin üretimine başlanmadan önce yalıtımı yapılacak vanaların ölçüleri birebir alınır. Vana ceketleri, alınan bu ölçülere uygun olarak üretilir.
- 2. Aşama - Kalıp Çıkarma: Ölçüleri alınan vanalara uygun vana ceketlerinin üretilmesi için en önemli adımlardan birisi kalıp çıkarma aşamasıdır. Bu aşamada kullanılacak malzemenin kesim planı çıkarılır. Dikim işlemi bu kalıplara göre yapılır.
- 3. Aşama - Kesim: Bu süreçte kalıp çıkarma aşamasında gelen bilgiler doğrultusunda yalıtım kumaşları ve keçeleri kesilir.
- 4. Aşama - Dikim 1: Kesilen yalıtım kumaşlarının ilk dikimi bu aşamada gerçekleştirilir. Vana ceketlerinin dört kenarından üçü kapatılarak dikim yapılır ve bir kenarı doldurma işlemi için açık bırakılır.
- 5. Aşama - Doldurma: Bu adımda önceden kesilmiş olan yalıtım keçesi bir kenarı açık olan vana ceketine doldurulur.
- 6. Aşama - Dikim 2: Vana ceketinin açık olan tek kenarı da dikilir ve ürün etiketi de dikilerek bu aşama tamamlanır.
- 7. Aşama - Kopçalama: Vana ceketinin vanaya monte edilmesi için gerekli olan kopçalar bu bölümde monte edilir ve üretim tamamlanır.
- 8. Aşama - Kalite Kontrol: Bu adımda ürünün son kontrolü yapılır ve ürün uygunsa ambalajlama aşamasına gönderilir.
- 9. Aşama - Ambalajlama: Ürün müşterinin isteğine bağlı olarak ambalajlanır ve sevke hazır hale getirilir.

5.3.2. Manüel vana ceketi kopçalama prosesi

Kopçalama işlemleri KK firmasında şu anda manüel olarak (elle) yapmaktadır. Vana ceketi üretiminin altıncı aşaması olan Dikim 2 sürecini müteakip, vana ceketleri vana tipine bağlı olarak kopçalama işlemine tabi tutulmaktadır. Bu sırada her bir vana ceketi için ihtiyaç duyulan sayıda kopça monte edilmektedir. Örneğin DN 15'lik bir vana ceketine iki kenarda üçer adet olmak üzere toplam altı adet kopça bağlanmaktadır.

Kopçalama işlemi sırasında kancalı kopça ile gül kopça bir çivinin bükülmesiyle birbirine tutturulmaktadır. Bu üç malzemenin özellikleri şu şekildedir:

- Kancalı Kopça: Vana ceketinin dış tarafında bulunan kopçadır. Bu kopçanın kancalarından tel geçirilerek ceketin vana üzerine monte edilmesi sağlanır.
- Gül kopça: Vana ceketinin iç tarafında bulunan kopçadır. Ortasında çarpı (“X”) şeklinde bir açıklık bulunur.
- Çivi: Kancalı kopçanın üzerindeki delikten geçirilen çivi gül kopçanın ortasından (“X” işaretinin ortasından) geçirilir ve bir kargaburun yardımıyla çevrilerek sabitlenir.

Yukarıdaki açıklanan işlemler hem yoğun işçilik gerektirmekte hem de elle yapılan işlem sırasında daha yüksek maliyetli kopçala kullanılması söz konusu olmaktadır. Bir başka deyişle, işçilik sürelerinin fazla olmasından dolayı işçilik maliyetleri artmakta ve işçilerin diğer aşamalara oranla daha fazla yorulmaları neticesinde işçilik verimi düşmektedir.

5.3.3. Vana ceket kopçalama prosesi için alternatif teklif

KK firması kopçalama aşamasını iyileştirmek için alternatif yöntemler arayışına girmiş ve vana ceketlerinin kopçalanmasını kolaylaştıran bir makinenin yurtdışında faaliyet gösteren bir firma tarafından satıldığını öğrenmiştir. Bahsedilen makinenin şu şekilde çalıştığı öğrenilmiştir:

- Makine büyük bir zımbaya benzemektedir. Zımbanın üst tarafında kancalı kopça, alt tarafında ise kancalı kopçanın karşılığı olan iki delikli bir kopça yer almaktadır.
- Makine çift çıkışlı bir kompresör tarafından sağladığı hava yardımıyla (pnömatik olarak) çalışmaktadır.
- Makinenin içine yerleştirilen zımba teli, basınçlı hava yardımıyla üstteki kancalı kopçayı ve alttaki iki delikli kopçayı birbirine bağlamaktadır.

Yukarıdaki özelliklerden hareketle, söz konusu makine sayesinde hem işçilik süresi ve maliyeti azalmakta hem de kopçalama işleminde daha düşük maliyetli kopça setlerinin kullanılması mümkün olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen makinenin satın alınması durumunda, tedarikçi firma makine ile birlikte işletme için gerekli olabilecek yedek parçaları ve bakım hizmetini de

bir bedel karşılığında sağlamayı taahhüt etmektedir. Bu durumda, firmanın söz konusu makineyi alıp almama konusunda bir karar vermesi gerekmektedir.

5.4. Verilerin Toplanması

KK firması, kendisinden vana ceketi talebinde bulunan ABC firması ile sözleşme yaparak söz konusu firmaya bir yıllık bir sürede toplam 20.000 vana ceketi üretimi gerçekleştirmeyi taahhüt etmektedir. Yapılan anlaşma uyarınca, vana ceketleri tek bir parti halinde değil, ikişer ayda bir sevk edilecektir. ABC firmasının mevsimsel dalgalanmalara göre hazırladığı vana talebi Çizelge 8’de sunulmaktadır. Çizelgeden de görülebileceği üzere, talep değişken olup 1.800 ile 5.400 arasında dalgalanmaktadır.

Çizelge 8. - Dönemsel talep miktarları

Dönem	1	2	3	4	5	6	Toplam
Talep	3.200	5.000	2.600	2.000	5.400	1.800	20.000

KK firmasının aldığı siparişin detaylarında, dönemlik vana ceketi talebine ek olarak, her bir vana tipinin toplam talepteki oranı da belirtilmektedir. Söz konusu değerler Ek-1’de sunulmaktadır. Ayrıca, her bir vana tipi için gerekli kopça seti sayısı standarttır ve vanaların boyutları ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Kopça seti bilgileri de Ek-2’de verilmektedir.

KK firmasının almayı düşündüğü kopçalama makinesinin birim fiyatının 1500 € (Avro) olduğu bilinmektedir. Ayrıca bahsedilen kopçalama makinesinin yıllık bakım ve yedek parça ücreti olarak 200 Avro talep edilmektedir. Kopçalama makinesinin alımı ile montaj süresinde ve malzeme maliyetinde önemli maliyet avantajlarının olduğu bilinmektedir.

Halen yapılmakta olan manuel kopçalama işlemi sırasında her bir kopça setinin montaj süresi 4 dakikadır. Bu süre teklif edilen makine ile 3 dakikaya düşmektedir. Bu sürelerle kopçalama yapılacak yerlerin vana ceketi üzerinde işaretlenmesi, ön hazırlık süreleri ve kopçaların yerleştirilmesi dâhildir. Ayrıca makine kullanımına geçilmesi ile kopça setinin birim maliyeti de 0,40 Avro/Adet’ten 0,35 Avro/Adet’e inmektedir.

KK firmasının yıllık çalışma süresine bakıldığında firmanın günde sekiz saatten yılda toplam 240 gün çalıştığı görülmüştür. Kopçalama sürecinde çalışan

işçilerin maaşına bakıldığında ise işçi başına yıllık maliyetin 6.857€ olarak gerçekleştiği bilgisi elde edilmiştir.

Bu tez çalışması, yukarıda da bahsedildiği gibi kopçalama sürecinde makine kullanımının üretim maliyetlerine etkisinin incelenmesini konu edinmektedir. Bu süreçte firma işçilik ücretlerinin hesaplama yönteminin uygunluğunu da incelemek istemektedir. Mevcut durumda, KK firması işçileri ile bir yıllık sözleşme yapmaktadır ve firma vana ceketlerinin birim maliyetinin belirlenmesinde işçilerin yıllık ücretleri üzerinden hesaplama yapmaktadır. Fakat makine ile üretim yapılması durumunda işçilik ücretinin yıllık hesaplanmasının maliyetlerin yüksek hesaplanmasına neden olabileceği de düşünülmektedir. Bunun için makine alımı ve işçilerin ücretlendirilmesine yönelik farklı modeller üzerinde durulmasının gerekliliği dikkate alınmış ve bu çalışma kapsamında aşağıdaki iki durumun incelenmesi hedeflenmiştir:

- İşçilerin bir yılına istihdam edilmesi uygulamasının devamı halinde makine ile üretime geçilmesinin firmaya sağlayacağı katkının araştırılması
- İşçilerin işlenen kopça seti başına ücretlendirilmesi ve aynı zamanda makine ile üretim yapılması durumunda firmanın kazancının ne olacağının incelenmesi

Bahsedilen iki farklı durumun incelenmesi için YA'nın temel konularından olan doğrusal programlama yönteminden yararlanılmıştır.

5.5. Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelinin Oluşturulması

Kopçalama sürecinin otomasyona geçirilmesi kararını vermek için KK firması aşağıdaki soruların cevapları aramaktadır.

- ABC firmasının taleplerinin karşılanmasına yönelik yapılacak üretim için yurtdışından alınması planlanan makine kullanılmalı mıdır? Eğer kullanmalıysa bu makineden kaç adet satın alınmalıdır?
- Makinenin alınması durumunda, her bir dönem için makine veya elle yapılacak kopçalama sayısı ne olmalıdır?
- Makinenin satın alınması durumunda istihdam edilecek kişi sayısı ne olmalıdır?

- İşçilerin bir yıllık istihdam edilmesi uygulamasına son verilip kopça seti başına ücretlendirilmeleri durumunda firmanın sağlayacağı kazanç ne olacaktır?
- Firmanın otomasyona geçişte elde edeceği kazanç ne olacaktır?

5.5.1. Modeldeki varsayımlar

Modelin kurulmasında göz önüne alınan kabuller şunlardır:

- Problemin çözümünde süre olarak 12 aylık bir zaman aralığı (6 dönem) esas alınmıştır.
- İşgücü ve hammadde (kopça setleri ve makine) temini istenildiği an mümkün olmaktadır.
- KK firması üretim dönemlerindeki atıl kapasiteyi piyasadaki münferit taleplerin giderilmesi için kullanır ve müşteri kaybını önler.
- KK firması politikası gereği tam talep miktarı kadar üretim yapar ve stok maliyetine katlanmak istemez.
- KK firması mevcut durumda işçileri ile bir yıllık sözleşme imzalamaktadır.
- Makine satın alınması durumunda, her bir makinenin idamesi için bir işçi görevlendirilecektir.
- İşletmenin tek amacı maliyet minimizasyonudur.
- Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki vardır.
- Tüm değişkenlerin değerleri (işçi sayısı, makine sayısı vb.) sıfır veya sıfırdan büyük tamsayı değerler olacaktır.

5.5.2. Değişkenlerin belirlenmesi

Bölüm 5.5'te listelenen ve KK firmasının çözüm bulmak istediği sorular incelendiğinde firmanın makine alımı yapıp yapmama kararı vermek için makine alımı durumunda ne kadarlık bir üretimi makine ile gerçekleştireceğini hesaplaması ve bu üretimin elle yapılan üretime kıyasla ne ölçüde bir tasarruf sağlayacağını belirlemesi gerekmektedir. Bu durumda, her bir dönemde elle veya makine ile üretilen kopça sayısı, alınacak makinelerin kaç tane olacağı ve üretimde çalışacak işçi sayısı karar değişkenleri olarak tanımlanmalıdır.

$$x_{ij} = \{i \text{ döneminde } j \text{ yöntemi ile üretilen kopça sayısı}\} \quad i = \{1-6\} \quad j = \{1,2\}$$

- x_{11} : 1. Dönemde makineyle üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{12} : 1. Dönemde manuel üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{21} : 2. Dönemde makineyle üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{22} : 2. Dönemde manuel üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{31} : 3. Dönemde makineyle üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{32} : 3. Dönemde manuel üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{41} : 4. Dönemde makineyle üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{42} : 4. Dönemde manuel üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{51} : 5. Dönemde makineyle üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{52} : 5. Dönemde manuel üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{61} : 6. Dönemde makineyle üretilen kopça sayısı (Adet)
 x_{62} : 6. Dönemde manuel üretilen kopça sayısı (Adet)
 y_1 : Satın alınan makine miktarı (Adet)
 z_1 : Üretimde çalışan işçi sayısı (işçi)

Karar değişkenlerinin tanımlanmasının ardından modelin amaç fonksiyonunun ve kısıtlarının tanımlanması aşamasına geçilmiştir.

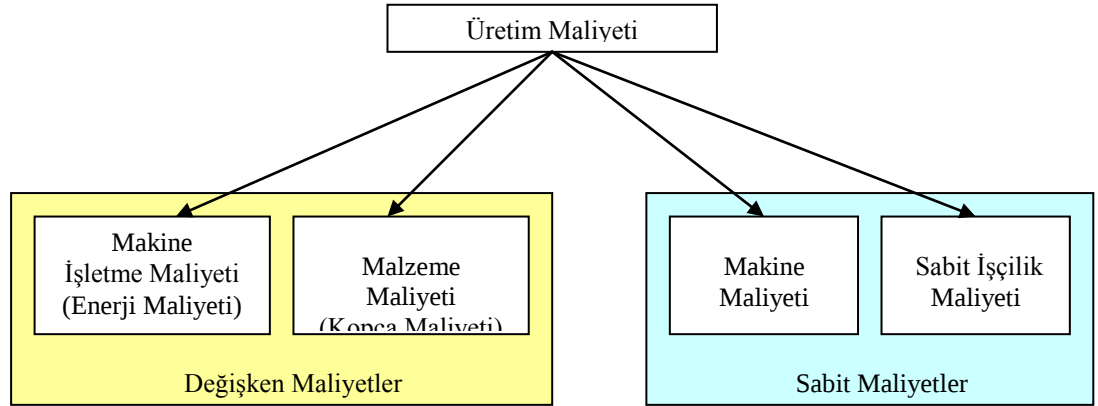
5.5.3. Amaç fonksiyonundaki unsurlar

KK firmasının amacı kopçalama sürecindeki maliyeti minimize etmektir. Kopçalama sürecindeki maliyetler incelendiğinde, ana maliyet bileşenlerinin aşağıdaki unsurlar olduğu görülmektedir:

- Malzeme maliyeti (Kopça maliyeti)
- Makine işletme maliyeti
- Makine satın alma maliyeti
- İşçilik maliyeti

Model 1: Problem tanımında da bahsedildiği üzere, kopçalama sürecinin maliyetinin hesaplanması sırasında farklı yaklaşımların varlığından söz edilebilir. Bunlardan birincisi halen firmanın uygulamakta olduğu yaklaşım olan işçilerin maliyetinin sabit maliyetmiş gibi düşünülerek bir yıllık işçilik giderlerinin doğrudan ürün maliyete dâhil edilmesidir. Bu durumda, firma personel alıp-çıkarmayı en aza indirmek için personel ile bir yıllık anlaşma yapmakta ve personelden maksimum oranda yararlanmak istemektedir. Personel giderlerinin bir yıllık olarak düşünülmesi

nedeniyle, bu maliyet kalemi makine satın alma maliyeti ile birlikte sabit maliyet olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 10 – Model 1’in amaç fonksiyonundaki maliyetlerin dağılımı

Dolayısıyla maliyetler Şekil 10’daki gibi gruplandırılabilir. Bu durumda amaç fonksiyonu aşağıdaki bileşenlerden oluşacaktır.

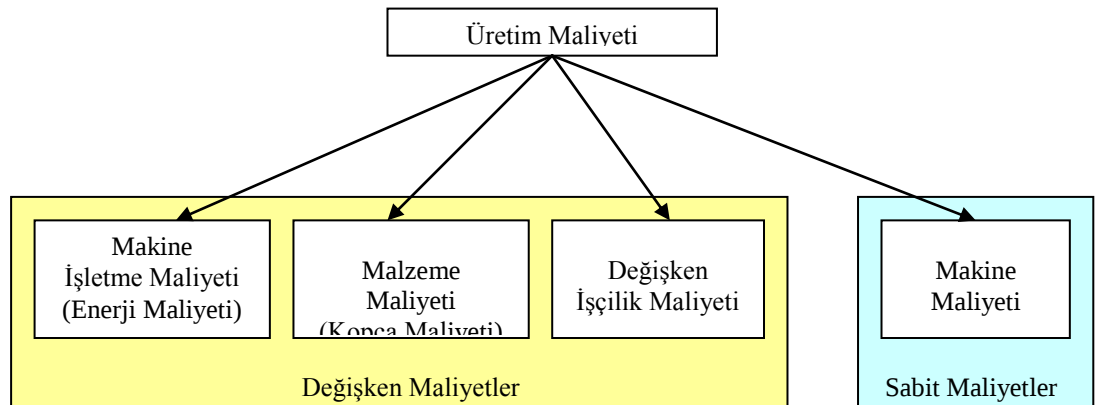
$$Z_{\min} = \text{kopça maliyeti} + \text{enerji maliyeti} + \text{makine maliyeti} + \text{sabit işçilik maliyeti}$$

Amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi, fonksiyonda yer alan bileşenlerin ve modeldeki kısıtların açıklanmasının ardından Bölüm 5.5.4. “Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi” Başlığı altında sunulacaktır.

Model 2:

Model 1’den farklı olarak Model 2’deki temel farklılık işçilik maliyetinin sabit maliyet olarak değil de değişken maliyet olarak değerlendirilmesidir. Şekil 5.4’ten de görülebileceği üzere, Model 2’de yer alan tek sabit maliyet makine alımlarının maliyetidir. Bu değişiklik aşağıdaki amaç fonksiyonunda da görülebilmektedir.

$$Z_{\min} = \text{kopça maliyeti} + \text{enerji maliyeti} + \text{makine maliyeti} + \text{değişken işçilik maliyeti}$$



Şekil 11 – Model 2’nin amaç fonksiyonundaki maliyetlerin dağılımı

Bu çalışma kapsamında Model 2’nin ayrıca oluşturulmasının nedeni, KK firmasının kopçalama sürecinin maliyetini hesaplama yaklaşımının doğru olup olmadığını ve ürün bazlı maliyetlendirmenin modelde ne tür değişikliklere yol açtığını daha yakından incelemektir. Bir önceki modelde olduğu gibi, bu modelin amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi Bölüm 5.5.4. “Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi” Başlığı altında ayrıca sunulacaktır.

Her iki modelin de tanıtılmasının ardından modellerde yer alan bileşenlerin nasıl hesaplandığına dair açıklamalara aşağıda yer verilmiştir.

Malzeme Maliyeti (Kopça Maliyeti): “5.4.Verilerin Toplanması” bölümünde bahsedildiği gibi, makine ile üretimde kullanılan kopçanın maliyeti 0,35 €/Adet iken manuel üretimde kullanılan kopçanın maliyeti 0,40 €/Adet’tir. Bu durumda kopçalama sürecindeki toplam kopça maliyeti elle veya makine ile üretilen bir birim ürüne bağlı olarak, şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned} \text{Toplam Kopça Maliyeti} = & 0,35x_{11} + 0,40x_{12} + 0,35x_{21} + 0,40x_{22} + 0,35x_{31} + 0,40x_{32} + \\ & + 0,35x_{41} + 0,40x_{42} + 0,35x_{51} + 0,40x_{52} + 0,35x_{61} + 0,40x_{62} \end{aligned}$$

Enerji Maliyeti: Bilindiği üzere, makinelerin çalışması için enerji gerekmektedir. Kopçalama işleminin makine ile yapılması durumunda maliyetlerin doğru bir biçimde hesaplanabilmesi amacıyla makinelerin çalışması için gerekli enerji miktarı modele dâhil edilmiştir. Tedarikçi firmadan alınan bilgiye göre önerilen makinenin bir saatlik enerji maliyeti 1,4 €’dır. Makinenin 3 dakikada kopçalama işlemini gerçekleştirdiği göz önüne alındığında, kopça başına enerji maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Bir saatte üretilen kopça miktarı=Toplam üretim süresi/bir parçanın işleme süresi

Bir saatte montajı yapılan kopça miktarı=60dakika / (3 dakika/adet)=20 kopça

Kopça başı birim enerji maliyeti=Bir saatlik enerji maliyeti / Bir saatte montajı yapılan kopça miktarı)

$$\text{Kopça başı birim enerji maliyeti}=1,4/(20 \text{ adet}) = 0,07 \text{ €}$$

Böylece makinelerin çalışması sonucu oluşan maliyet makine ile üretilen birim ürün cinsinden şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\text{Makine işletme maliyeti} = 0,07(x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61})$$

Kopça Makinelerinin Toplam Maliyeti: Tedarikçi firmadan alınan teklife göre, kopçalama makinesinin birim maliyeti 1.500 €/Adet'tir. Fakat makinelerin satın alınması durumunda, makineler demirbaş olarak kaydedileceklerinden makine maliyetinin doğrudan bütçe dâhil edilmesi doğru olmayacaktır. Bu nedenle, makinelerin 5 yıllık amortismanına tabi tutulacağı varsayılarak işlem yapılmıştır. Bu durumda kopçalama makinesinin bir yıl için maliyeti 300 € olarak alınmıştır. Bu değerlere yıllık bakım ve yedek parça giderleri (yıllık 200 €) de eklendiğinde toplam maliyet aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir:

$$\text{Toplam makine maliyeti} = \left(\frac{1.500}{5} + 200 \right) \cdot y_1 = 500y_1$$

Yukarıda da bahsedildiği gibi, makine maliyeti sabit maliyet olarak değerlendirilmektedir. Bunun nedeni makine alımının yalnızca bir kez yapılacak olması ve makine maliyetinin gerçek değerinin alınacak makine sayısına bağlı olmasıdır. Dolayısıyla, makine maliyetini kopça maliyeti ve makine işletme maliyeti gibi maliyetlere benzer bir şekilde kopça başına düşen bir maliyet olarak ifade etmemiz gerçekçi olmamaktadır. Bunun yerine, makine alımından doğan maliyet amortismanına tabi tutularak, birinci yıldaki amortisman bedelinin amaç fonksiyonuna eklenmesi ile maliyetin gerçekçi bir şekilde modele yansıtılması sağlanmıştır. Bu çalışma kapsamında oluşturulan modelin halen elle yapılan üretimin makine ile ikame edilmesin uygunluğunun değerlendirmesine yönelik olduğu dikkate alındığında, sabit maliyetin modelde yer almasının gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

Sabit İşçilik Maliyeti: KK firmasından alınan bilgilere göre, bir işçinin yıllık maliyetinin 12.000 YTL olduğu belirtilmektedir. Diğer kısıtlarda Avro (€) cinsinden maliyetler kullanıldığı için ve Avro'nun daha istikrarlı bir para birimi olmasından dolayı bu maliyet te Avro'ya çevrilmiş ve kur olarak ta 1,75 YTL alınmıştır. Bu durumda bir işçinin yıllık maliyeti 6.857 €/yıl olarak hesaplanmıştır.

İşçilerin bir yıl süresince çalışacakları dikkate alındığında, kopçalama sürecindeki işçilik maliyetlerinin yıllık toplam işçilik maliyeti olarak modele dâhil

edilmesi gereklidir. Bu durumda toplam sabit işçilik maliyeti aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\text{toplam sabit işçilik maliyeti} = 6857 * z_1$$

Değişken İşçilik Maliyeti: İşçi maliyetinin yıllık olarak hesaplanmasının yanı sıra, üretilen her bir kopça seti için işçilerin ne kadar zaman harcadığından yola çıkılarak, kopçalama sürecindeki işçilik maliyeti hesaplanabilir. Bunun için ilk olarak bir işçinin bir yıllık toplam maliyetinden, işçinin bir dakikadaki maliyeti bulunabilir.

İşçinin bir dakikalık çalışma maliyeti = Yıllık toplam maliyet / yıllık çalışma süresi

$$\text{İşçinin bir dakikalık çalışma maliyeti} = 6857 / (60 \text{ dk/saat} * 8 \text{ saat/gün} * 240 \text{ gün})$$

$$\text{İşçinin bir dakikalık çalışma maliyeti} = 0,06 \text{ €}$$

Bir dönemde elle veya makine ile montajı yapılan kopça sayısı amaç fonksiyonunda karar değişkenleri olarak tanımlandığı için, değişken işçilik maliyetlerinin de kopça seti başına düşen işçilik maliyeti olarak ifade edilmesi uygun olacaktır. Makine ile yapılan üretimde makinenin idame ettirilmesi için mutlaka bir işçinin görevlendirilmesi gerektiği düşünüldüğünde, bu süreçte de işçilik maliyeti oluşacağı söylenebilir. Buna göre her iki durumda da oluşacak işçilik maliyetini bulmak için aşağıdaki adımlar izlenmelidir.

Makine ile yapılan üretimdeki işçilik maliyeti = Bir kopça setinin montaj süresi * bir dakikalık işçilik maliyeti

$$\text{Makine ile yapılan üretimdeki işçilik maliyeti} = 3 \text{ dakika} * 0,06 \text{ €} = 0,18 \text{ €}$$

Elle yapılan üretimdeki işçilik maliyeti = Bir kopça setinin montaj süresi * bir dakikalık işçilik maliyeti

$$\text{Elle yapılan üretimdeki işçilik maliyeti} = 4 \text{ dakika} * 0,06 \text{ €} = 0,24 \text{ €}$$

Özetle, montaj yapılan kopça setleri cinsinden işçilik maliyetini ifade etmemiz gerekirse, aşağıdaki matematiksel ifadenin amaç fonksiyonuna yazılması gerekmektedir.

$$\text{Değişken işçilik maliyeti} =$$

$$0,18 * x_{11} + 0,24 * x_{12} + 0,18 * x_{21} + 0,24 * x_{22} + 0,18 * x_{31} + 0,24 * x_{32} + 0,18 * x_{41} + 0,24 * x_{42} + 0,18 * x_{51} + 0,24 * x_{52} + 0,18 * x_{61} + 0,24 * x_{62}$$

5.5.3. Amaç fonksiyonunun belirlenmesi

Önceki bölümlerde de açıklandığı üzere, işçilik giderlerinin hesaplanmasındaki farklılığı yansıtması için iki farklı model hazırlanmıştır. Birinci model, işçilerin firma ile bir yıllık sözleşme yaptığı durumu belirtirken, ikinci model işçilerin parça başına ücret alması esasına dayanmaktadır. İki modelin temelde farklılaştığı nokta işçilik maliyetlerinin hesaplanma yöntemidir. Dolayısıyla modellerin sadece amaç fonksiyonları farklı olup, her iki modeldeki kısıtlar arasında farklılık bulunmamaktadır. İki modelde de Bölüm 5.5.4'te belirtilen 19 tane kısıt kullanılacaktır. Her iki modelin amaç fonksiyonu aşağıda belirtilmektedir.

Model 1

$$Z_{\min}=0,35 x_{11}+0,40x_{12}+0,35 x_{21}+0,40x_{22}+0,35 x_{31}+0,40x_{32}+0,35 x_{41}+0,40x_{42}+0,35 x_{51}+0,40x_{52}+0,35 x_{61}+0,40x_{62}+0,07(x_{11}+x_{21}+x_{31}+x_{41}+ x_{51}+x_{61})+500y_1+6.857z_1$$

Her bir değişkenin katsayıları toplandığında model en kısa şekliyle aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$Z_{\min}=0,42 x_{11}+0,40x_{12}+0,42 x_{21}+0,40x_{22}+0,42 x_{31}+0,40x_{32}+0,42 x_{41}+0,40x_{42}+0,42 x_{51}+0,40x_{52}+0,42 x_{61}+0,40x_{62}+500y_1+6.857z_1$$

Model 2

$$Z_{\min}=0,35 x_{11}+0,40x_{12}+0,35 x_{21}+0,40x_{22}+0,35 x_{31}+0,40x_{32}+0,35 x_{41}+0,40x_{42}+0,35 x_{51}+0,40x_{52}+0,35 x_{61}+0,40x_{62}+0,07(x_{11}+x_{21}+x_{31}+x_{41}+ x_{51}+x_{61})+ 0,18(x_{11}+x_{21}+x_{31}+x_{41}+ x_{51}+x_{61}) + 0,24(x_{12}+x_{22}+x_{32}+x_{42}+ x_{52}+x_{62})+500y_1$$

Her bir değişkenin katsayıları toplandığında model en kısa şekliyle aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$Z_{\min}=0,60 x_{11}+0,64x_{12}+0,60 x_{21}+0,64x_{22}+0,60 x_{31}+0,64x_{32}+0,60 x_{41}+0,64x_{42}+0,60 x_{51}+0,64x_{52}+0,60 x_{61}+0,64x_{62}+500y_1$$

5.5.5. Kısıtların belirlenmesi

Kopçalama sürecinin maliyetinin minimize edilmesine kısıt oluşturabilecek üç unsur mevcuttur. Bunlar,

- Dönemlik taleplerin karşılanması
- Her dönem için makine çalışma süresinin kısıtlı olması
- Her dönem için işçi çalışma süresinin kısıtlı olması

Bilindiği üzere, ABC firması ile yapılan kontrat gereğince, vana ceketinin talebinin iki aylık dönmeler itibariyle karşılanması gerekmektedir. Dolayısıyla kopçalama sürecinin maliyetlerinin minimize edilmesinde talep önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Çizelge 8’de verilen talepler esas alınarak, Ek-1’de verilen her bir dönem için sipariş edilen vana tipi ve Ek-2’de belirtilen her bir vana ceketinin başına düşen kopça seti sayılarını içeren tablolar birleştirildiğinde, kopça üzerimi için gerekli dönemlik kopça sayıları bulunabilir. Dönemlik kopça sayılarının yer aldığı tablo Ek-3’te sunulmaktadır.

Modeldeki karar değişkeni her bir dönemde makine ve elle üretilen kopça sayısı olduğu için Ek-3’teki tabloda dönemlik kopça sayıları o dönemde elle ve makine ile üretilmesi gereken toplam kopça sayısına eşit olmalıdır. Ek-3’te yer alan bilgilere göre, DN 15 tipindeki vananın toplam talep içindeki payının %18 olduğu görülmektedir. Bu vana tipi için hazırlanacak vana ceketinin 6 kopça gerektirdiği dikkate alındığında döneme ait DN15 tipindeki vana sayısı ve kopça ihtiyacı şu şekilde belirlenir.

$$\text{Vana sayısı} = 3200 \cdot 0.18 = 576$$

$$\text{Kopça ihtiyacı} = 576 \cdot 6 = 3456$$

Aynı şekilde tüm vana tiplerine ait değerler hesaplanıp her bir vana ceketinin için gerekli kopça sayıları belirlendiğinde o dönemde ihtiyaç duyulan kopça sayısı da belirlenmiş olur. Kısıt (1) ile Kısıt (6) arasındaki kısıtlar bu bilgiler doğrultusunda aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\text{Kısıt (1)} \quad x_{11} + x_{12} = 25.088$$

$$\text{Kısıt (2)} \quad x_{21} + x_{22} = 39.200$$

$$\text{Kısıt (3)} \quad x_{31} + x_{32} = 20.384$$

$$\text{Kısıt (4)} \quad x_{41} + x_{42} = 15.680$$

$$\text{Kısıt (5)} \quad x_{51} + x_{52} = 42.336$$

$$\text{Kısıt (6)} \quad x_{61} + x_{62} = 14.112$$

Halen yapılmakta olan manuel kopçalama işlemi sırasında her bir kopça setinin montaj süresi dört dakikadır. Bu sürenin teklif edilen makine ile üretim yapılması durumunda üç dakikaya düşeceği belirtilmiştir. Bu bilgilerden hareketle, her dönem için gerekli toplam üretim süresi şu formülle hesaplanır:

i. Dönem için Toplam Üretim Süresi = $3x_{i1} + 4x_{i2}$ i = 1, 2, 3, 4, 5, 6

Her dönem için kullanılabilir işgücü süresi, çalışan işçi sayısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bölüm 5.4.'te verilen bilgiye göre bir işçi günde 8 saat ve yılda 240 gün çalışmaktadır. O halde 2 aylık bir dönemde bir işçi toplam çalışma saati aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{8\text{saat} / \text{gün} \cdot 60\text{daika} / \text{saat} \cdot 240\text{gün} / \text{sene}}{12\text{ay} / \text{sene}} \cdot 2\text{ay} / \text{dönem} = 19.200\text{dakika} / \text{dönem}$$

Yukarıda formüle edilen toplam üretim süresinin eldeki toplam işgücü süresini (işçi sayısına bağlı olarak bu süre değişmektedir) aşamayacağından her bir dönem toplam üretim süresinin mutlaka toplam çalışma süresinin altında olması aşağıdaki kısıtlar ile sağlanmaktadır.

$$\text{Kısıt (7)} \quad 3x_{11} + 4x_{12} \leq 19.200z_1 \quad \text{Dönem 1}$$

$$\text{Kısıt (8)} \quad 3x_{21} + 4x_{22} \leq 19.200z_1 \quad \text{Dönem 2}$$

$$\text{Kısıt (9)} \quad 3x_{31} + 4x_{32} \leq 19.200z_1 \quad \text{Dönem 3}$$

$$\text{Kısıt (10)} \quad 3x_{41} + 4x_{42} \leq 19.200z_1 \quad \text{Dönem 4}$$

$$\text{Kısıt (11)} \quad 3x_{51} + 4x_{52} \leq 19.200z_1 \quad \text{Dönem 5}$$

$$\text{Kısıt (12)} \quad 3x_{61} + 4x_{62} \leq 19.200z_1 \quad \text{Dönem 6}$$

Kopçalama yapan makinelerin çalışması işçilerin kontrolünde gerçekleştiğinden bir makinenin bir dönem içindeki maksimum kullanım süresi de toplam üretim süresi ile kısıtlıdır. Bir başka deyişle, makinenin üretim yapmak için çalışacağı süre de 19.200 dakikayı geçmemelidir. Makine ile yapılan kopçalamada montaj süresi 3 dakika. Olduğu bilindiğine göre her dönem için aşağıdaki kısıtların da modele eklenmesi gereklidir.

$$\text{Kısıt (13)} \quad 3x_{11} - 19.200y_1 \leq 0 \quad \text{Dönem 1}$$

$$\text{Kısıt (14)} \quad 3x_{21} - 19.200y_1 \leq 0 \quad \text{Dönem 2}$$

$$\text{Kısıt (15)} \quad 3x_{31} - 19.200y_1 \leq 0 \quad \text{Dönem 3}$$

$$\text{Kısıt (16)} \quad 3x_{41} - 19.200y_1 \leq 0 \quad \text{Dönem 4}$$

$$\text{Kısıt (17)} \quad 3x_{51} - 19.200y_1 \leq 0 \quad \text{Dönem 5}$$

$$\text{Kısıt (18)} \quad 3x_{61} - 19.200y_1 \leq 0 \quad \text{Dönem 6}$$

Yukarıda da ifade edildiği gibi, her bir makinenin çalışması için mutlaka bir personele ihtiyaç duyulacağı için, modelde yer alan personel sayısının alınacak makine sayısından az olmaması gerekmektedir. Bunun için de aşağıdaki kısıtın modele eklenmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

$$\text{Kısıt (19)} \quad y_1 - z_1 \leq 0$$

Amaç fonksiyonunun ve kısıtların yazılmasının ardından modelin çözümü safhasına geçilmiştir. Bu aşamada yapılan çalışmalar bir sonraki bölümde anlatılmıştır. Her iki modelde de aşağıdaki kısıtlar yer alacaktır.

$$\text{Kısıt (1)} \quad x_{11} + x_{12} = 25.088$$

$$\text{Kısıt (2)} \quad x_{21} + x_{22} = 39.200$$

$$\text{Kısıt (3)} \quad x_{31} + x_{32} = 20.384$$

Her dönem için

$$\text{Kısıt (4)} \quad x_{41} + x_{42} = 15.680$$

gerekli kopça sayısı.

$$\text{Kısıt (5)} \quad x_{51} + x_{52} = 42.336$$

$$\text{Kısıt (6)} \quad x_{61} + x_{62} = 14.112$$

$$\text{Kısıt (7)} \quad 3x_{11} + 4x_{12} \leq 19.200z_1$$

$$\text{Kısıt (8)} \quad 3x_{21} + 4x_{22} \leq 19.200z_1$$

$$\text{Kısıt (9)} \quad 3x_{31} + 4x_{32} \leq 19.200z_1$$

$$\text{Kısıt (10)} \quad 3x_{41} + 4x_{42} \leq 19.200z_1$$

$$\text{Kısıt (11)} \quad 3x_{51} + 4x_{52} \leq 19.200z_1$$

$$\text{Kısıt (12)} \quad 3x_{61} + 4x_{62} \leq 19.200z_1$$

Her dönem için yapılacak kopçalama işleminin işçi sayısına bağlı kısıtı.

$$\text{Kısıt (13)} \quad 3x_{11} - 19.200y_1 \leq 0$$

$$\text{Kısıt (14)} \quad 3x_{21} - 19.200y_1 \leq 0$$

$$\text{Kısıt (15)} \quad 3x_{31} - 19.200y_1 \leq 0$$

$$\text{Kısıt (16)} \quad 3x_{41} - 19.200y_1 \leq 0$$

$$\text{Kısıt (17)} \quad 3x_{51} - 19.200y_1 \leq 0$$

$$\text{Kısıt (18)} \quad 3x_{61} - 19.200y_1 \leq 0$$

$$\text{Kısıt (19)} \quad y_1 - z_1 \leq 0$$

Her dönem için yapılacak kopçalama işleminin makine sayısına bağlı kısıtı.

$$x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{51}, x_{61}, x_{12}, x_{22}, x_{32}, x_{42}, x_{52}, x_{62}, y_1, z_1 \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

5.6. Modellerin Çözümü ve Sonuçları

Modellerin çözümü için WinQSB ve TORA programları kullanılmıştır. Model 1'in WinQSB ve TORA programlarındaki girdisi Ek-4'te, Model 2'nin girdisi ise Ek-5'te sunulmuştur.

Modelin çözümünden önce, problemin özelliklerine tekrar göz atıldığında, problemin çözümü sonucunda elde edilecek değerlerin hepsinin tamsayı olması gerektiği görülmüştür. Bunun nedeni alınacak makine sayısının mutlaka tamsayı bir değerde olmasının gerektiği ve firmanın insan kaynakları politikasına göre bir yıl süre ile tam zamanlı işçi istihdam edilecek olmasıdır. Ayrıca diğer bir karar değişkeni olan üretilen kopça miktarlarının da tamsayıdan başka bir değer alması mümkün olmadığından problem tipi olarak tam tamsayı doğrusal programlama seçilmiştir.

Modelin çözülmesinde hem WinQSB hem de TORA paket programlarından yararlanılmıştır. WinQSB programının seçilmesinin nedeni, programın kullanım kolaylığı ve sunulan analiz seçeneklerinin oldukça çeşitli olmasıdır. Ayrıca programa veri girişi Microsoft Excel benzer bir ara yüzle yapılmaktadır. Bu özellik programın tercih edilmesinde etkili olmuştur. WinQSB programının çıktısının karşılaştırılması ve için model ayrıca TORA programında da çözülmüştür. TORA programının seçilmesinin nedeni ise, programın basit bir ara yüze sahip olması ve tez çalışması sırasında sıklıkla başvurulmuş Taha (2000)'nin kitabında örnek olarak sunulan modellerin çözümünde bu programın kullanılmasıdır.

Model 1'in çözümlerinin WinQSB ve TORA programından alınan çıktısı Ek-6'da, Model 2'nin çıktısı ile Ek-7'de sunulmaktadır. Ek-6 ve Ek-7 incelendiğinde her iki model için de programların birbirine yakın fakat farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Söz konusu farklılığın nedeni incelendiğinde programların farklı yöntemler ile çözüme ulaştıkları tespit edilmiştir. WinQSB programı dal-sınır algoritmasını kullanarak, Model 1 için 7 yinelemeden sonra ve Model 2 için 4 yinelemeden sonra çözüme ulaşmıştır fakat TORA programı simpleks yöntemi ile problemi çözmekte ve Model 1 ve Model 2'nin WinQSB tarafından sağlanan optimum çözümlerine 500 yinelemeden sonra bile ulaşamamakta ancak bu optimum çözüme yakınsamaktadır. Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te sunulan çözümler karşılaştırıldığında WinQSB programından elde edilen hedef fonksiyonunun değerinin TORA programından alınan değerden daha küçük olduğu

görülmektedir. Çünkü, WinQSB programının kullandığı dal-sınır algoritması daha az yineleme ile en iyi çözüme ulaşılmasını sağlamıştır. Bu nedenle, WinQSB programının çıktısının en iyi çözüm olduğu kabul edilmiştir. Tez çalışmasının bundan sonraki adımlarında WinQSB programının çözümü esas alınmış ve duyarlılık analizi de yine bahsedilen program ile yapılmıştır.

Çizelge 9 ve Çizelge 10'da yer alan WinQSB programının çıktılarına bakıldığında, Model 2'nin amaç fonksiyonunun değerinin Model 1'in değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Model 2'nin optimum değerinin daha düşük olmasının tek nedeni, bu modelde işçi maliyetlerinin değişken maliyet olarak düşünülmesi ve maliyetlerin parça başı maliyet olarak fonksiyona dahil edilmesidir. Tahmin edilebileceği gibi, kopçalama yapan işçilerin atıl zamanlarını üretim sürecindeki başka işlere yönlendirildiği varsayımına dayanarak, bir yıllık işçilik maliyeti üzerinden model kurulduğunda kopçalama sürecinin maliyetinin yüksek hesaplandığı görülmektedir. İşletmenin maliyetlerini her bir parça başına sarf edilen işçilik gideri üzerinden hesaplaması durumunda maliyetlerini daha doğru tahmin edebildiği görülmektedir. Dolayısıyla, Model 2'nin daha gerçekçi olduğu düşünülmekte ve problemin optimum çözümünün aşağıdaki değerleri içerdiği görülmektedir.

Çizelge 9 – Model 1 için WinQSB ve TORA programının çıktıların karşılaştırılması

	WinQSB					TORA				
	Kopça Sayısı	Kopça Maliyeti	Enerji Maliyeti	İşçi Maliyeti	Makine Maliyeti	Kopça Sayısı	Kopça Maliyeti	Enerji Maliyeti	İşçi Maliyeti	Makine Maliyeti
x11	0	0	0			0	0	0		
x12	25088	10035,2	0			25088	10035,2	0		
x21	22400	7840	1568			29793	10427,55	2085,51		
x22	16800	6720	0			9407	3762,8	0		
x31	0	0	0			0	0	0		
x32	20384	8153,6	0			20384	8153,6	0		
x41	0	0	0			0	0	0		
x42	15680	6272	0			15680	6272	0		
x51	34944	12230,4	2446,08			42336	14817,6	2963,52		
x52	7392	2956,8	0			0	0	0		
x61	0	0	0			0	0	0		
x62	14112	5644,8	0			14112	5644,8	0		
y1	6				3000	6				3000
z1	7			47999		7			47999	
Toplam	156800	59852,8	4014,08	47999	3000	156800	59113,55	5049,03	47999	3000
Amaç Fonksiyonu	114866					115161,58				

$$Z_{\min} = 97.269 \text{ €}$$

$x_{11} = 25.088$	Adet	$x_{12} = 0$	Adet
$x_{21} = 38.400$	Adet	$x_{22} = 800$	Adet
$x_{31} = 20.384$	Adet	$x_{32} = 0$	Adet
$x_{41} = 15.680$	Adet	$x_{42} = 0$	Adet
$x_{51} = 38.400$	Adet	$x_{52} = 3.936$	Adet
$x_{61} = 14.112$	Adet	$x_{62} = 0$	Adet
$y_1 = 6$	Adet	$z_1 = 7$	İşçi

Çizelge 10 – Model 2 için WinQSB ve TORA programının çıktılarının karşılaştırılması

	WinQSB					TORA				
	Kopça Sayısı	Kopça Maliyeti	Enerji Maliyeti	İşçi Maliyeti	Makine Maliyeti	Kopça Sayısı	Kopça Maliyeti	Enerji Maliyeti	İşçi Maliyeti	Makine Maliyeti
x11	25088	8780,8	1756,2	4515,8		25088	8780,8	1756,16	4515,84	
x12	0	0	0			0	0	0	0	
x21	38400	13440	2688	6912		39200	13720	2744	7056	
x22	800	320	0	192		0	0	0	0	
x31	20384	7134,4	1426,9	3669,1		20384	7134,4	1426,88	3669,12	
x32	0	0	0			0	0	0	0	
x41	15680	5488	1097,6	2822,4		15680	5488	1097,6	2822,4	
x42	0	0	0			0	0	0	0	
x51	38400	13440	2688	6912		42336	14817,6	2963,52	7620,48	
x52	3936	1574,4	0	944,64		0	0	0	0	
x61	14112	4939,2	987,84	2540,2		14112	4939,2	987,84	2540,16	
x62	0	0	0			0	0	0		
y1	6				3000	7				3500
z1	7			28508		7				
Toplam	156800	55117	10644	28508	3000	156800	54880	10976	28224	3500
Amaç Fonksiyonu	97269					97580				

Çizelgelerden de görülebileceği üzere, KK firması için en uygun tercih altı adet makine satın alması ve yedi işçi çalıştırmasıdır. Bu durumda, işçilik maliyetinin kopça başına hesaplandığı modelde (Model 2) üretim maliyeti 97.269 Avro olarak gerçekleşerek en aza inmektedir. Modele daha detaylı bakıldığında, sadece makine ile üretim yapmadığı, talebin yüksek olduğu dönemler olan ikinci ve beşinci dönemde elle kopça montajı yapıldığı da görülmektedir. Özetle, modellerin çözümünün gösterdiği en temel sonuç üretim maliyetlerinin azaltılması için makine alımlarının gerekli olduğudur.

Makine alımının firmanın maliyetlerinde ve üretim sürecinde ne gibi değişikliklere neden olduğunu incelemek için sonuçların daha detaylı irdelenmesi gerekmektedir. Bunun için sırasıyla Model 1 ile Model 2'nin toplam üretim maliyetleri, makine ve işçi verimliliği ve maliyet dağılımları açısından incelenmesi gereklidir. İlk olarak firmanın tamamen elle üretim yapması durumunda kopçalama sürecinin maliyetinin ne olacağı hesaplanmalıdır.

KK firması mevcut durumda üretim için ne kadar işçi gerektiğini belirlemek için, talebin en yoğun olduğu beşinci dönemdeki (kısıtlayıcı dönemde) üretim için gerekli toplam süreyi dikkate almaktadır. Bu dönemde ihtiyaç duyulan işçi sayısının nasıl hesaplandığı aşağıda özetlenmektedir.

Toplam üretim süresi = üretilecek toplam kopça sayısı x bir birim ürünün üretilmesi için geçen süre

$$\text{Toplam üretim süresi} = 42.336 \times 4 = 169.334 \text{ dakika}$$

Firma beşinci dönemdeki talebi karşılamak için 169.334 dakika işçilik süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Bir işçinin bir dönemde toplam çalışma süresinin 19.200 dakika olduğu düşünüldüğünde üretim için gerekli toplam işçi sayısı 9 ($169.334 / 19.200 = 8,82$ işçi) olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, tamamen elle üretim yapıldığında toplam maliyet aşağıdaki gibi gerçekleşir.

$$\text{Toplam maliyet} = \text{kopça maliyeti} + \text{işçilik maliyeti}$$

$$\text{Toplam Maliyet} = 0,40 \cdot 156.800 + 6.857 \cdot 9 = 124.433 \text{ €}$$

İlk durumdaki toplam üretim maliyeti bilindiğine, Model 1 ve Model 2'de maliyet iyileşmelerinin değeri rahatlıkla karşılaştırılabilmektedir. Çizelge 1'den de görülebileceği üzere, KK firması otomasyona geçtiğinde Model 1'e göre üretim maliyetlerinde %7,69; Model 2'ye göre de %21,83 oranında azalma görülecektir.

Çizelge 11- Model 1 ve Model 2'deki üretim maliyetlerinin karşılaştırılması

	Elle Üretim	Model 1	Model 2
Maliyet	124.433	114.866	97.269
Kazanç	-	%7,69	%21,83

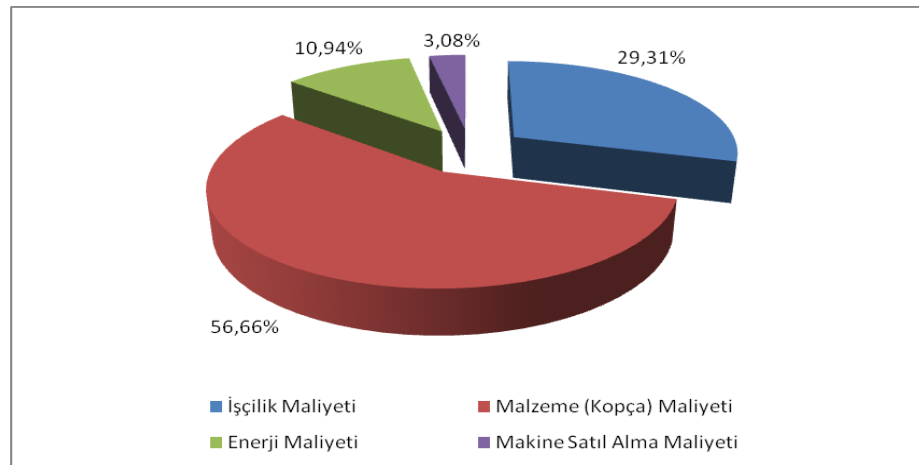
Toplam maliyetteki düşüşün nedenleri bulmak için, her bir maliyet kaleminin toplam maliyet kalemi içindeki paylarını incelemek gereklidir. Çizelge 5.5'e bakıldığında ilk iki modelde işçilik ve malzeme maliyetlerinin ağırlıklı olarak yer aldığı

görülmektedir. İlk durumda sadece elle üretim yapıldığı göz önüne alındığında, üretim maliyetinin yarısının işçilik giderlerinden oluştuğu görülmektedir. Birinci modeldeki maliyet dağılımına bakıldığında ise, işçilik harcamalarının oranının %41'e düştüğü görülmektedir. Elle üretimle kıyaslandığında işçilik maliyetlerinde yeterince azalma sağlanamadığı görülmektedir. Üretimde makinelerin ne kadar ağırlıklı kullanıldığının bir göstergesi olan enerji maliyetinin toplam maliyet içindeki oranı da bu fikri destekler niteliktedir. Örneğin, Model 1'de enerji maliyetinin payı yaklaşık %3,5 civarındadır. Bu da üretimde makinelerin verimli bir şekilde kullanılmadığını göstermektedir.

Çizelge 12 - Modellerdeki maliyet kalemlerinin dağılımı

	Elle Üretim	Model 1	Model 2
İşçilik	%49,60	%41,79	%29,31
Malzeme (Kopça) Maliyeti	%50,40	%52,11	%56,66
Enerji Maliyeti	-	%3,49	%10,94
Makine Satın Alma Maliyeti	-	%2,61	%3,08

Model 2'deki maliyet dağılımlarına bakıldığında, işçilik maliyetinin toplam maliyet içindeki payının azaldığını ve enerji maliyetinin payının da arttığını görülmektedir. Bu değerler kopçalama işleminde makinelerin kullanımının ağırlığının arttığını göstermektedir. Ayrıca işçilerin bir yıllık maliyetleri yerine, çalışma süreleri ile orantılı bir biçimde ücretlendirilmesinin de firmanın toplam üretim giderlerini azaltmasında önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir. Bir başka deyişle, Model 2 maliyetlerin gider kalemleri arasında en uygun oranda dağıtıldığı modeldir ve maliyet dağılımı Şekil 12'de grafiksel olarak ta gösterilmektedir.



Şekil 12– Model 2'deki maliyetlerin dağılımı

İşçilerin ve makinelerin üretimdeki kullanım oranlarını daha yakından incelemek için, her iki unsurun da üretimde kullanım oranlarına göz atmak gerekir. Elle üretim yapılması durumunda ve diğer iki modelde öngörülen işçi ve makine çalışma süreleri ve verimlilikleri sırasıyla Ek -8, 9, ve 10'da sunulmaktadır: İlgili eklerde yer alan tablolardan elle üretim yapılan durumda ve önerilen modellerdeki makine kullanım oranları daha yakın bir incelemeye tabi tutularak, hangi durumda üretimin ağırlıklı olarak makine ile yapıldığı görülebilir.

Çizelge 13 – Her bir modeldeki makine kullanım oranları

	Elle Üretim	Model 1	Model 2
1. Dönem	%0	%0	%65,33
2. Dönem	%0	%58,33	%100,00%
3. Dönem	%0	%0	%53,08%
4. Dönem	%0	%0	%40,83%
5. Dönem	%0	%91,00	%100,00%
6. Dönem	%0	%0	%36,75%
Ortalama	%0	%24,89	%66,00

Çizelge 13'ten çıkarılabilecek en temel sonuç, Model 2'de makinelerin ortalama kapasite kullanım oranının Model 1'e kıyasla 3 kat fazla olmasıdır. Bu durumda Model 2'de işçilik maliyetlerinin göreceli olarak azalmış ve buna bağlı olarak ta üretim maliyetleri de düşmüştür. Çizelge 11 ve Çizelge 12.'deki bilgiler de bu çıkarımı destekler niteliktedir. Ayrıca bu sonuç, aşağıda yer alan ve işçilerin kapasite kullanımını gösteren Çizelge 14'den de açıkça görülebilmektedir. İşçilerin kapasite kullanımını Model 2'de %58,92 ile en düşük oranda gerçekleştirmiştir. Bu modelde işçilere sadece çalıştıkları süre kadar ücret ödendiği için, sadece kullanılan kapasitenin karşılığı olan maliyet modele yansımakta böylece maliyetlerin daha da aşağı çekilmesi mümkün olmaktadır.

Çizelge 14 - Her bir modeldeki işçi kullanım oranları

	Elle Üretim	Model 1	Model 2
1. Dönem	%58,07	%74,67	%56,00%
2. Dönem	%90,74	%100,00	%88,10%
3. Dönem	%47,19	%60,67	%45,50%
4. Dönem	%36,30	%46,67	%35,00%
5. Dönem	%98,00	%100,00	%97,43%
6. Dönem	%32,67	%42,00	%31,50%
Ortalama	%60,49	%70,67	%58,92

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda firmanın taleplerini en iyi biçimde karşılan modelin “Model 2” olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, KK firması için en uygun çözüm 6 adet makine alımı yaparak ve 7 işçi istihdam ederek aldığı siparişlere cevap vermesi olacaktır. Firma bu sayede kopçalama sürecini en az maliyetle gerçekleştirecek ve makine kullanımını en yüksek oranda tutacaktır. Ayrıca bu sayede işçilere de sadece çalıştıkları süre için ödeme yapacak ve işçi maliyetlerinin de en aza indirilmesini sağlayacaktır. Her ne kadar bu modelde işçilerin kapasite kullanım oranı diğer modellere kıyasla daha düşük oranda gerçekleşse de firmanın atıl durumdaki işçi kapasitesini gerektiği durumlarda vana ceketi üretim sürecinin diğer adımlarında kullanmasının veya herhangi bir acil durum oluşması anında izin kullanacak olan personelin yedeklenmesi ile telafi edeceği düşünülmektedir.

5.7. Duyarlılık Analizi

Bilindiği üzere, oluşturulan bir modelin gerçek hayatta birebir uygulama imkânı olmayabilir ya da modelin parametrelerinde zamanla bazı değişiklikler olabilir. Bu gibi durumlarda modelin nasıl değişeceğini incelemek için duyarlılık analizi yapılmaktadır. Bölüm 3.4’te belirtildiği gibi, duyarlılık analizi modelin parametrelerinin değişmesi durumunda yeni bir model kurulmadan optimum çözümün nasıl değiştiği konusunu inceler.

Ülkemizdeki ekonomik koşulların değişkenlik göstermesine paralel olarak, KK firması da makine, işçilik ve enerji maliyetleri ile taleplerde değişiklik olması durumunda üretim maliyetlerinin nasıl değişeceğini bilmek istemektedir. Bu bölümde yukarıda listelenen unsurlardaki değişimlerin amaç fonksiyonuna olan etkileri incelenecektir.

Üretim parametreleri arasında değişme olasılığı en yüksek olan unsur taleptir. Firmanın gelen talepler doğrultusunda üretim yaptığı ve elinde hiç stok tutmadığı göz önüne alınırsa talepteki değişikliklerin üretimi etkileyen en önemli unsur olduğu rahatlıkla görülebilir. KK firması bu ihtimali göz alarak, gelecekteki muhtemel talep değişiklikleri için üç farklı senaryo hazırlamıştır. İlk senaryoda ABC firmasının vana ceketini talebini aşağı çekebileceği ihtimali üzerinde durularak talep 17.500 olarak öngörülmüş, ikinci durumda da diğer ek talepler de dikkate alınarak talebin 22.500'e kadar çıkabileceği düşünülmüştür. Ayrıca firma yüksek çaplı üretimde modelin geçerliliğini test etmek için talebin 40.000 olduğu durumda ne yapacağını da bilmek istemektedir.

Çizelge 15– Talepteki değişmelere göre makine, işçi ve kopça seti miktarındaki değişme

Talep	17.500	20.000	22.500	40.000
X11	21952	25088	28224	50176
X12	0	0	0	0
X21	32000	38400	38400	76800
X22	2300	800	5700	1600
X31	17836	20384	22932	40768
X32	0	0	0	0
X41	13720	15680	17640	31360
X42	0	0	0	0
X51	32000	38400	38400	76800
X52	5044	3936	9228	7872
X61	12348	14112	15876	28224
X62	0	0	0	0
Y1	5	6	6	12
Z1	7	7	8	14
Amaç Foksiyonu	85.113	97.269	109.437	194.538

Talepteki değişimlere bağlı olarak monte edilmesi gereken kopça miktarları Ek-11'de sunulmaktadır. Ek11'de yer alan tablodan da görülebileceği gibi, talebin 17.500 olması durumunda ihtiyaç duyulan kopça seti miktarı 137.200, talebin 22.500 olması durumunda 176.400 ve talebin 40.000 olması durumunda 313.600 olarak gerçekleşmektedir. Ek-11'deki tabloda yer alan kopça setlerinin hesaplanmasında Ek-1'de sunulan taleplerin vana tiplerine göre dağılımını içeren tablodaki oranlar ile Ek-2'de yer alan her bir vana tipi başına düşen kopça sayıları ile dönemlik talep sayısı

çarpılarak her bir dönem ihtiyaç duyulan kopça seti sayısı hesaplanmıştır. Bundan sonraki aşamada, bahsedilen senaryoların gerçekleşmesi durumunda üretim miktarlarında ve amaç fonksiyonundaki değişimlerin hesaplanması yapılmıştır.

Çizelge 15’den de görülebileceği üzere, montajı yapılan kopça seti sayısı toplam talep miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bunun sonucunda maliyetler talep değişikliklerinden doğrudan etkilenmektedir. Talep arttıkça maliyetlerin arttığı yukarıdaki çizelgeden de görülebilmektedir. Yukarıdaki çizelgeden çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise, toplam talep miktarı ne olursa olsun, diğer dönemlere kıyasla talebin göreceli olarak yüksek gerçekleştiği 2. ve 5. dönemlerde firmanın makine ile yapılan üretime ek olarak elle üretim yapmaya da ihtiyaç duyulmasıdır. Bu dönemlerde makine kapasitesini aşan bir talep mevcut olduğundan yeni bir makine alımı diğer dönemlerde atıl kapasite yaratacaktır. Ayrıca yeni bir makine alımı işçi maliyetlerini arttıracaktır. Bu nedenlerden dolayı, firma elle üretim yapmayı tercih etmek durumundadır. Böylece maliyetleri arttırmadan işçi ve makine kullanım kapasitelerinde yapılan değişikliklerle en düşük maliyetli çözüme ulaşılmış olur.

Çizelge 16 – Talepteki değişmelere göre makine ve işçi kapasite kullanım oranları

Talep	17.500	20.000	22.500	40.000
Makine Kapasite Kullanımı	%67,63	%58,92	%59,94	%58,92
İşçi Kapasite Kullanımı	%51,95	%66,00	%70,08	%66,00

Örneğin, vana ceketini talebi 20.000’den 22.500’e çıktığında firma yeni bir makine alımı yapmak yerine, makine kapasitesinin %100’den az olduğu dönemler olan 1., 3. ve 4. dönemlerde makine kapasitesini arttırarak, talebin makine kapasitesini aştığı dönemler olan 2. ve 5. dönemlerde daha fazla elle üretim yaparak artan talebi karşılayabilir. Böylece, Çizelge 16’dan da görülebileceği üzere, yeni makine alımı yapmadan işçi ve makine kullanım kapasiteleri arttırılarak artan talep karşılanabilmektedir. Fakat talepteki, dalgalanmalar fazla ise, mesela talep 2 kat artarak 20.000’den 40.000’e çıkarsa, firma yeni talebe göre optimum üretim miktarlarını tekrar hesaplamak durumundadır.

İşçilik maliyetlerinin değişimi modeldeki değiştiren bir diğer unsurdur. İşçilik maliyetlerinde %10 ve %20 artış ve azalma olması durumlarında, hedef fonksiyonunda yani üretim maliyetlerinde ne tür değişiklikler olacağı incelenmiştir. İşçilik

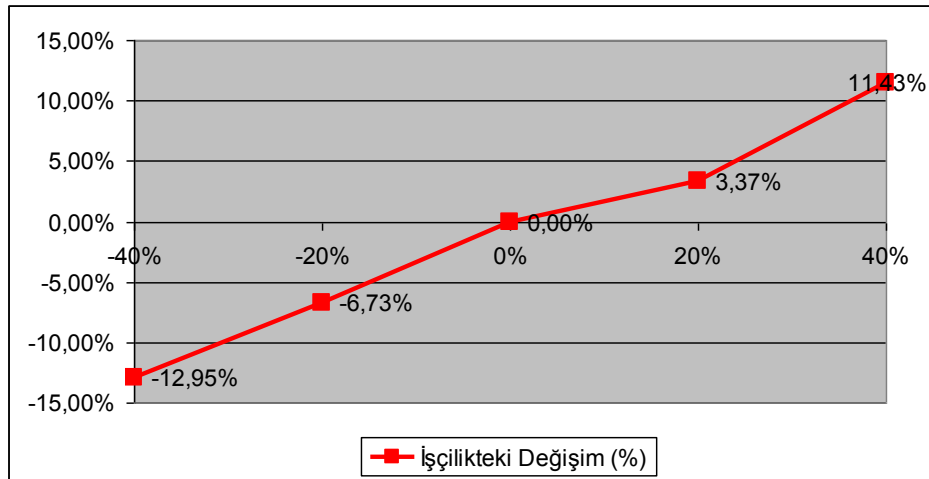
maliyetlerinde yukarıda bahsedilen orandaki artış, elle yapılan ve makine ile yapılan üretimdeki bir kopça montajı başına düşen işçilik maliyetlerini Çizelge 5.10'daki gibi değiştirecektir.

Çizelge 17 – İşçilik maliyetindeki artışa göre kopça seti başına düşen işçilik maliyetlerindeki değişim

İşçilik Maliyeti (€)	Azalma		%0	Artış	
	%40	%20		%20	%40
Makine İle Üretim Yapılması Durumunda	0,11	0,14	0,18	0,22	0,25
Elle Üretim Yapılması Durumunda	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34

Çizelge 17'de belirtilen elle veya makine ile bir kopça seti montajı başına düşen işçilik giderleri dikkate alınarak üretim maliyetleri ve her bir dönemde elle veya makine ile gerçekleştirilen üretim değerleri Çizelge 18'de sunulmaktadır.

Yukarıdaki çizelgeye bakıldığında, kopçalama sürecinin maliyetindeki değişimle işçilik ücretlerindeki değişimin doğru orantılı olduğu görülmektedir. Fakat Çizelge 5.11'den de görülebileceği gibi, işçilik maliyetlerindeki artışın ve azalmanın firmanın üretim maliyetini farklı oranlarda değiştirmektedir. İşçilik maliyeti ve üretim maliyeti arasındaki ilişki Şekil 5.5'ten de görülebilmektedir. Ayrıca, işçilik maliyetlerini artması durumunda firma hala elle üretim yapmaya devam ederken, işçilik maliyetlerinin azalması durumunda firmanın tamamen elle üretim yapacağı görülmektedir.



Şekil 13 – İşçi maliyetindeki değişimin üretim maliyetine etkisi

İşçilik maliyetlerinin artması halinde firmanın elle ve makine ile yapacağı üretim miktarlarının değişmeyeceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Makine maliyetlerinin sabit kaldığı bu durumda işçilik maliyetlerindeki bu artış makine alımının cazip kılabilir, firma aldığı her makine için bir işçi istihdam etmek zorundadır. Bu durumda ek makine alımının firmaya bir katkısı olmamaktadır. Dolayısıyla, firma yine aynı değerlerle üretim yapmaya devam etmektedir. Özetle, söz konusu değişimden etkilenen üretim miktarları değil, üretim maliyetleridir.

İşçilik maliyetlerindeki azalma, tahmin edilebileceği gibi firmanın daha az makine satın almak istemesi ve üretimin daha fazla bir kısmını elle yapması ile sonuçlanacaktır. Örneğin, işçilik maliyetinin %20 oranında azalması firmanın 6 makine yerine 4 makine alması ve 7 yerine 8 işçi çalıştırması ile sonuçlanacaktır. İşçilik maliyetlerindeki azalma %40'ı bulduğunda, firma üretimi hiç makine almaksızın tamamen elle yapacaktır.

Çizelge 18 – İşçilik maliyetindeki değişimin modele etkisi

İşçilik Maliyeti	Azalma		%0	Artış	
	%40	%20		%20	%40
X11	0	25088	25088	25088	25088
X12	25088	0	0	0	0
X21	0	25600	38400	38400	38400
X22	39200	13600	800	800	800
X31	0	20384	20384	20384	20384
X32	20384	0	0	0	0
X41	0	15680	15680	15680	15680
X42	15680	0	0	0	0
X51	0	25600	38400	38400	38400
X52	42336	16736	3936	3936	3936
X61	0	14112	14112	14112	14112
X62	14112	0	0	0	0
Y1	0	4	6	6	6
Z1	9	8	7	7	7
Amaç Fonksiyonu	84672	90718	97269	100547	108387
Amaç Fonksiyonundaki Değişim (%)	-12,95%	-6,73%	0,00%	3,37%	11,43%

Üretim maliyetlerini etkileyen bir diğer unsur ise, makine satın alma giderlerindeki değişimdir. Ekonomideki değişimlere bağlı olarak, firmanın satın almayı düşündüğü makinenin maliyetinde bir farklılık olması durumunda üretim maliyetlerinin ve firma tercihlerinin nasıl olduğu incelenmiştir. Makinenin firmaya olan maliyetinin

zaman içerisinde %20 ve %40 oranında artış veya azalma gösterebileceği düşünülerek, üretimdeki değişiklikler irdelenmiştir.

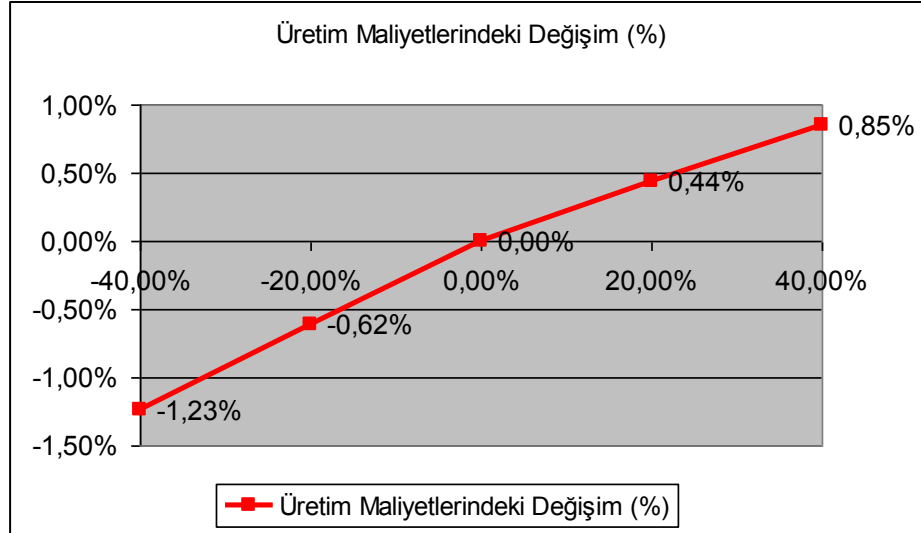
Çizelge 19 – Makine maliyetindeki değişimin modele etkisi

	Makine Maliyeti (€)				
	300	400	500	600	700
X11	25088	25088	25088	25088	25088
X12	0	0	0	0	0
X21	38400	38400	38400	25600	25600
X22	800	800	800	13600	13600
X31	20384	20384	20384	20384	20384
X32	0	0	0	0	0
X41	15680	15680	15680	15680	15680
X42	0	0	0	0	0
X51	38400	38400	38400	25600	25600
X52	3936	3936	3936	16736	16736
X61	14112	14112	14112	14112	14112
X62	0	0	0	0	0
Y1	6	6	6	4	4
Z1	7	7	7	8	8
Amaç Fonksiyonu	96069	96669	97269	97693	98093

Çizelge 19'dan da görülebileceği üzere, makine maliyetindeki düşüş, firmanın elle ve makine ile yapacağı kopçalama sayıları üzerinde bir etki yaratmamaktadır. Fakat üretim maliyetlerinin azalmasına olumlu yönde etki etmektedir. Bunun nedeni, firmanın zaten mevcut durumda üretimi azami ölçüde makine ile gerçekleştirmesidir. Sadece talebin yoğun olduğu dönemlerde (2. ve 5. dönemde) makine ile yapılan üretime ek olarak, yoğun talebi karşılamak için, elle üretim yapmaktadır. Modelde, işçi maliyeti montaj yapılan kopça seti başına hesaplandığı için, bir kopça seti başına düşen işçilik maliyeti, makine maliyetine kıyasla oldukça düşük kalmaktadır. Örneğin makine maliyetinin 300€ olduğu durumda firmanın 2. dönemde 800 adet kopçanın montajını elle yaptırdığı görülmektedir. Bu dönemde oluşan işçilik giderinin 192€ ($800 \times 0,24$) olduğu görülmektedir. İşçilik gideri yeni bir makine alımından (300€) az olduğu için firma fazla talep olması durumunda, fazla talebi karşılamak için ek bir makine almaktansa, elle üretim yaptırmayı tercih etmektedir.

Makine maliyetlerindeki artış tahmin edilebileceği üzere, firmanın daha az makine satın almayı tercih etmesi ile sonuçlanacaktır. Makine maliyetlerindeki hem %20 hem de %40 oranında artış olursa, firma mevcut durumdakinden farklı olarak 4 adet makine alımı yapacaktır. Buna karşın daha fazla işçi istihdam edilerek, makine

kapasitesinin aşan taleplerin elle yapılması tercih edilecektir. Makine maliyetlerindeki artışın üretim maliyetlerine etkisi Şekil 14'ten da görülebileceği üzere, sırasıyla%0,44 ve %0,85 oranında olacaktır.



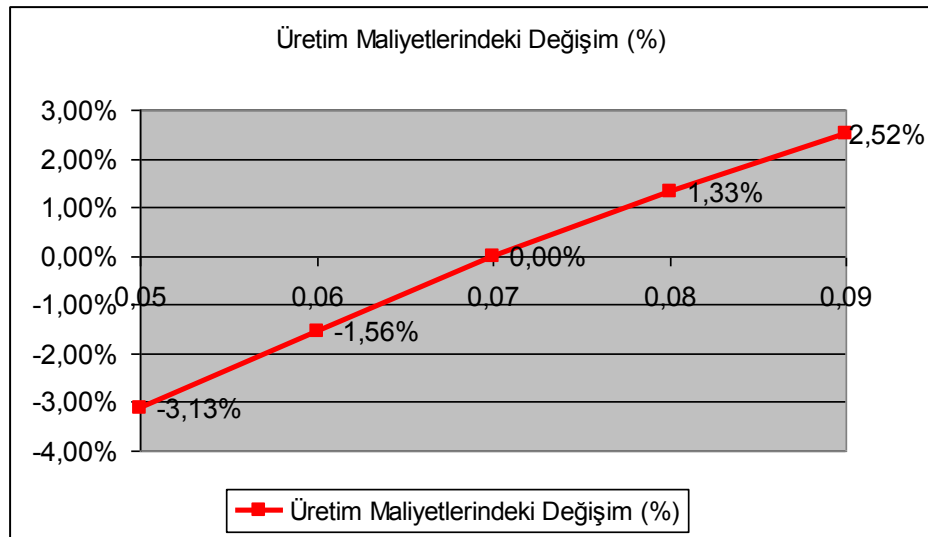
Şekil 14– Makine maliyetindeki değişimin üretim maliyetine etkisi

Üretim maliyetlerini etkileyen son faktör ise, enerji maliyetlerindeki değişimdir. Söz konusu değişimin üretim maliyetlerindeki etkisini görmek için kopça seti başına düşen enerji maliyetinin 0,05; 0,06; 0,08 ve 0,09€ olduğu durumlar incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 20’de özetlenmiştir.

Çizelge 20 – Enerji maliyetindeki değişimin modele etkisi

	Enerji Maliyeti (€)				
	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
X11	25088	25088	25088	25088	19200
X12	0	0	0	0	5888
X21	38400	38400	38400	25600	19200
X22	800	800	800	13600	20000
X31	20384	20384	20384	20384	19200
X32	0	0	0	0	1184
X41	15680	15680	15680	15680	15680
X42	0	0	0	0	0
X51	38400	38400	38400	25600	19200
X52	3936	3936	3936	16736	23136
X61	14112	14112	14112	14112	14112
X62	0	0	0	0	0
Y1	6	6	6	4	3
Z1	7	7	7	8	8
Amaç Fonksiyonu	94228	95749	97269	98558	99720
Amaç Fonksiyonundaki Değişim (%)	-%3,13	-%1,56	%0,00	%1,33	%2,52

Enerji maliyetlerindeki değişimin etkisi makine maliyetlerindeki değişimle benzer özellikler taşımaktadır. Enerji maliyetlerindeki azalmanın makine ile üretimin maliyetini düşürmesine rağmen, bu maliyetin göreceli olarak işçi maliyetinden yüksek olması nedeniyle firmalar yeni bir makine almaktansa mevcut makinelerini azami verimle kullanmayı tercih edecek ve sadece talebin yoğun olduğu dönemlerde (2. ve 5. dönem) elle üretim yapacaktır. Enerji maliyetlerinin artması durumunda ise, firma makine sayısını azaltıcı bir davranış sergileyecektir. Çizelge 20’den de görülebileceği üzere, enerji maliyetinin 0,08 olması durumunda firma 4 makine ile enerji maliyetinin 0,09 olması durumunda da 3 makine ile üretim yapacaktır. Dolayısıyla firma enerji maliyetlerinin artışında kademeli olarak makine sayısını azaltmakta ve elle yapılan üretimi de arttırmaktadır.



Şekil 15 – Enerji maliyetindeki değişimin üretim maliyetine etkisi

Yukarıdaki analizlerden de görülebileceği gibi, talepteki dalgalanmalar ve işçilik, makine ve enerji maliyetlerindeki değişimler üretim maliyetlerini doğrudan etkilemekte ve modelin amaç fonksiyonunu değiştirmektedir. Söz konusu değişikliklerin etkisi yalnızca amaç fonksiyonu ile sınırlı kalmamakta aynı zamanda makine ve elle montaj yapılan kopça seti sayısında da değişiklikler olmaktadır. Söz konusu değişimler yukarıda detaylı bir biçimde incelenmiş ve ilgili parametrelerin tetiklediği değişimlerin nedenleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. KK firmasının bu bölümde incelenen farklı durumlara göre kendi stratejisini şekillendirmesi önerilmiştir.

SONUÇ

Günümüzde imalat sanayinin karşılaştığı en büyük güçlük, Uzakdoğu menşeli firmalar tarafından üretilen ucuz ürünlerin pazarı ele geçirmesidir. Ülkemizdeki firmalar, özellikle de KOBİ'ler bu tehdit karşısında üretim maliyetlerini kontrol altında tutma baskısı ile karşılaşmakta ve daha ucuza üretmek zorunda kalmaktadır. KK firması, bahsedilen zorlu ekonomik şartlar altında hayatta kalmaya çalışan ve çeşitli sanayi ürünleri üreten bir KOBİ'dir.

Bu tez çalışması kapsamında KK firmasının vana ceketi üretim süreci incelenmiş ve firmanın üretim sürecinde karşılaştığı bir problem ele alınmıştır. Firma vana ceketi üretiminin en önemli aşaması olan kopçalama sürecini iyileştirmek istemekte ve yurtdışından satın alacağı bir makine ile bunu gerçekleştirmeyi planlamaktadır. Makine alınmasının firmanın mevcut üretim sürecini nasıl etkileyeceğinin incelenmesi ve üretim maliyetlerinin en aza indirilecek şekilde üretim planının hazırlanması bu tez çalışmasının temel konusudur. Tez kapsamında, firmanın bir yıllık işçilik maliyetleri, makine maliyetleri, alınacak makinenin satın alma maliyeti ve üretilecek yıllık vana miktarı bilgileri esas alınarak firmanın karar verme sürecine bilimsel bir yaklaşımla destek olunması hedeflenmiştir. Bunun için yöneylem araştırmasının sunduğu yöntemlerden yararlanılmış ve söz konusu probleme tamsayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılarak çözüm geliştirilmiştir.

Firma için geliştirilen çözüm öncelikle firmanın mevcut maliyet hesaplama yönteminde değişikliğe gitmesi gerektiğini işaret etmiştir. KK firması hâlihazırda üretim maliyetini hesaplarken işçilerin bir yıllık maliyeti üzerinden hesaplama yapmaktadır. Bir başka deyişle, işçilerin toplam çalışma sürelerine bakılmaksızın, yıllık işçilik maliyetlerinin ürünlere dağıtılarak toplam üretim maliyeti hesaplanmaktadır. Geliştirilen farklı maliyet modellerinin çözümlerinin incelenmesi sonucunda firmaya bu hesaplama yönteminden vazgeçilmesi ve işçi ücretlerinin çalışma sürelerine göre belirlenmesi önerilmiştir. İşçilik maliyetlerin bu yolla hesaplanmasıyla üretim maliyetlerinin daha sağlıklı olacağı firmaya iletilmiştir. Bu durumda oluşacak atıl işçi kapasitelerinin ise, kopçalama süreci dışındaki farklı bir üretim aşamasında değerlendirilebileceği önerilmiştir. Örneğin; işçilerin boş zamanlarında kalıp çıkarma, kesim veya dikim sürecinde görevlendirilmeleri ve bu görevde geçirdikleri sürenin de ilgili adımın

maliyetinin hesaplanmasında kullanılması ile üretim sürecinin maliyetinin daha sağlıklı hesaplanacaktır.

İşçi ücretlerinin çalışılan süre bazında hesaplandığı durumda elde edilen çözüm, alınan siparişleri yetiştirmek için firmanın makine almasının gerekli olduğunu göstermiştir. Modelin çözümüne dayanarak, yıllık 20.000 vana ceketinin üretimi için firmanın 6 adet makine satın alması ve 7 adet işçi çalıştırması önerilmiştir. Bu durumda toplam üretim maliyeti 97.269 € olarak gerçekleşmektedir. Görüldüğü gibi firma üretimde otomasyona geçmekle önemli bir maliyet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca Bölüm 5.6'da bahsedildiği gibi, üretimin 6 makine ve 7 işçi ile yapılması halinde hem makine hem de işçilerin kapasite kullanım oranları da en yüksek düzeyde gerçekleşmektedir. Fakat sonuçlardan da görülebileceği üzere, üretimin tamamının da makine ile yapılmadığı görülmektedir. Talebin yüksek olduğu dönemlerde makine ile üretime ek olarak elle üretim yapılmakta ve makine kapasitesini aşan taleplerde elle üretim yapma seçeneği de değerlendirilmektedir.

Sadece kopçalama makinesi ile üretim yapılması durumunda birim ürün başına daha az maliyet oluşmasına rağmen, makine sayısı en yüksek talebin olduğu dönem dikkate alınarak belirleneceğinden talebin daha az gerçekleştiği diğer dönemlerde oluşan atıl makine kapasitesi nedeniyle firma yüksek satın alma maliyetine maruz kalacaktır. Makinelerin atıl kapasitesinin önlenmesi için, işçilik maliyetleri ile makine satın alma maliyetleri arasında bir denge kurulması gereklidir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen tamsayıli doğrusal programlama yöntemi vasıtasıyla bu denge noktası saptanmıştır. Buna göre, en uygun tercih talebin yüksek olduğu dönemlerde makine kapasitesini aşan miktarın elle üretilmesidir. Böylece üretim sürecini hızlandıracak ve firmaya en fazla maliyet avantajı sağlayacak sayıda makine alımı yapılarak üretimin çoğunun makine ile üretim yapması sağlanacaktır. Talebin yüksek olduğu 2. ve 5. dönemlerde ise makine ile üretime tamamlayıcı olarak, elle üretim yapılması en uygun çözümdür.

Bu çalışma kapsamında, söz konusu probleme çözüm bulunmasının yanı sıra, koşullar değiştiğinde problemin çözümünün nasıl değişeceği konusu da incelenmiştir. Bu bölümde yöneylem araştırmasının önemli bir parçası olan duyarlılık analizi yaklaşımı kullanılmıştır. Bölüm 5.7'de detaylı olarak açıklanan bu incelemede, talepte, işçilik, makine ve enerji maliyetinde yaşanan değişikliklerin, maliyetleri ve firmanın her

bir dönemde elle ve makine ile gerçekleştireceği kopça seti montajını ne ölçüde etkilediği incelenmiştir. Sonuç olarak, taleplerde yaşanan dalgalanmaların, hem makine hem de işçi sayılarının doğrudan etkilediği görülmektedir. Ayrıca farklı talep miktarlarının varlığında, bir dönemde diğer dönemlere kıyasla yüksek bir talebin olması durumunda, makine ile üretimin yanı sıra elle üretim yapılmasının gerekliliği de bir kez daha ortaya çıkmıştır.

İşçilik maliyetlerindeki azalmanın makine alımlarını azalttığı ve üretimin tamamen elle yapılmasını sağladığı görülürken, işçilik maliyetlerindeki artışın makine alımlarını arttırmadığı görülmüştür. Çünkü makine alımı durumunda da her bir makine için işçi çalıştırmak gerekecektir. Dolayısıyla işçi maliyetlerinin artışı doğrudan ürün maliyetlerine yansımaktadır.

Makine ve enerji maliyetlerindeki artış kademeli olarak elle üretim yapılmasını teşvik etmektedir. Fakat bu maliyetlerdeki azalmanın birim ürün başına gerekli olan işçi maliyetinin altına inmemesi durumunda yine elle üretim yapılmaya devam edilecektir.

Tez çalışması kapsamında incelenen problem genel anlamda değerlendirildiğinde, problemin özelliklerinden ve firmanın yapısından kaynaklanan bazı hususların bu süreçte etkin rol oynadığı ve çözümü etkilediği görülmüştür. Öncelikle, en temel husus firmanın bugüne kadar yaptığı maliyet hesaplamalarında daima yıllık maliyetler bazında karar vermesi ve yıllık işçilik giderleri bazında üretim maliyetlerini hesaplamasıdır. Firmanın yaklaşımı ile bu probleme çözüm getirildiğinde yüksek maliyetlerle karşılaşılacaktır. Firmanın bu yaklaşımdan vazgeçerek faaliyet bazlı maliyetlendirmeye geçmesi tavsiye edilmiştir.

Problemin çözümünü etkileyen bir diğer husus alınacak makinelerin çalıştırılması için daima bir işçiye ihtiyaç duyulmasıdır. Söz konusu koşulun sağlanması için modele eklenen bir kısıt ile makine sayısı kadar personel istihdam edilmesi zorunlu tutulmuştur. Bu varsayım olduğunda, personel maliyetleri sabit kalıp makine maliyetleri azalınca firma tamamen makine ile üretime geçememekte ve yine yüksek işçilik giderlerine maruz kalmaktadır. Bunun nedeni her bir makinenin bir işçiye ihtiyaç duymasıdır. Firmanın operatör kontrolü gerektirmeyen otomatik makineler satın alarak, üretim maliyetlerini azaltabilecektir. Bu öneri de firmaya iletilmiştir.

Bu çalışmanın hem KK firmasına, hem ülkemizde benzer koşullarla ve süreçlerle üretim yapan KOBİ'lere hem de yöneylem araştırması alanında çalışan

akademisyenlere önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Öncelikle KK firmasının önemli bir problemine çözüm getirilmiştir. Firmaya ürün maliyetlerinin hesaplaması için yeni bir yöntem önerilmiş ve makine ile üretime geçilmesi durumunda kullanılmak üzere karar verme modeli geliştirilmiştir. Böylece firma makine ile üretim yapması durumunda kolayca uygulayacağı bir karar verme aracına/yöntemine sahip olmuştur.

KK firması özelinde çalışılan bu sorunun Ülkemizdeki birçok KOBİ'nin ortak problemi olduğu aşikârdır. KOBİ'ler üretim süreçlerini geliştirmek ve rekabetçiliğini koruyabilmek için makine altyapılarını güçlendirmek istemektedir. Fakat böyle bir yatırımın kendilerine ne ölçüde fayda sağlayacağını analizini doğru yapamamaları nedeniyle bu düşüncelerini ya hayata geçirememekte ya da yanlış yatırım kararları vermektedirler. Bu tez çalışması sırasında takip edilen yöntemin benzer üretim sürecine sahip KOBİ'lere rahatlıkla uyarlanabileceği düşünülmektedir. Böylece, KOBİ'lerin bilimsel yöntemlerle karar verebilmesinin kolaylaşacağı ve verimliliklerinin de artacağı öngörülmektedir. Bir başka deyişle, KOBİ'lerin uzun vadeli yatırım kararlarının dalsınır yöntemini kullanarak, doğrusal programlama ile modellenmesi Ülkemizdeki KOBİ'lerin kullanacağı özgün bir çalışmadır.

Ayrıca bu tez çalışmasının yöneylem araştırması alanındaki bilgi birikimine katkı sağlayacağı da düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen probleme için kullanılacak en doğru yöntemi belirlemek için, dünyada ve ülkemizde tamsayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılarak çözülmüş benzer problemler araştırılmıştır. Birçok yerli ve yabancı literatür taranılarak yapılan bu çalışmalar sanayi ve hizmet sektörü olarak iki başlık altında toplanmış ve tarihsel sıralamaya da bağlı kalınarak sunulmuştur. Bu zengin literatür taramasının tamsayılı doğrusal programlama konusunda çalışacak akademisyenlere oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir.

Ayrıca, doğrusal programlama yöntemini kullanan optimizasyon yazılımları da detaylı bir incelemeye tabi tutulmuş ve bu yazılımlarını analizi Bölüm 4.4'te sunulmuştur. Böyle bir incelenemenin YA alanında çalışan araştırmacılara önemli katkı sağlayacağına inanılmaktadır. Bu hususlara ek olarak, vana ceketi üretimi yapan bir işletmenin güncel bir probleminin, gerçek veriler kullanılarak modellenmesi ve firmanın problemine çözüm getirilmesi yöneylem araştırması alanındaki yöntemlerin ne kadar kullanışlı olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, yöneylem araştırması alanında

alışmalar yapan akademisyenlere farklı bir alanda mevcut tekniklerin gerçek bir problem üzerinde nasıl uygulandığı konusunda fikir verecektir ve ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

- Alabaş, Ç. ve Dengiz, B., “Yerel Arama Yöntemlerinde Yöre Yapısı: Araç Rotalama Problemine Bir Uygulama”, **YA/EM’2004-Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXIV. Ulusal Kongresi**, 15-18 Haziran 2004, Gaziantep-Adana
- Antunes, C.H., Martins, A.G. ve Brito, I.S., “A Multiple Objective Mixed Integer Linear Programming Model for Power Generation Expansion Planning”, **Energy**, Sayı:29, Sayfa:613-627, 2004.
- AOA Solver Information, www.aimms.com/aimms/product/solvers/aimms_oa.html, son erişim: Mayıs 2007
- Atamtürk, A., ve Savelsbergh M., “Integer-Programming Software Systems”, **Annals of Operations Research**, Sayı. 140, ss. 67-124, 2005
- Bakır, M. A., Altunkaynak, B., **Tamsayılı Programlama Teorisi, Modeller ve Algoritmalar**, Nobel Yayınevi, Ankara, 2003.
- Baron Solver Information, www.aimms.com/aimms/product/solvers/baron.html, son erişim: Mayıs 2007
- Bazaraa A., Passy B., and Helgeson V.R., **Annals of Operation Research, Springer Published**, Netherlend, 1989, p.442.
- Beale, E.M.L. ve Tomlin J.A., “Special Facilities in a General Mathematical Programming System for Non-Convex Problems Using Ordered Sets of Variables”, **Fifth Int. Conf. Oper. Res. (J. Lawrence, ed.)** Tavistock Publications, London, Sayfa:447-454 1970.
- Becker R.W. ve Lago G.V., “A Global Optimization Algorithm”, **Proc. 8th Allerton Conf. Ciccuits Systems Theory** (Monticello, Illinois), Sayfa:3-12, 1970.
- Behjat L., Vannelli A., Rosehart W., “Integer Linear Programming Models for Global Routing”, **INFORMS Journal of Computing**, Sayı 18, No 2, ss. 137-150, 2006
- Bertsimas, D., Darnell, C. and Soucy, R., “Portfolio construction through mixedinteger programming at Grantham, Mayo, Van Otterloo and Company.”, **INTERFACES**, Vol.29, pp. 49-66, 1999
- Binay S., Aygüneş H., Çetin A., Oral H., Güneri A. F., Dalgıç N., **”Yöneylem Araştırması”**, Kâra Harp Okulu Basımevi, Ankara, 2001.

- Blake J., Donald J.,; “Mount Sinai Hospital Uses Integer Programming to Allocate Operating Room Time ”, *INTERFACES* Vol. 32, pp. 63-73, 2002
- Camarena E.A, Gracia C., Sixto C., “A Mixed Integer Linear Programming Machinery Selection Model for Multifarm Systems”, *Biosystem Engineering*, Vol.87, 2004
- Calosso, T., Cantamessa, M., Vu, D. ve Villa, A., “Production Planning and Order Acceptance in Business to Business Electronic Commerce”, *Int. J. Production Economics*, Sayı:85, Sayfa:233-249, 2003.
- Camarena, E.A., Gracia, C., ve Sixto C. “A Mixed Integer Linear Programming Machinery Selection Model for Multifarm Systems”, *Biosystems Engineering*, Sayı:87, Sayfa:145-154, 2004.
- Chmielewski, D.J. ve Agrawal, T. “On the Scheduling of Leak Detection Personnel”, *Computers and Chemical Engineering*, Sayı:28, Sayfa:417-424, 2004.
- Cisternas, L.A., Galvez, E.D., Zavala, M.F. ve Magna, J., “A MILP Model for the Design of Mineral Flotation Circuits”, *Int. J. Miner. Process*, 2004.
- Clarence H. M., “Ohio University’s College of Business Uses Integer Programming to Schedule Classes” *INFORMS*, Vol. 34, No. 6, November–December 2004, pp. 460-465
- Coello, C.A., “Evolutuionary Multiobjective Optimization: Past, Present and Future”, *CINVESTAV-IPN, Depto. De Ingenieria Electrica*, Mexico.
- Conopt Solver Information, www.aimms.com/aimms/product/solvers/conopt.html, son erişim: Mayıs 2007
- Croucher, S.J., “**Operations Research a First Course**” Pergamon Press, New York, 1980.
- Çevik, O., “Tamsayılı Doğrusal Programlama İle İşgücü Planlaması ve Bir Uygulama”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, Cilt VIII, Sayı 1, ss. 157-171, 2006
- Dalgıç, N., “**Akış Tipi Atölyelerde Kafile Aktarma ve Çizelgelemesi**”, Yöneylem Araştırması Merkezi, Kâra Harp Okulu, Ankâra.
- Dantzig, G.B., Fulkerson, D.R. ve Johnson, S.M., “Solution of a Large Scale Traveling Salesman Problem”, *Operations Research*, 1954.

- Dantzig, G.B., “On The Significance of Solving Linear Programming Problems with Some Integer Variables”, **Econometrica**, Sayı:28, Sayfa:30-44, 1960.
- Dantzig, G.B., Johnson, S. ve White, W., “A Linear Programming Approach to the Chemical Equilibrium Problem”, **Management Science** Sayı:5, Sayfa:38-43, 1958.
- Daskalaki, S., Birbas, T. ve Housos, E., “An Integer Programming Formulation for a Case Study in University Timetabling”, **European Journal of Operational Research**, Sayı:153, Sayfa:117-135, 2004.
- Dell, R. F., “Optimizing Army Base Realignment and Closure”, **INTERFACES** Vol.28, pp.1-18, 1998.
- Doğan, İ., “**Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları**”, Bilim Teknik Yayınevi, 1995.
- Doğanlı, B., “Tamsayılı Programlama Yönteminin Sermaye Bütçelemesi Konusuna Uygulanması ve Bir tekstil İşletmesine Uygulanması”
- Edwards, D.J., Malekzadeh, H., ve Yisa, B.S, “A Linear Programming Decision Tool for Selecting the Optimum Excavator”, **Structural Survey**, Sayı:19, Sayfa:113-120, 2001.
- Erdoğan, Ş., Koç, E. ve Koç, İ.O., “0-1 Tamsayılı Hedef Programlama ve Diyet Problemine Uygulanması”, **Osmangazi Üniversitesi**, Eskişehir.
- Ergülen, A. ve Gürbüz, E., “İnşaat ve Enerji Sektöründe Beton Direk Üretimi Planlamasına Örnek Bir Model Önerisi: Tamsayılı Doğrusal Programlama”, **Yönetim ve Ekonomi**, Cilt 13, Sayı 1, ss. 1-15, 2006.
- Ergülen A., ve Kazan H., “Taşımacılık Sektörünün İşeış Süreci, Bulanık Dağıtım Probleminin Tamsayılı Doğrusal Programlama Model Denemesi”, **ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi**, Cilt 3, Sayı 6, ss. 109-125, 2007
- Falk, J.E. ve Soland R.M., “An Algorithm for Separable Nonconvex Programming”, **Management Science**, Sayı: 15, sayfa: 550-569, 1969.
- The GAMS System, www.gams.com/docs/intro.htm, son erişim: Mayıs 2007
- Gass, S. I., “**Linear Programming**”, Mc Graw-Hill Company, New York, USA, 1975.
- Gençbilim, “Doğrusal Programlama ve Simpleks Yöntem”, <http://www.gençbilim.com>, son erişim tarihi: Aralık 2006.

- Gnoni, M.G., Iavagnilio, R., Mossa, G., Mummolo, G. ve Di Leva, A., "Production Planning of a Multi-site Manufacturing System by Hybrid Modelling : A Case Study from the Automotive Industry", **Int. J. Production Economics**, Sayı:85, pages 251-262, 2003.
- Goldberg, D.E., "**Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
- Grefenstette, J.J., "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms", **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, Sayı: Smc-16, No.1, Sayfa:122-128, 1986.
- Gül, M.L. ve Eevli, S., "Tamsayılı Doğrusal Programlama ile Bir Çimento Fabrikasının Nakliye Probleminin Çözümü", **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 22(1-2),229-241, 2006.
- Güngör, İ., "Tamsayılı Doğrusal Programlama Yaklaşımı ile Sınav Planlaması", **S.Demirel Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**, Sayı:3, Sayfa:105-112, 1998.
- Halaç, O., "Kantitatif Kârar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)", **İstanbul Üniversitesi Yayınları**, No:2501, İstanbul, 1978.
- Han, S. P., "A Globally Convergent Method for Nonlinear Programming." **Journal of Optimization Theory and Applications**, Sayı: 22, 1977.
- Harris, R. B., "**Precedence and Arrow Networking Techniques for Construction**" John Wiley & Sons, Inc, New York, N.Y.,1978.
- Hasse K., Scheel H., Sebastian D., "Hörsaalmanagement. Modell, Verfahren und Internetanwendung zur effizienten Vorlesungsplanerstellung", **Wirtschaftsinformatik**, Cilt 46, Sayı 2, ss.87-95, 2004.
- Herskovits, J., "A Two-Stage Feasible Directions Algorithm for Non-Linear Constrained Optimization", **Research Report**, No.103, INRIA, Cedex, France, 1982.
- Herskovits, J., "A Two-Stage Feasible Directions Algorithm for Non-Linear Constrained Optimization", **Research Report**, No.118, INRIA, Cedex, France, 1982.
- Heuvel, J. ve Brightwell, G., "Optimisation Theory", **London School of Economics**, 2004.

- Holland, J., “Genetic Algorithms and the Optimal Allocation of Trials”, **SIAM J. Computing**, Sayı:2, Sayfa:88-105, 1973.
- Jamshidian, Mortaza and Bentler, P.M., “A Modified Newton Method for Constrained Estimation in Covariance Structure Analysis.” **Computational Statistics & Data Analysis**, Sayı:15, 1993.
- Kahan, W., “A More Complete Interval Arithmetic”, **Lecture notes for an engineering summer course in numerical analysis**, University of Michigan, 1968.
- Kahvecioğlu, A., “Onarılabilir Elemanlara Önleyici Bakımın Etkisi ve Eniyilemesi”, **Mühendis ve Makine Dergisi**, Sayı: 531, 2004.
- Kara, İ., “Yöneylem Araştırması-Doğrusal Olmayan Modeller”, **Anadolu Üniversitesi Yayınları**, No:139, Eskişehir, 1986.
- Karim, A., “Nonlinear Optimization Theory and Practice”, **2nd International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology Control and Simulation**, ss. 2-3, 2003.
- Kaufman D.E., Nonis J., ve Smith R.L. “**A Mixed Integer Linear Programming Model for Dynamic Route Guidance**”, University of Michigan, 1997.
- Kaymazlı, T., “0-1 Tamsayılı Programlama ile Askeri Tesislerin Yer/Proje Seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, 2001.
- Keçek G., “Bir Dişli Fabrikasında Tamsayılı Hedef Programlama”,
Knitro, www.ziena.com/knitro.htm, son erişim: Mayıs 2007
----- Solver Information, www.aimms.com/aimms/product/solvers/knitro.html, son erişim: Mayıs 2007
- Koenraad M.R. Audenaert NGO, “**Quantum Theory and Global Optimisation**”, University of Wales, Bangor, 2004.
- Krawczyk, R., “Newton-Algorithmen zur Bestimmung von Nullstellen mit Fehlerschranken”, **Computing**, Sayı:4, Sayfa:187-201, 1969.
- Land, A.H. ve Doig, A.G., “An Automated Method for Solving Discrete Programming Problems”, **Econometrica**, Sayı:28, Sayfa:497-520, 1960.
- Laporte G. ve Semet F., “An Optimality Cut for Mixed Integer Linear Programs”, **European Journal of Operational Research**, Sayı:119, Sayfa:671-677, 1999.

- Lasschuit, W. ve Thijssen, N., “Supporting Supply Chain Planning and Scheduling Decisions in the Oil and Chemical Industry”, **Computers and Chemical Engineering**, Sayı:28, Sayfa:863-870, 2004.
- Lawler, E.L. ve D.E. Wood, “Branch and Bound Methods: A Survey” **Operations Research**, 1966.
- Lewis, R.M. ve Torczon, V., “A Globally Convergent Augmented Lagrangian Pattern Search Algorithm for Optimization with General Constraints and Simple Bounds”, **Institute for Computer Applications in Science and Engineering NASA Langley Research Center**, Hampton, USA, 1998.
- Li Y., ve Huang G., “Dynamic analysis for solid waste management systems: an inexact multistage integer programming approach”, **Journal of Air and Waste Management Association**, Sayı 59, ss. 279-282, 2009
- Lin, X., Janak S.L., ve Floudas C.A., “A New Robust Optimization Approach for Scheduling Under Uncertainty: I. Bounded Uncertainty”, **Computers and Chemical Engineering**, Sayı:28, Sayfa:1069-1085, 2004.
- Little, J.D., Murty, K.C., Sweeney, D.W. ve Kârel, C., “An Algorithm for the Travelling Salesman Problem”, **Operations Research**, Sayı:11, Sayfa:972-989, 1963.
- Magatao, L., Arruda, L.V.R., Neves, F. Jr., “A Mixed Integer Programming Approach for Scheduling Commodities in a Pipeline”, **Computers and Chemical Engineering**, Sayı:28, Sayfa:171-185, 2004.
- Manne, A. S., “**Scheduling of Petroleum Operations**” Harvard University Press, Cambridge, M.A., 1956.
- Maratos N., Exact Penalty Function Algorithms for Finite Dimensional Optimization Problems, Ph.D. Thesis, **Imperial College of Science and Technology**, London, 1978.
- Markowitz, H.M. ve Manne, A.S., “On The Solution of Discrete Programming Problems”, **Econometrica**, Sayı: 25, Sayfa:84-110, 1957.
- Maruhn, J. H., “**An Augmented Lagrangian Algorithm for Optimization with Equality Constraints in Hilbert Spaces**”, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, 2001.

- Mattila, K.G., ve Abraham, D.M., “Resource Leveling of Linear Schedules Using Integer Linear Programming”, **Journal of Construction Engineering and Management**, Sayı: May/June Sayfa:232-244, 1998.
- Mayne, D. Q. ve Polak, E., “Feasible Directions Algorithms for Optimization Problems with Equality and Inequality Constraints”, **Mathematical Programming**, Sayı:11, 1976.
- McCarl A. B., ve Spreen T. H., “**Operations Research**”, Academia Press, Washington, 1997.
- McClay L. A., Jacobson H. S., Kobza J. E., “Integer programming models and analysis for a multilevel passenger screening problem”, **TTE Transactions**, Sayı. 239, ss. 73-81, 2007.
- McCormick, G.P., “Converting General Nonlinear Programming Problems to Separable Nonlinear Programming Problems”, **Technical Report T-267**, George Washington University, Washington, DC, 1972.
- Mendes, M., Mikhailov, M.D., ve Qassim, R.Y., “A Mixed-Integer Linear Programming Model for Part Mix, Tool Allocation, and Process Plan Selection in CNC Machining Centres”, **Int. J. of Machine Tools & Manufacture**, Sayı:43, Sayfa:1179-1184, 2003.
- Minos Solver Information, www.aimms.com/aimms/product/solvers/minos.html, son erişim: Mayıs 2007.
- Moore, R.E., “Interval Arithmetic and Automatic Error Analysis in Digital Computing”, PhD thesis, **Appl. Math. Statist. Lab. Rep. 25**, Stanford University, Stanford, CA, 1962.
- Motzkin, T.S. ve Strauss, E.G., “Maxima for Graphs and A New Proof of A Theorem of Turan”, **Canad. Journal of Mathematics**, Sayı:17, Sayfa:533-540, 1965.
- Onoyama T., Kubota S., Maekawa T., ve Komoda N., “High-Speed Planning Method for Cooperative Logistics Network Using Mixed Integer Programming Model and Dummy Load”, **Electrical Engineering in Japan**, Sayı 164, No.2 ss. 31-36, 2008
- Ogryczak, W., Zorychta, K., “**Modular Optimizer for Mixed Integer Programming MOMIP Version 2.3**”, *Laxenburg*,1996.

- Özkan, Ş., **Yöneylem Araştırması**, Atatürk Ün. İ.İ.B.F., Z.F. Fındıkoğlu Araştırma Merkezi Yayınları, Yayın No:210, Erzurum, 1998.
- Öztürk, A., **“Yöneylem Araştırması”**, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa, 1994 Basımı.
-, **“Yöneylem Araştırması”**, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa, 2002.
- Panier, E.R. ve Tits A.L., “A Superlinearly Convergent Algorithm for Constrained Optimization Problems”, **Journal of Control and Optimization**, Sayı:25, 1987.
-, E.R., Tits A.L. ve Herskovits J., “Globally Convergent, Locally Superlinearly Convergent Algorithm for Inequality Constrained Optimization”, **Journal of Control and Optimization**, Sayı:26, 1988.
- Path Solver Information, www.aimms.com/aimms/product/solvers/path.html, son erişim: Mayıs 2007
- Piyavskii, S.A., “An Algorithm for Finding the Absolute Extremum of a Function”, **Computational Mathematics and Math. Physics**, Sayı:12, Sayfa:57-67, 1972.
- Powell M.J.D., “Variable Metric Methods for Constrained Optimization”, **Mathematical Programming**, Berlin, 1983.
- Ralphs T., “Discrete Optimization”, <http://www.leigh.edu/~tkr2>, son erişim tarihi: Nisan 2005
- Reddy, P.C.P., Karimi I.A. ve Srinivasan, R., “A New Continuous-Time Formulation for Scheduling Crude Oil Operations”, **Chemical Engineering Science** Sayı:59, Sayfa:1325-1341, 2004.
- Samaddar, S., Rabinowitz, G., ve Zhang, G.P., “An Experimental Analysis of Solution Performance in a Resource Sharing and Scheduling Problem”, **European Journal of Operational Research**, 2004.
- Sanjeeb, D., **“IBM Research Report, Exponential Lower Bounds on the Lengths of Some Classes of Branch-and- Cut Proofs”**, Newyork, 2002
- Schimmelpfeng K., ve Helber S., “Application of a real-world university-course timetabling model solved by integer programing”, **OR Spectrum**, Sayı 29, ss. 783-803, 2007
- Schoenberg, R., **“Constrained Optimization”**, Aptech Systems, Maple Valley, USA 2001.

- Sinha, G.P., Chandrasekaran, B.S., Mitter, N., Dutta, G., Singh, S. B., Choudhury, A. R., and Roy, P. N., Strategic and operational management with optimization at Tata Steel, **INTERFACES**, Vol.25, pp. 6-9, 1995
- Skelboe, S., "Computation of Rational Interval Functions", **BIT** 14, Sayfa:87-95, 1974
- SNOPT Solver Information, www.aimms.com/aimms/product/solvers/snopt.html, son erişim: Mayıs 2007
- Strauss, A.B., "Applying Integer Programming Techniques to Find Minimum Integer Weights of Voting Games", Master Thesis, **Massachusetts Institute of Technology**, 2003.
- Symonds, G.H., "Linear Programming: The Solution of Refinery Problems." **Esso Standard Oil Company**, New York, 1955.
- Şahin, S., "Tamsayılı Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Üretim Yönetimi Anabilim Dalı**, İstanbul, 1994.
- Taha, H.A., "Yöneylem Araştırması", 6. Basım'dan Çeviri, Literatür Yayıncılık, 2000.
-, "Operations Research - An Introduction" Mc Millan Pub.Co.Inc., New York, 1971.
- Talaş, E., "Tamsayılı Programlama Modeli ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, **Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, 1998.
- Tansöker, S., "Esnek İmalat Sistemlerinde Hücre Oluşturma Problemine 0-1 Tamsayılı Programlama İle Modelleme Yaklaşımı," Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, 1997.
- Tomlin, J.A., "Branch and Bound Methods for Integer and Non-Convex Programming", Sayfa:437-450 in: **Integer and Nonlinear Programming (J. Abadie, ed.)**, American Elsevier Publishing Company, New York, 1970.
- Teyyar T. , İ., "Tamsayılı Programlama ve Lastik Sanayii Üzerine Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, **Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, 1996.
- Topçu, İ., "Yöneylem Araştırmasının Temelleri Ders Notları", www.ilkertopcu.net, son erişim tarihi: Eylül 2005.
- Tulunay, Y., "Matematiksel Programlama ve İşletme Uygulamaları", **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları**, No:108, İstanbul, 1980.

- Varsın, M., “Uzaktan Eğitim Dershaneleri Seçiminin Tamsayılı Programlama Kullanılarak Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, 2003.
- Xpress-MP Release 13, www.uytes.com.tr/gorselsayisal/xpressmp.html, son erişim: Mayıs 2007.
- Weintraub A. P., “Integer Programming in Forestry”, **Ann Operational Research Sayı**, 149, ss. 209-216, 2007.
- Winston, W. L. “**Operations Research**”, Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, 1994.
- Yılmaz, E., ve Öztürk, F. “Makine Tasarım Eniyileme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözümü”, **International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks (TAINN)**, 2003.
- Yılmaz, Z., “Sayısal Yöntemler”, **Uludağ Üniversitesi Basımevi**, 1988.

EKLER**Ek-1 – Talep Dağılımı**

Tip	Talep Dağılımı
DN 15	18%
DN 20	15%
DN 25	13%
DN 32	4%
DN 40	11%
DN 50	18%
DN 65	7%
DN 80	5%
DN 100	4%
DN 125	2%
DN 150	2%
DN 200	1%

Ek-2 – Vana Ceketı Başına Düşen Kopça Seti

Tip	Vana Ceketı Başına Düşen Kopça Seti (Adet)
DN 15	6
DN 20	6
DN 25	6
DN 32	8
DN 40	8
DN 50	8
DN 65	10
DN 80	12
DN 100	12
DN 125	12
DN 150	14
DN 200	14

Ek-3 – Her dönem için gerekli kopça sayısı

TİP		DN 15	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200	
Talep Dağılımı		18%	15%	13%	4 %	11%	18%	7 %	5 %	4 %	2 %	2 %	1 %	
Dönem	Kopça Adedi Vana Adedi	6	6	6	8	8	8	10	12	12	12	14	14	Her dönemde gerekli Kopça Sayısı (Adet)
1	3.200	576	480	416	128	352	576	224	160	128	64	64	32	25.088
2	5.000	900	750	650	200	550	900	350	250	200	100	100	50	39.200
3	2.600	468	390	338	104	286	468	182	130	104	52	52	26	20.384

4	2.000	360	300	260	80	220	360	140	100	80	40	40	20	15.680
5	5.400	972	810	702	216	594	972	378	270	216	108	108	54	42.336
6	1.800	324	270	234	72	198	324	126	90	72	36	36	18	14.112
Toplam	20.000	3.600	3.000	2.600	800	2.200	3.600	1.400	1.000	800	400	400	200	156.800

Ek-4

Model 1'in WinQSB Programındaki Girdisi

LP	MatrixFormat	Model-1	14	19															
Variable -->	X11	X12	X21	X22	X31	X32	X41	X42	X51	X52	X61	X62	Y	Z				R. H. S.	
Minimize	0.42	0.4	0.42	0.4	0.42	0.4	0.42	0.4	0.42	0.4	0.42	0.4	500	6857					
C1	1	1																=	25088
C2			1	1														=	39200
C3					1	1												=	20384
C4							1	1										=	15680
C5									1	1								=	42336
C6											1	1						=	14112
C7	3	4																-19200<=	0
C8			3	4														-19200<=	0
C9					3	4												-19200<=	0
C10								3	4									-19200<=	0
C11										3	4							-19200<=	0
C12												3	4					-19200<=	0
C13		3																-19200	<= 0
C14				3														-19200	<= 0
C15						3												-19200	<= 0
C16								3										-19200	<= 0
C17										3								-19200	<= 0
C18												3						-19200	<= 0
C19														1	-1			<=	0
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M				
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer				

Model 1'in TORA Programındaki Girdisi

TORA Optimization System - Version 2.0, Oct 1996

Copyright (c) 1989-96 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved.

Date: Sat May 30 11:10:18 2009

Title: Model1

	x11 x1	x12 x2	x21 x3	x22 x4	x31 x5	x32 x6	x41 x7
min	0.37	0.4	0.37	0.4	0.37	0.4	0.42
Constraint 1:	1	1	0	0	0	0	0
Constraint 2:	0	0	1	1	0	0	0
Constraint 3:	0	0	0	0	1	1	0
Constraint 4:	0	0	0	0	0	0	1
Constraint 5:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 6:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 7:	3	4	0	0	0	0	0
Constraint 8:	0	0	3	4	0	0	0
Constraint 9:	0	0	0	0	3	4	0
Constraint10:	0	0	0	0	0	0	3
Constraint11:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint12:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint13:	3	0	0	0	0	0	0
Constraint14:	0	0	3	0	0	0	0
Constraint15:	0	0	0	0	3	0	0
Constraint16:	0	0	0	0	0	0	3
Constraint17:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint18:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint19:	0	0	0	0	0	0	0

	x42 x8	x51 x9	x52 x10	x61 x11	x62 x12	y1 x13	z1 x14
min	0.4	0.42	0.4	0.42	0.4	500	6857
Constraint 1:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 2:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 3:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 4:	1	0	0	0	0	0	0
Constraint 5:	0	1	1	0	0	0	0
Constraint 6:	0	0	0	1	1	0	0
Constraint 7:	0	0	0	0	0	0	-19200
Constraint 8:	0	0	0	0	0	0	-19200
Constraint 9:	0	0	0	0	0	0	-19200
Constraint10:	4	0	0	0	0	0	-19200
Constraint11:	0	3	4	0	0	0	-19200
Constraint12:	0	0	0	3	4	0	-19200
Constraint13:	0	0	0	0	0	-19200	0
Constraint14:	0	0	0	0	0	-19200	0
Constraint15:	0	0	0	0	0	-19200	0
Constraint16:	0	0	0	0	0	-19200	0
Constraint17:	0	3	0	0	0	-19200	0
Constraint18:	0	0	0	3	0	-19200	0
Constraint19:	0	0	0	0	0	1	-1

	RHS
min	
Constraint 1:	= 25088
Constraint 2:	= 39200
Constraint 3:	= 20384
Constraint 4:	= 15680
Constraint 5:	= 42336
Constraint 6:	= 14112
Constraint 7:	<= 0
Constraint 8:	<= 0
Constraint 9:	<= 0
Constraint10:	<= 0
Constraint11:	<= 0
Constraint12:	<= 0
Constraint13:	<= 0
Constraint14:	<= 0
Constraint15:	<= 0
Constraint16:	<= 0
Constraint17:	<= 0
Constraint18:	<= 0
Constraint19:	<= 0

Ek-5

Model 2'in WinQSB Programındaki Girdisi

LP	Matrix	Format	Model-2	14	19												
Variable -->	X11	X12	X21	X22	X31	X32	X41	X42	X51	X52	X61	X62	Y	Z			R. H. S.
Minimize	0.60	0.64	0.60	0.64	0.60	0.64	0.60	0.64	0.60	0.64	0.60	0.64	500				
C1	1	1													=		25088
C2			1	1											=		39200
C3					1	1									=		20384
C4							1	1							=		15680
C5									1	1					=		42336
C6											1	1			=		14112
C7	3	4													-19200<=	0	
C8			3	4											-19200<=	0	
C9					3	4									-19200<=	0	
C10							3	4							-19200<=	0	
C11									3	4					-19200<=	0	
C12											3	4			-19200<=	0	
C13	3														-19200	<=	0
C14			3												-19200	<=	0
C15					3										-19200	<=	0
C16							3								-19200	<=	0
C17									3						-19200	<=	0
C18											3				-19200	<=	0
C19													1	-1	<=	0	
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M			
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Model 2'in WinQSB Programındaki Girdisi

TORA Optimization System - Version 2.0, Oct 1996
 Copyright (c) 1989-96 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved.
 Date: Sat May 30 11:30:26 2009

Title: Model2

	x11 x1	x12 x2	x21 x3	x22 x4	x31 x5	x32 x6	x41 x7
min	0.60	0.64	0.60	0.64	0.60	0.64	0.60
Constraint 1:	1	1	0	0	0	0	0
Constraint 2:	0	0	1	1	0	0	0
Constraint 3:	0	0	0	0	1	1	0
Constraint 4:	0	0	0	0	0	0	1
Constraint 5:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 6:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 7:	3	4	0	0	0	0	0
Constraint 8:	0	0	3	4	0	0	0
Constraint 9:	0	0	0	0	3	4	0
Constraint10:	0	0	0	0	0	0	3
Constraint11:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint12:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint13:	3	0	0	0	0	0	0
Constraint14:	0	0	3	0	0	0	0
Constraint15:	0	0	0	0	3	0	0
Constraint16:	0	0	0	0	0	0	3
Constraint17:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint18:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint19:	0	0	0	0	0	0	0

	x42 x8	x51 x9	x52 x10	x61 x11	x62 x12	y1 x13	z1 x14
min	0.64	0.60	0.64	0.60	0.64	500	0
Constraint 1:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 2:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 3:	0	0	0	0	0	0	0
Constraint 4:	1	0	0	0	0	0	0
Constraint 5:	0	1	1	0	0	0	0
Constraint 6:	0	0	0	1	1	0	0
Constraint 7:	0	0	0	0	0	0	-19200
Constraint 8:	0	0	0	0	0	0	-19200
Constraint 9:	0	0	0	0	0	0	-19200
Constraint10:	4	0	0	0	0	0	-19200
Constraint11:	0	3	4	0	0	0	-19200
Constraint12:	0	0	0	3	4	0	-19200
Constraint13:	0	0	0	0	0	-19200	0
Constraint14:	0	0	0	0	0	-19200	0
Constraint15:	0	0	0	0	0	-19200	0
Constraint16:	0	0	0	0	0	-19200	0
Constraint17:	0	3	0	0	0	-19200	0
Constraint18:	0	0	0	3	0	-19200	0
Constraint19:	0	0	0	0	0	1	-1

	RHS
min	
Constraint 1:	= 25088
Constraint 2:	= 39200
Constraint 3:	= 20384
Constraint 4:	= 15680
Constraint 5:	= 42336
Constraint 6:	= 14112
Constraint 7:	<= 0
Constraint 8:	<= 0
Constraint 9:	<= 0
Constraint10:	<= 0
Constraint11:	<= 0
Constraint12:	<= 0
Constraint13:	<= 0
Constraint14:	<= 0
Constraint15:	<= 0
Constraint16:	<= 0
Constraint17:	<= 0
Constraint18:	<= 0
Constraint19:	<= 0

Ek-6**Model 1'in WinQSB Programındaki Çıktısı**

Combined Report for Model-1

12:06:40 Saturday May 30 2009

		Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
1	X11	0	0,4200	0	0,0200	at bound	
2	X12	25.088,0000	0,4000	10.035,2000	0	basic	
3	X21	22.400,0000	0,4200	9.408,0000	0	basic	
4	X22	16.800,0000	0,4000	6.720,0000	0	basic	
5	X31	0	0,4200	0	0,0200	at bound	
6	X32	20.384,0000	0,4000	8.153,6000	0	basic	
7	X41	0	0,4200	0	0,0200	at bound	
8	X42	15.680,0000	0,4000	6.272,0000	0	basic	
9	X51	34.944,0000	0,4200	14.676,4800	0	basic	
10	X52	7.392,0000	0,4000	2.956,8000	0	basic	
11	X61	0	0,4200	0	0,0200	at bound	
12	X62	14.112,0000	0,4000	5.644,8000	0	basic	
13	Y	6,0000	500,0000	3.000,0000	500,0000	at bound	
14	Z	7,0000	6.857,0000	47.999,0000	6.089,0010	at bound	

Objective Function (Min.) = 114.865,9000

		Left Hand Side		Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price
1	C1	25.088,0000	=	25.088,0000	0	0,4000
2	C2	39.200,0000	=	39.200,0000	0	0,4800
3	C3	20.384,0000	=	20.384,0000	0	0,4000
4	C4	15.680,0000	=	15.680,0000	0	0,4000
5	C5	42.336,0000	=	42.336,0000	0	0,4800
6	C6	14.112,0000	=	14.112,0000	0	0,4000
7	C7	-34.048,0000	<=	0	34.048,0000	0
8	C8	0	<=	0	0	-0,0200
9	C9	-52.864,0000	<=	0	52.864,0000	0
10	C10	-71.680,0000	<=	0	71.680,0000	0
11	C11	0	<=	0	0	-0,0200
12	C12	-77.952,0000	<=	0	77.952,0000	0
13	C13	-115.200,0000	<=	0	115.200,0000	0
14	C14	-48.000,0000	<=	0	48.000,0000	0
15	C15	-115.200,0000	<=	0	115.200,0000	0
16	C16	-115.200,0000	<=	0	115.200,0000	0
17	C17	-10.368,0000	<=	0	10.368,0000	0
18	C18	-115.200,0000	<=	0	115.200,0000	0
19	C19	-1,0000	<=	0	1,0000	0

Model 1'in TORA Programındaki Çıktısı

TORA Optimization System - Version 2.0, Oct 1996
 Copyright (c) 1989-96 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved.
 Date: Sat May 30 12:26:23 2009

Title: hgoren

Current solution found at node: 14
 Nbr of nodes so far examined: 283

*** CURRENT BEST INTEGER SOLUTION ***

Objective value (min) = 115661.57812

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x11	0.0000	0.4200	0.0000
x12	25088.0000	0.4000	10035.2002
x21	29793.0000	0.4200	12513.0596
x22	9407.0000	0.4000	3762.8000
x31	0.0000	0.4200	0.0000
x32	20384.0000	0.4000	8153.6001
x41	0.0000	0.4200	0.0000
x42	15680.0000	0.4000	6272.0000
x51	42336.0000	0.4200	17781.1191
x52	0.0000	0.4000	0.0000
x61	0.0000	0.4200	0.0000
x62	14112.0000	0.4000	5644.8003
y1	7.0000	500.0000	3500.0000
z1	7.0000	6857.0000	47999.0000

Constraint	RHS	Slack(-)/Surplus(+)
1 (=)	25088.0000	0.0000
2 (=)	39200.0000	0.0000
3 (=)	20384.0000	0.0000
4 (=)	15680.0000	0.0000
5 (=)	42336.0000	0.0000
6 (=)	14112.0000	0.0000
7 (<)	0.0000	34048.0000-
8 (<)	0.0000	7393.0000-
9 (<)	0.0000	52864.0000-
10 (<)	0.0000	71680.0000-
11 (<)	0.0000	7392.0000-
12 (<)	0.0000	77952.0000-
13 (<)	0.0000	134400.0000-
14 (<)	0.0000	45021.0000-
15 (<)	0.0000	134400.0000-
16 (<)	0.0000	134400.0000-
17 (<)	0.0000	7392.0000-
18 (<)	0.0000	134400.0000-
19 (<)	0.0000	0.0000-

Ek-7

Model 2'in WinQSB Programındaki Çıktısı

Combined Report for Model 2

12:51:46 Saturday May 30 2009

		Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
1	X11	25.088,0000	0,6000	15.052,8000	0	basic	
2	X12	0	0,6400	0	0,0400	at bound	
3	X21	38.400,0000	0,6000	23.040,0000	0	basic	
4	X22	800,0000	0,6400	512,0000	0	basic	
5	X31	20.384,0000	0,6000	12.230,4000	0	basic	
6	X32	0	0,6400	0	0,0400	at bound	
7	X41	15.680,0000	0,6000	9.408,0000	0	basic	
8	X42	0	0,6400	0	0,0400	at bound	
9	X51	38.400,0000	0,6000	23.040,0000	0	basic	
10	X52	3.936,0000	0,6400	2.519,0400	0	basic	
11	X61	14.112,0000	0,6000	8.467,2000	0	basic	
12	X62	0	0,6400	0	0,0400	at bound	
13	Y	6,0000	500,0000	3.000,0000	0	basic	
14	Z	7,0000	0	0	0	at bound	

Objective Function (Min.) = 97.269,4500

	Constraint	Left Hand Side		Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price
1	C1	25.088,0000	=	25.088,0000	0	0,6000
2	C2	39.200,0000	=	39.200,0000	0	0,6400
3	C3	20.384,0000	=	20.384,0000	0	0,6000
4	C4	15.680,0000	=	15.680,0000	0	0,6000
5	C5	42.336,0000	=	42.336,0000	0	0,6400
6	C6	14.112,0000	=	14.112,0000	0	0,6000
7	C7	-59.136,0000	<=		0	59.136,0000
8	C8	-16.000,0000	<=		0	16.000,0000
9	C9	-73.248,0000	<=		0	73.248,0000
10	C10	-87.360,0000	<=		0	87.360,0000
11	C11	-3.456,0000	<=		0	3.456,0000
12	C12	-92.064,0000	<=		0	92.064,0000
13	C13	-39.936,0000	<=		0	39.936,0000
14	C14	0	<=	0	0	-0,0133
15	C15	-54.048,0000	<=		0	54.048,0000
16	C16	-68.160,0000	<=		0	68.160,0000
17	C17	0	<=	0	0	-0,0133
18	C18	-72.864,0000	<=		0	72.864,0000
19	C19	-1,0000	<=	0	1,0000	0

Model 2'in TORA Programındaki Çıktısı

TORA Optimization System - Version 2.0, Oct 1996
 Copyright (c) 1989-96 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved.
 Date: Sat May 30 13:34:06 2009

Title: Model 2

Current solution found at node: 3
 Nbr of nodes so far examined: 355

*** CURRENT BEST INTEGER SOLUTION ***

Objective value (min) = 97580.00781

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x11	25088.0000	0.6000	15052.8008
x12	0.0000	0.6400	0.0000
x21	39200.0000	0.6000	23520.0000
x22	0.0000	0.6400	0.0000
x31	20384.0000	0.6000	12230.4004
x32	0.0000	0.6400	0.0000
x41	15680.0000	0.6000	9408.0000
x42	0.0000	0.6400	0.0000
x51	42336.0000	0.6000	25401.6016
x52	0.0000	0.6400	0.0000
x61	14112.0000	0.6000	8467.2002
x62	0.0000	0.6400	0.0000
y1	7.0000	500.0000	3500.0000
z1	7.0000	0.0000	0.0000

Constraint	RHS	Slack(-)/Surplus(+)
1 (=)	25088.0000	0.0000
2 (=)	39200.0000	0.0000
3 (=)	20384.0000	0.0000
4 (=)	15680.0000	0.0000
5 (=)	42336.0000	0.0000
6 (=)	14112.0000	0.0000
7 (<)	0.0000	59136.0000-
8 (<)	0.0000	16800.0000-
9 (<)	0.0000	73248.0000-
10 (<)	0.0000	87360.0000-
11 (<)	0.0000	7392.0000-
12 (<)	0.0000	92064.0000-
13 (<)	0.0000	59136.0000-
14 (<)	0.0000	16800.0000-
15 (<)	0.0000	73248.0000-
16 (<)	0.0000	87360.0000-
17 (<)	0.0000	7392.0000-
18 (<)	0.0000	92064.0000-
19 (<)	0.0000	0.0000-

Ek-8 – İlk Durumdaki İşçi ve Makine Verimliliği

İşçilerin Çalışma Süreleri

		1. İşçi	2. İşçi	3. İşçi	4. İşçi	5. İşçi	6. İşçi	7. İşçi	8. İşçi	9. İşçi	Toplam
1. Dönem	1. Durum ¹	19200	19200	19200	19200	19200	4352	0	0	0	100352
	2. Durum ²	11150,22	11150,22	11150,22	11150,22	11150,22	11150,22	11150,22	11150,22	11150,22	100352
2. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	3200	156800
	2. Durum	17422,22	17422,22	17422,22	17422,22	17422,22	17422,22	17422,22	17422,22	17422,22	156800
3. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	4736	0	0	0	0	81536
	2. Durum	9059,556	9059,556	9059,556	9059,556	9059,556	9059,556	9059,556	9059,556	9059,556	81536
4. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	5120	0	0	0	0	0	62720
	2. Durum	6968,889	6968,889	6968,889	6968,889	6968,889	6968,889	6968,889	6968,889	6968,889	62720
5. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	15744	169344
	2. Durum	18816	18816	18816	18816	18816	18816	18816	18816	18816	169344
6. Dönem	1. Durum	19200	19200	18048	0	0	0	0	0	0	56448
	2. Durum	6272	6272	6272	6272	6272	6272	6272	6272	6272	56448

İşçilerin Verimliliği

		1. İşçi	2. İşçi	3. İşçi	4. İşçi	5. İşçi	6. İşçi	7. İşçi	8. İşçi	9. İşçi	Ortalama
1. Dönem	1. Durum	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	22,67%	0,00%	0,00%	0,00%	58,07%
	2. Durum	58,07%	58,07%	58,07%	58,07%	58,07%	58,07%	58,07%	58,07%	58,07%	
2. Dönem	1. Durum	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	16,67%	90,74%
	2. Durum	90,74%	90,74%	90,74%	90,74%	90,74%	90,74%	90,74%	90,74%	90,74%	
3. Dönem	1. Durum	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	24,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	47,19%
	2. Durum	47,19%	47,19%	47,19%	47,19%	47,19%	47,19%	47,19%	47,19%	47,19%	
4. Dönem	1. Durum	100,00%	100,00%	100,00%	26,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	36,30%
	2. Durum	36,30%	36,30%	36,30%	36,30%	36,30%	36,30%	36,30%	36,30%	36,30%	
5. Dönem	1. Durum	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	82,00%	98,00%
	2. Durum	98,00%	98,00%	98,00%	98,00%	98,00%	98,00%	98,00%	98,00%	98,00%	
6. Dönem	1. Durum	100,00%	100,00%	94,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	32,67%
	2. Durum	32,67%	32,67%	32,67%	32,67%	32,67%	32,67%	32,67%	32,67%	32,67%	

¹ İş dağılımının ilk işçiden son işçiye doğru yapıldığı varsayılmıştır. Bu durumda ilk sıradaki işçilerden başlayarak iş dağılımı yapılmaktadır.

² İşler her işçiye eşit olarak dağıtılmıştır.

Ek-9 – Model 1’deki İşçi ve Makine Verimliliği**İşçilerin Çalışma Süreleri**

		1. İşçi	2. İşçi	3. İşçi	4. İşçi	5. İşçi	6. İşçi	7. İşçi	Toplam
1. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	4352	0	100352
	2. Durum	14336	14336	14336	14336	14336	14336	14336	100352
2. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	134400
	2. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	134400
3. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	4736	0	0	81536
	2. Durum	11648	11648	11648	11648	11648	11648	11648	81536
4. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	5120	0	0	0	62720
	2. Durum	8960	8960	8960	8960	8960	8960	8960	62720
5. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	134400
	2. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	134400
6. Dönem	1. Durum	19200	19200	18048	0	0	0	0	56448
	2. Durum	8064	8064	8064	8064	8064	8064	8064	56448

Makinelerin Çalışma Süreleri

		1. Makine	2. Makine	3. Makine	4. Makine	5. Makine	6. Makine	Toplam
1. Dönem	1. Durum	0	0	0	0	0	0	0
	2. Durum	0	0	0	0	0	0	0
2. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	9600	0	0	67200
	2. Durum	11200	11200	11200	11200	11200	11200	67200
3. Dönem	1. Durum	0	0	0	0	0	0	0
	2. Durum	0	0	0	0	0	0	0
4. Dönem	1. Durum	0	0	0	0	0	0	0
	2. Durum	0	0	0	0	0	0	0
5. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	8832	104832
	2. Durum	17472	17472	17472	17472	17472	17472	104832
6. Dönem	1. Durum	0	0	0	0	0	0	0
	2. Durum	0	0	0	0	0	0	0

İşçilerin Verimliliği

		1. İşçi	2. İşçi	3. İşçi	4. İşçi	5. İşçi	6. İşçi	7. İşçi	Ortalama
1. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%22,67	%0,00	%74,67
	2. Durum	%74,67	%74,67	%74,67	%74,67	%74,67	%74,67	%74,67	
2. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
	2. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	
3. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%24,67	%0,00	%0,00	%60,67
	2. Durum	%60,67	%60,67	%60,67	%60,67	%60,67	%60,67	%60,67	
4. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%26,67	%0,00	%0,00	%0,00	%46,67
	2. Durum	%46,67	%46,67	%46,67	%46,67	%46,67	%46,67	%46,67	
5. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
	2. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	
6. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%94,00	%0,00	%0,00	%0,00	%0,00	%42,00
	2. Durum	%42,00	%42,00	%42,00	%42,00	%42,00	%42,00	%42,00	

Makinelerin Verimliliği

		1. Makine	2. Makine	3. Makine	4. Makine	5. Makine	6. Makine	Ortalama
1. Dönem	1. Durum							
	2. Durum							
2. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%50,00	%0,00	%0,00	%58,33%
	2. Durum	%58,33	%58,33	%58,33	%58,33	%58,33	%58,33	
3. Dönem	1. Durum							
	2. Durum							
4. Dönem	1. Durum							
	2. Durum							
5. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%46,00	%91,00%
	2. Durum	%91,00	%91,00	%91,00	%91,00	%91,00	%91,00	
6. Dönem	1. Durum							
	2. Durum							

Ek 10 - Model 2'deki İşçi ve Makine Verimliliği

İşçilerin Çalışma Süreleri

		1.İşçi	2. İşçi	3.İşçi	4. İşçi	5.İşçi	6. İşçi	7. İşçi	Toplam
1. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	17664	0	0	0	75264
	2. Durum	10752	10752	10752	10752	10752	10752	10752	75264
2. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	3200	118400
	2. Durum	16914,29	16914,29	16914,29	16914,29	16914,29	16914,29	16914,29	118400
3. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	3552	0	0	0	61152
	2. Durum	8736	8736	8736	8736	8736	8736	8736	61152
4. Dönem	1. Durum	19200	19200	8640	0	0	0	0	47040
	2. Durum	6720	6720	6720	6720	6720	6720	6720	47040
5. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	15744	130944
	2. Durum	18706,29	18706,29	18706,29	18706,29	18706,29	18706,29	18706,29	130944
6. Dönem	1. Durum	19200	19200	3936	0	0	0	0	42336
	2. Durum	6048	6048	6048	6048	6048	6048	6048	42336

Makinelerin Çalışma Süreleri

		1.Makine	2. Makine	3.Makine	4. Makine	5.Makine	6. Makine	Toplam
1. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	17664	0	0	75264
	2. Durum	12544	12544	12544	12544	12544	12544	75264
2. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	115200
	2. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	115200
3. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	3552	0	0	61152
	2. Durum	10192	10192	10192	10192	10192	10192	61152
4. Dönem	1. Durum	19200	19200	8640	0	0	0	47040
	2. Durum	7840	7840	7840	7840	7840	7840	47040
5. Dönem	1. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	115200
	2. Durum	19200	19200	19200	19200	19200	19200	115200
6. Dönem	1. Durum	19200	19200	3936	0	0	0	42336
	2. Durum	7056	7056	7056	7056	7056	7056	42336

İşçilerin Verimliliği

		1.İşçi	2. İşçi	3.İşçi	4. İşçi	5.İşçi	6. İşçi	7. İşçi	Ortalama
1. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%92,00	%0,00	%0,00	%0,00	%56,00
	2. Durum	%56,00	%56,00	%56,00	%56,00	%56,00	%56,00	%56,00	
2. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%16,67	%88,10
	2. Durum	%88,10	%88,10	%88,10	%88,10	%88,10	%88,10	%88,10	
3. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%18,50	%0,00	%0,00	%0,00	%45,50
	2. Durum	%45,50	%45,50	%45,50	%45,50	%45,50	%45,50	%45,50	
4. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%45,00	%0,00	%0,00	%0,00	%0,00	%35,00
	2. Durum	%35,00	%35,00	%35,00	%35,00	%35,00	%35,00	%35,00	
5. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%82,00	%97,43
	2. Durum	%97,43	%97,43	%97,43	%97,43	%97,43	%97,43	%97,43	
6. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%20,50	%0,00	%0,00	%0,00	%0,00	%31,50
	2. Durum	%31,50	%31,50	%31,50	%31,50	%31,50	%31,50	%31,50	

Makinelerin Verimliliği

		1.Makine	2. Makine	3.Makine	4. Makine	5.Makine	6. Makine	Ortalama
1. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%92,00	%0,00	%0,00	%65,33
	2. Durum	%65,33	%65,33	%65,33	%65,33	%65,33	%65,33	
2. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
	2. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	
3. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%18,50	%0,00	%0,00	%53,08
	2. Durum	%53,08	%53,08	%53,08	%53,08	%53,08	%53,08	
4. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%45,00	%0,00	%0,00	%0,00	%40,83
	2. Durum	%40,83	%40,83	%40,83	%40,83	%40,83	%40,83	
5. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
	2. Durum	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	
6. Dönem	1. Durum	%100,00	%100,00	%20,50	%0,00	%0,00	%0,00	%36,75
	2. Durum	%36,75	%36,75	%36,75	%36,75	36,75	%36,75	

Ek 11 - Farklı Taleplerin Olması Durumunda İhtiyaç Duyulan Kopça Sayıları

			Dönemler						Toplam
			1	2	3	4	5	6	
Toplam Talep	17.500	Dönemlik Talep Miktarı	2800	4375	2275	1750	4725	1575	17500
		İhtiyaç Duyulan Kopça Seti	21952	34300	17836	13720	37044	12348	137200
Toplam Talep	22.500	Dönemlik Talep Miktarı	3600	5625	2925	2250	6075	2025	22500
		İhtiyaç Duyulan Kopça Seti	28224	44100	22932	17640	47628	15876	176400
Toplam Talep	40.000	Dönemlik Talep Miktarı	6400	10000	5200	4000	10800	3600	40000
		İhtiyaç Duyulan Kopça Seti	50176	78400	40768	31360	84672	28224	313600

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında İzmir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra 1988 yılında Maltepe Askeri Lisesine başladı. 1992 yılında Kâra Harp Okuluna girdi ve 1996 yılında Tank Teğmen olarak mezun oldu. 1997 – 1999 yılları arasında Kıbrıs’ta görev yaptı ve bu dönemde Lefke Avrupa Üniversitesi’nde işletme üzerine yüksek lisans yaptı. 1999 – 2002 yıllarında Oltu/Erzurum’da görev yaptı. Bu dönemde Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme - Sayısal Yöntemler Anabilim Dalında doktora çalışmalarına başladı. Evli ve iki çocuk babası olup, halen Gaziantep’te görev yapmaktadır.